

32/ucb(482) 2<sup>e</sup> ex

BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW

**Afdichtende functie van met waterglas geïmmobiliseerde  
afvalstoffen**

· D. Boels  
J. Beuving

**Rapport 482**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1996**



17 JAN. 1997

Ln 931878 ✓

## REFERAAT

Boels, D. en J. Beuving, 1996. *Afdichtende functie van met waterglas geïmmobiliseerde afvalstoffen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 482. 42 blz.; 4 fig.; 3 tab.; 9 ref.; 1 aanh.

De afdichtende werking van afdichtingslagen is onderzocht op de stortplaats Boeldershoek te Hengelo. De doorlatendheid volgens de *falling-head*-methode is bepaald aan ongestoorde monsters. De gemiddelde doorlatendheid van met waterglas geïmmobiliseerde mengsels van zuiveringsslib, zeefzand en vliegas is  $6,1 \cdot 10^{-10}$  m/s; van zuiveringsslib/papierslib, zeefzand en vormzand  $0,8 \cdot 10^{-10}$  m/s; en van mengsels van zuiveringsslib, zeefzand en koepelovenstof  $1,8 \cdot 10^{-10}$  m/s. Als deze mengsels worden toegepast in een laagdikte van 0,5 m, voldoen de doorlatendheden ruimschoots aan de referentieafdichtingen van zand-bentoniet.

Trefwoorden: bodemfysica, milieubescherming, vuilstortplaats

ISSN 0927-4499

©1996 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.  
Tel.: 0317-474200; telefax: 0317-424812.

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 DLO-Staring Centrum.

Project 7802

[Rap482.HM/10.96]

## Inhoud

	blz.
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Materiaal en methode	11
2.1 Monstername	11
2.2 Meetopstelling	11
2.3 Beoordelingscriterium, 'stand der techniek'	13
3 Werking waterglas	17
4 Resultaten	19
4.1 Dichtheid	19
4.2 Doorlatendheid	19
5 Beoordeling mengsels	23
Literatuur	27
<b>Tabellen</b>	
1 Droogvolumegegewicht en vochtgehalte van afzonderlijke monsters	19
2 Gemeten gemiddelde, minimum- en maximumdoorlatendheid	22
3 Scheurvorming onder invloed van deformatie en uitdroging	23
<b>Figuren</b>	
1 Schematische weergave van de geautomatiseerde laboratoriumopstelling voor doorlatendheidsmetingen aan grote monsters	12
2 Verloop doorlatendheid afdichtingslaag veld 1	20
3 Verloop doorlatendheid afdichtingslaag veld 2	21
4 Verloop doorlatendheid afdichtingslaag veld 4	21
<b>Aanhangsel</b>	
1 Doorlatendheid gemeten in triaxiaalcel door Siedek en Kügler, Essen	29

## Samenvatting

Op verzoek van BKB-Reststoffen Management BV te Dalfsen is de afdichtende functie van mengsels van met waterglas geïmmobiliseerde afvalstoffen gemeten. Daartoe zijn ongestoorde monsters gestoken op aselekt gekozen plekken op een proefveld dat op het stortterrein Boeldershoek te Hengelo is aangelegd. De doorlatendheid is gedurende 30 dagen volgens de 'falling head'-methode continu gemeten met behulp van een geautomatiseerd systeem. Voorts is aan de hand van resultaten van elders uitgevoerd onderzoek de geschiktheid van deze mengsels voor het maken van minerale-afdichtingslagen beoordeeld.

De gemiddelde doorlatendheid die gedurende de eerste 30 dagen werd gemeten, bedraagt  $6,1 \cdot 10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$  van mengsels van zuiveringsslib, zeefzand en vliegas (veld 4); van mengsels van zuiveringsslib/papierslib, zeefzand en vormzand (veld 2) is deze  $0,8 \cdot 10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$  en van mengsels van zuiveringsslib, zeefzand en koepelovenstof (veld 1) is de doorlatendheid gemiddeld  $1,8 \cdot 10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$ .

De afdichtende werking van deze mengsels, zeker als ze in bovenafdichtingen tot dikten van 0,5 m worden toegepast, is gelijkwaardig aan (veld 4) of is beter dan de referentie zand-bentonietafdichtingen (veld 1 en 2).

Uit elders uitgevoerd onderzoek is geconcludeerd dat deze mengsels beter bestand zijn tegen deformatie (rek) dan zand-bentonietmengsels. De chemische bestendigheid is groot, terwijl de omstandigheden waaronder deze mengsels in afdichtingslagen worden toegepast biologische aantasting lijken uit te sluiten.

De verwerkbaarheid met mengapparatuur is goed en ook zijn geen problemen tijdens het transport, het spreiden en verdichten van de mengsels gerapporteerd.

De mengsels van afvalstoffen kunnen in de geest van het Bouwstoffenbesluit worden opgevat als niet-vormgevende bouwstoffen, niet zijnde grond. Toepassing van zulke bouwstoffen is geoorloofd als toelaatbare grenzen van samenstellingswaarden van gehaltes aan organische stoffen niet worden overschreden en de immissie in de bodem van stoffen uit de bouwstof toelaatbare grenzen niet overschrijdt. De resultaten van het uitlogings- en emissieonderzoek zijn geëvalueerd aan de hand van de eisen die in het Bouwbesluit zijn genoemd (BKB, 1995a, deelrapport 1).

De kwaliteit van water dat uit drainbuizen afkomstig is die direct op de afdichtingslagen zijn aangelegd, voldoet aan de vereiste drinkwaterkwaliteit. Dit lijkt er op te duiden dat de normen voor immissie in de bodem niet worden overschreden.

## 1 Inleiding

Op verzoek van BKB-Reststoffen Management te Dalfsen, heeft SC-DLO de afdichtende werking van mengsels van met waterglas geïmmobiliseerde afvalstoffen gemeten. Voor deze afvalstoffen geldt recentelijk een stortverbod. Monsters van deze mengsels zijn afkomstig van een proefveld op de vuilstortlocatie 'Boeldershoek' te Hengelo.

Dit proefveld is aangelegd in het kader van de Tenderprocedure T2000 Immobilisatie 1993, door een samenwerkingsverband bestaande uit Verhoeve Milieu te Hummelo, Samenwerkingsverband Twente te Hengelo, AKZO-PQ Silica te Amersfoort en het ministerie van VROM, Den Haag (BKB, 1995a). NOVEM heeft het onderzoek begeleid en deels gefinancierd. BKB-Reststoffen Management heeft het onderzoek opgezet, begeleid en gecoördineerd.

De doelstelling van het project is de verontreiniging in de afvalstoffen te immobiliseren, waardoor ze nuttig kunnen worden toegepast. Voor de immobilisatie is waterglas toegepast. Daarbij is tevens een zeer geringe waterdoorlatendheid verkregen. Nagegaan is of zulke materialen ook bruikbaar zijn als vervanger van de minerale afdichting in afdichtingen van bijvoorbeeld vuilstortplaatsen. In Duitsland is waterglas reeds op grote schaal toegepast voor de afdichting van vuilstortplaatsen (Siedek en Kügler, 1995; Boels et al., 1993).

In afzonderlijke demonstratievelden zijn verschillende mengsels van afvalstoffen toegepast. Deze velden zijn aangelegd in juli 1994 en zijn om onderzoeksredenen afgedekt met ca. 0,6 m grond. Gedurende de onderzoeksperiode hebben zich extreme situaties voorgedaan: een extreem droge situatie gedurende de hete zomers van '94 en '95, extreem natte situaties in de winter en voorjaar '94/'95 en een extreem koude periode in de strenge winter '95/'96.

De vereiste samenstelling van de mengsels en de benodigde waterglastoetslag is vooraf vastgesteld (BKB, 1995a).

De laagopbouw is van onderen naar boven (Siedek en Kügler, 1995):

- verdichte ondergrond, 95-97% Proctordichtheid;
- twee lagen met waterglas verrijkte mengsels van ieder 0,25 m en gescheiden door een wapening van een polyaramideweefsel (TWARON-R). Drains zijn direct op de bovenste afdichtingslaag aangelegd i.v.m. de meting van de invloed van emissie van stoffen uit de afdichtingslaag op de kwaliteit van het drainagewater;
- een laag van 0,10 m zeer fijn zand;
- een drainlaag van 0,30 m;
- een laag teelaarde van 0,20 m.

In 1996 hebben Siedek en Kügler de doorlatendheid van de afdichtingslagen opnieuw bepaald aan geroerde monsters met behulp van een triaxiaalcel (bijlage 1) en SC-DLO aan ongeroerde monsters.

In dit rapport worden de resultaten van beide type doorlatendheidsmetingen gepresenteerd. In hoofdstuk 2 is een beschrijving gegeven van de meetmethode en van de criteria voor de beoordeling van minerale afdichtingsmaterialen. In hoofdstuk 3 zijn achtergronden van de werking van waterglas toegelicht. Resultaten van de gemeten droogvolumegewichten en de doorlatendheid van monsters uit de demonstratievelden zijn in hoofdstuk 4 gegeven. In hoofdstuk 5 is een voorlopige geschiktheidsbeoordeling gegeven van de onderzochte mengsels op grond van de gemeten doorlatendheid en gerapporteerde resultaten van elders uitgevoerd onderzoek.

## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Monstername

Drie locaties zijn aselekt gekozen. De grondlagen boven de afdichtingslaag zijn verwijderd. Ongeroerde monsters worden verkregen door in de afdichtingslaag een grondkolom te prepareren. Daartoe wordt een sleufje gegraven in de afdichtingslaag rondom een ronde mal. De 'ruwe' grondkolom is vervolgens met behulp van een snijkop (diameter ca. 28 cm) op de gewenste diameter gebracht. Rond deze grondkolom is een monsterring geplaatst met een diameter van 30 cm. De ruimte tussen de grondkolom en monsterring is met vloeibaar gemaakte paraffine gevuld, waardoor het monster in de ring is gefixeerd. Deze paraffine laag voorkomt randlekkages. De bovenste laag van ca. 1 cm van het monster is verwijderd en de vrijgekomen ruimte is opgevuld met filterzand, waarna de afdekplaat is aangebracht. Met een spade zijn monster en monsterring uit de afdichtingslaag gegraven. Het monster is omgekeerd en recht met de rand van de monsterring afgesneden, waarna de tweede afdekplaat is aangebracht en verzegeld. Op het laboratorium zijn de afdekplaten verwijderd en is het monster in de meetopstelling ingebouwd.

