

2000(200) 2 61

2 ex PL.

Toepassingsmogelijkheden van boorgruis in afdichtingslagen van afval- en reststofbergingen

J. Beuving
D. Boels

BIBLIOTHEEK
STARRINGCENTRUM

Rapport 204

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1992

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0922 4359

04 AUG. 1992

180 5532 ff

REFERAAT

Beuving, J. en D. Boels, 1992. *Toepassingsmogelijkheden van boorgruis in afdichtingslagen van afval- en reststofbergingen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 204, 33 blz; 5 fig.; 8 tab.

Boorgruis is een suspensie van bodemmateriaal, zouten en toeslagmaterialen waaronder bentoniet en polymeren die vrijkomen bij proefboringen naar olie en aardgas. Boorgruis heet zoet als daarin geen resten steenzout voorkomen. Zoet boorgruis bevat max. 20 000 ppm chloride. Op een proefveld van de VAM te Wijster is van zoet boorgruis als afdichtingslaag zowel in situ als op het laboratorium een verzadigde doorlatendheid gemeten die een factor 10 tot 100 hoger is dan de norm voor afdichtingslagen van 20 mm in 200 dagen. De droge volumieke massa is laag en geeft aan, dat de voorgenomen verdichting niet is geslaagd. Vermoedelijk is het vochtgehalte bij de aanleg te hoog geweest om het boorgruis te verdichten. Het toegepaste boorgruis bestaat voor 25 tot 38% uit ontleedbaar materiaal. Hiervan spoelt bij veel waterdoorvoer ca. 10% uit. Het bentonietgehalte is niet afgenomen door de waterdoorvoer. Bij een goed functionerende afdichtingslaag boorgruis van 25 cm is de zoutconcentratie na 10 jaar met 90% afgenomen. Door diffusie naar het drainagewater in de afdeklaag stijgt de zoutconcentratie snel tot ca. 10% van de concentratie in de afdichtingslaag. Na resp. een en twee jaar is de relatieve concentratie teruggelopen tot minder dan 1 en 0,1%.

Trefwoorden: zoutemissie, diffusie, uitloging, dichtheid, bentoniet.

ISSN 0927-4499

©1992 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

Het DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

Het DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het DLO-Staring Centrum.

Project 2178

[536MR/04.92]

INHOUD

	blz.
WOORD VOORAF	7
SAMENVATTING	9
1 INLEIDING	11
2 OPZET ONDERZOEK	13
2.1 Waterdoorlatendheid	13
2.2 Volumieke massa	15
2.3 Bentonietgehalte	15
2.4 Ontziling	16
3 RESULTATEN	19
3.1 Waterdoorlatendheid	19
3.1.1 Infiltratiemetingen in het veld	19
3.1.2 Doorlaatfactor op het laboratorium	20
3.2 Volumieke massa	21
3.3 Bentonietgehalte	23
3.4 Ontziling	24
3.4.1 Uitloogproef	24
3.4.2 Diffusieproef	25
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	31
LITERATUUR	33
FIGUREN	
1 Doorlatendheidsmeting, in situ, laboratorium	14
2 Proefopstelling diffusiemetingen in laboratorium	17
3 Gemeten en berekend verloop relatieve concentraties in poriënwater van boorgruismonsters	26
4 Verloop zoutemissie uit proefmonster door diffusie, verloop diffusiecoëfficiënt in diffusieproef	27
5 Berekend verloop van de relatieve zoutconcentratie van drainagewater	29
TABELLEN	
1 Proefvakken met afdichtingslagen van boorgruis van 25 cm toegepast op basis van chloridegehalte en soort toeslagmateriaal en een (eind)afdeklaag van 50 cm	13
2 Gemeten dikte afdichtingslagen van boorgruis en chloridegehalten voor proefvakken met een gerealiseerde dikte afdeklaag van ca. 40 cm	19
3 In situ bepaalde doorlatendheid van afdichtingslagen met boorgruis als K-factor en infiltratiecapaciteit bij gegeven drukhoogte waterkolom	20

blz.

4 Verzadigde doorlatendheid van de afdichtingslagen en de infiltratiecapaciteit bij gegeven drukhoogte gemeten in een laboratoriumopstelling als gemiddelde van 7 waarnemingen tijdens de doorvoer van 1000 mm waterkolom	21
5 Volumieke massa van afdichtingslagen van boorgruis voor en na drogen en van steengruis na gloeien bij verschillende temperaturen en standaard tijden	21
6 Poriënvolume en vochtgehalte van afdichtingslagen met boorgruis voor en na veel waterdoorvoer (herkomst) en gewichtverlies bij gloeien	22
7 Hoeveelheid geadsorbeerde methyleenblauw en het equivalent bentonietgehalte van boorgruis dat steekvast is gemaakt door "lipidur" of cement/bentoniet toe te voegen	24
8 Gemeten en berekend verloop van de relatieve chlorideconcentratie in het poriënwater na waterdoorvoer	26

WOORD VOORAF

In opdracht van de NV Vuilafvoer Maatschappij (VAM) heeft het DLO-Staring Centrum (SC-DLO) in 1991 de geschiktheid van boorgruis voor bovenafdichting van afval- en reststofbergingen nader onderzocht op enkele proefvelden. De VAM ontvangt jaarlijks grote hoeveelheden boorgruis van de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM). Boorgruis is in principe afval en moet overeenkomstig worden gestort. Door in plaats van storten het boorgruis te benutten voor de constructie van afdichtingslagen wordt de stortcapaciteit effectiever benut en nuttig gebruik van afval bevorderd.

SAMENVATTING

De NV Vuilafvoer Maatschappij (VAM) heeft het DLO-Staring Centrum opdracht gegeven te onderzoeken of boorgruis een zand/bentoniet-constructie voor bovenafdichtingslagen op stortplaatsen kan vervangen. Boorgruis is een inhomogeen mengsel van natuurlijke materialen (zand, klei, kalk, leisteen, kalksteen en zandsteen) met smeermiddelen en spoelingen als bentoniet, cellulose, polymeren en zouten. Als zoutformaties worden aangeboord, bevat boorgruis ook veel natuurlijke zouten. Boorgruis uit zoutlagen wordt gescheiden van ander boorgruis afgevoerd. "Zoet" boorgruis behoort tot chemisch afval en wordt overeenkomstig gestort. Volgens vooronderzoek door o.a. DHV, TAUW en CEBO HOLLAND BV uitgevoerd in opdracht van de NV Vuilafvoer Maatschappij (VAM) te Wijster, is boorgruis geschikt te maken voor de constructie van bovenafdichtingslagen.

De VAM heeft in samenwerking met de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) boorgruis als constructiemateriaal voor bovenafdichtingslaag in een praktijkproef aangebracht. Op een proefveld in Wijster zijn in najaar 1991 vier proefvakken ingericht die verschillen in toeslagmaterialen en chloridegehalte. Als toeslagmateriaal voor het steekvast maken van boorgruis is 15% lipidur (handelsnaam) of 6% cement/bentoniet toegevoegd. Van de toeslagmaterialen is alleen bekend dat bentoniet met een groot zwellingsvermogen wordt gebruikt om afdichtingslagen van zand vrijwel ondoorlatend te maken.

Van de afdichtingslagen zijn de volumieke massa, het vochtgehalte en de emissie van zouten uit de lagen als gevolg van uitloging en door diffusie, bepaald. De waterdoorlatendheid is gemeten in situ met infiltrometers en aan ongeroerde monsters van dezelfde afmetingen op het laboratorium volgens de methode van de afnemende drukhoogteverschillen. De dichtheid, het vochtgehalte en gehalte aan uitloogbare (organische) verbindingen zijn vooraf en na afloop van de doorlatendheidsproeven bepaald door volumebemonsteringen uit te voeren. Het gehalte aan bentoniet is bepaald door CEBO volgens de methyleenblauwmethode. Van de afdichtingslagen was geen boorgruis beschikbaar zonder toeslagmateriaal. De methyleenblauwadsorptie van ongemengd boorgruis is gebaseerd op eerdere metingen.

Bij de in situ metingen van de doorlatendheid kon de drukhoogtegradiënt onvoldoende nauwkeurig worden gemeten. Daardoor kan ook de doorlatendheid niet voldoende nauwkeurig worden bepaald. Zeker is dat deze groter is dan 0,06 m/etmaal. De oorzaak van de hoge doorlatendheid houdt verband met de zeer grote porositeit: 58 tot 68%. Vooral als gevolg van een te hoge vochtmassa van het boorgruis tijdens de aanleg, is de afdichtingslaag onvoldoende te verdichten. Tijdens de aanleg zou de vochtmassa geringer moeten zijn dan 15%. Wanneer de gewenste vochtmassa wordt bereikt door het overtollig water eruit te persen, wordt tevens al een deel van de uitloogbare materialen afgevoerd. Het boorgruis is dan tevens steekvast, zodat daarvoor geen toeslagmaterialen meer nodig zijn.

