

Beïnvloedt de infiltratieproef en de bodem het meetresultaat?



Willem De Croylaan 48
3001 Heverlee

Kristel Vuerinckx, Pieter Janssens en Frank Elsen



Vlaanderen
is milieu

Opstellen van richtlijnen voor het meten van de infiltratiecapaciteit en het modelmatig onderbouwen voor de dimensionering van infiltratievoorzieningen

“Opstellen van richtlijnen voor het meten van de infiltratiecapaciteit en het modelmatig onderbouwen voor de dimensionering van infiltratievoorzieningen”

(IMDC, BDB; 2016) in opdracht van
VMM Afdeling Operationeel
Waterbeheer

(<https://www.vmm.be/publicaties/opstellen-van-richtlijnen-voor-meten-van-infiltratiecapaciteit-en-modelmatig-onderbouwen-voor-dimensionering-van-infiltratievoorzieningen>)

‘De waterdoorlatendheid of “permeabiliteit” is het vermogen van de grond om water door te laten. De waterdoorlatendheidscoëfficiënt (K-factor) is een maat voor de waterdoorlatendheid en wordt bepaald door enerzijds de geometrie van het poriënstelsel, afhankelijk van de textuur en structuur van de bodem.

De doorlatendheid wordt bovendien beïnvloed door het bodemvochtgehalte. Bij een verzadigde grond spreekt men over de verzadigde doorlatendheid.’

Objectieven

- Welke infiltratietesten zijn bruikbaar voor de dimensionering van infiltratievoorzieningen?
- Moet de keuze van de test afgestemd worden op het soort infiltratievoorziening, het bodemtype of eventuele andere factoren?
- Hoe moeten de resultaten van de verschillende infiltratietesten geïnterpreteerd worden?
- Wat zijn verklaringen voor afwijkende resultaten?

Literatuurstudie

- Welke testen bestaan er om infiltratie te meten
 - In situ
 - Laboratorium
 - Referentiekaders
- Welke testen/referentiekaders worden gebruikt buiten Vlaanderen?
- Selectie 4 in situ en 1 laboratorium methode voor praktijkonderzoek

Praktijkonderzoek

- 5 infiltratietesten werden uitgetest in Vlaanderen op 5 meetlocaties per textuurklasse

Literatuurstudie: welke testen bestaan er?

In-situ methodes

- Open-end-test
- ETC Pask Constant Head Permeameter
- Constant head permeameter
- Amoozemeter
- Lefranc methode
- Guelph methode
- Bouwer's air-entry permeameter
- Porous Probe methode (BAT)
- Enkele-ringmethode
- Dubbele-ringmethode
- Simplified Falling Head technique
- Omgekeerde boorgatmethode
- Essai Porchet
- Infiltratiecapaciteit test
- Soakaway/soakage Test
- Pit test
- Two-stage Borehole test
- Tensioinfiltrrometer

Literatuurstudie: welke testen bestaan er?

laboratorium

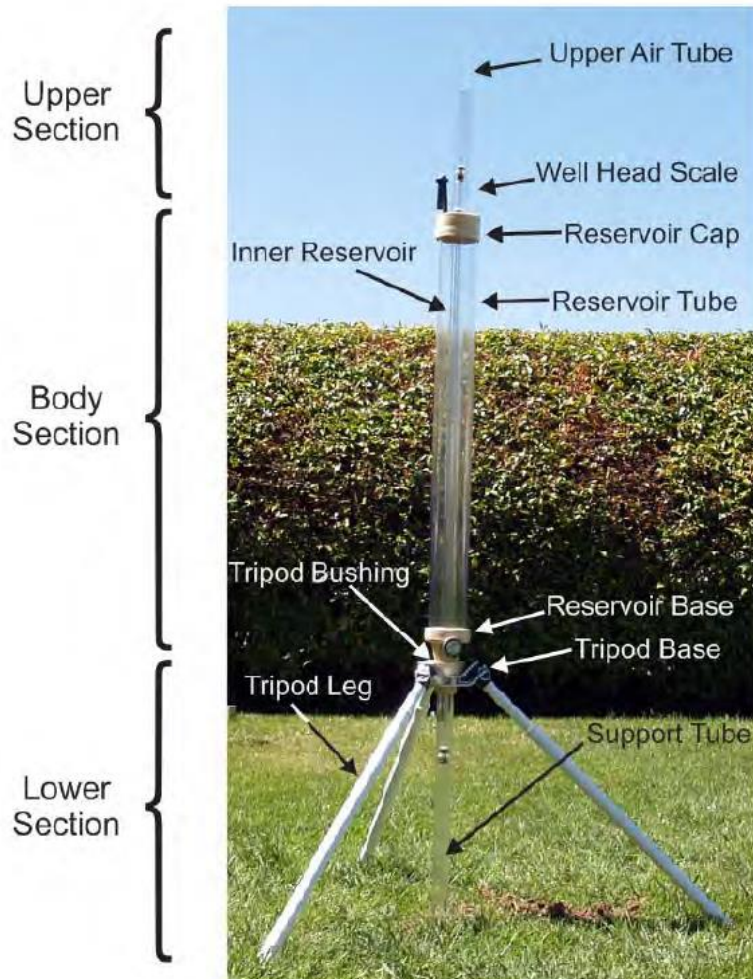
- Varying Moment Permeameter
- ICW permeameter
- Constant head permeameter
- Oedometer indirecte meting
- De Hauben water permeameter
- Oscillerende permeameter

Literatuurstudie: welke testen bestaan er?

o.a. aandacht voor

- Constant head of falling head?
- Horizontaal of verticaal meetoppervlak?
- Meting van K_v (vertikaal) of K_h (horizontaal)
- Norm en regelgeving
- Meetbereik
- Getest bodemvolume
- Aangeraden aantal herhalingen
- Meest voorkomende methode voor berekening K
- Opmerkingen

Literatuurstudie: vb Guelph methode



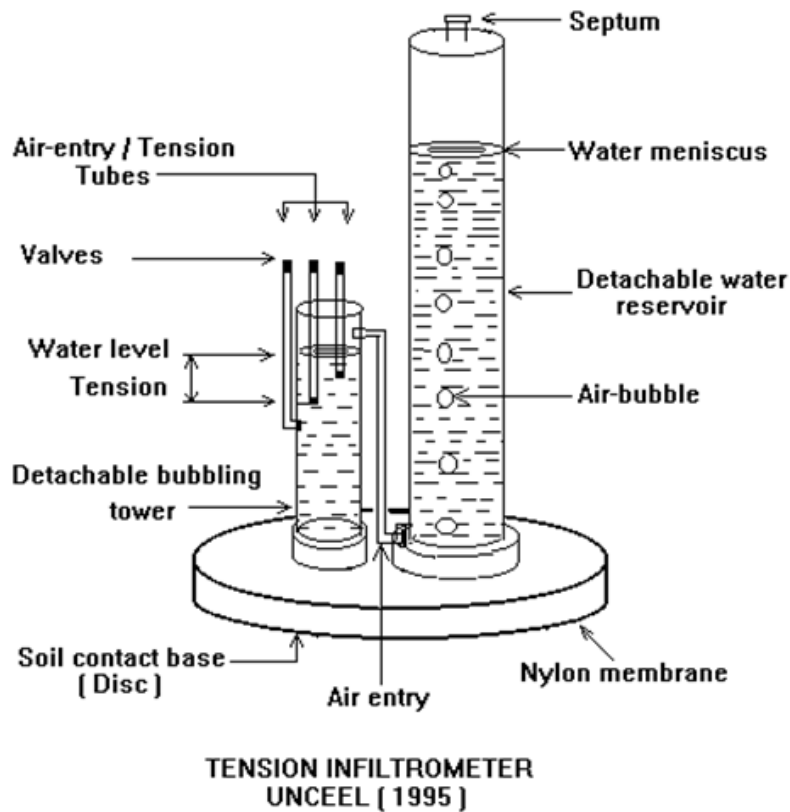
- Constant head
- waterkolom 5 à 10 cm of 10 à 25 cm
- Infiltratie wand en bodem boorgat
- K_v (en h)
- grond op voorhand gesatureerd
- Verschillende toepassingen waaronder infiltratie-onderzoek
- Matig gespecialiseerd
- 30 min à 2u tot een paar dagen

Literatuurstudie: vb Guelph methode

Tabel 2-14: Guelph methode; sterkte/zwakte-analyse.