### 2.2 Meetopstelling

De meetopstelling bestaat uit een roestvrij stalen monsterring met een binnendiameter van 0,30 m en een hoogte van 0,10 m. Zowel aan de onder- als bovenzijde van het monster is een poreus filterblok aangebracht. In het monster zijn drukopnemers aangebracht: onder het filterblok en op 3 en 7 cm boven de onderzijde van het monster. Een microprocessor stuurt het openen van een kraan als het niveau in de meetburet onder een bepaalde waarde is gedaald. De meetburet wordt dan gevuld tot een vooraf ingesteld niveau, waarna de kraan weer wordt gesloten. Het niveau in de meetburet wordt gemeten via de drukopnemer onder het filterblok dat onder het monster is aangebracht. De infiltratiesnelheid van water in het monster wordt berekend uit de daling van het niveau in de meetburet, de daarvoor benodigde tijd en de natte doorsnede van de meetburet. De 'Darcy'-flux wordt bepaald door deze hoeveelheid te delen door het oppervlak van de dwarsdoorsnede van het monster. Aangezien op twee niveaus in het monster de waterspanning continu is gemeten, is gedurende elke tijdstap de hydraulische gradiënt bekend. De doorlatendheid gedurende een zekere periode wordt verkregen door de 'Darcy'-flux te delen door de gemiddelde gradiënt in die periode. De proeven zijn uitgevoerd bij 23°C. De gemeten doorlatendheid is herleid tot een doorlatendheid bij 10°C op basis van de verhouding van de viscositeit van water bij deze twee temperaturen (verhouding van de viscositeit bij 23 °C en bij 10 °C is 0,695):

$$K_{10} = \frac{\eta_{23}}{\eta_{10}} K_{23}$$

Hierin is:

- $K_{10}$  - doorlatendheid bij 10 °C ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )
- $\eta_{10}$  - viscositeit van water bij 10 °C ( $\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ )

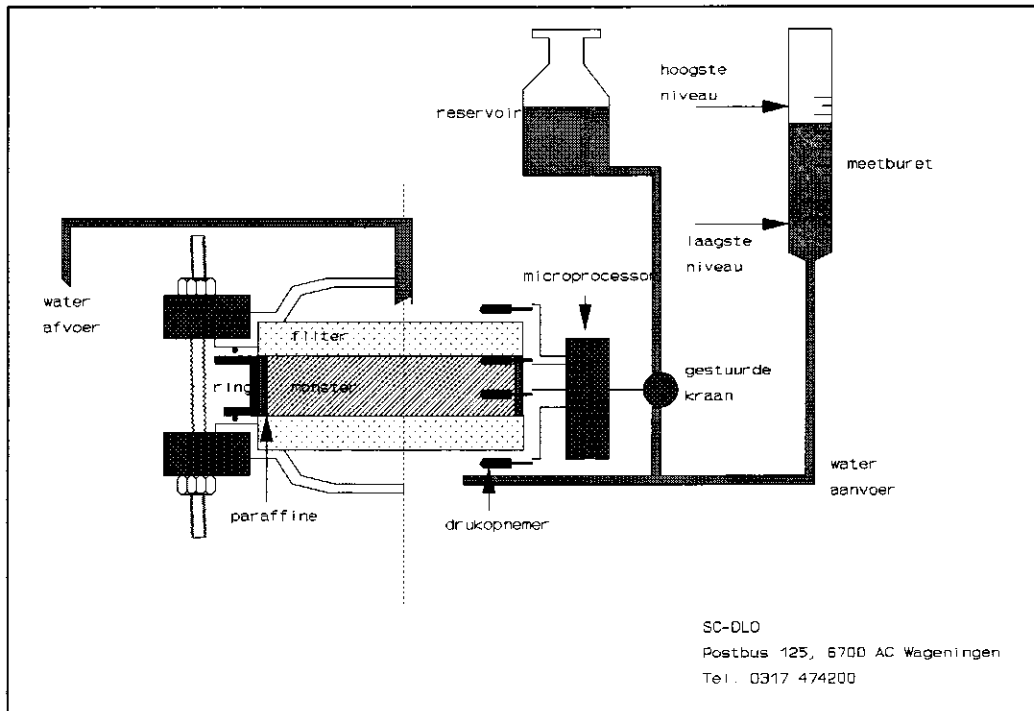


Fig. 1 Schematische weergave van de geautomatiseerde laboratoriumopstelling voor doorlatendheidsmetingen aan grote monsters

De watertoevoer naar het monster gebeurt vanuit de buret. Het niveau in de meetburet en de waterspanning ter plaatse van de verschillende drukopnemers is met bepaalde tijdsintervallen geregistreerd (1-6 uur).

De doorlatendheid gedurende twee opeenvolgende meettijdstippen is afgeleid uit de metingen volgens:

$$K_{t \rightarrow t+\Delta t} = \frac{z_2 - z_1}{\Delta t} \frac{A_b}{A_m} \text{Ln} \left( \frac{H_{2,t} - H_{1,t}}{H_{2,t+\Delta t} - H_{1,t+\Delta t}} \right)$$

Hierin is:

- $z_i$  - hoogte drukopnemer  $i$  t.o.v. referentievlak (m)
- $A$  - oppervlak dwarsdoorsnede,  $b$  = buret;  $m$  = monster ( $\text{m}^2$ )
- $H_{i,t}$  - drukhoogte, gemeten op tijdstip  $t$ , met drukopnemer  $i$  (m  $\text{H}_2\text{O}$ )
- $\Delta t$  - tijdsduur tussen twee opeenvolgende metingen (s)



### ***Droogvolumegegewicht***

Tijdens de installatie van de meetopstelling zijn monsters van 100 cc inhoud gestoken voor de bepaling van het droogvolumegegewicht. Het droogvolume-gewicht en het vochtgehalte is bepaald door de monsters gedurende 24 uur te drogen bij een temperatuur van 105 °C. Uit het verschil in gewicht vooraf en na droging wordt de vochtinhoud gevonden en uit het verschil in gewicht van de ring plus gedroogd monster en het gewicht van de monsterring is het gewicht van het grondmonster verkregen. Deling van dit gewichtsverschil door het volume van de monsterring, levert het droogvolumegegewicht.

### **2.3 Beoordelingscriterium, 'stand der techniek'**

Afdichtingen van afval- en reststofbergingen dienen in principe vloeistofdicht te zijn en deze eigenschap 'eeuwigdurend' te behouden. Zolang nog geen materialen en constructiemethoden beschikbaar zijn om aan deze eis te voldoen, wordt volstaan met een afdichting die volgens de 'stand der techniek' haalbaar is. In de Richtlijnen, behorend bij het Stortbesluit van 1993, is deze 'stand der techniek' beschreven als een referentieafdichting bestaande uit een minerale afdichting en een folie (combinatieafdichting). Op basis van toen ter beschikking staande resultaten van onderzoek is een ontwerpcriterium voor minerale afdichtingslagen afgeleid.

Bovenafdichtingslagen voor afval- en reststofbergingen worden ontworpen voor een situatie waarbij aan de bovenzijde een drukhoogte van 50 mbar en aan de onderzijde een onderdruk van 50 mbar wordt aangetroffen. Afhankelijk van de eigenschappen van het materiaal moet voor die situatie een laagdikte worden gekozen waarbij per dag hooguit 0,0001 m infiltreert (Hoeks et al., 1991). De doorlatendheid van een minerale afdichtingslaag van 0,25 m moet dus kleiner zijn dan  $2,3 \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Indien dikkere of juist dunnere lagen worden toegepast, mag de doorlatendheid respectievelijk groter of moet evenredig geringer zijn.

Voor onderafdichtingsconstructies geldt dat bij een combinatieafdichting de lekverliezen beperkt blijven tot minder dan 5-10 mm per jaar. Voor ontwerpdoeleinden moet worden uitgegaan van een drukhoogte van 50 mbar aan de bovenzijde van de laag en een onderdruk van 30 mbar aan de onderzijde. Onder die condities moet volgens de 'Richtlijn onderafdichtingsconstructies voor stort- en opslagplaatsen' (Ter Hoeven en Sluimer, 1993; Boels, 1993), de infiltratie naar de ondergrond beperkt blijven tot 0,02 m per jaar. De doorlatendheid van een minerale laag van 0,5 m moet in dit geval geringer zijn dan  $2,4 \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Beoordeling van de afdichtende waarde van een afdichtingslaag vindt plaats aan de hand van twee criteria: de gemeten infiltratiesnelheid bij condities die overeenkomen met de ontwerpcondities en de doorlatendheid van het materiaal. Als bij een drukhoogte boven de afdichtingslaag van 50 mbar, de infiltratiesnelheid onder de toegestane grenswaarde blijft ( $0,0001 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$  bij bovenafdichtingen en  $0,000055 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$  bij onderafdichtingen), functioneert de afdichtingslaag voldoende. Als controle en verificatie van de testcondities dient dan nog de doorlatendheid.

Overigens dient een afdichtingslaag aan verscheidene criteria te voldoen.

#### ***Mechanische stabiliteit***

De afschuifweerstand moet voldoende groot zijn om afschuiving op hellingen van 1 : 2 te voorkomen. Het is echter raadzaam om een stabiliteitsanalyse uit te voeren voor lange steile hellingen. Onderafdichtingen worden statisch belast tot ca. 1 MPa. Als een afdichtingslaag uitdroogt, kan krimp optreden. Na herbevochtiging dient deze krimp weer te worden opgeheven (reversibiliteit). In bovenafdichtingen en op zettingsgevoelige gronden, kunnen trekspanningen in de afdichtingslaag ontstaan. Scheurvorming is daardoor waarschijnlijk. Het materiaal dient voldoende herstelvermogen te bezitten of moet rek kunnen ondergaan zonder daarbij te scheuren. In de Richtlijnen treft men hiervoor de eis aan van een zekere plasticiteit. De later opgestelde CUR-aanbeveling 33 stelt echter geen eisen aan plasticiteit.

#### ***Thermische stabiliteit***

In afval dat nog organisch materiaal bevat kan de temperatuur tijdelijk oplopen tot 70 °C. Aangenomen is dat gedurende enkele jaren de temperatuur tussen 30 en 40 °C zal liggen. De materialen in de afdichtingslaag dienen hiertegen bestand te zijn.

#### ***Chemische stabiliteit***

Het afdichtingsmateriaal kan gedurende de aanleg tijdelijk in contact komen met zuurstof en worden blootgesteld aan zonlicht (inclusief UV). Na aanleg kan het in contact komen met vuilstortpercolaat. Het materiaal dient zijn functie onder invloed van deze factoren te behouden.