De hoeveelheid toegevoegde bentoniet aan het boorgruis is lager dan de gebruikelijke 6 à 8% in zand-bentoniet afdichtingslagen. Het is niet duidelijk of de gehalten werkelijk zo laag zijn of dat te hoge waarden zijn aangenomen voor de methyleenblauwadsorptie van ongemengd boorgruis. Na veel waterdoorvoer is geen verlaging van de bentonietgehalten waargenomen.

Emissie van zouten gebeurt door uitloging, waarbij zout naar het gestort afval stroomt. Ook treedt diffusie op, waardoor zouten naar de bovenliggende drainagelaag worden afgevoerd en met het drainwater worden gemengd. Hierdoor wordt het oppervlakte water belast.

De zoutconcentratie in het poriënwater van de afdichtingslaag blijkt met 90% te zijn afgenomen als het volume poriënwater twee keer is verversd. Bij een goed functionerende afdichtingslaag van 25 cm is dit na 10 jaar gerealiseerd.

Zoutemissie door diffusie verloopt aanvankelijk snel. In de proefopstelling was de zoutconcentratie in de watervoorraad boven een monster na 20 dagen ca. 400 ppm bij een aanvankelijke zoutconcentratie van ca. 4000 ppm in het poriënwater van het boorgruis en ca. 1200 ppm bij een aanvankelijke zoutconcentratie van ca. 10 000 ppm. Een benadering van de invloed van diffusie op de zoutemissie uit een goed functionerende afdichtingslaag van boorgruis naar de bovenliggende drainlaag laat zien dat in het begin de zoutconcentratie snel stijgt tot ca. 10% van de concentratie in de afdichtingslaag. Na resp. één en twee jaar is de relatieve concentratie teruggelopen tot minder dan 1 en 0,1%.

1 INLEIDING

De NV Vuilafvoer Maatschappij (VAM) heeft het DLO-Staring Centrum opdracht gegeven te onderzoeken of boorgruis een zand/bentoniet-constructie voor bovenafdichtingslagen op stortplaatsen kan vervangen. Boorgruis is een inhomogeen mengsel van natuurlijke materialen uit verschillende boringen van meerdere diepten en is samengesteld uit zand, klei, kalk, leisteen, kalksteen en zandsteen. Tijdens het boren worden smeermiddelen als cellulose, polymeren en bentoniet toegevoegd, terwijl zouten als chloriden, carbonaten en sulfaten als spoelingen worden gebruikt. Jaarlijks ontvangt de VAM grote hoeveelheden boorgruis van de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM). De vrijkomende suspensie is een afvalprodukt en dient gecontroleerd te worden gestort in overeenstemming met de "Leidraad bodembescherming". Aan de suspensie worden vaak stoffen toegevoegd om het steekvast te maken, waarna het wordt gestort in speciale constructies om uitloging tegen te gaan. Als zoutformaties worden aangeboord, bevat boorgruis ook veel natuurlijke zouten. Dit boorgruis wordt gescheiden van het zogenaamde "zoete" boorgruis behandeld.

De chlorideconcentraties van "zoet" boorgruis variëren tussen de 10 000 en 20 000 ppm als gevolg van toevoegingen. Uit vooronderzoek door derden (DHV, TAUW, CEBO), (Donkervliet, 1991) is gebleken, dat boorgruis met een toereikend bentonietgehalte in principe bruikbaar is voor de constructie van afdichtingslagen.

Gelet op de goede ervaring die is verkregen met het construeren van afdichtingen op stortplaatsen met mengsels van zand en bentoniet, is overwogen boorgruis te gebruiken voor de constructie van bovenafdichtingen. De NV Vuilafvoer Maatschappij (VAM) te Wijster heeft vier proefvakken ingericht om de bruikbaarheid van boorgruis voor constructie van afdichtingslagen in de praktijk te testen (Woelders, 1991). Een probleem hierbij is echter dat de waterdoorlatendheid van zand-bentoniet mengsels toeneemt, naarmate het zoutgehalte in de bodemoplossing hoger wordt (Hoeks e.a., 1990). Op verschillende locaties zijn reeds partijen boorgruis afgezet voor dit doel. Onderzoek naar de waterdoorlatendheid van zulke lagen in situ is echter niet verricht. Evenmin is onderzoek verricht naar mogelijke zoutemissies als gevolg van uitloging en diffusie.

Van de afdichtingslagen zijn de volgende karakteristieken bepaald: de doorlatendheid, de volumieke massa, het vochtgehalte en de emissie van zouten uit de lagen als gevolg van uitloging en door diffusie. De waterdoorlatendheid in situ is herfst 1991 gemeten met infiltrometers; aan ongeroerde monsters van dezelfde afmetingen op het laboratorium volgens de methode van de afnemende drukhoogteverschillen (Boels en Wiebing, 1990). In de kolommen zijn sensoren aangebracht om de drukhoogte te meten. Deze meting biedt in samenhang met de gemeten waterdoorvoer de mogelijkheid om de verticale doorlatendheid te bepalen als functie van drukhoogtegradiënten volgens de Wet van Darcy. De dichtheid, het vochtgehalte en gehalte aan uitloegbare (organische) verbindingen zijn vooraf en na afloop van de doorlatendheidsproeven bepaald door volumebemonsteringen uit te voeren. Het gehalte

aan bentoniet is bepaald door CEBO HOLLAND BV volgens de methyleenblauw-methode.

Bij voortgaande percolatie van het neerslagoverschot vindt uitloging plaats en het zout kan ook via diffusie uit de bovenafdichting naar het drainagewater migreren en elders op het oppervlaktewater worden geloosd. De concentratie zout (chloride) in het drainagewater is maatgevend of al dan niet rechtstreeks op het oppervlaktewater mag worden geloosd.

2 OPZET ONDERZOEK

De NV Vuilafvoer Maatschappij (VAM) te Wijster heeft vier proefvakken ingericht om de bruikbaarheid van boorgruis voor constructie van afdichtingslagen in de praktijk te testen (Woelders, 1991). Hierbij is boorgruis met duidelijke verschillen in chloridegehalte gebruikt waaraan verschillende toeslagmaterialen zijn toegevoegd (tabel 1).

Tabel 1 Proefvakken met afdichtingslagen van boorgruis van 25 cm, toegepast op basis van chloridegehalte en soort toeslagmateriaal met een (eind)afdeklaag van 50 cm

Proefvak	Chloride (ppm)	Toeslagmateriaal		
		Cement (%)	Bentoniet (%)	Lipidur ¹⁾ (%)
A	10000	-	-	15
B	20000	2	4	-
C	10000	2	4	-
D	20000	-	-	15

¹⁾ Lipidur is een handelsnaam, specificatie ontbreekt

Op de proefvakken van ca. 70 m² is in het midden de afdichtingslaag blootgelegd over een oppervlakte van ca. 2,5 m². Na het verwijderen van het tarramdoek zijn de grondkolommen voor de infiltrometingen in het veld aangebracht. De monsters voor de doorlatendheidsmetingen in het laboratorium zijn in enkelvoud en de monsters voor de volumieke massa in drievoud uitgerepareerd. Beschadigingen die hierbij zijn ontstaan aan de afdichtingslaag, zijn met hetzelfde materiaal uit een depot hersteld en het beschadigde tarramdoek is teruggelegd.

De volgende gegevens die van invloed kunnen zijn op de verzadigde waterdoorlatendheid en het uitlooggedrag van de afdichtingslagen zijn verzameld:

- gerealiseerde dikte van de afdichtingslagen;
- bepalen van de samenhang tussen drukhoogtegradiënt en doorlatendheid;
- vaststellen van de invloed van toeslagmaterialen en chloridegehalte op de doorlatendheid;
- volumieke massa van de afdichtingslagen op de proefvakken;
- bepalen van het bentonietgehalte;
- bepalen van het verloop van de ontzilting;
- bepalen van zoutemissie door diffusie.