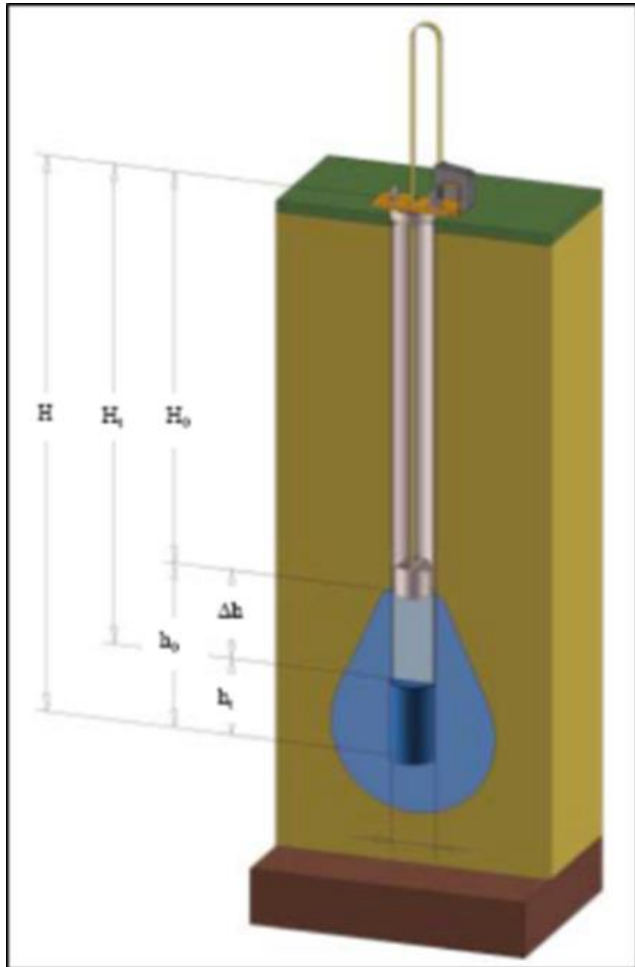
Factor	Sterkte	Zwakte
Variabele:	meting van k_h en k_v (overwegend k_h)	
Schaal: omvang van de matrix, monstergrootte, effect van anisotropie	De hoogte van de waterkolom is in de praktijk beperkt Meting op een diepte van 0,15 tot 6 m-mv	Slechts klein volume van de bodem wordt getest (hoogte waterkolom 5 tot 25 cm)
Relatie van de test tot de matrix	10^{-4} tot 10^{-7} m/sec slecht permeabele grond met early-time measurements	
Nauwkeurigheid, gevoeligheid aan randvoorwaarden	Voldoende voor principebeslissing (aanleg van infiltratiestructuren)	Gezien α^* op voorhand bepaald moet worden aan de hand van bodemstructuur en textuur, mogelijk minder nauwkeurig.
Robuustheid, herhaalbaarheid		Matig gespecialiseerde uitvoering onzekerheid van structuur, bv. in gerijpte klei; wat bij slecht weer ?
Ervaring en verspreiding	Ontwikkeld in Canada, wijdverspreid	
Technische relevantie		
Techniciteit, kwalificatie van de uitvoerder	Matig gespecialiseerd	
Tijdsbesteding, rekening houdend met het aantal vereiste herhalingen en kost	1 meting op $\frac{1}{2}$ à 2 uur tot een paar dagen +/- 2,5 liter water vereist	
Economische haalbaarheid	Aankoop +/- € 4225	

Tensioinfiltrometer



- Beperkte negatieve hydraulische potentiaal
- Grote poriën vermeden
- Mariotte principe
- Tegen verzadiging aan
- Infiltratie over horizontaal vlak
- K_v
- Vooral in wetenschappelijke omgeving
- Zeer gespecialiseerd
- Correcte plaatsing !!!
- Opp ↑ → omvang bemonstering ↑
→ kans op fouten ↑

Omgekeerde boorgatmethode (Hooghoudt)



- Falling head
- waterkolom > 40 cm
- Meting in 1^e 1/4^{de}
- Infiltratie wand en bodem boorgat (+/- 10 cm diameter)
- K_v (en h)
- grond op voorhand gesatureerd
- Oorsprong in drainage onderzoek
- $$K = 1.15 r \frac{\log\left(h_0 + \frac{1}{2}r\right) - \log\left(h_t + \frac{1}{2}r\right)}{t - t_0}$$
- Weinig gespecialiseerd
- +/- 45 min.

Welke referentiekaders bestaan er?

=> bodemtextuur?

ISO (ISO 14688-1)

Fractie	Klasse	Onderverdeling	Korrelgrootte
	keien		> 63 mm
Grove fractie	grind	grof grind	63 mm – 20 mm
		medium grind	20 mm – 6,3 mm
		fijn grind	6,3 mm – 2 mm
	zand	grof zand	2 mm – 0,63 mm
		medium zand	0,63 mm – 0,20 mm
		fijn zand	0,20 mm – 0,063 mm
Fijne fractie	silt	grof silt	63 µm – 20 µm
		medium silt	20 µm – 6,3 µm
		fijn silt	6,3 µm – 2 µm
	klei	klei	< 2 µm

Belgische bodemkartering

Standaardbestek 250 wegenbouw

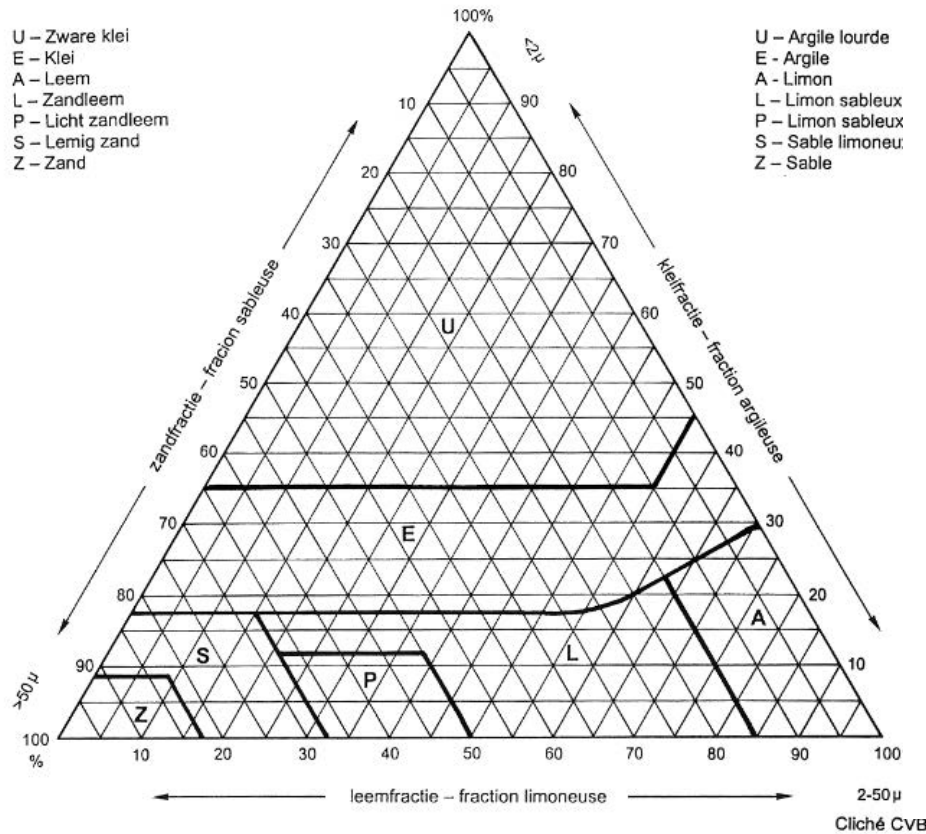
			fractie I	<	0,002	mm
0,002	mm	≤	fractie II	<	0,060	mm
0,002	mm	≤	fractie IIa	<	0,020	mm
0,060	mm	≤	fractie III	<	0,200	mm
0,200	mm	≤	fractie IV	<	2	mm
2	mm	≤	fractie V	<	20	mm
20	mm	≤	fractie VI	<	125	mm
20	mm	≤	fractie VIa	<	80	mm