#### ***Biologische stabiliteit***

Het milieu voor microbiologische omstandigheden waaronder eventuele aantasting van de afdichtingslagen zou kunnen optreden, kan worden gekarakteriseerd met een pH tussen 4,5 en 7, een temperatuur tussen 15 en 40 °C en een anaërobe toestand. Onder die omstandigheden mag het afdichtingsmateriaal niet worden gewijzigd of afgebroken door (micro)biologische activiteiten.

#### ***Procesmatige verwerkbaarheid***

Het materiaal moet probleemloos kunnen worden verwerkt in elke processtap van mengen, vervoeren, spreiden en verdichten. Er mogen geen kluiten ontstaan, en het materiaal mag niet blijven kleven aan de verwerkingsapparatuur of -werktuigen.

#### ***Controle op samenstelling***

De samenstelling van het afdichtingsmateriaal moet via steeksproefgewijze analyse gecontroleerd kunnen worden. Op het werk kent men de ingangscntrole, waarmee beoogd wordt dat de in de bestekken genoemde kwaliteit ook daadwerkelijk is geleverd. Indien geen eenvoudige bepalingmethoden beschikbaar zijn, zal de leverancier via een product-certificering de kwaliteit moeten garanderen.

### ***Speciale voorzieningen tijdens aanleg afdichtingslagen***

Indien er tijdens de aanleg van afdichtingslagen speciale voorzieningen getroffen moeten worden, is de mogelijkheid om deze te treffen een criterium voor de bruikbaarheid van deze materialen.

### ***Milieubelastende componenten, toxiciteit***

Materialen in afdichtingslagen zullen moeten voldoen aan het Bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewaterbescherming (Besluit van 23 november 1995), zodra dit volledig in werking is. Dit besluit maakt onderscheid tussen bouwstoffen die geen grond zijn en grond. De mengsels moeten als bouwstof worden opgevat omdat het geen grond is. Bij gebruik van bouwstoffen geldt onder meer (niet letterlijk overgenomen):

Artikel 1, lid 1j:

*categorie-1 bouwstof*: een bouwstof waarin samenstellingswaarden voor organische stoffen aangegeven grenzen niet overschrijden en waarvan de immissie in de bodem van verschillende stoffen de maximale grens niet overschrijdt bij afwezigheid van isolatiemaatregelen;

*categorie-2 bouwstof*: een bouwstof waarvan de samenstellingswaarden voor organische stoffen gegeven grenzen niet overschrijden en op zodanige wijze worden gebruikt, dat de maximale immissie in de bodem alleen met behulp van isolatiemaatregelen niet wordt overschreden.

Artikel 7, lid 1:

Het gebruik van bouwstoffen in of op de bodem is verboden als:

- één of meer samenstellingswaarden voor genoemde organische stoffen wordt overschreden;
- de immissie in de bodem van aangegeven stoffen wordt overschreden;
- de wijze waarop de immissie in de bodem wordt bepaald, wordt of is reeds in of voortvloeiend uit het bouwstoffenbesluit (wettelijk) geregeld;

Artikel 9, lid 1:

De gehalten van speciaal genoemde organische stoffen moeten zijn bepaald door een door de minister aangewezen instantie;

Artikel 9, lid 2:

De bepaling van de samenstelling van de bouwstof volgens bepaalde methoden heeft plaatsgevonden:

- NEN 7300 voor monsternamen;
- NEN 7310 voor de voorbereiding;
- NEN 7330 voor analyse van de organische stoffen.

Artikel 9, lid 4:

De immissie van anorganische stoffen in de bodem dient te zijn bepaald door een instantie die de minister aangewezen;

Artikel 9, lid 5:

Bij de bepaling van de immissie dient rekening te worden gehouden met de wijze waarop een bouwstof wordt gebruikt, eventueel rekening houdend met genomen isolatiemaatregelen. De te gebruiken methoden zijn voorgeschreven:

- NEN 7300 voor monsternamen;
- NEN 7310 voor monstervoorbereiding;
- NEN 7340 voor bepaling uitloging in laboratorium;
- NEN 7320 voor analyse anorganische stoffen in eluaat;
- berekening emissie in de bodem door uitloging van vormgevende en niet-vormgevende bouwstoffen. Voor niet-vormgevende bouwstoffen is de immissie een functie  $I_b$ , die wordt uitgedrukt in  $E_{gem(L/S=10)}$ ,  $a$ ,  $h$  en  $f_{ext,n}$ .

Hierin is:

- $I_b$  = berekende immissie in de bodem ( $mg.m^2$ );
- $E_{gem(L/S=10)}$  = uitloging in laboratorium bepaald ( $mg.m^2$ );
- $a$  = correctie voor laboratoriumuitloging t.b.v. praktijk;
- $h$  = grootste hoogte waarin bouwstof in werk wordt aangebracht (minimaal 0,2 m)
- $f_{ext,n}$  = factor voor extrapolatie van de uitloging op basis van een kortdurende laboratoriumproef naar uitloging over 100 jaar, voor toepassing met en zonder isolatiemaatregelen.

Artikel 12 en 13 regelen hoeveel van bepaalde bouwstoffen minimaal moeten worden verwerkt. Niet duidelijk is of er minimale hoeveelheden zijn voorgeschreven voor het gebruik van categorie-1 bouwstoffen, niet zijnde grond.

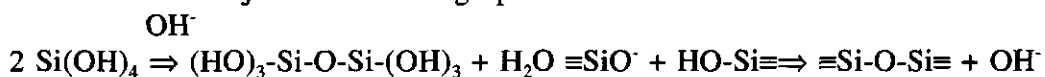
### 3 Werking waterglas

Waterglas is een verzamelnaam voor in water oplosbare alkalisilicaten (Na- of K-) die worden verkregen door kwartszand en alkalicarbonaat in bepaalde verhoudingen te smelten bij 1500°C. Chemisch worden alkalisilicaten gedefinieerd door de verhouding SiO<sub>2</sub>/MeO, waarin Me staat voor Na<sub>2</sub> of K<sub>2</sub> (Belouschek en Novotny, 1989; Boels et al., 1993). Waterglas is zowel in vloeibare vorm als in poedervorm verkrijgbaar.

De pH van waterglas in vloeibare vorm is hoog en hangt af van de concentratie en de verhouding tussen SiO<sub>2</sub> en MeO: bij 25 g per 1000 gr water is de pH 11 voor natrium-waterglas bij een verhouding 3,27 en bij een verhouding 1,6 is de pH 12,5; bij 100 gr. per 1000 gr water is de pH respectievelijk 11,3 en 12,7 (opgave AKZO-PQ Silica, Amersfoort).

In oplossingen van alkalisilicaten worden twee fracties onderscheiden: de werkelijk opgeloste moleculen (Na- of K-ionen, hydroxide-ionen en silicaat-ionen: SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup>) en de colloïdale fractie. Bij pH > 3,5 is het oppervlak van de colloïden negatief geladen en zijn in staat om positief geladen kationen en polaire stoffen te absorberen. De oppervlaktelading is pH-afhankelijk.

Het monosilicazuur is instabiel en kan polymeren vormen. belangrijk daarbij zijn de reacties waarbij water wordt afgesplitst:



Bij pH-waarden lager dan 9 neemt de polymerisatie sterk toe en ontstaan silicaatstructuren. Deze kunnen tot kiezelzuurdeeltjes reageren die nog een reactief oppervlak bezitten waarop verdere condensatiereacties mogelijk zijn. de reactie verloopt via de vorming van een sol naar een gel. In de gel zijn de silica-atomen via een zuurstofbrug onderling gebonden. Deze bruggen strekken zich in alle richtingen uit waardoor een driedimensionaal netwerk kan ontstaan waarbinnen watermoleculen zijn ingesloten. Gelvorming wordt sterk bevorderd onder invloed van aardalkalimetalen, vooral calcium en magnesium en di- en trivalente metaalionen, bijvoorbeeld ijzerzouten. Daarbij kunnen onoplosbare metaalsilicaten ontstaan. Gelvorming kan ook worden veroorzaakt door organische zuren of verbindingen (bijvoorbeeld esters), die bij ontleding zuren vormen. De tijdsduur voor de vorming van een gel uit een waterige oplossing is pH- en concentratieafhankelijk. In het pH-traject tussen pH 5 en 8 is gelvorming vrijwel momentaan. Vertraging van de gelvorming is mogelijk bij een zuurgraad tussen ph 2 en 5 en pH 8 en 10.

Kiezelzuursolen en -gelen zijn chemisch stabiel in contact met vuilstortpercolaat (BKB, 1995a). Stoffen uit dit percolaat kunnen via chemisch-fysische processen zoals ionenuitwisseling en complexvorming worden gebonden. Deze adsorptie-eigenschappen komen overeen met die van de zogenaamde actieve klei-mineralen. Organische verbindingen met hydrofiele functionele groepen (-OH, -COOH, -NH<sub>2</sub>) kunnen via de vorming van waterstofbruggen met silanol-groepen (SiOH-) aan het

oppervlak van kiezelzuursolen en -gelen worden gebonden. Krimp (syneresis) van kiezelzuursolen en -gelen is op grond van de compacte coagulatiestructuur uitgesloten (Calmano en Förstner, 1995).

## 4 Resultaten

### 4.1 Dichtheid

Tijdens de bemonstering zijn op 19 maart 1996 afzonderlijke monsters gestoken in de afdichtingslaag op de velden 1, 2 en 4 voor de bepaling van het vochtgehalte en het (droog)volumegewicht. Van de monsters waaraan de doorlatendheid is gemeten, is het droogvolumegewicht en het vochtgehalte aan het einde van de meting bepaald. Tabel 1 geeft de resultaten.

Tabel 1 Droogvolumegewicht en vochtgehalte van afzonderlijke monsters

Veld	Samenstelling	Droogvolumegewicht (kg.m <sup>-3</sup> )		Vochtgehalte (% M/M)	
		19/03/96	20/08/96	19/03/96	20/08/96
1	zuiverings- papierslib zeefzand koepelovenstof	1078	1057	39,8	41,9
2	zuiveringsslib zeefzand vormzand	1306	1235	29,8	38,4
4	zuiveringsslib zeefzand vliegas	1160	1129	36,7	43,5

Uit de vochtmetingen kan worden afgeleid dat het volume poriën in de afdichtingslaag op veld 1 niet significant is veranderd (van 0,43 naar 0,44 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>). Deze toename is echter wel significant voor de monsters met vormzand (bevat nog enkele procenten actieve bentoniet) en vliegas. De veranderingen zijn respectievelijk van 0,39 tot 0,47 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup> en van 0,43 tot 0,49 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>.