2.1 Waterdoorlatendheid

Op de proefvakken zijn ringinfiltrometers geplaatst om in situ de infiltratiesnelheid (fig. 1a) van de boorgruislaag te bepalen. Het installeren bestaat uit het prepareren van kolommen uit de afdichtingslaag. Hier omheen worden ringen met een diameter

van 0,30 m en een hoogte van 0,10 m geplaatst. De ruimte tussen ringwand en uitgeprepareerde kolom wordt opgevuld met sneluithardend, ondoorlatend cement. Aan de bovenzijde is een laag van ca. 1 cm boorgruis verwijderd en vervangen door goeddoorlatend rivierzand. De ring is vervolgens afgesloten met een plaat, waarin een doorvoer voor water en een ontluichtingsventiel zijn aangebracht om lucht te laten ontsnappen. Het ontluichtingsventiel wordt na ontluchting verbonden met een buret die tevens als stijgbuis dient. Het benodigde water voor de verzadiging van de afdichtingslaag wordt aangevoerd uit een voorraadfles van 10 l, waarin een constante drukhoogte wordt gehandhaafd.

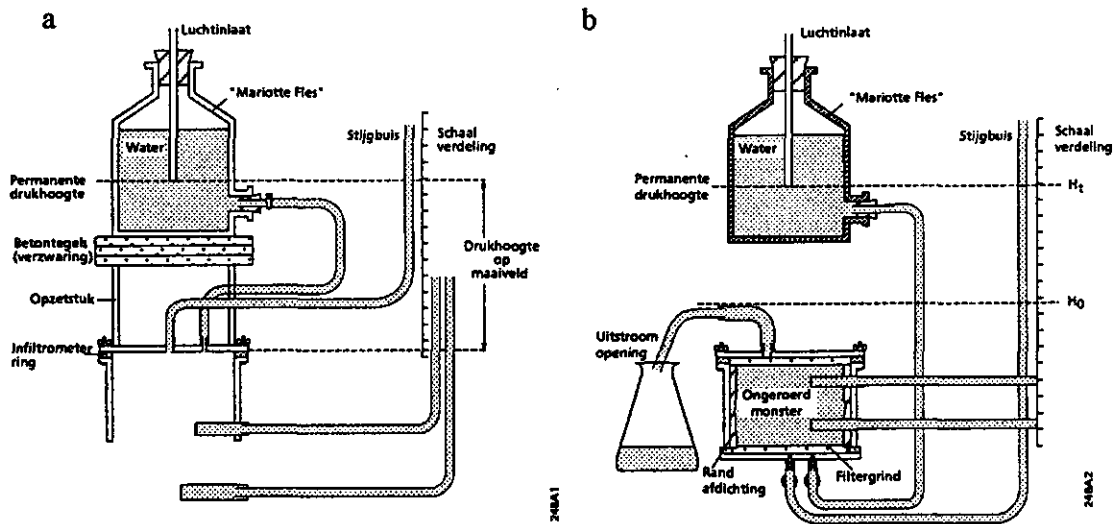


Fig. 1 Doorlatendheidsmeting, (a) in situ, (b) laboratorium

In en onder de kolom in de boorgruislaag zijn sensoren aangebracht op 7 en 17 cm beneden de bovenrand van de ring. Daarmee wordt de drukhoogte van het bodemvocht gemeten, zodat de stijghoogtegradiënt ook in situ bekend is. De doorlatendheid wordt berekend volgens de Wet van Darcy:

$$v = -k(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \quad (1)$$

waarin:

v = flux (cm³.cm⁻².d⁻¹)

$k(h)$ = capillair geleidingsvermogen (cm.d⁻¹)

$\partial h/\partial z$ = gradiënt van de drukhoogte van het bodemvocht

z = verticale coördinaat (cm)

Op dezelfde wijze als hiervoor is omschreven, zijn monsters van de boorgruislaag voor het laboratoriumonderzoek uitgeprepareerd. Nu wordt echter aan beide zijden van het monster een laag boorgruis van ca. 1 cm vervangen door rivierzand. Het monster is aan weerszijden met een plaat afgesloten. In het monster zijn tijdens de bemonstering twee sensoren aangebracht. Op het laboratorium vindt wateraanvoer van onderaf plaats nadat het monster is gedraaid (fig. 1b). Het rivierzand aan de

aanvoorzijde draagt bij aan een uniforme waterverdeling en een goede bevochtiging. Tijdens de verzadiging van het monster wordt aan de bovenzijde ontlucht. Water wordt aangevoerd vanuit een voorraadfles van 10 l. Tijdens het verzadigen is de drukhoogte in drie weken verhoogd van 0 (onderkant ring) tot 5 cm boven het monster.

De meetprocedures bestaan uit het bijhouden van het waterverlies tot er een stabiele toestand is ontstaan. Dan wordt de wateraanvoer omgezet naar de buret, zodat vanaf dat moment volgens de methode van de afnemende drukhoogtegradiënt de infiltratie wordt gemeten. De daling in de stijgbuis geeft de totale infiltratie weer. De infiltratiesnelheid hangt samen met de doorlaatfactor, de hydraulische gradiënt en de geometrie van de infiltrometerring/monster (Boels en Wiebing, 1990). De drukhoogtegradiënt wordt bepaald uit de gemeten drukhoogten op twee diepten.

2.2 Volumieke massa

De volumieke massa van de boorgruislaag is drie keer bepaald in ringen met een inhoud van 232 cm³ en een hoogte van 5 cm. Bij het installeren van de ringinfiltrometers in de afdichtingslaag is een bemonstering van de laag in drievoud uitgevoerd en na afloop van de infiltratiemeting op het laboratorium en waterdoorlatendheid in situ zijn uit de grote ringen eveneens in drievoud monsters genomen. Om vervorming en verdichting van de monsters te voorkomen, is de monsterring met de snijrand op de te bemonsteren laag gezet en is het boorgruis voor de snijrand uit, buitenom verwijderd. De monsterring is vervolgens verticaal om het monster geschoven, waarbij nog een geringe hoeveelheid materiaal is losgesneden om het monster passend te maken. Omdat hiervoor nog maar heel weinig kracht nodig is, kunnen er geen vervormingen of verdichtingen ontstaan.

Alle monsters zijn achtereenvolgens standaard gedroogd en gegloeid gedurende resp. 24, 4 en 2 uur bij temperaturen van 105, 500 en 950 °C. Het verhitten tot 105 °C is bedoeld om het vochtgewicht te bepalen. Organische verbindingen ontleden bij 500 °C en bij een temperatuur van 950 °C verdwijnt kristalwater uit mineralen en zouten. Ook kunnen zouten zoals calciumcarbonaat bij die temperatuur in andere verbindingen uiteen vallen.

2.3 Bentonietgehalte

Het bentonietgehalte is bepaald op basis van een titratie met methyleenblauw door CEBO HOLLAND BV. Het principe berust op de bepaling van de hoeveelheid geadsorbeerde methyleenblauw door kleimineralen. Door te bepalen hoeveel methyleenblauw zuivere bentoniet per gewichtseenheid absorbeert kan het gehalte aan bentoniet in een mengsel worden bepaald. Daarvoor is dan nodig de hoeveelheid geadsorbeerde methyleenblauw per gewichtseenheid mengsel te bepalen. Correcties zijn dan nog nodig voor adsorptiecomplexen die al in het oorspronkelijk materiaal aanwezig zijn. De bepaling van de methyleenblauw-adsorptie door bentoniet en een

mengsel wordt verricht met 0,5 en 10 gram stoofdroog (105 °C) materiaal dat in een erlenmeyer van 300 ml wordt gemengd met een oplossing van 5 ml verzadigde tetranatriumdifosfaat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) in 50 ml water. De oplossing wordt geroerd om de fijne fracties te laten dispergeren. Vervolgens laat men de oplossing 5 minuten koken en daarna weer afkoelen tot kamertemperatuur. Aan de afgekoelde oplossing wordt 2 ml 2,5 molair zwavelzuur toegevoegd waarna de suspensie met een oplossing van 5 gr/l methyleenblauw (Merck nr. 6040) wordt getitreerd. Het titreren bestaat uit telkens toevoeging van 1 ml methyleenblauw, gevolgd door intensief mengen. Van het mengsel wordt een druppel uit de erlenmeyer overgebracht op een filtreerpapier (Whatman no. 42). Als er rond de opgebrachte druppel een halo waarneembaar wordt is, de titratie ten einde. Een zelfde bepaling wordt ook uitgevoerd met 10 gram van het zand. Op basis van de hoeveelheid verbruikte methyleenblauw wordt berekend hoeveel bentoniet in het mengsel aanwezig is volgens:

$$A = \frac{0,5 \left(\frac{F - E}{2} \right)}{5D} 100 \quad (2)$$

Hierin is:

A = bentoniet (%)

D = methyleenblauw-gebruik door zuivere bentoniet (ml)

E = methyleenblauw-gebruik door "zand" (ml)

F = methyleenblauw-gebruik door mengsel (ml)

De methyleenblauwadsorptie door bentoniet is afhankelijk van de herkomst van de bentoniet, nl. voor Amerikaans bentoniet 26 ml/g en voor Grieks bentoniet 36 ml/g.