Fractie	Onderverdeling	Korrelgrootte
grind		> 2 mm
zand	zeer grof zand	2 mm – 1 mm
	grof zand	1 mm – 0,500 mm
	middelmatig zand	0,500 mm – 0,200 mm
	fijn zand	0,200 mm – 0,100 mm
	zeer fijn zand	0,100 mm – 0,050 mm
leem	grof silt	50 µm – 20 µm
	middelmatig leem	20 µm – 10 µm
	fijne leem	10 µm – 2 µm
klei	grove klei	2 µm - 0,2 µm
	fijne klei	< 0,2 µm

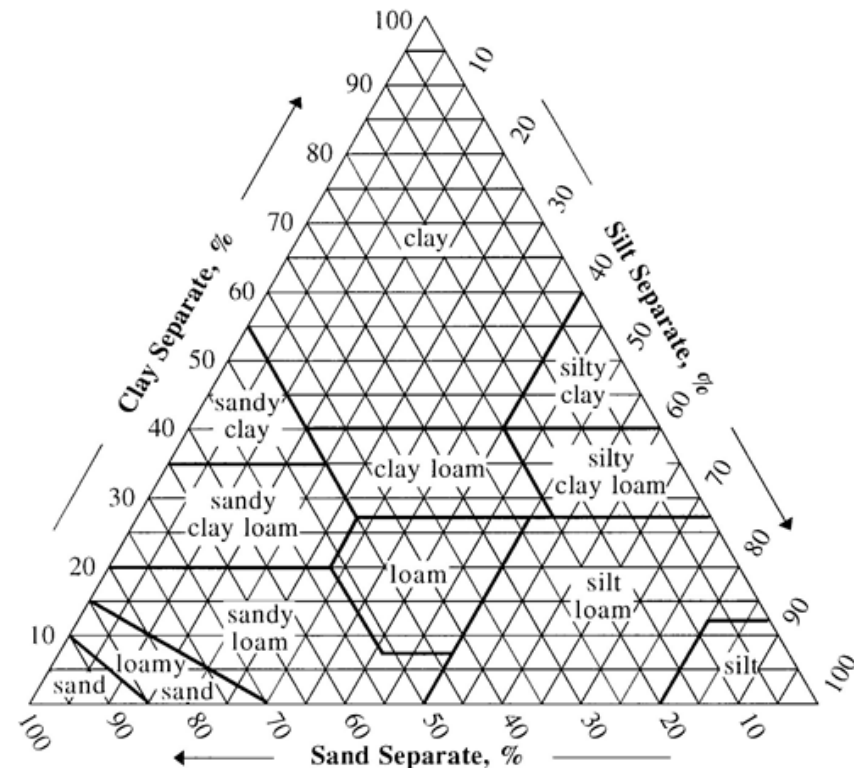
Welke referentiekaders bestaan er?

=> Grondsoort?

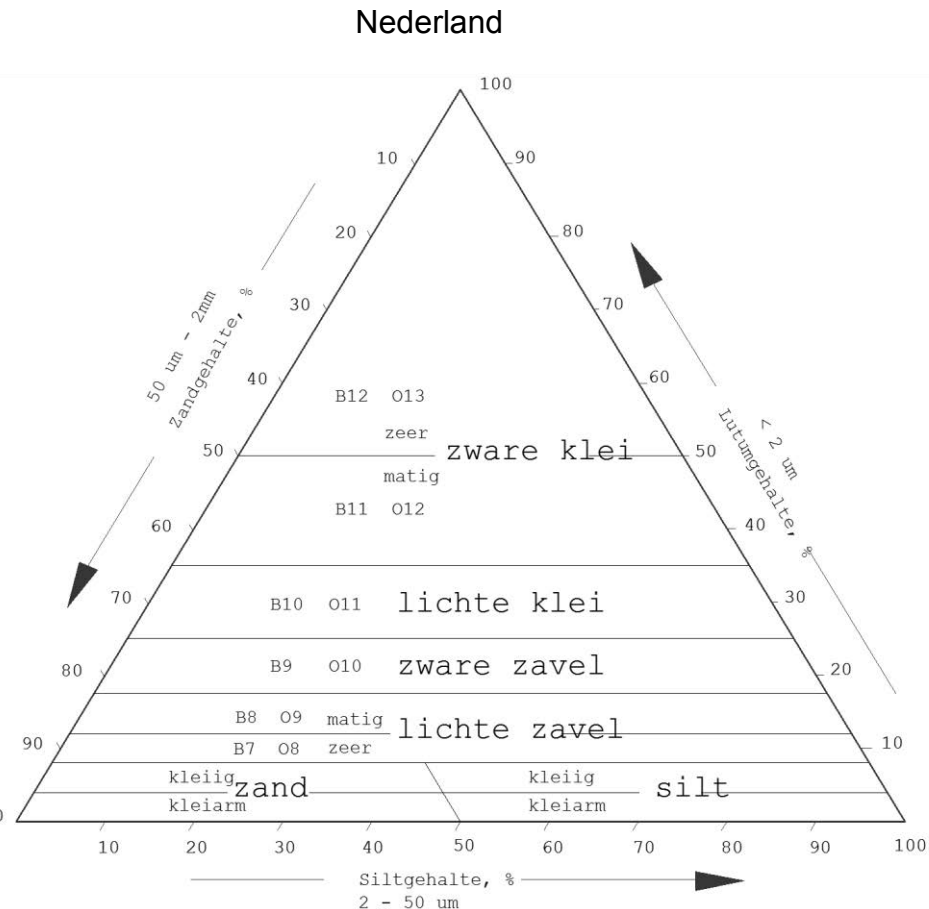
België (centrum voor bodemkartering)



USDA



=> Grondsoort?



Welke referentiekaders bestaan er?

OVAM 2002

Bodem, textuurklasse	k_h (m/d)	(m/s)
klei	< 0,01	< $1,2 \times 10^{-7}$
leem; zandige leem; kleiig zand	0,01 – 0,1	$1,2 \times 10^{-7} - 1,2 \times 10^{-6}$
lemig zand; fijn zand	0,1 – 10	$1,2 \times 10^{-6} - 1,2 \times 10^{-4}$
middelgrof zand	10 – 20	$1,2 \times 10^{-4} - 2,3 \times 10^{-4}$
grof zand	20 – 50	$2,3 \times 10^{-4} - 5,8 \times 10^{-4}$
grind	50 – 1000	$2,3 \times 10^{-4} - 1,2 \times 10^{-2}$

Staringreeks (Nederland)

VLARIO 2005

Grondsoort	Infiltratiecapaciteit	
Grof zand	500 mm/u	(= $1,4 \times 10^{-4}$ m/s)
Fijn zand	20 mm/u	(= $5,6 \times 10^{-6}$ m/s)
Leemachtig fijn zand	11 mm/u	(= $3,1 \times 10^{-6}$ m/s)
Lichte zavel	10 mm/u	(= $2,8 \times 10^{-6}$ m/s)
Löss	6 mm/u	(= $1,7 \times 10^{-6}$ m/s)
Veen	2,2 mm/u	(= $6,1 \times 10^{-7}$ m/s)
Leem	2,1 mm/u	(= $5,8 \times 10^{-7}$ m/s)
Lichte klei	1,5 mm/u	(= $4,2 \times 10^{-7}$ m/s)
Matig zware klei	0,5 mm/u	(= $1,4 \times 10^{-7}$ m/s)
Kleiige leem	0,4 mm/u	(= $1,1 \times 10^{-7}$ m/s)

Code Staringreeks	Doorlatendheid (m/s)	Grondsoort, benaderend vlgns. de Belgische indeling
-------------------	-------------------------	---

O1	1.76E-06	zand
O2	1.47E-06	zand
O3	1.26E-06	lemig zand
O4	1.14E-06	licht zandleem
O5	2.89E-06	zand
O6	3.93E-06	grinthoudend, grove fractie > 5%
O7	4.53E-06	zandige klei tot licht zandleem
O8	1.05E-06	kleiig zand, licht zandleem tot zandleem
O9	2.58E-07	kleiig zand tot zwaar zandleem
O10	2.45E-07	zandige tot lichte klei
O11	1.60E-06	zandige klei tot klei
O12	1.18E-07	zware zandige klei tot zware klei
O13	5.06E-07	zware zandige klei tot zeer zware klei
O14	1.75E-07	zwaar zandleem tot zandleem
O15	4.28E-07	licht leem, leem of zwaar leem
O16	1.24E-07	bodems op weinig materiaal
O17	3.39E-07	bodems op weinig materiaal
O18	3.99E-06	bodems op weinig materiaal

Welke testen/referentiekaders worden gebruikt buiten Vlaanderen?