Wegens het ontbreken van gegevens over de proctordichtheid, kan niet worden aangegeven welke relatieve dichtheid de beproefde monsters hebben.

### 4.2 Doorlatendheid

Met behulp van het geautomatiseerde meetsysteem is aanvankelijk de geïnfiltreerde hoeveelheid water en de waterspanning op verschillende niveaus in de monsters met tijdsintervallen van één uur gemeten. Later is de meetfrequentie verlaagd tot één meting per drie en zes uur. De metingen van de doorlatendheid aan monsters uit de velden 1, 2 en 4 is in de figuren 2 t/m 4 weergegeven.

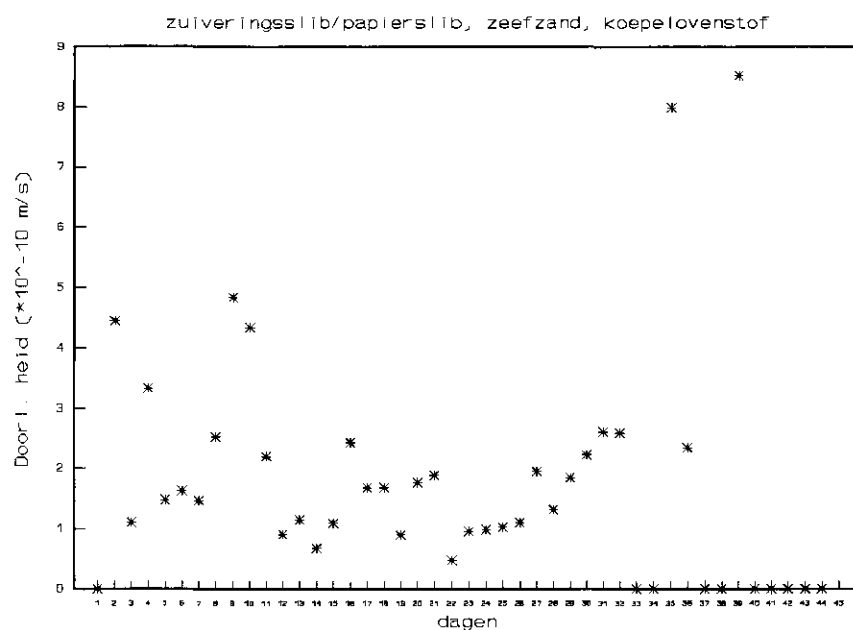


Fig. 2 Verloop doorlatendheid afdichtingslaag veld 1

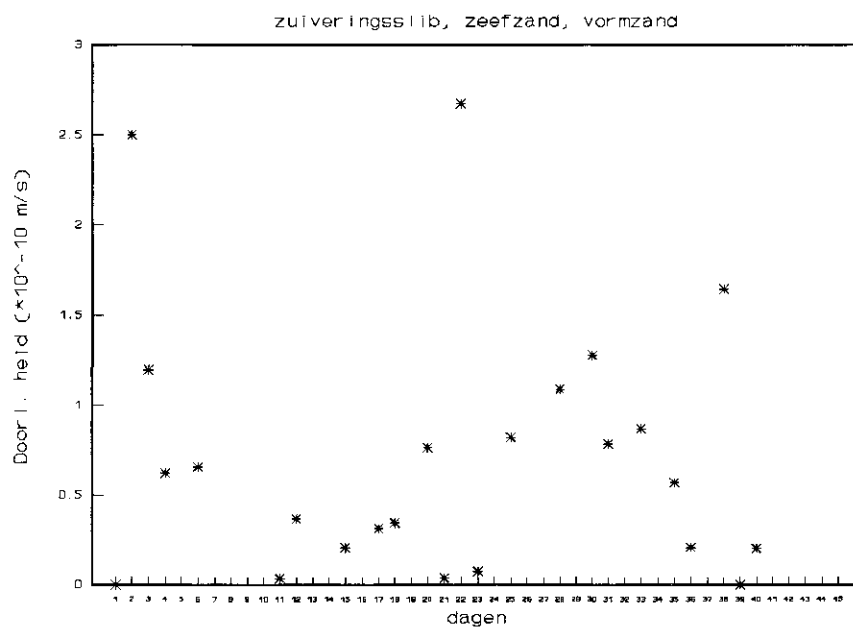


Fig. 3 Verloop doorlatendheid afdichtingslaag veld 2

De doorlatendheid van de monsters toont een zekere variatie. Deze kan deels worden toegeschreven aan een gasontwikkeling in de monsters, en deels aan geringe schommelingen in de barometrische druk, omdat de meting bij een beperkte overdruk (50 mBar) wordt uitgevoerd. Monsters zijn nooit volledig verzadigd met water. Een gering deel van de poriën is met gas gevuld. Het volume van dit gas varieert door



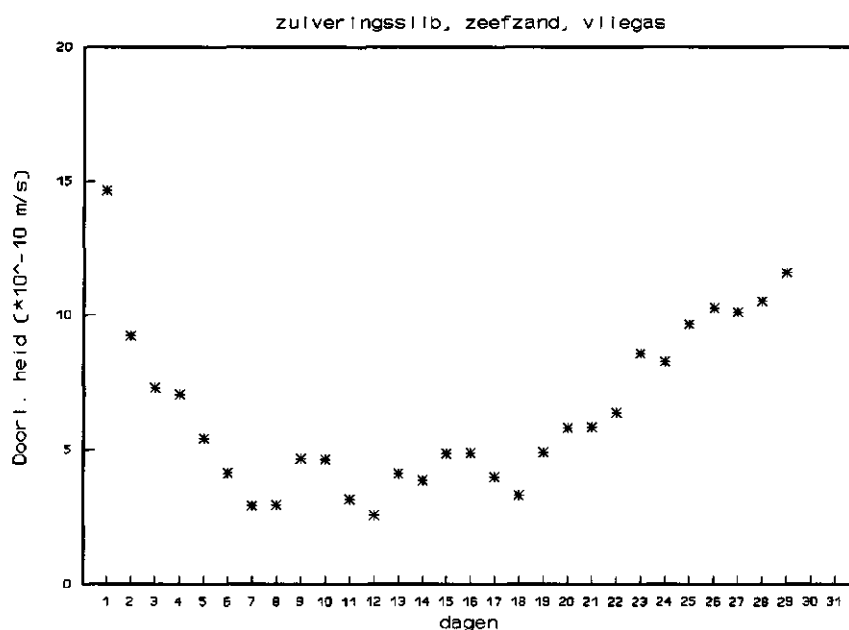


Fig. 4 Verloop doorlatendheid afdichtingslaag veld 4

schommelingen in de temperatuur en de externe druk. De infiltratiesnelheid neemt af bij stijgende temperatuur en dalende barometrische druk en neemt juist toe bij dalende temperatuur en stijgende barometrische druk. Tegelijkertijd verandert echter ook de hydraulische gradiënt, die in het eerste geval geringer wordt en in het tweede geval groter. De variaties in de doorlatendheid zoals die worden gemeten blijven daardoor beperkt, maar zijn niet verwaarloosbaar klein.

Het verloop van de doorlatendheid van de monsters gedurende verschillende meetperioden is in tabel 2 weergegeven. De doorlatendheid van de mengsels uit veld 1 en 2 tendeert naar afname in de tijd. De minimumwaarden worden geringer. De toename van de doorlatendheid van het mengsel uit veld 4 kan niet worden verklaard.

Aan de testvloeistof is 'Fluorescent Brightener 28' van SIGMA toegevoegd ter controle op eventuele randlekkages ( $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Deze stof geeft in een bepaald UV-spectrum een gele fluorescentie. Na afloop van de doorlatendheidsmeting is de verdeling van dit fluorescente materiaal beoordeeld. Gebleken is dat ook in de monsters fluorescente stoffen voorkomen die nauwelijks te onderscheiden zijn van de toegevoegde fluorescente stof. Daarom kan niet met zekerheid worden beweerd dat geen randlekkages zijn opgetreden. In het effluent zijn echter geen sporen van het fluorescente materiaal aangetroffen, hetgeen er op duidt dat er geen significante randlekkages zijn voorgevallen.

Tabel 2 Gemeten gemiddelde, minimum- en maximumdoorlatendheid ( $\cdot 10^{-10} m.s^{-1}$ )

Veld	Periode								
	1 t/m 5			6 t/m 10			11 t/m 30		
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
1	zuiverings/papierslib, zeefzand, koepelovenstof								
	1,1	2,6	3,3	0,9	3,0	4,8	0,5	1,4	2,6
2	zuiveringslib, zeefzand, vormzand								
	0,6	1,4	2,5	0,7	0,7	0,7	0,0	0,7	2,7
4	zuiveringslib, zeefzand, vliegias								
	5,4	7,2	9,2	2,9	3,9	4,7	2,6	6,4	11,6

## 5 Beoordeling mengsels

### *Doorlatendheid*

Materialen voor het maken van afdichtingslagen zijn bruikbaar als aan de criteria die zijn opgesomd in hoofdstuk 2 is voldaan. In dit onderzoek is alleen de doorlatendheid gemeten. De doorlatendheid van ongeroerde monsters is voldoende laag om afdichtingslagen te maken die gelijkwaardig zijn aan de referentie afdichting met zand-bentoniet. De overige aspecten worden beoordeeld op grond van de door BKB-Reststoffen Management overlegde documenten.

### *Mechanische stabiliteit*

Door Siedek en Kügler, 1995, is de invloed van deformatie op het optreden van scheurvorming in minerale afdichtingslagen onderzocht. Vergeleken zijn zand-bentoniet afdichtingen en de onderzochte mengsels. De beproeving bestaat uit het aanbrengen van een kromming in een 'grondbalk'. Resultaten van deze beproevingen zijn samengevat in tabel 3.