Van enkele monsters uit eerder onderzoek is het gehalte aan de fractie kleiner dan 16 μ bepaald volgens de natte sedimentatiemethode. Volgens deze methode bevatten de mengsels ca. 8% klei; volgens de methyleenblauwmethode is het bentonietgehalte 7,8%. Dit bewijst dat de methyleenblauwmethode gelijkwaardig is aan de natte sedimentatie methode.

Omdat geen boorgruis van dezelfde partij beschikbaar was zonder toeslagmateriaal, is ook de methyleenadsorptie door het oorspronkelijk materiaal niet te bepalen; deze is gebaseerd op andere metingen. Daarom kan niet exact worden bepaald hoeveel bentoniet aan de mengsels was toegevoegd.

2.4 Ontzilting

Zouten in oplossing worden met drainage- en/of percolatiewater afgevoerd. De snelheid is onder veldomstandigheden moeilijk vast te stellen, omdat de verschillende afvoeren moeilijk zijn te verzamelen en sterk samenhangen met het weer. Op het laboratorium worden daarentegen de watertoevoer en waterafvoer volledig gecontroleerd (fig. 1b). Naarmate de doorlatendheid hoger is, wordt meer chloride uit het boorgruis met het percolatiewater afgevoerd. Door regelmatig het chloridegehalte

te meten in het percolaat kan het verloop van de ontzilting door uitspoelen worden bepaald. Het verloop van de ontzilting kan worden berekend als wordt uitgegaan van een bekende percolatieflux, porositeit en mobiele zoutconcentratie in de bodemoplossing in de afdichtingslaag. Een ideale menging tussen bodemvocht en de doorstroomde vloeistof wordt aangenomen. De verhouding tussen de zoutconcentratie op een zeker tijdstip en het oorspronkelijke concentraat is:

$$\frac{C_t}{C_0} = e^{-\frac{Vt}{uD}} \quad (3)$$

Hierin is:

V = filtersnelheid ($m \cdot d^{-1}$)

t = tijdsverloop vanaf begin proef (d)

u = porositeit ($m^3 \cdot m^{-3}$)

D = dikte monster (m)

C_t = concentratie op tijdstip t ($mg \ l^{-1}$)

C_0 = concentratie oorspronkelijk, berekend ($mg \ l^{-1}$)

De term Vt/uD is het aantal keren dat de hoeveelheid bodemvocht is ververst.

Wanneer de infiltratie door de afdichtingslaag gering is, kan een meetbare emissie van zouten uit de afdichtingslaag naar bovengelegen lagen optreden door diffusie. Daar worden de zouten met het drainagewater afgevoerd. Om deze emissie te kwantificeren is in een laboratoriumopstelling een stationaire situatie gecreëerd. Daartoe is 100 gram boorgruis (afdichtingslaag) met gedemineraliseerd water verzadigd en in een bekersglas geplaatst. Op dit monster zijn filtergrind, een geperforeerde metalen plaat en een hoeveelheid van 600 gram gedemineraliseerd water aangebracht (fig. 2).

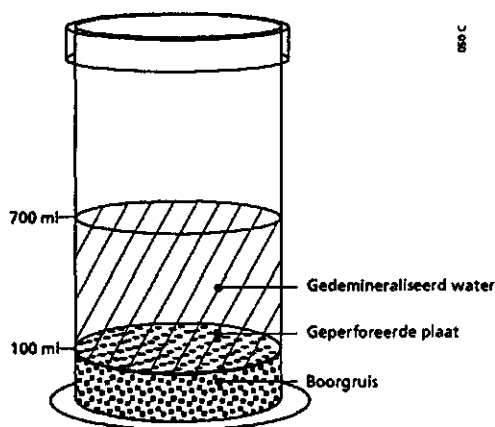


Fig. 2 Proefopstelling diffusie metingen in laboratorium

De vloeistof boven het monster is regelmatig geroerd en bemonsterd voor het bepalen van chlorideconcentratie. Een homogene concentratie is vereist om de diffusie-

coëfficiënt te kunnen berekenen. Na elke bemonstering is eenzelfde hoeveelheid gedemineraliseerd water weer toegevoegd. Allen via de watermonsters zijn zouten uit de proefopstelling afgevoerd. Voor elke periode tussen twee opeenvolgende bemonsteringen is de diffusiecoëfficiënt berekend volgens:

$$D_{\text{mol}} = \frac{H_d h_d}{\left(\frac{H_v}{V_v} + 1\right) (t_2 - t_1)} \text{Ln} \left(\frac{C_{m,t_1} - C_{v,t_1}}{C_{m,t_1} - C_{v,t_2} - \frac{H_v}{V_v} (C_{v,t_2} - C_{v,t_1})} \right) \quad (4)$$

waarin:

- D = diffusiecoëfficiënt (cm².d⁻¹)
- H_d = hoogte vloeistof op de laag (cm)
- h_d = dikte laag vaste stof (cm)
- H_v = volume vloeistof op de laag (cm³)
- V_v = volume vloeistof in de laag (cm³)
- t₁ = begin tijd meting (d)
- t₂ = eind tijd meting (d)
- C_{m,t₁} = conc. in poriënwater, tijdstip t₁ (mg.cm⁻³)
- C_{v,t₁} = conc. in vloeistof, tijdstip t₁ (mg.cm⁻³)
- C_{v,t₂} = conc. in vloeistof, tijdstip t₂ (mg.cm⁻³)

De zoutconcentratie in het poriënwater is bepaald door aan het einde van de proef het monster intensief te schudden met de bovenstaande vloeistof. In de vloeistof is het chloridegehalte bepaald en is de totale hoeveelheid aanwezige chloride berekend. Aan deze hoeveelheid is de hoeveelheid chloride toegevoegd, die via de bemonstering gedurende de proef werd onttrokken. Deze hoeveelheid chloride was dus oorspronkelijk in het monster aanwezig. De beginconcentratie wordt nu eenvoudig verkregen door de totale hoeveelheid chloride te delen door de hoeveelheid water dat aan het monster was toegevoegd om het te verzadigen.

3 RESULTATEN

De gemeten dikten van de afdek- en afdichtingslagen en het oorspronkelijk chloridegehalte zijn in tabel 2 weergegeven. De dikten van de afdichtingslaag met boorgruis in deze tabel wijken af van de bedoelde laagdikte van 25 cm. Op proefvak C is de gerealiseerde dikte van de afdichtingslaag slechts 52% van de bedoelde dikte. Op de proefvakken B en D is dit resp. 72% en 80%.

Tabel 2 Gemeten dikte afdichtingslagen van boorgruis en chloridegehalten voor de proefvakken bij een gerealiseerde dikte afdeklaag van ca. 40 cm

Proefvak	Dikte afdichting (cm)	Chloridebepaling (ppm)
A	25	4620
B	18	10320
C	13	7170
D	20	8070

Het lagere chloridegehalte kan een gevolg zijn van ontziltling tijdens opslag, verwerking of transport. De dikte van de afdeklaag is niet van invloed op het onderzoek. De afwijkende dikte van de afdichtingslaag bepaalt de werking ervan. Op proefvak C is de sensor voor het meten van de drukhoogte onder de infiltratometering in de laag onder het boorgruis aangebracht en op proefvak B aan de onderkant van de afdichtingslaag.

3.1 Waterdoorlatendheid

3.1.1 Infiltratiemetingen in het veld

Nadat de ringinfiltrometers in bedrijf gesteld waren, heeft een medewerker van de VAM elke dag de watervoorraad in het systeem aangevuld. Het infiltratievermogen van de afdichtingslagen was echter zo groot, dat per dag meer dan 10 liter kon infiltreren waarbij de drukhoogte boven de ringinfiltrometers lager werd aangehouden dan de bedoelde 0,50 m. Bij een drukhoogte van 0,15 m werd de watertoevoer op de proefvakken A en C regelmatig onderbroken en trad waarschijnlijk ook lucht toe, waardoor de infiltratiecapaciteit kan zijn afgenomen. Na 14 dagen was de infiltratie op deze proefvakken nog steeds groter dan 10 l per etmaal. Na twee weken wateraanvoer is de verzadigde doorlatendheid bepaald bij een drukhoogte van 0,15 m op de proefvakken A en C en bij 0,35 m op de proefvakken B en D. In een tweede reeks metingen vier weken later, is de wateraanvoer twee keer per dag opgenomen en is dus ook de infiltratiecapaciteit gedurende een kortere meettijd gemeten. In tabel 3 zijn de resultaten van deze metingen weergegeven.