Wallonië - richtlijnen

- Circulaire dite Foret du 9 janvier 2003 regionale overheden kunnen infiltratievoorzieningen opleggen
- Grote projecten: hydrologische studie met soms doorlatendheidsmeting
- SAIWE Système d' Assistance et d 'Information Wallon pour l' Epuration autonome
 - $K_{SAT} \geq 10^{-6}$ m/s
meetmethode $\approx$ falling head Porchet
 - afstand tot GW tafel > 50 cm (ideaal 1m)
 - niet in overstromingsgebied
- 2 studies lopende iov Waalse regering

Literatuurstudie

Frankrijk - richtlijnen

- Beslissing op **gemeentelijk niveau** => veel regionale verschillen
- **Cerema** procedure studie voorgesteld:

Fase 1: Administratief onderzoek + terreinbezoek

Fase 2: in situ onderzoek

- bodemprofiel
- doorlatendheidsmeting
 - Porchet (CH)
 - dubbele ring
 - Matsuo methode
 - Nasberg methode

$$K_{SAT} \geq 10^{-7} \text{ m/s}$$



Keuze afh van:

- vermoedelijke doorlatendheid
- diepte meting
- geplande voorziening

! Textuur

! Voldoende verzadigen voor meting

- max hoogte GWS
- situeringsplan

Fase 3: extra onderzoek in geval van speciale problemen

Opstellen rapport

Literatuurstudie

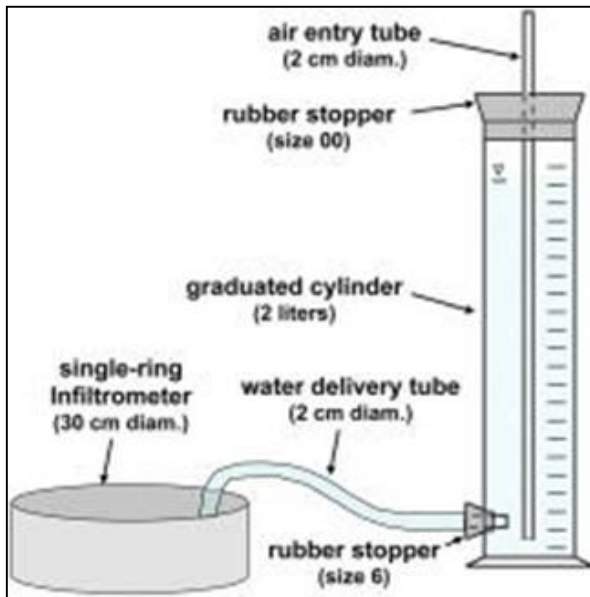
Nederland - richtlijnen

- Beslissing op **gemeentelijk niveau**
- Aanbevelingen **Waterschap Roer en Overmaas**:
 - ‘Lozen van afgekoppeld regenwater op oppervlaktewater’
 - **Dimensionering**
 - Geohydrologische studie doorlatendheid + GWS
veiligheidsfactor: laagste waarde/2 (dichtslibben)
 - Vuistregel doorlatendheid
 - $< 0,2 \text{ m/d}$ ($2,31 \times 10^{-6} \text{ m/s}$): infiltratie af te raden
 - $0,2 - 0,5 \text{ m/d}$: infiltratie met extra berging (lediging $> 24\text{u}$)
 - $> 0,5 \text{ m/d}$ ($5,79 \times 10^{-6} \text{ m/s}$): infiltratie

Literatuurstudie: Selectie methodes praktijkonderzoek

- Technische complexiteit
- Draagvlak
- Bepaalbaarheidsgrens: minstens 10^{-6} à -7 m/s
- Operationele en kostenzijde
 - Laagdikte
 - Diepte
 - Watervolume
 - Kraan nodig?

Selectie methodes: Enkele-ringmethode



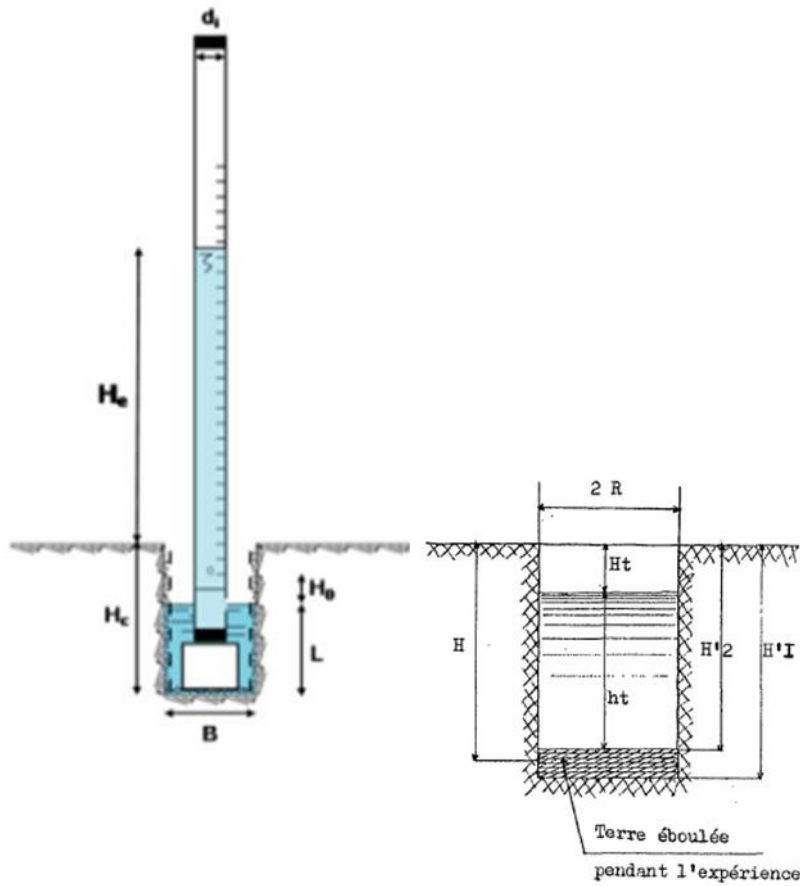
- Constant of falling head
- Infiltratie bodem ringoppervlak (30 cm diameter)
- K_v en h
- grond op voorhand gesatureerd
- Verschillende toepassingen waaronder infiltratie-onderzoek
- 30 min tot een paar dagen

Selectie methodes: Open-end-test



- Constant head
- waterkolom 1 m
- Vlotter – hefboom – ventiel
- Infiltratie door bodem buis (10 cm diameter)
- K_v
- grond op voorhand gesatureerd
- Standaard toegepaste methode in Duitsland + OCW
- +/- 1 uur zonder put graven
- Weinig/matig gespecialiseerd

Selectie methodes: Essai Porchet

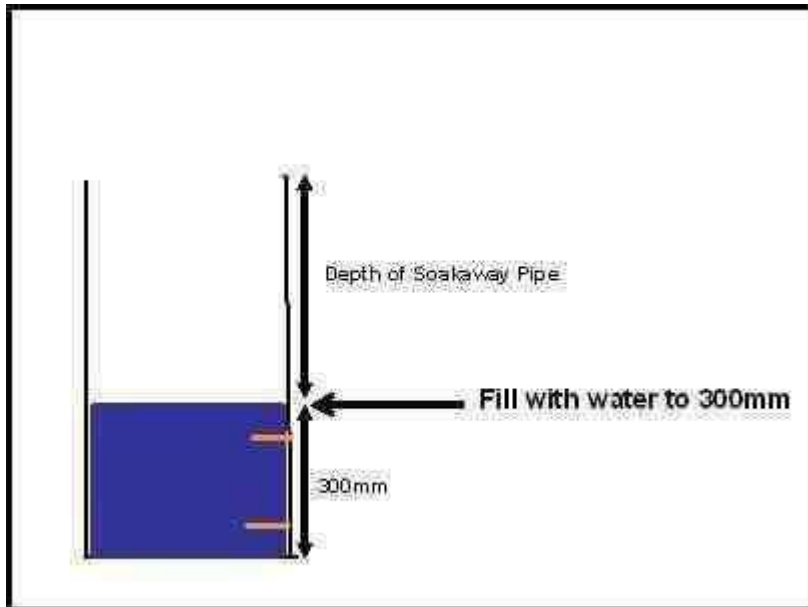


- Constant of falling head
- Waterkolom 15 à 40 cm
- Infiltratie wand en bodem boorgat
- K_v (en h)
- grond op voorhand gesatureerd
- Genormeerd in Frankrijk
- Geadviseerd in Wallonië
- 3 herhalingen
- diepte put voor $\Leftrightarrow$ na
- Matig of weinig Gespecialiseerd
- 1u/30 min + 4u verzadigen