Tabel 3 Scheurvorming onder invloed van deformatie en uitdroging (naar: Siedek en Kügler 1995)

Materiaal/veld	Kromtestraal (m)	Vochtverlies (% M/M)	scheurvorming
Zand-bentoniet	70	0	zwak
	60	0	zwak
	200	2,5	geen
	200	3,5	zwak-matig
	200	4,5	matig
	200	5,2	matig
	200	6,8	sterk
	200	7,4	sterk
Leem	200	0	zwak
	200	3,2	matig-sterk
Klei	200	0	matig-sterk
	200	3,4	sterk
ZS+ZZ+VZ	200	4,9	matig
	200	7,8	matig-sterk
ZS+ZZ+VZ+Wa	200	5,6	matig in trek zone
	200	6,2	matig-sterk in trekzone
ZS+ZZ+VA+Wa	200	8,4	geen
	200	10,8	matig-sterk, alleen in trekzone
	200	12,6	sterk, alleen in trekzone
	200	14	sterk (trekzone), matig onder wapening
	28,6	0	waarschijnlijk haarscheuren
	25	0	matig in trekzone

ZS - zuiveringslib; ZZ - zeefzand; VZ - vormzand; VA - vliegas;

Wa - wapening met TWARON (mengsels)

Uit dit onderzoek kan worden afgeleid dat de mengsels trekspanningen beter opvangen dan klei, leem en zand-bentoniet. Klei en leem kunnen trekspanningen het minst opvangen. Het optreden van krimp-scheuren onder invloed van vochtverlies in

een toestand waarin het materiaal is gedefformeerd, manifesteert zich eerst bij klei, leem en zand-bentoniet. Toepassing van een wapening laat zien dat daarmee de trekzone wordt gescheiden van de drukzone. In de trekzone ontstaan bij bepaalde belastingen scheuren, terwijl in de drukzone deze niet optreden of niet kunnen worden waargenomen.

Siedek en Kügler (1995) tonen aan dat een fijnkorrelig materiaal, aangebracht op een afdichting van de mengsels, in scheuren kan dringen en een zeker herstel geeft (doorlatendheid na herstel  $< 5 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$ ).

Op het moment is geen criterium geformuleerd voor de (maximale) kromtestraal waarbij juist geen scheurvorming mag optreden.

Toepassing op taluds tot ca. 1 : 2 is op grond van de cohesie en hoek van inwendige wrijving mogelijk.

#### ***Thermische stabiliteit***

De invloed van verhoogde temperatuur op de doorlatendheid, anders dan via een veranderende viscositeit van de vloeistoffen, is niet onderzocht. Het is overigens hoogst onwaarschijnlijk dat temperaturen tot 40 °C invloed zouden hebben.

#### ***Chemische stabiliteit***

De componenten van de mengsels zijn min of meer chemisch stabiel. Vormzand bevat nog een bepaalde hoeveelheid bentoniet, waarvan het zwelvermogen in contact met vuilstortpercolaat afneemt. De doorlatendheid van de mengsels, wordt echter hoofdzakelijk bepaald door het toegevoegde waterglas. Calmano en Förstner (1995) maken op theoretische gronden duidelijk dat vuilstort percolaat geen invloed op de afdichtende werking van waterglas kan hebben. Waterglas in contact met percolaat verlaagt de doorlatendheid. Siedek en Kügler (1995) demonstreren dit in een 8-jarig experiment en rapporteren een afname met een factor 10. Eenzelfde afname is ook uit een (niet-gepubliceerd) 5-jarig laboratoriumonderzoek van SC-DLO gebleken.

#### ***Biologische stabiliteit***

Aantasting van waterglas door microbiologische activiteit sluiten Calmano en Fürstner (1995) uit. Wel kunnen micro-organismen in principe het organisch materiaal in de mengsels afbreken. Afbraak van enige betekenis zal echter alleen onder aërobe omstandigheden kunnen optreden. In de mengsels heerst steeds een anaërobe toestand als gevolg van de hoge waterverzadigingsgraad en de geblokkeerde poriën, waardoor zuurstofdiffusie geen of nauwelijks een rol speelt. In een 8-jarig experiment met mengsels van zuiveringsslib en zeefzand bleef de doorlatendheid laag en nam zelfs nog af, terwijl geen microbiologische aantasting is waargenomen.

### ***Procesmatige verwerkbaarheid***

In de semipraktijkproef is aangetoond dat de mengsels met eenvoudige werktuigen kunnen worden verwerkt, niet aan de werktuigen blijven kleven en er geen kluiten ontstaan.

### ***Controle op samenstelling***

Op het moment is nog geen protocol beschikbaar voor de ingangscntrole van de materialen.

### ***Milieubelasting***

Het uitlooggedrag van monsters geïmmobiliseerde afvalstoffen is door Tauw-Milieu, Deventer en Terrachem Essen GmbH uitgevoerd volgens o-NEN 7345. De beschikbaarheidstest is volgens o-NEN 7341 en de volledige standtest volgens o-NEN 7345 uitgevoerd. De resultaten zijn geïnterpreteerd volgens o-NEN 7345 (BKB, 1995b).

De concentraties van verschillende waterkwaliteitsparameters van drainagewater bleken onder de drinkwaternorm te liggen (BKB, 1995a). Dit water kan dus rechtstreeks op het oppervlaktewater worden geloosd.

### ***Kosten***

De kosten van afdichtingen van mengsels van afvalstoffen worden bepaald door het toegevoegde waterglas en de aramide-wapening. Indien voor het hergebruik van de afvalstoffen de huidige stortkosten zouden worden betaald, kunnen afdichtingen en eindafwerkingen zeer goedkoop worden aangelegd.

## Literatuur

Belouschek, P., R. Novotny, 1989. Zur Chemie von pulverförmigen Wasserglas und seinen Folgeprodukten: Kieselsäuresole und -gele in Wasser als Ausgangsmaterial für die Herstellung einer hochwertigen mineralischen Abdichtungsschicht aus bindiger Böden. *Müll und Abfall* 12: 636-643.

Boels, D., 1993. *'Studie naar onderafdichtingsconstructies voor afval en reststofbergingen'*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 247.

Boels, D., E.P.W. Koenis en E.M. Loovers, 1993. *'Geschiktheid van tertiaire kleien en waterglas voor de afdichting van afval- en reststofbergingen'*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 291.

Hoeven, W. ter en E. Sluimer, 1993. *'Richtlijn onderafdichtingsconstructies voor stort- en opslagplaatsen'*. Den Haag, Ministerie van VROM, Directie DWB. Publikatie reeks Bodembescherming nr. 1993/2.

Hoeks, J., H.P. Oosterom, D. Boels, J.F.M. Borsten, K. Strijbis en W. ter Hoeven, 1991. *'Handleiding voor ontwerp en constructie van eindafdekkingen van afval- en reststofbergingen'*. Den Haag, Ministerie van VROM, Directie DWB. Publikatie reeks Bodembescherming nr. 1991/4 (tevens verschenen als Staring Centrum Rapport 91, 1990).

## Niet-gepubliceerde bronnen

BKB, 1995a. *'Toepassing van afvalstoffen in een waterdichte, niet-uitlogende afdeklaag bovenop een vuilstort, ter vervanging van de zand-bentoniet en HDPE-folie afdeklaag'*. Dalfsen, BKB-Reststoffenmanagement.

BKB, 1995b. *'Toepassing van afvalstoffen in een waterdichte, niet-uitlogende, afdeklaag bovenop een vuilstort, ter vervanging van de zand-bentoniet en HDPE-folie afdeklaag; Deelrapport 1'*. Dalfsen, BKB-Reststoffen Management.

Calmano, W. & U. Förstner, 1995. *'Gutachterliche Stellungnahme zum Demonstrationsvorhaben Oberflächenabdichtung der Zentraldeponie Bochum-Kornharpen aus wasserglasvergüteten Massenreststoffen mit aktiver Risz-sicherung'*. Duitsland, Hamburg, Technischen Universität, Arbeitsbereich Umweltschutztechnik.

Siedek, H. en J.U. Kügler, 1995. *'Proefvelden op de stortplaats Twente; Oppervlakteafdichting op basis van waterglasverrijkte residuenmengsels, met actieve scheurbeveiliging; Grondmechanische aspecten'*. Duitsland, Essen, Institut für Umweltforschung Schlieben e.V. Rapport nr. 94.02.14.

**Aanhangsel 1 Doorlatenheid gemeten in triaxiaalcel door Siedek  
en Kügler, Essen**

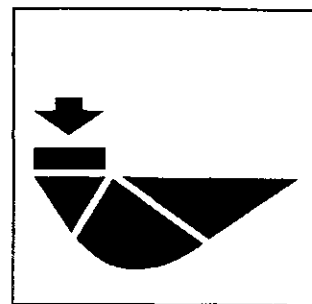
# Dipl. Ing., Dipl. Geol. H. Siedek Dipl. Ing. J. U. Kügler

BERATENDE INGENIEURE FÜR GRUND-, ERD- UND FELSBAU  
INGENIEURGEOLOGIE · ERDABDICHTUNGEN  
FACHBAULEITUNG · ALTLASTUNTERSUCHUNGEN  
ERDBAULABORATORIUM · CHEM.-ANALYTISCHES LABOR

Ingenieurbüro Siedek u. Kügler · Im Teelbruch 61 · 45219 Essen

**BKB Reststoffen Management bv**  
z.Hd. Herrn Beukema  
Van Ittersum Straat 38

NL 7721 DL Dalfsen



Im Teelbruch 61  
45219 Essen (Kettwig)  
Tel. (0 20 54) 95 40-0  
(0 20 54) 60 18/19  
Fax (0 20 54) 8 42 69

10.05.1996

Datum: 94.02.14  
Bearb.-Nr. Kü/R/d

**Bauvorhaben: Probefelder auf der Deponie Twente**  
hier: Bericht zur Aufgrabung am 19.03.1996

---

## 1.0 Vorgang

Am 19.03.1996 fand an den Probefeldern auf der Deponie Twente eine Aufgrabung zur Beurteilung der Dichtigkeit statt.

Hierzu wurde bei den Probefelder I, II und IV an den Vortagen eine ca. 2 x 2 m große Fläche bis auf die Höhe des das Dichtungssystem überlagernden Infiltrationsbodens abgetragen. Je Feld wurden 3 ungestörte Proben gemäß DIN 4021 mit einem Entnahmezylinder gewonnen, sowie für die Bestimmung der Wassergehalte je Aufschlußpunkt zusätzlich Proben in luftdicht verschlossene 0,5-l-Glasbehälter abgefüllt. Weiterhin wurden von dem gewonnenen Aushubmaterial Eimerproben entnommen. Sämtliches Probenmaterial wurde für die weiteren erdbautechnischen Versuche in das bodenmechanische Labor des Ingenieurbüros Siedek und Kügler verbracht.