Tabel 3 In situ bepaalde doorlatendheid van afdichtingslagen met boorgruis als K-factor en infiltratiecapaciteit bij de aangegeven drukhoogte waterkolom

Proefvak	Aantal (n)	Tijd (min)	Toevoer (cm ³ .d ⁻¹)	Druk- hoogte (cm)	K (gem)		Infiltratie (mm.d ⁻¹)
					(cm.d ⁻¹)	(m.s ⁻¹)	
A	8	1020	>14118	15	>13,76		>229
B	2	1020	3529	20	1,47	1,7.10 ⁻⁵	57
C	8	1020	>14118	15	>13,76		>229
D	4	1020	6706	35	2,80	3,2.10 ⁻⁵	109
A	1	657	>41739	15	>40,67		>677
B	4	615	4301	35	1,80	2,1.10 ⁻⁵	70
C	4	657	11751	15	11,45	1,3.10 ⁻⁴	191
D	5	657	9556	35	3,99	4,6.10 ⁻⁵	155

Bij de eerste serie metingen zijn acht en bij de tweede serie zijn vijf waarnemingen verricht. Wanneer in tabel 3 daarvan is afgeweken, zijn de betreffende niet-opgenomen metingen groter dan 10 l gedurende de meettijd. De drukhoogte in en onder de infiltrometing is slechts één keer in situ gemeten. De drukhoogten op 7 en 17 cm beneden het oppervlak van de kolom zijn kort voor het verwijderen van de infiltrometeropstelling gemeten. Daaruit kon worden afgeleid dat de grond volledig was verzadigd. Voorts bleek, dat de gradiënt niet betrouwbaar kon worden gemeten, omdat de drukhoogte op beide diepten bijna gelijk was. Dit duidt op een doorlatendheid van de ondergrond die veel geringer is dan die van de afdichtingslaag. De doorlatendheid van de afdichtingslaag is daarom groter dan de infiltratiesnelheid.

Als deze doorlatendheid van de afdichtingslaag aan de huidige normen zou moeten voldoen, had deze niet groter mogen zijn dan $2,0 \cdot 10^{-10}$ m.s⁻¹. De onderzochte laag functioneert niet als afdichtingslaag.

3.1.2 Doorlaatfactor op het laboratorium

De doorlatendheidsmetingen in het laboratorium zijn een aanvulling op de infiltratiemetingen in het veld. De werkwijze tot aan het meten is volkomen identiek. De verschillen ontstaan door een beter te regelen watertoevoer en waterafvoer en door het vrij wegstromen van de doorvoer.

De kolommen zijn uiterst langzaam verzadigd met leidingwater door het niveau in het voorraadvat langzaam te laten stijgen. Na drie weken verzadigen was het gehele systeem gevuld met water en werd begonnen met de metingen (tabel 4). Deze zijn voortgezet tot een waterkolom van 1000 mm door de verschillende monsters was gestroomd.

Tabel 4 Verzadigde doorlatendheid (K) van afdichtingslagen en infiltratiecapaciteit bij gegeven drukhoogte gemeten in een laboratoriumopstelling als gemiddelde van 7 waarnemingen tijdens doorvoer van 1000 mm waterkolom

Proef- vak	Tijd (min)	Toevoer (cm ³ .etm ⁻¹)	Druk- hoogte (cm)	K(gem)		Infiltratie (mm.d ⁻¹)
				(cm.d ⁻¹)	(cm.s ⁻¹)	
A	10	49968	40,1	18,2	2,1.10 ⁻⁵	811
B	35	13348	40,6	17,8	2,1.10 ⁻⁴	217
C	10	51799	37,9	15,6	1,8.10 ⁻⁴	841
D	10	59575	36,5	13,5	1,6.10 ⁻⁴	968

De doorlatendheid, ook van de beste afdichtingslaag op proefvak B, is groot. De infiltratiecapaciteit is een factor 10 tot 100 te hoog, zodat de als afdichtingslaag bedoelde constructie niet voldoet aan de eisen.

3.2 Volumieke massa

De volumieke massa is een maat voor de verdichting. De afdichtingslagen bestaan vooral uit boorgruis, waarvan samenstelling van elke partij boorgruis anders kan zijn. Na het bepalen van de volumieke massa van de afdichtingslagen is onderzocht, welk gedeelte hiervan bestaat uit (niet te ontleden of te verbranden) steengruis. In tabel 5 zijn de natte en de droge volumieke massa van afdichtingslagen weergegeven en de volumieke massa van het niet te verbranden steengruis bij gloeien. In tabel 6 staat het vochtgehalte in volume % en de massaverliezen in percentages van de volumieke massa na drogen bij 105 °C.

Tabel 5 Volumieke massa (kg.m⁻³) van afdichtingslagen van boorgruis voor en na drogen en van steengruis na gloeien bij verschillende temperaturen en gestandariseerde tijden (uren)

Proefvak	Herkomst	Volumieke massa		Gloeien	
		nat	droog	500 °C/4uur	950 °C/2uur
A	veld	1313	870	784	626
	infiltr	1444	827	783	680
	lab	1452	823	785	686
B	veld	1595	1020	928	852
	infiltr	1531	940	897	834
	lab	1530	917	881	824
C	veld	1610	1077	985	829
	infiltr	1620	1059	1008	892
	lab	1548	975	940	835
D	veld	1634	1106	1010	784
	infiltr	1561	983	937	773
	lab	1502	901	867	718

De bemonstering is kort na de aanleg uitgevoerd. De onderverdeling naar "herkomst" in "veld", "infiltr" en "lab" betekent resp. dat monsters direct na de aanleg zijn genomen (veld), in het veld zijn genomen uit het materiaal waar doorheen langdurig water heeft gestroomd bij de doorlatendheidsbepaling (infiltr) en dat monsters zijn genomen uit de grote monsters, waaraan op het laboratorium de doorlatendheid is gemeten (lab).

De droge volumieke massa is laag en geeft aan dat de voorgenomen verdichting niet is geslaagd. Vermoedelijk is de vochtmassa tijdens de aanleg te hoog geweest, waardoor het materiaal niet was te verdichten. Uit het vooronderzoek is gebleken dat verdichting bij een vochtmassa van 12% (uitgedrukt in % van gedroogd boorgruis) een dichtheid van 1750 kg.m^{-3} kan worden bereikt. Daar de samenstelling van boorgruis sterk kan variëren, dient bij elke bepaling ook de soortelijke massa van boorgruis te worden bepaald, vooral als vaststaat dat er bariumzouten (grote soortelijke massa) aan zijn toegevoegd. De granulaire en de minerale samenstelling van boorgruis is niet bepaald, evenmin de soortelijke massa, waarvoor bij de berekening van de porositeit 2600 kg.m^{-3} is aangehouden. De vermelde porositeiten zijn minimale waarden.

Het poriënvolume direct na de aanleg van de afdichtingslaag is gemiddeld 60%. De grotere porositeit op proefvak A moet waarschijnlijk worden toegeschreven aan de grote kluiten die niet meer te verdichten zijn. De afdichtingslaag op de proefvakken B en C met bentoniet- en cementbijmenging (zie tabel 1) voelt erg nat aan bij het bemonsteren. De analyse geeft aan dat de afdichtingslaag op proefvak D ook nat is.

Tabel 6 Poriënvolume en vochtgehalte van afdichtingslagen met boorgruis voor en na veel water doorvoer (herkomst) en gewichtverlies (massa %) bij gloeien

Proefvak	Herkomst	Poriën volume ¹⁾ (vol.%)	Vochtgehalte 105 °C		Gewichtsverlies gloeien	
			(vol.%)	(massa %) ²⁾	bij 500 °C	bij 950 °C
A	veld	66,5	44,2	50,8	9,9	28,1
	infiltr	68,2	61,7	74,6	5,3	17,8
	lab	68,3	62,8	76,3	4,6	16,7
B	veld	60,8	57,5	56,4	9,0	16,4
	infiltr	63,8	59,1	62,8	4,6	11,3
	lab	64,7	61,3	66,9	3,9	10,1
C	veld	58,6	53,3	49,5	8,6	23,0
	infiltr	59,3	56,2	53,1	4,7	15,7
	lab	62,5	57,3	58,7	3,6	14,4
D	veld	57,5	52,8	47,7	8,7	29,1
	infiltr	62,2	57,8	58,8	4,7	21,3
	lab	65,3	60,1	66,7	3,8	20,3

¹⁾ berekend met soortelijke massa 2600 kg.m^{-3} ;

²⁾ vochtmassa, uitgedrukt in % van het droge materiaal.