Selectie methodes: Soakaway/soakage Test

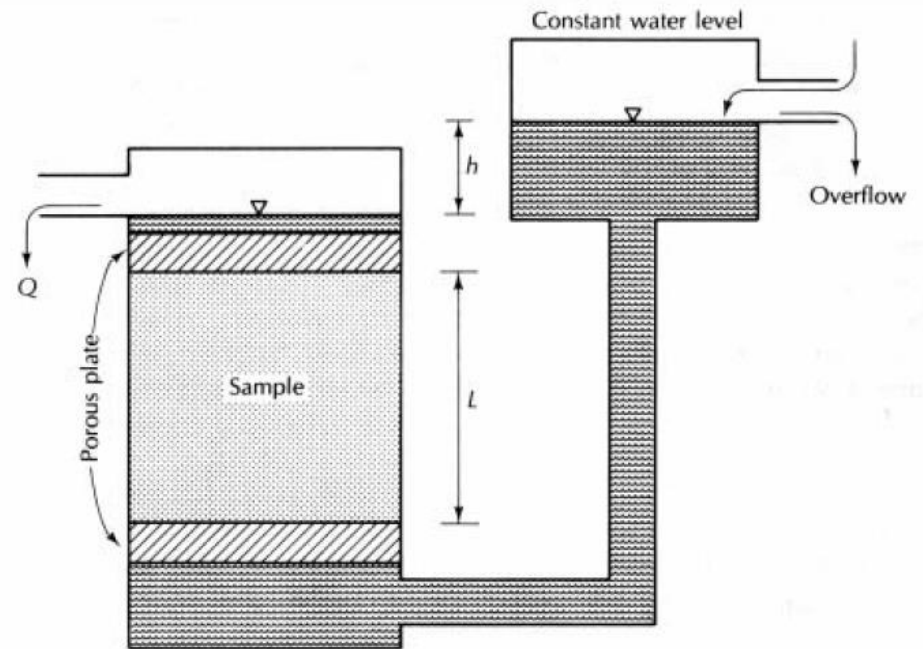


- Falling head
- diepte en waterhoogte vergelijkbaar met geplande infiltratiestructuur
- Infiltratie wand en bodem boorgat (type: L25xB25 cm² x D50 cm)
- K_v (en h)
- grond op voorhand gesatureerd
- Genormeerd in Engeland
- Meten van 25% tot 75 %
- Niet gespecialiseerd (Beperkte uitvoeringstijd + kost 'doe-het-zelf'-methode)



Selectie methodes: laboratorium

- Ongestoorde staalname – bepaling in labo met opwaartse stroming
- Hogere doorlatendheid
→ opwaartse stroming
- K_v
- Bij voorkeur hogere kolom
 - Uitvoeringswijze
 - kost



praktijkonderzoek

- Doel
 - Kunnen we k betrouwbaar inschatten op basis van alleen de grondsoort?
 - Inzicht in de variantie van elke methode
 - In hoeverre hangt de bekomen k -waarde af van de methode? En kunnen deze gecorreleerd worden ?
- Vooronderzoek
- Opzet
- Resultaten

Vooronderzoek

- Terrein-voorstudie
- Terreinwerk:
 - Boorstaat tot 2 m-mv
 - Beschrijving bodemhorizonten
 - Terreineigenschappen
 - Inventarisatie:
 - foto's
 - GPS
 - Grondstalen:
 - Palpatie
 - Granulometrie (9 fracties)
 - Organischestofgehalte

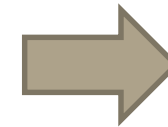
diepte (cm)	GWS	staal ID	Adres :	Oude Postbaan Helchteren
0		A0057352	SITE nr. :	1
10			Datum:	30 juni 2015
20			Uitvoering:	KV
30			GPS_ref.:	marc458
40		A0055741	Fototoestel:	KV
50			foto nr. overzicht :	87-88
60			foto nr. boorstaat :	89
70			foto nr. boorgat :	90
80			Bereikbaarheid :	
90			via aardenweg	
100			maïs	
110			Opmerkingen :	
120				
130				
140				
150				
160				
170				
180				
190				
200				

Foto boorstaat:



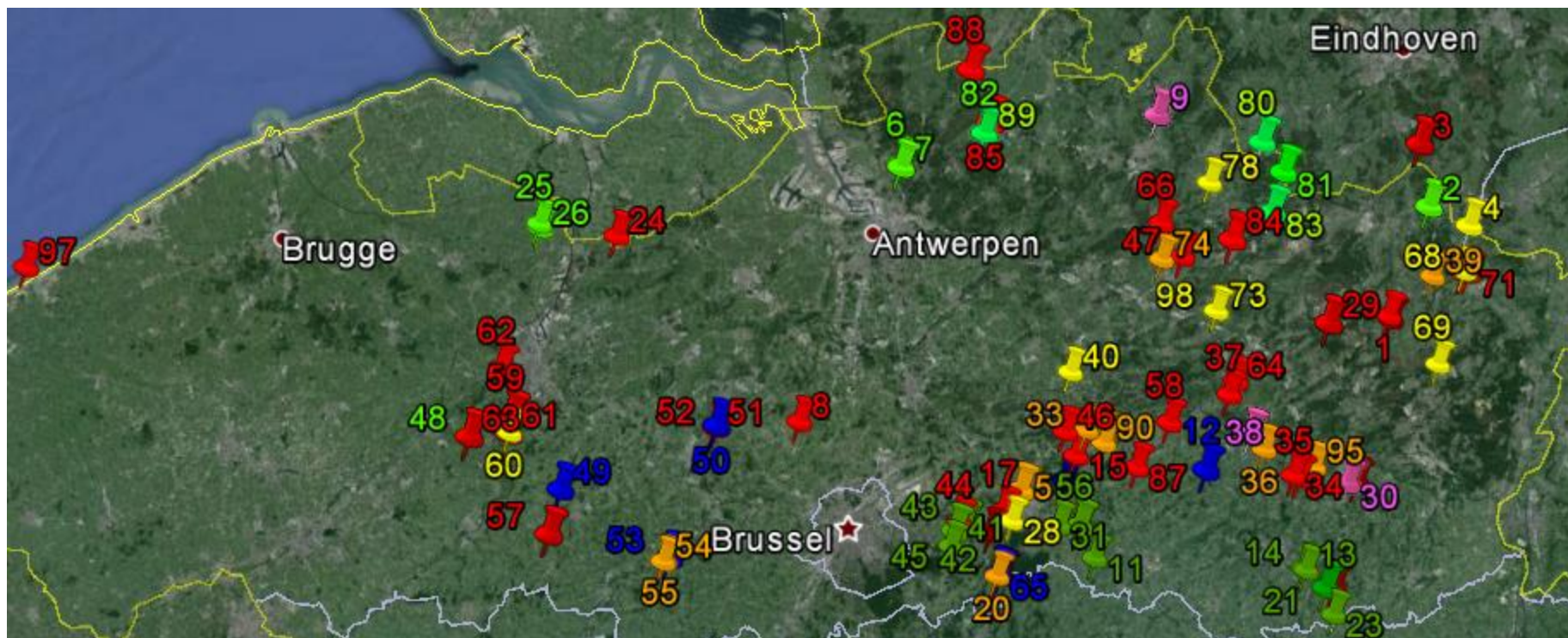
Vooronderzoek

- Selectie:
 - Granulometrie is criterium
 - Dikte min. 40 cm + onderliggende lagen
 - Grondwaterstand 90 à 100 cm dieper
 - Min. 5 sites /grondsoort
 - Regionale spreiding
 - Bereikbaarheid, toegankelijkheid
 - Timing (bouwcelen, landbouwgrond)
 - Relatie met eigenaar, gebruiker-pachter of projectontw