## 2.0 Beschreibung des Probenahmeverfahrens für ungestörte Bodenproben

Die für Baugrunduntersuchungen und die Qualitätssicherung im Deponiebau angewandten Probenahmeverfahren sind in der DIN 4021 bundeseinheitlich festgeschrieben.

Zur Beurteilung der Wasserdurchlässigkeit von Abdichtungsschichten ist die Entnahme einer Sonderprobe der Güteklasse 1 vorgeschrieben. Hierbei wird ein in der Norm



DIN 4021 genau definierter Probenzylinder in die zu untersuchende Dichtungsschicht mit einem Schlaggerät eingetrieben und anschließend schonend ausgegraben. Der Entnahmezylinder ist so beschaffen, daß durch die nach außen geneigte Schneide des Zylinders der Bodenkörper nach außen verdrängt wird und damit eine weitgehend ungestörte Probenahme erfolgt. Der ausgegrabene Zylinder wird unmittelbar nach Freilegung mit Plastikkappen abgedeckt und mittels Klebeband verklebt, um ein Austrocknen des Probenkörpers während des Transportes zu verhindern. Die genaue Vorgehensweise ist im einzelnen in der o.g. DIN 4021 festgeschrieben. Dieses Verfahren ist die einzige in Deutschland genormte Probenahmetechnik für ungestörte Bodenproben aus Dichtungsschichten.

### **3.0 Beschreibung der bodenmechanischen Laboratoriumsversuche**

Die gewonnenen ungestörten Bodenproben wurden im bodenmechanischen Labor über eine Auspreßvorrichtung in schonender Weise aus den Zylindern herausgedrückt. Anschließend wurden die Störbereiche in den oberen und unteren Zonen der ungestörten Bodenproben abgetrennt. Ein verbleibender zylindrischer Probenkörper von 5 cm Höhe wurde anschließend in ein Triaxialgerät zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes eingebaut. Von den weiteren Probenmaterialien wurde eine Wassergehaltsbestimmung gemäß DIN 1821, Teil 1, ausgeführt.

#### **3.1 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes gemäß DIN 18130, Teil 1 mit der Triaxialzelle**

Der Vorteil einer Versuchsdurchführung im Triaxialgerät besteht zum einen in dem Ausschluß bzw. der Minimierung von Randumläufigkeiten, da die Probenkörper mit einer Gummihülle seitlich umschlossen und diese Gummihülle über einen hydrostatischen Druck von ca. 0,5 bis 1,0 bar dicht an den Probenkörper angepreßt wird. Weiterhin werden über diese Versuchsdurchführung, bei der der Probenkörper von unten nach oben durchströmt wird, atmosphärische Schwankungen gänzlich ausgeglichen. Aufgrund dieser Vorteile und der Genauigkeit des Verfahrens, ist der in der DIN 18.130, Teil 1, genormte Triaxialversuch die am weitesten verbreitete Versuchsanordnung zur Prüfung von Durchlässigkeiten mineralischer Abdichtungen in Deutschland.

Zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes, welche in der DIN 18130, Teil 1, in den einzelnen Arbeitsschritten genau festgeschrieben ist, besteht die Möglichkeit, diese über die in den Probenkörper **eintretende Wassermenge** oder aber über die aus dem Probenkörper **austretende Wassermenge** zu bestimmen.

Während die Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes anhand der **eintretenden Wassermenge** bereits innerhalb von wenigen Tagen bis Wochen Auskünfte über den zu erwartenden k-Wert liefert, ist die Durchlässigkeitsbeiwertbestimmung anhand der **austretenden Wassermenge** mit einem größeren Zeitaufwand verbunden. Aus diesem Grunde wird die k-Wert-Bestimmung beim Ingenieurbüro Siedek und Kügler sowie auch bei anderen namhaften Prüfstellen mit der **eintretenden Wassermenge** ausgeführt.

#### 4.0 Ergebnisse der durchgeführten Laboratoriumsversuche

##### 4.1 Durchlässigkeitsbeiwerte

Die Durchlässigkeitsbeiwerte wurden mit dem Triaxialgerät über die **eintretende Wassermenge** berechnet.

Die Durchlässigkeitsbeiwerte wurden mit dem Triaxialgerät sowohl über die **eintretende Wassermenge** als auch über die **austretende Wassermenge** berechnet. Hierbei ergaben sich folgende Durchlässigkeitsbeiwerte:

##### Durchlässigkeitsbeiwerte, Aufgrabung vom 17.04.1996

Berechnung über:	Probefeld I	Probefeld II	Probefeld IV
eintretende Wassermenge [m/s]	$3,0 \times 10^{-11}$	$5,0 \times 10^{-11}$	$3,0 \times 10^{-11}$
austretende Wassermenge [m/s]	$7,0 \times 10^{-11}$	$7,0 \times 10^{-11}$	$6,0 \times 10^{-11}$

### 5.0 Ergebnisse vergangener Aufgrabungen (Bauphase)

In der beigefügten Tabelle sind Wassergehaltsbestimmungen und gemessene Durchlässigkeitsbeiwerte an Probenkörpern vergangener Aufgrabungen bzw. während der Bauphase zusammengestellt. Die Felder I, II und IV, welche im Zuge der kürzlichen Aufgrabung beurteilt werden sollten, wiesen hiernach von Beginn an immer Durchlässigkeiten von  $k \leq 1 \times 10^{-10}$  m/s, i.M.  $k \leq 5 \times 10^{-11}$  m/s auf. Die beobachteten Schwankungen im Wassergehalt zeigten bei keiner der durchgeführten Untersuchungen Beeinträchtigungen im Durchlässigkeitsverhalten. Vielmehr wird durch die bautechnische Erfahrung und die Laborversuche bestätigt, daß die hier angewandten Reststoffmischungen ein hohes Speichervermögen aufweisen und die geforderten geringen Durchlässigkeiten über eine große Wassergehaltsspannweite gewährleisten.

  
- Kügler

  
- Reichert -

Anlage

Verteiler:

BKB Reststoffen Management      3 x

**Versuchsfelder**  
**Reststoffmischungen**

Datum	<u>Feld I</u>		<u>Feld II</u>		<u>Feld III</u>		<u>Feld IV</u>	
17.04.96	32,37	3,00 · 10 <sup>-11</sup> 7,00 · 10 <sup>-11</sup> *	27,37	5,00 · 10 <sup>-11</sup> 7,00 · 10 <sup>-11</sup> *	-	-	34,44	3,00 · 10 <sup>-11</sup> 6,00 · 10 <sup>-11</sup> *
18.08.95	32,39	3,83 · 10 <sup>-11</sup>	30,68	2,11 · 10 <sup>-11</sup>	34,74	7,27 · 10 <sup>-11</sup>	30,15	3,43 · 10 <sup>-11</sup>
29.03.95	41,39	3,89 · 10 <sup>-11</sup>	31,73	1,89 · 10 <sup>-11</sup>	46,18	1,66 · 10 <sup>-10</sup>	31,27	3,10 · 10 <sup>-11</sup>
Okt. 94	-	-	-	-	36,27	6,09 · 10 <sup>-11</sup>	37,07	6,77 · 10 <sup>-11</sup>
Juli 1994 k-Wert nach ca. 200 Tagen	33,14	2,11 · 10 <sup>-11</sup>	32,90	1,51 · 10 <sup>-11</sup>	31,83	2,07 · 10 <sup>-10</sup>	30,73	2,64 · 10 <sup>-11</sup>
Bauphase								
1. Lage	33,14		26,57	5,31 · 10 <sup>-10</sup>	32,27	1,05 · 10 <sup>-9</sup>	30,73	7,46 · 10 <sup>-11</sup>
2. Lage	33,14	9,31 · 10 <sup>-11</sup>	29,96	4,66 · 10 <sup>-11</sup>	31,84	7,50 · 10 <sup>-10</sup>	35,13	4,98 · 10 <sup>-11</sup>
2. Lage	41,99	4,23 · 10 <sup>-11</sup>	33,61	3,29 · 10 <sup>-11</sup>	-	-	35,70	4,72 · 10 <sup>-11</sup>
2. Lage	32,44	7,96 · 10 <sup>-11</sup>	32,91	2,52 · 10 <sup>-11</sup>	-	-	-	-

\* Berechnung über die austretende Wassermenge

**Monstername:**

**DIN 4021**

**Bepaaling van de vochtigheid:**

**DIN 18121**

**Bepaaling von de waterdoorlatendheid:**

**DIN 18130**



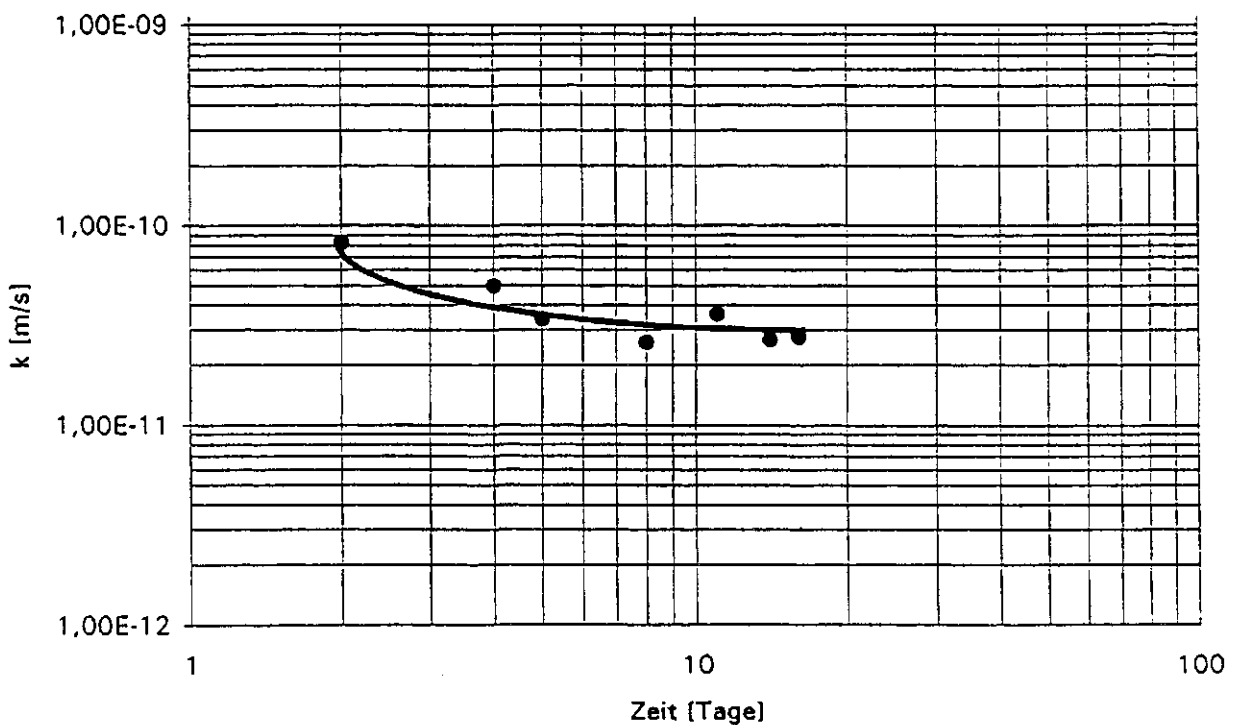
Ingenieurbüro  
Siedek & Kügler  
Im Teelbruch 61 45219 Essen