In aanvullend onderzoek zijn monsterringen los gevuld met droog materiaal van de afdichtingslaag dat daarna werd verzadigd. Het losgepakt materiaal blijkt ongeacht de samenstelling een porositeit te bezitten van ca. 60%.

Het verschil in gewichtsverlies tussen de monsters met verschil in "herkomst" na gloeien tot 500 °C geeft aan dat tijdens de doorlatendheidsmeting ontleedbare (waarschijnlijk organische) materialen zijn uitgespoeld. Het percentage ontleedbare delen is in de monsters die in het veld direct na de aanleg zijn genomen, ca. 9%. Na de infiltratieproeven in het veld (infiltr) en de doorlatendheidsmetingen op het laboratorium (lab) is het gehalte van deze materialen afgenomen tot 4 à 5% (tabel 6).

Bij gloeien tot 950 °C verdampt kristalwater en ontleden verschillende zouten. Het verschil in gewichtsverlies na gloeien bij die temperatuur van monsters van de verschillende "herkomst", is in tabel 6 af te lezen dat door uitspoeling een hoeveelheid van 5 à 10% ontleedbare zouten en kristalwater zijn verdwenen. Van de afdichtingslagen met boorgruis kan 10-15% van het oorspronkelijk materiaal door uitspoeling verdwijnen.

Om een goede afdichtingslaag met boorgruis te construeren zal het vochtgehalte tijdens de aanleg moeten overeenkomen met het gehalte, waarbij een maximale verdichting kan worden bereikt. Voor gronden die overeenkomst tonen met het onderzocht boorgruis, ligt de optimale vochtmassa op ca. 15% (Beuving, 1979). Voor praktijktoepassingen wordt echter 1 tot 2% meer vocht aangeraden voor een intensieve verdichting. Onder die voorwaarden krijgen de aanwezige kleiplaatjes een horizontale oriëntatie en bewerkstelligen daardoor een zeer lage doorlatendheid (Hoeks et al., 1990).

3.3 Bentonietgehalte

Voor het berekenen van het bentonietgehalte uit de methyleenblauwmethode moet de hoeveelheid geabsorbeerde methyleenblauw voor ongemengd boorgruis bekend zijn. In deze proef was zulk materiaal niet beschikbaar. Daarom zijn waarden aangehouden die in ander onderzoek door CEBO zijn vastgesteld: voor "gemiddeld" boorgruis 17 ml/g, voor lipidur van 24 ml/g en voor bentoniet/cement (verhouding 2:1) 52 ml/g. Deze waarden zijn aangehouden bij de berekening van het bentonietgehalte van het boorgruis. De resultaten zijn in tabel 7 vermeld. Omdat niet absoluut zeker was dat de extra adsorptie van methyleenblauw daadwerkelijk door bentoniet is veroorzaakt, zal in het vervolg worden gesproken van een "equivalent" bentonietgehalte.

Uit tabel 7 blijkt, dat het equivalent bentonietgehalte betrekkelijk gering is. De mengsels boorgruis met 15% lipidur toevoeging bevatten volgens de berekening 5,2% en met 6% bentoniet/cement 3,1% "bentoniet". Het is niet duidelijk of de gehalten werkelijk zo laag zijn of dat te hoge waarden zijn aangenomen voor de methyleenblauwadsorptie van ongemengd boorgruis. Het verdient aanbeveling om bij andere toepassingen de metingen volgens voorschrift uit te voeren. Uit tabel 7 blijkt voorts dat het equivalent bentonietgehalte niet verandert na doorvoeren van grote hoeveelheden water. Hieruit mag worden geconcludeerd dat bentoniet niet uitspoelt.

Tabel 7 Hoeveelheid geadsorbeerde methyleenblauw (MB) en het equivalent bentonietgehalte van boorgruis dat steekvast is gemaakt door "lipidur" (A en D) of cementbentoniet toe te voegen (C en B)

Monster uit proefvak	Chloride (gehalte)	Herkomst	MB (ml/g)	Bentoniet gehalte (%)
A	laag	veld	21,1	5,25
		infiltr	20,8	5,13
		lab	21,1	5,25
		gemiddeld	21,0	5,21
D	hoog	veld	20,8	5,13
		infiltr	20,8	5,13
		lab	20,8	5,13
		gemiddeld	20,8	5,13
C	laag	veld	24,6	3,10
		infiltr	24,1	3,00
		lab	23,3	2,85
		gemiddeld	24,0	2,98
B	hoog	veld	25,2	3,21
		infiltr	26,0	3,37
		lab	24,1	3,00
		gemiddeld	25,1	3,19

3.4 Ontziling

3.4.1 Uitloogproef

Het verloop van de zoutuitspoeling is gemeten gelijktijdig met de doorlatendheid in het laboratorium. De totale hoeveelheid uitgestroomde vloeistof is gedurende de eerste twee meetperioden opgevangen. Daarin is aan het einde van elke periode de chlorideconcentratie bepaald. Deze concentratie weerspiegelt de gemiddelde concentratie in het effluent gedurende die meetperioden. De initiële concentratie is berekend met vgl. 2. Vervolgens is de concentratie van de volgende meting op t_2 berekend. De volgende metingen zijn verricht aan monsters vloeistof die zijn opgevangen, nadat een vooraf vastgestelde hoeveelheid vloeistof door de monsters is gestroomd. Uit de verhouding tussen volume vocht in een laag en de porositeit is het aantal keren berekend waarin het volume poriënwater is ververst. De gemiddelde concentratie in de uitloogvloeistof gedurende tijdsperiode t_1 tot t_2 is met de volgende formules te benaderen:

$$\frac{C}{C_0} = \left(\frac{uD}{C_0 V(t_2 - t_1)} \right) \left(e^{-\frac{v t_1}{uD}} - e^{-\frac{v t_2}{uD}} \right) \quad (5)$$

of:

$$\frac{C}{C_0} = \left(\frac{uD}{C_0 V(t_2 - t_1)} \right) (C_{t_1} - C_{t_2}) \quad (6)$$

Bij een ideale menging van de instromende vloeistof met het aanwezige poriënwater geldt voor het verloop van de concentratie:

$$\frac{C_t}{C_0} = e^{-\frac{v}{uD}} \quad (7)$$

Hierin is:

V = filtersnelheid (m.d⁻¹)

t = tijdsverloop vanaf begin proef (d)

u = porositeit (m³.m⁻³)

D = dikte monster (m)

C_t = concentratie op tijdstip t (mg l⁻¹)

C₀ = concentratie oorspronkelijk, berekend (mg l⁻¹)

In tabel 8 is het gemeten en berekend verloop van de zoutuitloging voor de verschillende monsters aangegeven en grafisch in figuur 3. Hieruit valt af te leiden dat de aannamen over het uitlooggedrag vrij goed voldoen, omdat het berekend uitlooggedrag goed overeenkomt met de gemeten uitloging. Na één keer verversen van het volume poriënwater is de concentratie in de poriën met ruim 60% afgenomen. Na 2,3 keer verversen is de concentratie met 90% afgenomen en na 5 keer verversen met meer dan 99%. Van een goed functionerende afdichtingslaag mag worden verwacht, dat de infiltratieverliezen door deze laag beperkt blijven tot max. 20 mm per jaar. Bij een afdichtingslaag van 0,25 m met een porositeit van 35%, zullen de hiervoor genoemde reducties in de zoutconcentraties optreden na resp. ca. 4, 5, 10 en 22 jaar. Deze emissie heeft geen gevolgen voor de kwaliteit van het drainagewater dat uit de afdeklag afkomstig is. Immers de infiltratieverliezen voegen zich bij het gestort materiaal.

3.4.2 Diffusieproef

Als gevolg van diffusie kan zout vanuit de afdichtingslaag migreren naar de bovenliggende drainagelaag. Dit proces verloopt afhankelijk van de concentratieverschillen en is voorts afhankelijk van het ontwerp en het functioneren van de drainage. In fig. 4a is het verloop van de concentratie in de vloeistof boven een boorgruismonster weergegeven. Van drie van de vier afdichtingslagen verschilt het initieel zoutgehalte niet erg veel. Dit komt tot uitdrukking in het verloop van de chlorideconcentratie in de vloeistof boven de monsters. Het monster afkomstig uit proefvak A heeft initieel een chlorideconcentratie die ongeveer de helft is van die in de overige monsters. Dit komt tot uitdrukking in de duidelijk lagere chlorideconcentratie in de bovenstaande vloeistof.