38 sites

Vooronderzoek



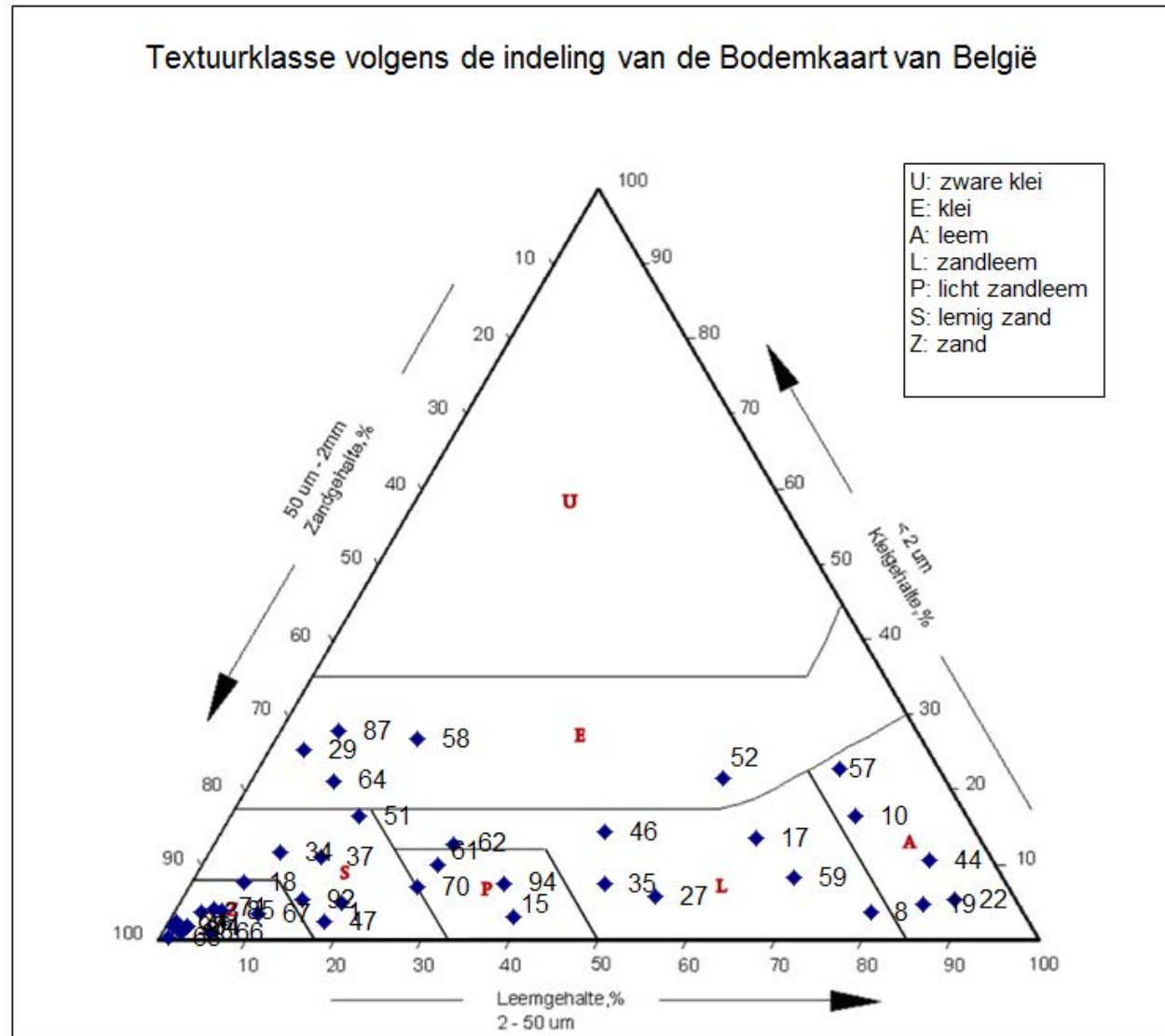
99 sites in vooronderzoek

86 sites in profielonderzoek

38 sites opgenomen onder het meetprogramma (57)

Vooronderzoek

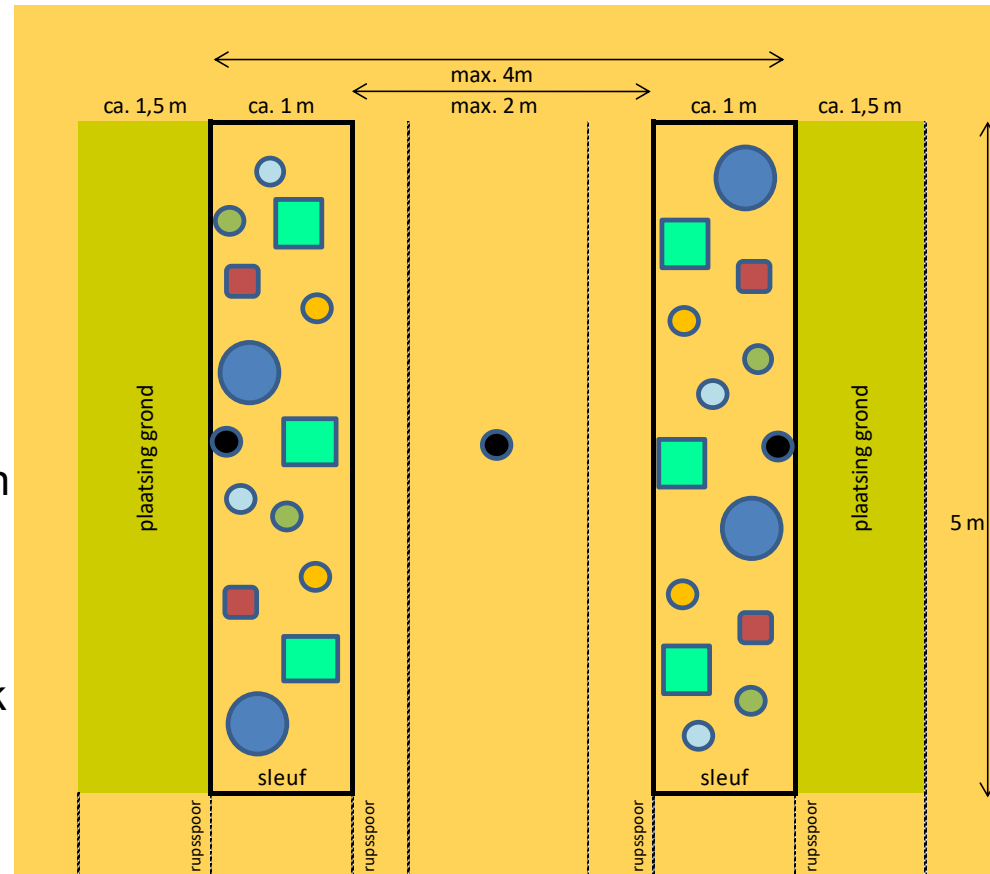
Indeling volgens granulometrie



Meetprogramma infiltratietesten

- Proefopzet, lay-out

- 2 sleuven (2 x 5x1m²) met tussenafstand van max. 2 m
- 5 methodes en 4 herhalingen at random gespreid binnen een zone van max. 20 m²
- Supplementair 2 profielonderzoeken tot 1 m onder het werkvlak
- Indien keuze: parallel met hoogtelijnen (maximaal vermijden van gradiënten)
- Steekcilinders (100 mm diam.; H >50 mm); monsters aangeleverd bij Afd. Geotechniek





Verwerking meetresultaten in situ

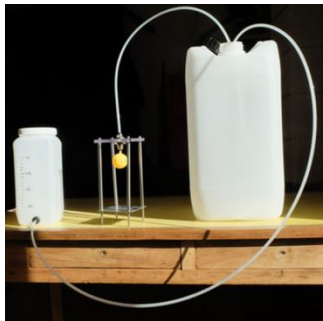
Enkele Ring (ER)



Porchet (PO)



Open end (OE)