# Durchlässigkeitsversuch

Auftraggeber :		Bearb.Nr.:	94.02.14
Bauvorhaben:		Datum :	02.05.1996
		Probe Nr.:	UP 1
		Anlage:	
Probe feucht + Schale [g] :	303,8		
Probe trocken + Schale [g] :	279,0		
Schale [g] :	202,4		
Einbauwassergehalt [%] :	32,37	Feuchtdichte [t/m <sup>3</sup> ] :	1,705
Ausbauwassergehalt [%] :		Trockendichte [t/m <sup>3</sup> ] :	1,288

Bemerkung :

Durchlässigkeit-Zeit-Diagramm



Durchlässigkeitsbeiwert

k Endwert [m/s] : \_\_\_\_\_

Wassertemperatur [°C] : \_\_\_\_\_

K (10°C) [m/s] : \_\_\_\_\_



Ingenieurbüro  
Siedek&Kügler

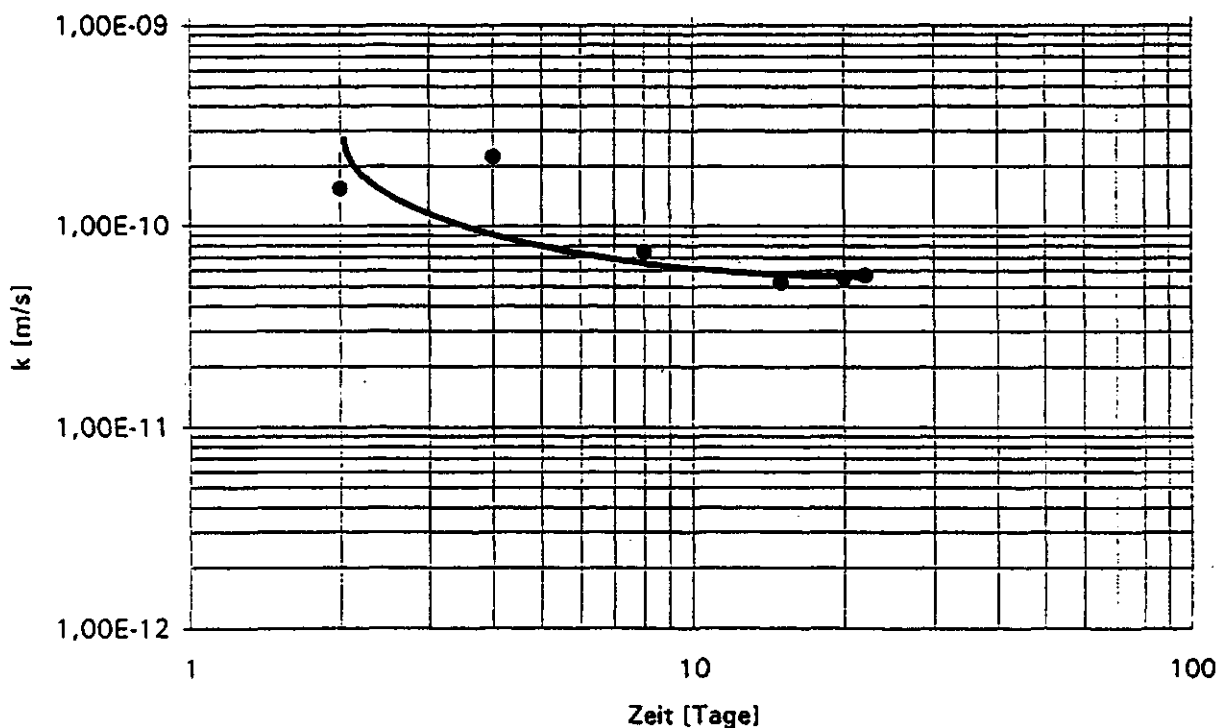
Im Teelbruch 61 45219 Essen

# Durchlässigkeitsversuch

Auftraggeber :		Bearb.Nr.: 94.02.14	
Bauvorhaben: Probefeld 1		Datum : 17.04.1996	
		Probe Nr: UP 1	
		Anlage: II	
Probe feucht + Schale [g] :	303,8		
Probe trocken + Schale [g] :	279,0		
Schale [g] :	202,4		
Einbauwassergehalt [%] :	32,39	Feuchtdichte [t/m <sup>3</sup> ] :	1,705
Ausbauwassergehalt [%] :		Trockendichte [t/m <sup>3</sup> ] :	1,288

Bemerkung : Messung durch austretendes Wasser

Durchlässigkeit-Zeit-Diagramm



Durchlässigkeitsbeiwert

k Endwert [m/s] : \_\_\_\_\_

Wassertemperatur [°C] : \_\_\_\_\_

K (10°C) [m/s] : \_\_\_\_\_



Ingenieurbüro  
Siedek & Kügler  
Im Teelbruch 61 45219 Essen

# Durchlässigkeitsversuch

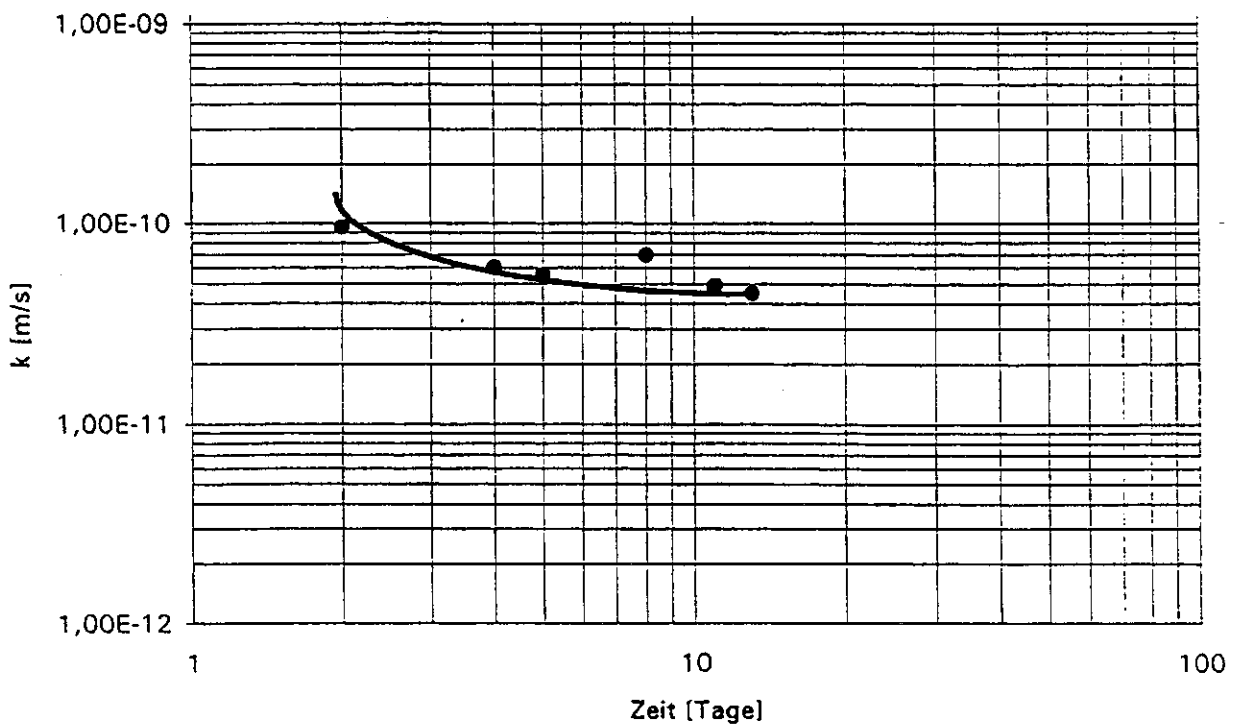
Auftraggeber :		Bearb.Nr.:	94.02.14
Bauvorhaben:	Probefeld 2	Datum :	02.05.1996
		Probe Nr:	UP 1
		Anlage:	

Probe feucht + Schale [g] :	394,3		
Probe trocken + Schale [g] :	362,0		
Schale [g] :	244,0		
Einbauwassergehalt [%] :	27,37	Feuchtdichte [t/m <sup>3</sup> ] :	1,749

Ausbauwassergehalt [%] :		Trockendichte [t/m <sup>3</sup> ] :	1,372
--------------------------	--	-------------------------------------	-------

Bemerkung :