Tabel 8 Gemeten en berekend verloop van de relatieve chlorideconcentratie in het poriënwater na waterdoorvoer

Monster uit proefvak	Totaal aanwezig (ppm)	Aantal keren verversen	Verloop in concentratie	
			(fractie gemeten)	(fractie berekend)
A	2660	0,25	0,780	0,783
		0,54	0,580	0,584
		1,71	0,089	0,181
		4,16	0,006	0,016
B	10730	0,34	0,712	0,712
		0,80	0,295	0,451
		1,83	0,157	0,161
		4,43	0,028	0,012
		5,22	0,001	0,005
C	4507	0,28	0,750	0,756
		0,56	0,400	0,571
		1,97	0,310	0,139
		4,77	0,220	0,008
		8,42	0,008	0,000
D	7561	0,29	0,745	0,745
		0,59	0,585	0,555
		1,87	0,107	0,154
		4,55	0,002	0,011

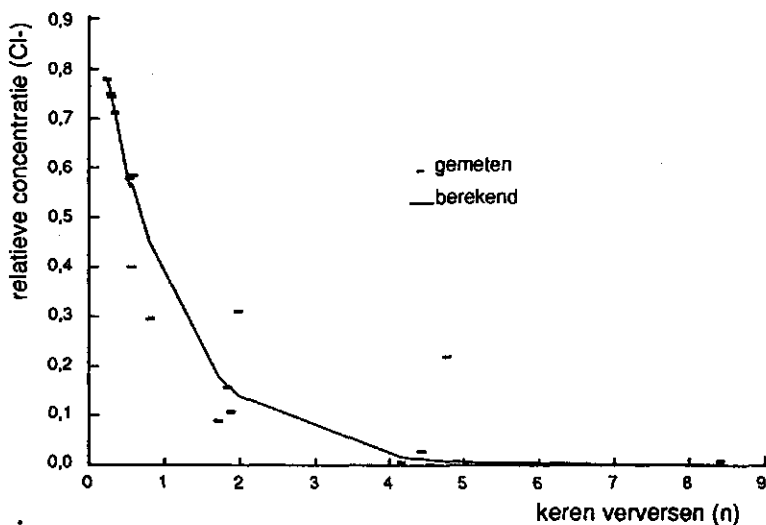


Fig. 3 Verloop gemeten en berekende relatieve chlorideconcentratie in poriënwater van boorgruis

De diffusiecoëfficiënt is berekend uit de toename van het chloridegehalte in de oplossing boven het boorgruis gedurende twee opeenvolgende bemonsteringsdata (fig. 4b). De variantie in de berekende coëfficiënt is waarschijnlijk veroorzaakt door een onvoldoende menging in de bovenstaande vloeistof. De temperatuur schommelde tussen 20 en 23 °C en is dus niet verantwoordelijk voor de variatie in de berekende diffusiecoëfficiënt.

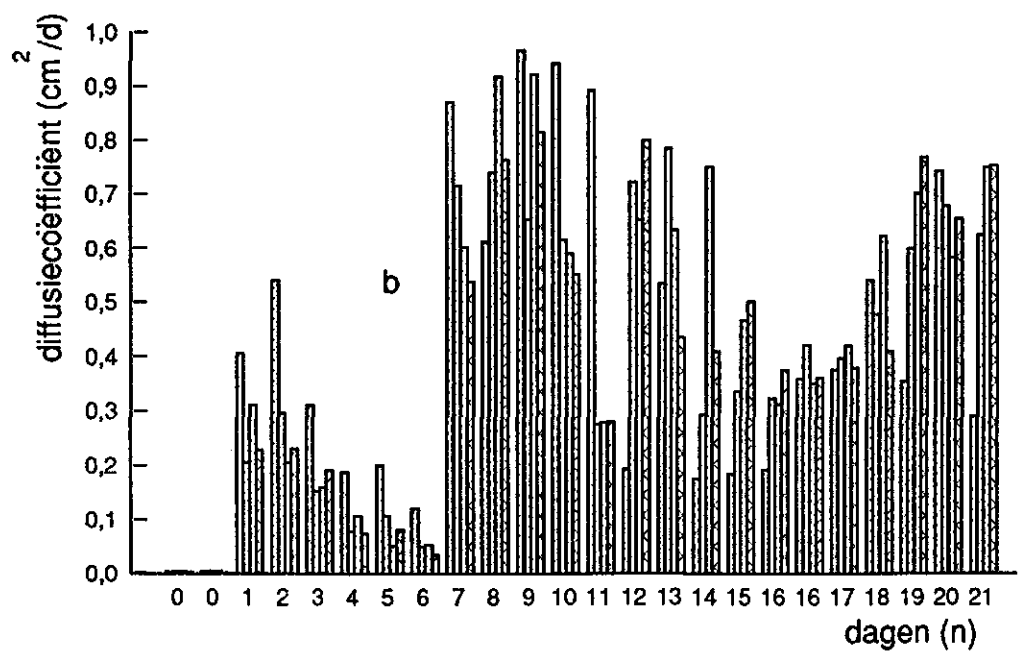
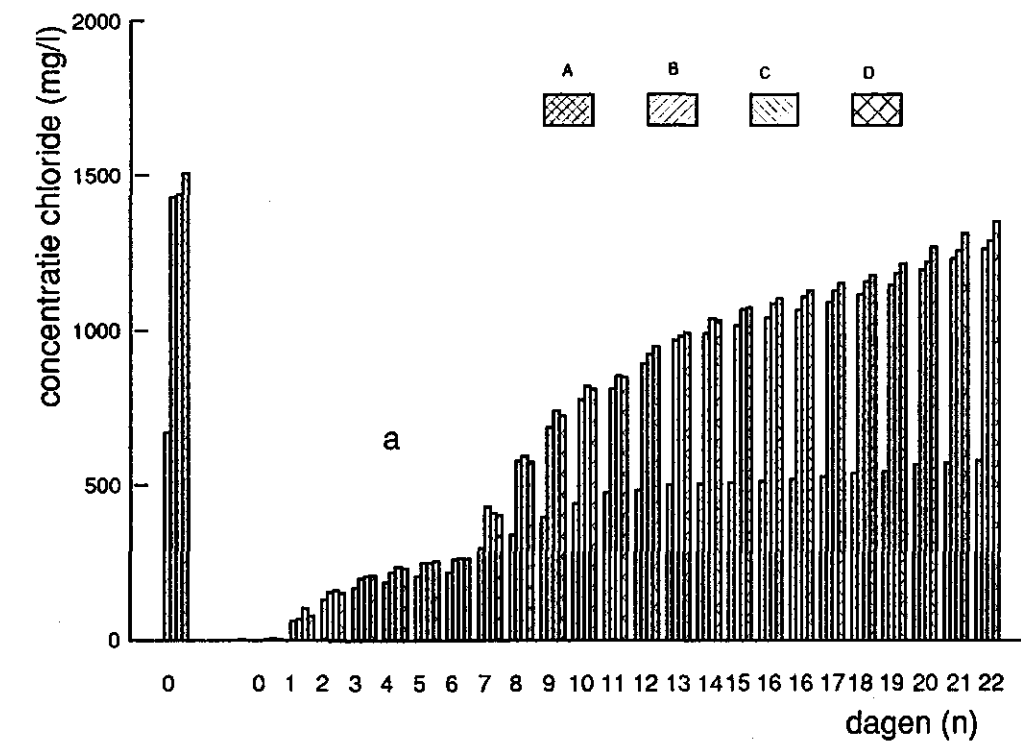


Fig. 4 Verloop zoutemissie uit proefmonster door diffusie (a), verloop diffusiecoëfficiënt in diffusie proef (b)

Bij de benadering van de invloed van zoutemissie uit de afdichtingslaag naar de bovenliggende drainlaag en de bepaling van de zoutconcentratie in het drainage water is uitgegaan van enkele vereenvoudigde aannamen:

- zouten die door diffusie in opwaartse richting worden verplaatst, komen alleen terecht in de verzadigde grond boven de afdichtingslaag (meest extreme situatie);
- in de verzadigde grond boven de afdichtingslaag vindt volledige menging plaats;
- zout verdwijnt uit de afdichtingslaag door infiltratie naar de ondergrond door infiltratie en door diffusie zowel naar de drainlaag als naar de ondergrond;
- de diffusiestroom naar de drainlaag is gelijk aan die naar de ondergrond;
- er is sprake van een stationaire toestand: de drainafvoer is gelijk aan het gemiddeld neerslagoverschot verminderd met de gemiddelde infiltratie door de afdichtingslaag naar de ondergrond;
- de afdichtingslaag en de drainlaag worden opgevat als compartimenten waarin concentraties uniform zijn.