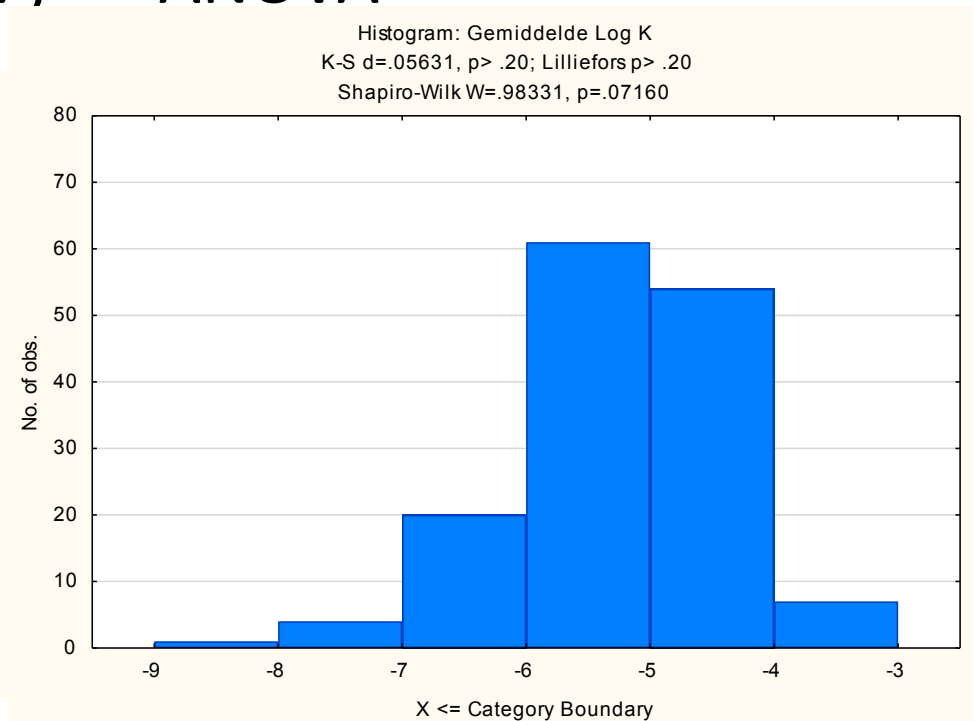
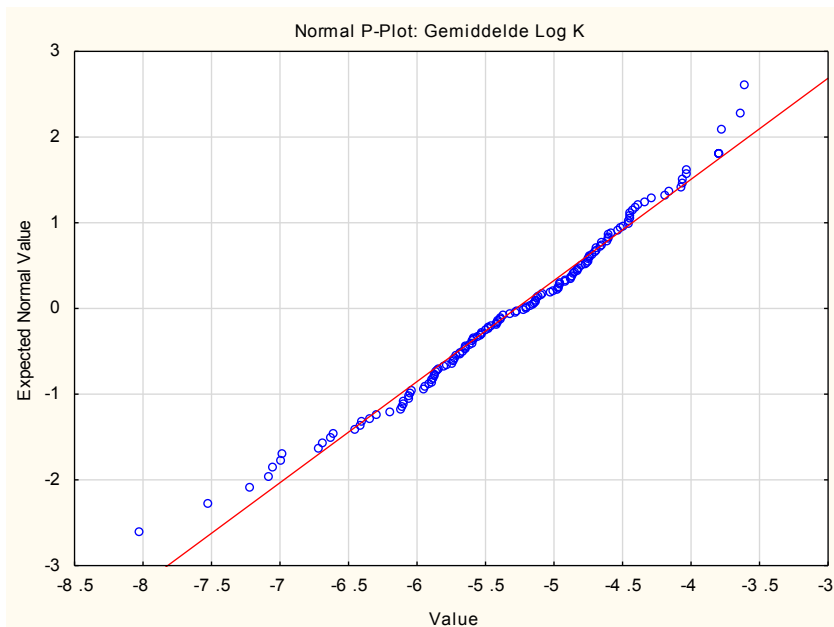


Soakaway (SO)



Verwerking meetresultaten in situ

Test normaliteit gemiddelde van vier herhalingen per
meetmethode per site van log K
(n=147) => ANOVA



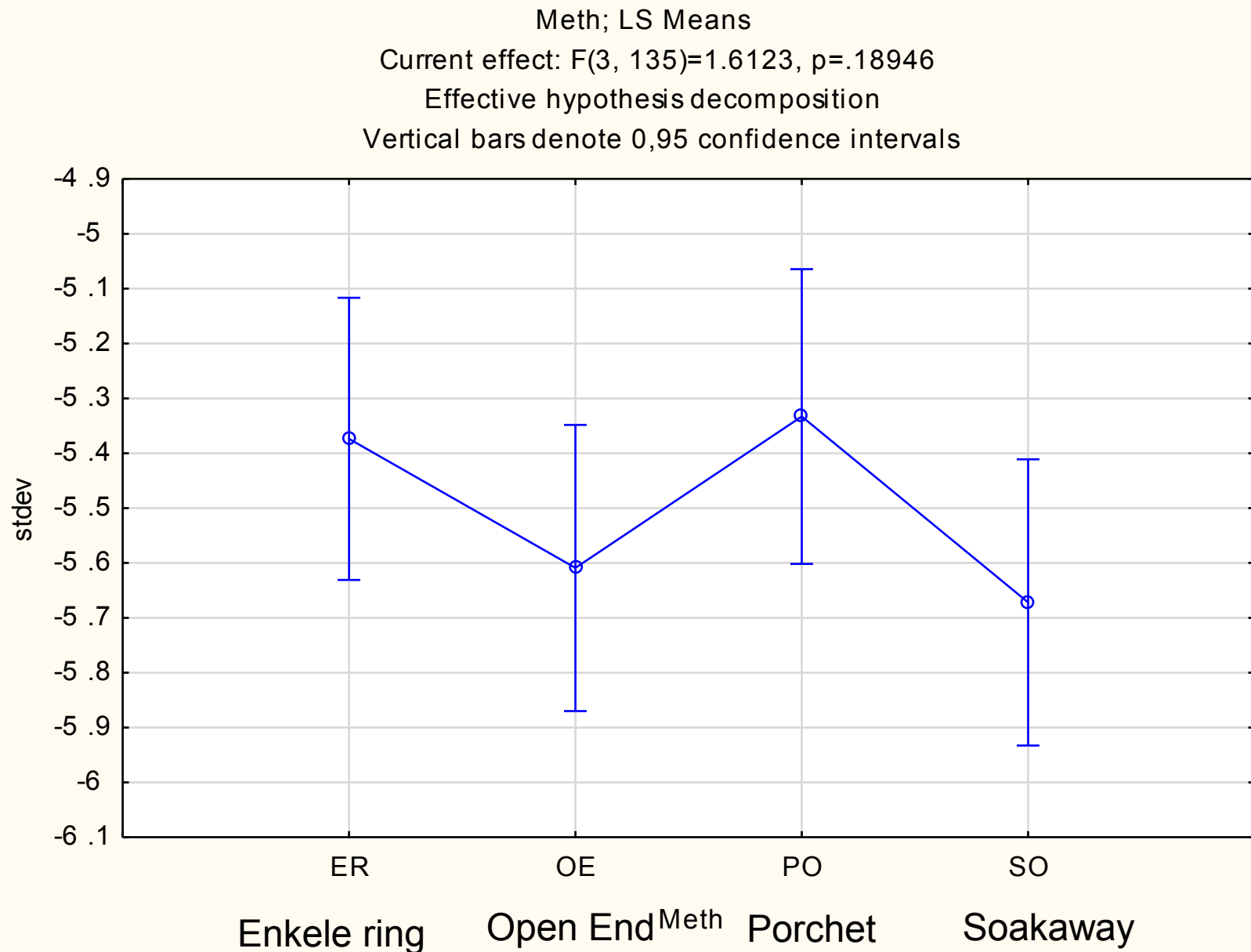
Verwerking meetresultaten in situ

=> Geen verschil in meetresultaat tussen de vier testen



Verwerking meetresultaten in situ

=> Geen verschil in meetvariatie tussen de vier testen



Verwerking meetresultaten in situ

ANOVA analyse gemiddelde Log K per site per meetmethode:

Geen significante invloed van

- Temperatuur water/bodem
 - Grondwatertafelstand bij meting
 - Drainagetrapp
 - ...
-
- Wat met bodemtextuur?

Verwerking meetresultaten in situ

Wat met bodemtextuur?

sites per textuurklasse zoals vastgelegd volgens de verschillende methodes om textuur te beoordelen

Granulo- metrie	# sites	Palpatie labo	# sites	Palpatie op het terrein	# sites	Bodemkaart	# sites
A	5	A	10	A	6	A	5
E	5	E	1	E	2	E	6
L	6	L	4	L	7	L	6
P	5	P	4	P	1	P	4
S	6	S	9	S	8	S	5
Z	6	Z	10	Z	5	Z	6
Zg	5			Zg	9	Zg	6

Textuurbeoordeling zoals aangeduid op de bodemkaart komt niet noodzakelijk overeen met granometrie.

Granulometrie en palpatie labo beiden bepalend voor meetresultaat infiltratieproef

Verwerking meetresultaten in situ

Wat met bodemtextuur?