Durchlässigkeit-Zeit-Diagramm



Durchlässigkeitsbeiwert

k Endwert [m/s] : \_\_\_\_\_

Wassertemperatur [°C] : \_\_\_\_\_

K (10°C) [m/s] : \_\_\_\_\_





Ingenieurbüro  
Siedek & Kügler  
Im Teelbruch 61 45219 Essen

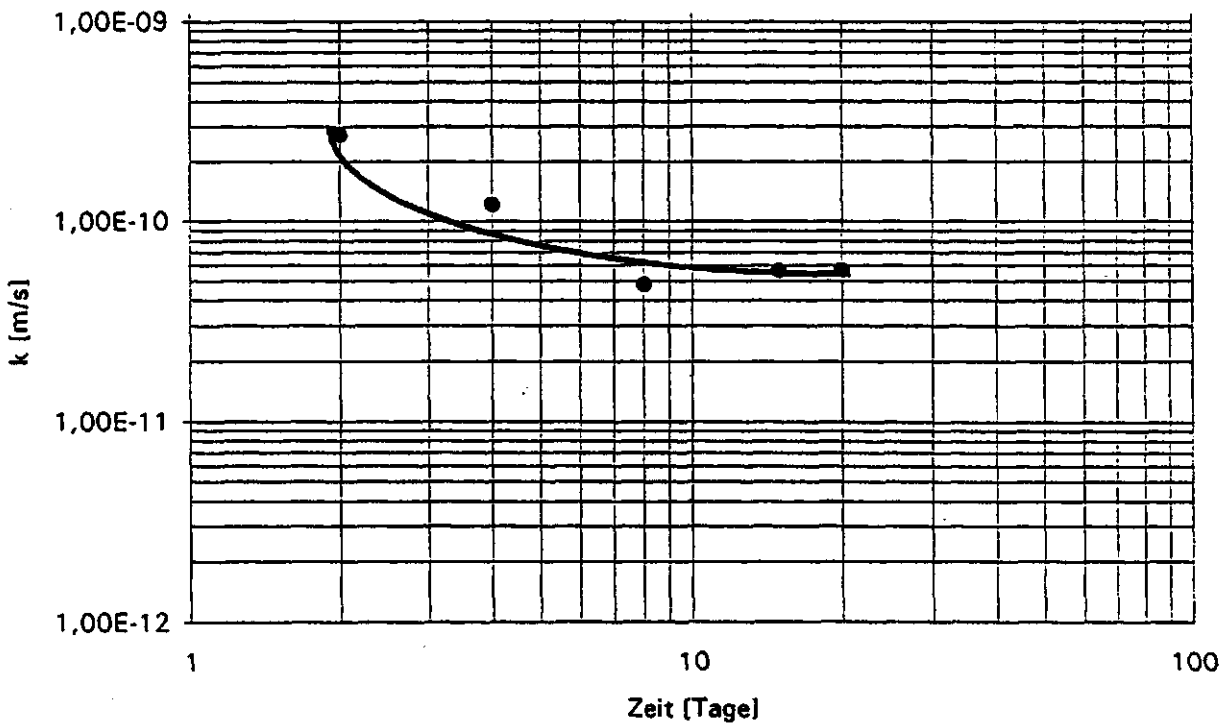
# Durchlässigkeitsversuch

Auftraggeber :		Bearb.Nr.: 94.02.14
Bauvorhaben:	Probefeld 2	Datum : 17.04.1996
		Probe Nr: UP 1
		Anlage: II

Probe feucht + Schale [g] :	394,3		
Probe trocken + Schale [g] :	362,0		
Schale [g] :	244,0		
Einbauwassergehalt [%] :	27,37	Feuchtdichte [t/m <sup>3</sup> ] :	1,749
Ausbauwassergehalt [%] :		Trockendichte [t/m <sup>3</sup> ] :	1,372

Bemerkung : Messung durch austretendes Wasser

Durchlässigkeit-Zeit-Diagramm



Durchlässigkeitsbeiwert

k Endwert [m/s] : \_\_\_\_\_

Wassertemperatur [°C] : \_\_\_\_\_

K (10°C) [m/s] : \_\_\_\_\_



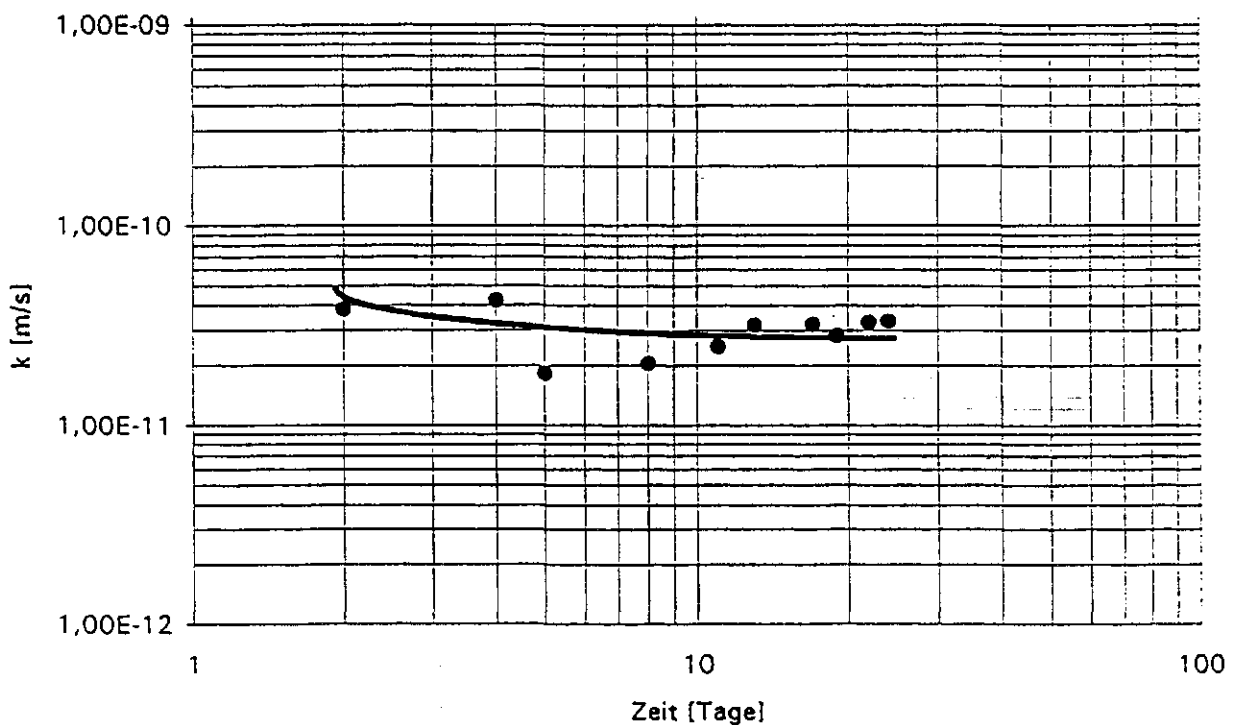
Ingenieurbüro  
Siedek & Kügler  
Im Teelbruch 61 45219 Essen

# Durchlässigkeitsversuch

Auftraggeber :		Bearb.Nr.: 94.02.14	
Bauvorhaben: Probefeld 4		Datum : 02.05.1996	
		Probe Nr: UP 1	
		Anlage:	
Probe feucht + Schale [g] :	391,5		
Probe trocken + Schale [g] :	354,3		
Schale [g] :	246,3		
Einbauwassergehalt [%] :	34,44	Feuchtdichte [t/m <sup>3</sup> ] :	1,649
Ausbauwassergehalt [%] :		Trockendichte [t/m <sup>3</sup> ] :	1,226

Bemerkung :

Durchlässigkeit-Zeit-Diagramm



Durchlässigkeitsbeiwert

k Endwert [m/s] : \_\_\_\_\_

Wassertemperatur [°C] : \_\_\_\_\_

K (10°C) [m/s] : \_\_\_\_\_



Ingenieurbüro  
Siedek & Kügler

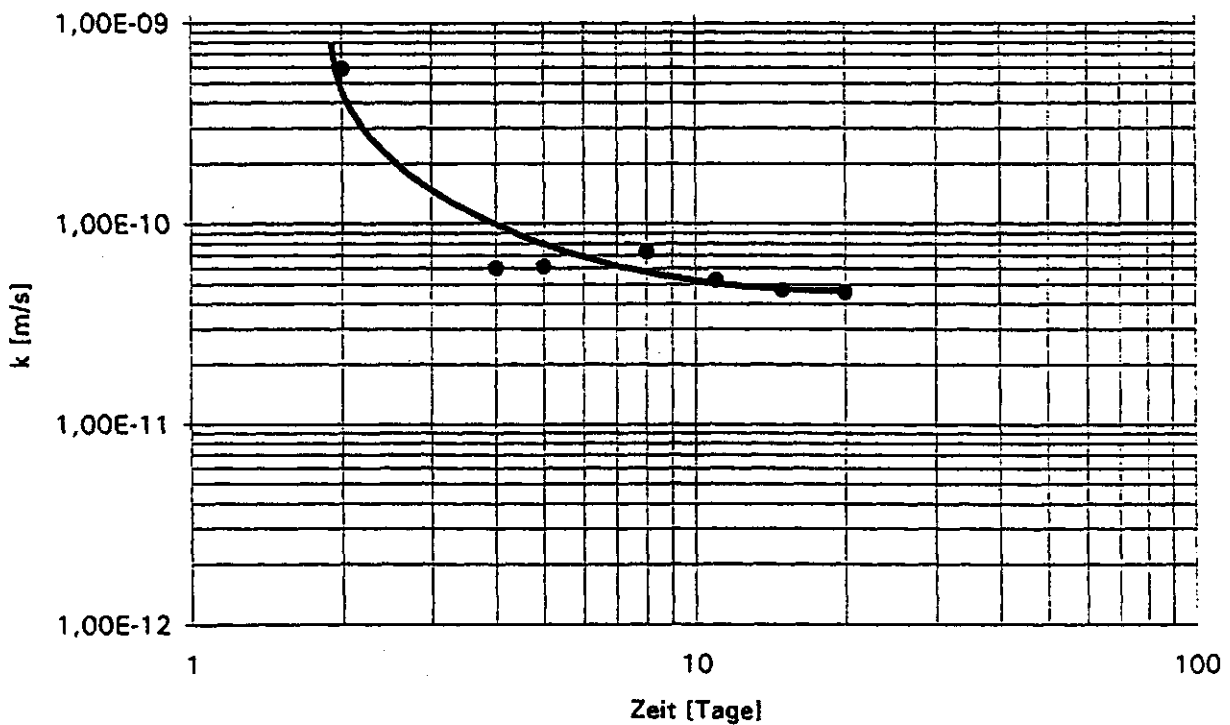
Im Teelbruch 61 45219 Essen

# Durchlässigkeitsversuch

Auftraggeber :		Bearb.Nr.: 94.02.14
Bauvorhaben: Probefeld 4		Datum : 17.04.1996
		Probe Nr: UP 1
		Anlage: II
Probe feucht + Schale [g] :	391,5	
Probe trocken + Schale [g] :	354,3	
Schale [g] :	246,3	
Einbauwassergehalt [%] :	34,44	Feuchtdichte [t/m <sup>3</sup> ] : 1,649
Ausbauwassergehalt [%] :		Trockendichte [t/m <sup>3</sup> ] : 1,226

Bemerkung : Messung durch austretendes Wasser

Durchlässigkeit-Zeit-Diagramm



Durchlässigkeitsbeiwert

k Endwert [m/s] : \_\_\_\_\_

Wassertemperatur [°C] : \_\_\_\_\_

K (10°C) [m/s] : \_\_\_\_\_