Op grond van deze aannamen en vereenvoudigingen valt het verloop van de relatieve zoutconcentratie in het drainagewater te berekenen:

$$\frac{C_t}{C_0} = A (e^{D_1 t} - e^{D_2 t}) \quad (8)$$

Hierin is:

- C_t = zoutconcentratie in drainagewater op tijd t
- C_0 = zoutconcentratie in afdichtingslaag op tijd $t=0$
- A = constante
- $D_{1,2}$ = constanten

De constanten zijn gedefinieerd als:

$$A = -(u_a h H_a (D_2 - D_1) L_1 L_2) / (2D_0)$$

$$h = H_d / 4 + H_a / 2$$

$$D_1 = -(a_1 + a_2) / 2 + 0,5 \sqrt{\{(a_1 + a_2)^2 - 4(a_1 a_2 + a_3)\}}$$

$$D_2 = -(a_1 + a_2) / 2 - 0,5 \sqrt{\{(a_1 + a_2)^2 - 4(a_1 a_2 + a_3)\}}$$

$$L_1 = (D_2 + a_2) / (D_2 - D_1)$$

$$L_2 = -(D_1 + a_2) / (D_2 - D_1)$$

$$a_1 = (D_0 + (s - v)h) / (u_d h H_d)$$

$$a_2 = (2D_0 + vh) / (u_a h H_a)$$

$$a_3 = -2(D_0)^2 / (u_d h H_d u_a h H_a)$$

en de karakteristieken van de verschillende lagen als:

- u_a = effectieve porositeit afdichtingslaag (-)
- u_d = effectieve porositeit in de drainlaag (-)
- H_a = dikte afdichtingslaag (cm)
- H_d = gemiddelde dikte verzadigde zone boven afdichtingslaag (cm)
- s = gemiddeld neerslagoverschot (cm/d)
- v = gemiddelde infiltratie door afdichtingslaag (cm/d)
- D_0 = effectieve diffusiecoëfficiënt (cm².d⁻¹)

De dikte van de verzadigde zone wordt bepaald door de drainafstand, de doorlatendheid van de drainlaag, het neerslagoverschot en de infiltratie door de afdichtingslaag naar onderen. Bij de voorbeeldberekening is uitgegaan van een drainagesysteem dat is ontworpen volgens Hoeks et al., 1990. Hierbij geldt als criterium een opbolling midden tussen de drains van 0,3 m bij een drainafvoer van 10 mm per dag. Bij een neerslagoverschot van 2 mm per dag is uitgegaan van een gemiddelde waterdiepte boven de afdichtingslaag van 10 cm. De dikte van de afdichtingslaag is 25 cm en de effectieve porositeit van de afdichtingslaag is 0,35 en die van de drainlaag 0,43. De effectieve diffusiecoëfficiënt is in de diffusieproef bepaald. Hiervoor is een gemiddelde waarde van $0,4 \text{ cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ aangehouden.

Met deze gegevens is het verloop van de relatieve concentratie in het drainagewater bepaald (fig. 5).

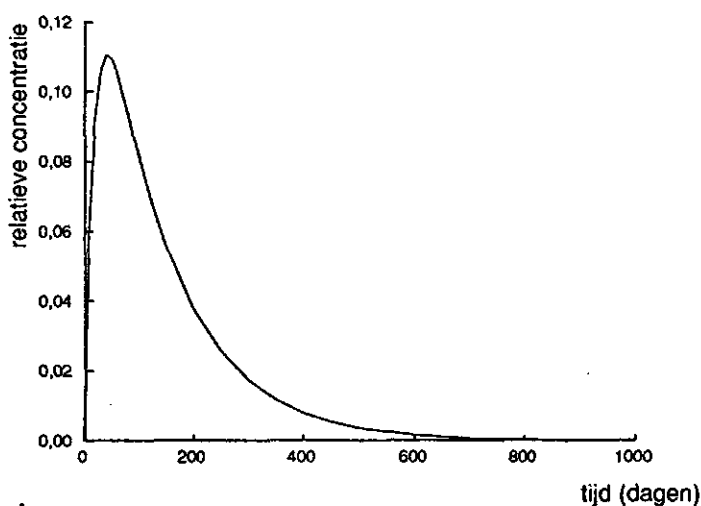


Fig. 5 Berekend verloop van de relatieve zoutconcentratie van drainagewater

Uit het berekend verloop van de relatieve zoutconcentratie van drainagewater uit de afdeklaag blijkt dat in het begin de concentratie snel stijgt tot ca. 10% van de concentratie die aanvankelijk in de afdichtingslaag werd aangetroffen. Na ongeveer een jaar is de concentratie teruggelopen tot minder dan 1% van de aanvankelijke zoutconcentratie in de afdichtingslaag. Na twee jaar is de relatieve concentratie minder dan 0,1%.

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Uit het onderzoek naar de bruikbaarheid van (zoet) boorgruis voor de constructie van afdichtingslagen op stortplaatsen is de verzadigde waterdoorlatendheid volgens in situ metingen zo hoog, dat niet van bovenafdichting kan worden gesproken. De oorzaak hiervan is dat het poriënvolume ca. 20% hoger is dan het volgens het vooronderzoek had moeten zijn. Waarschijnlijk als gevolg van een te hoge vocht-massa van het boorgruis tijdens de aanleg, kon het materiaal onvoldoende worden verdicht, waardoor het poriënvolume te groot is gebleven. Ook bevat het met "Lipidur" gestabiliseerde boorgruis te grote harde kluiten, waardoor plaatselijk de afdichtingslaag niet voldoende is te verdichten en "gaten" in de afdichting zijn ontstaan. Het chloridegehalte van het uitgangsmateriaal toont een grote spreiding mogelijk als gevolg van ontziling tijdens opslag, verwerking of transport. Boorgruis bevat 10-15% uitlogbare stoffen. Deze stoffen worden uitgeloozd afhankelijk van de hoeveelheid doorgevoerd water volgens het principe van homogene menging. Bij een afdichtingslaag van 0,25 m met een poriënvolume van 35% en een percolatieverlies van 20 mm per jaar is na ruim vier jaar de zoutconcentratie in het poriënwater met 60 % verminderd, na 10 jaar met 90% en na 22 jaar met 99%. De uitgeloozde zouten komen in het afval terecht, waar het ook terecht zou zijn gekomen als boorgruis als afval zou zijn gestort. Door diffusie kan aanvankelijk de zoutconcentratie in de vloeistof boven het boorgruis worden beïnvloed. Zo kan de chlorideconcentratie oplopen tot 1200 ppm als de aanvankelijke chlorideconcentratie in het poriënwater omstreeks 10 000 ppm is.

Het bentonietgehalte van het onderzochte boorgruis is relatief laag. Mogelijk is dit het gevolg van de aangenomen methyleenblauwadsorptie door het ongemengd boorgruis. Aanbevolen wordt om in voorkomende gevallen aanvullend onderzoek te doen om de juiste bentoniettoeslag te bepalen.

Zeër waarschijnlijk kan met boorgruis alleen een goede afdichtingslaag worden geconstrueerd als de vochtmassa tijdens de aanleg omstreeks 15% is op gewichtsbasis van het droge boorgruis, het materiaal homogeen is van samenstelling, geen grote kluiten bevat en een bentonietgehalte heeft, waarbij een voldoende zwelcapaciteit is verkregen en de benodigde plasticiteit is gewaarborgd.

Aanbevolen wordt om het vochtgehalte van boorgruis te verlagen door te persen, omdat daarmee tegelijkertijd een groot deel van de uitlogbare stoffen wordt verwijderd.

LITERATUUR

HOEKS, J., A.P. OOSTEROM, D. BOELS, J.F.M. BORSTEN, K. STRIJBIS en W. TER HOEVEN, 1990. *Richtlijnen voor ontwerp en constructie van eindafdekkingen van afval- en reststofbergingen*. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 91.

BOELS, D. en R. WIEBING, 1990. *Duurzame werking van zand-bentoniet afdichtingen in eindafdekkingen van stortplaatsen*. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 115.

NIET-GEPUBLICEEERDE BRONNEN

BEUVING, J., 1979. *Invloed van organische stof en lutum op de verdichtbaarheid en de mechanische sterkte van zand*. Wageningen, ICW. Nota 1076.

DONKERVLIET, R., 1991. *Boorgruis als afdichting voor vuilstortplaatsen*. IJmuiden, uitgave Cebo Holland BV. Scriptie als afstudeerverslag, Hogeschool Alkmaar, Sector Techniek-chemie.

WOELDERS, J.A., 1991. *Onderzoek naar het mengen van boorgruis, met een relatief laag chloridegehalte, met toeslagmaterialen, zodat een her te gebruiken produkt wordt verkregen, toepasbaar in de eindafdekking van het stort te Wijster ter vervanging van het zand/bentoniet-mengsel*. Wageningen, nota VAM.