Granulometrie en palpatie labo beide bepalend voor meetresultaat infiltratieproef:
p waardes Tukey HSD test (palpatie labo) en kruskall wallis (granulometrie)

Tukey HSD test; variable log K Approximate Probabilities for Post Hoc Tests
 Error: Between MS = .54673, df = 141.00

<u>Textuur palp labo</u>	A	P	L	Z	S	E
A		0 .999271	0 .908193	0 .000020	0 .267382	0 .980163
P	0 .999271		0 .994919	0 .001034	0 .825062	0 .956781
L	0 .908193	0 .994919		0 .006030	0 .987902	0 .829360
Z	0 .000020	0 .001034	0 .006030		0 .004154	0 .013358
S	0 .267382	0 .825062	0 .987902	0 .004154		0 .562889
E	0 .980163	0 .956781	0 .829360	0 .013358	0 .562889	

Multiple Comparisons p values (2-tailed); log K Independent (grouping) variable: Granul Kruskal-Wallis test:
 $H(6, N=147) = 35.87906$ $p = .0000$

<u>Textuur granulometrie</u>	A	P	L	Z	S	E	Zg
A		1 .000000	1 .000000	0 .000031	0 .385370	0 .356025	0 .000571
P	1 .000000		1 .000000	0 .047822	1 .000000	1 .000000	0 .230528
L	1 .000000	1 .000000		0 .001233	1 .000000	1 .000000	0 .013909
Z	0 .000031	0 .047822	0 .001233		0 .199048	0 .402952	1 .000000
S	0 .385370	1 .000000	1 .000000	0 .199048		1 .000000	0 .843627
E	0 .356025	1 .000000	1 .000000	0 .402952	1 .000000		1 .000000
Zg	0 .000571	0 .230528	0 .013909	1 .000000	0 .843627	1 .000000	

Verwerking meetresultaten in situ

Wat met bodemtextuur?

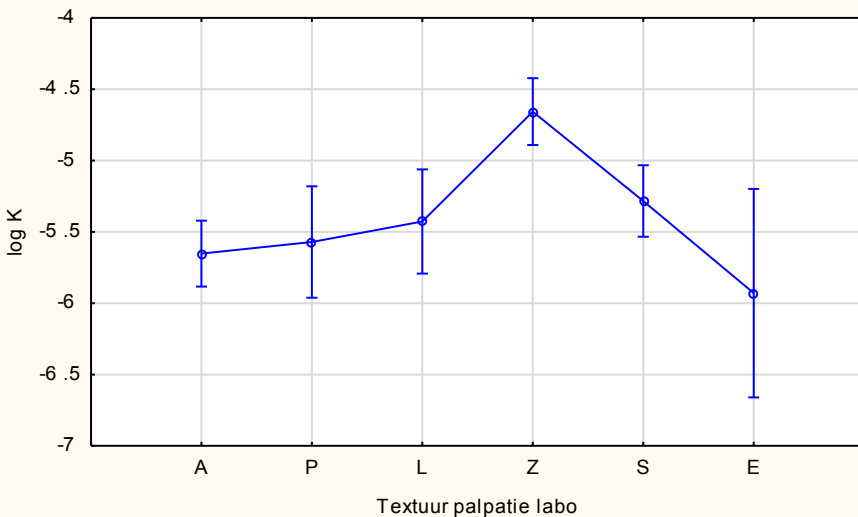
Enkel Z (en Zg) verschillen significant van de overige texturen

Granul; LS Means

Current effect: $F(5, 141)=8.7433$, $p=.00000$

Effective hypothesis decomposition

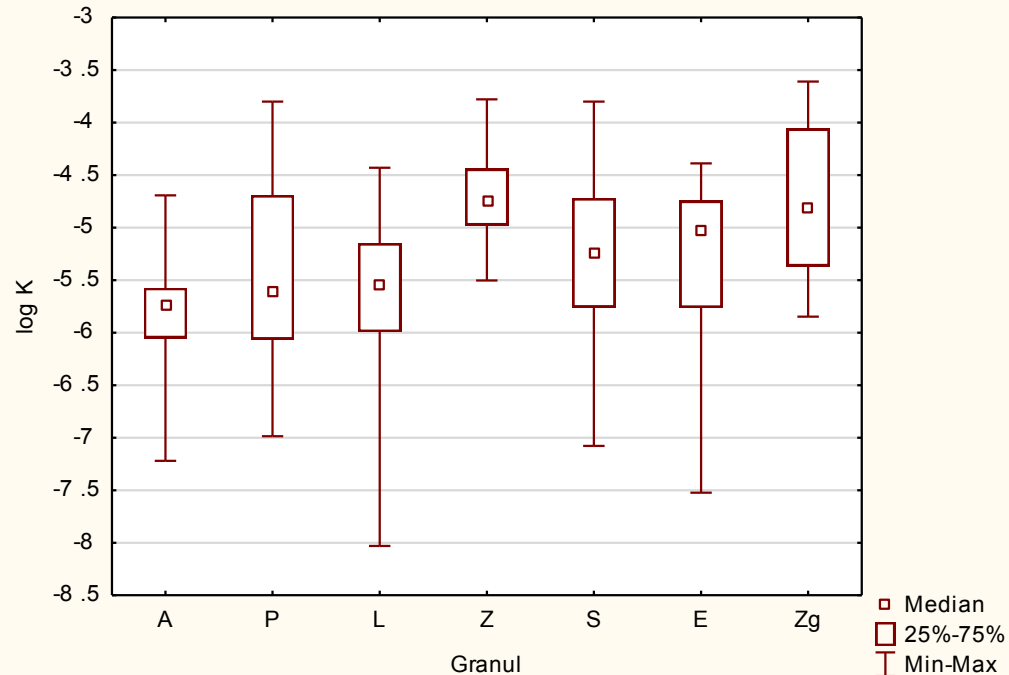
Vertical bars denote 0,95 confidence intervals



Palpatie labo

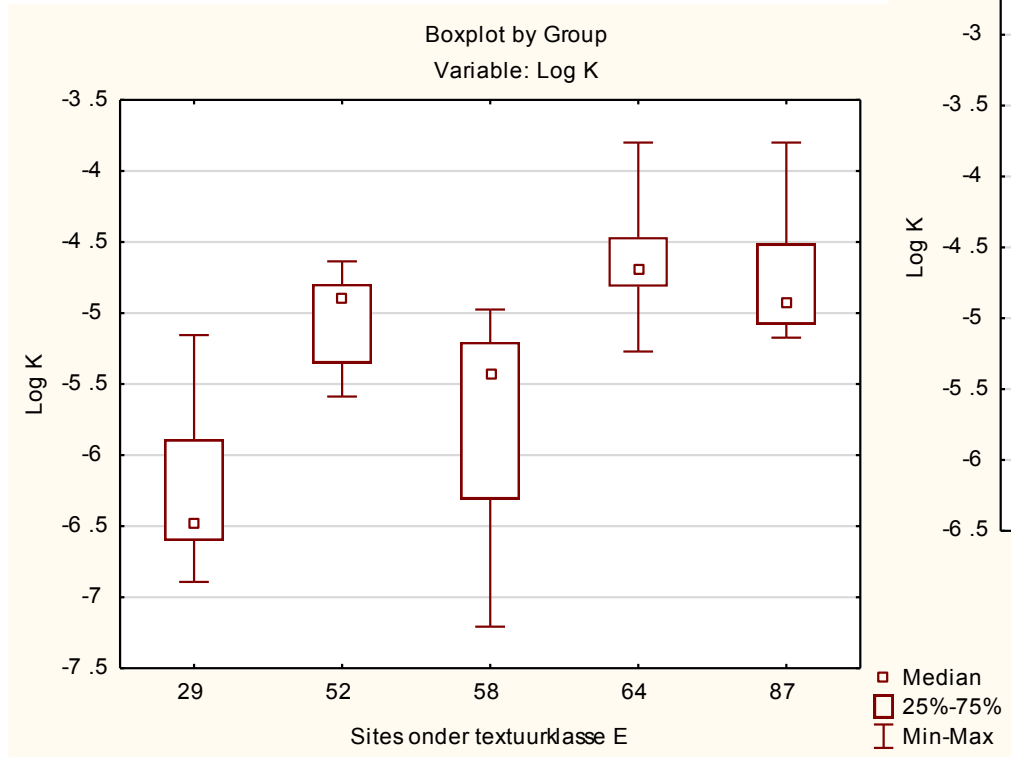
Boxplot by Group

Variable: log K

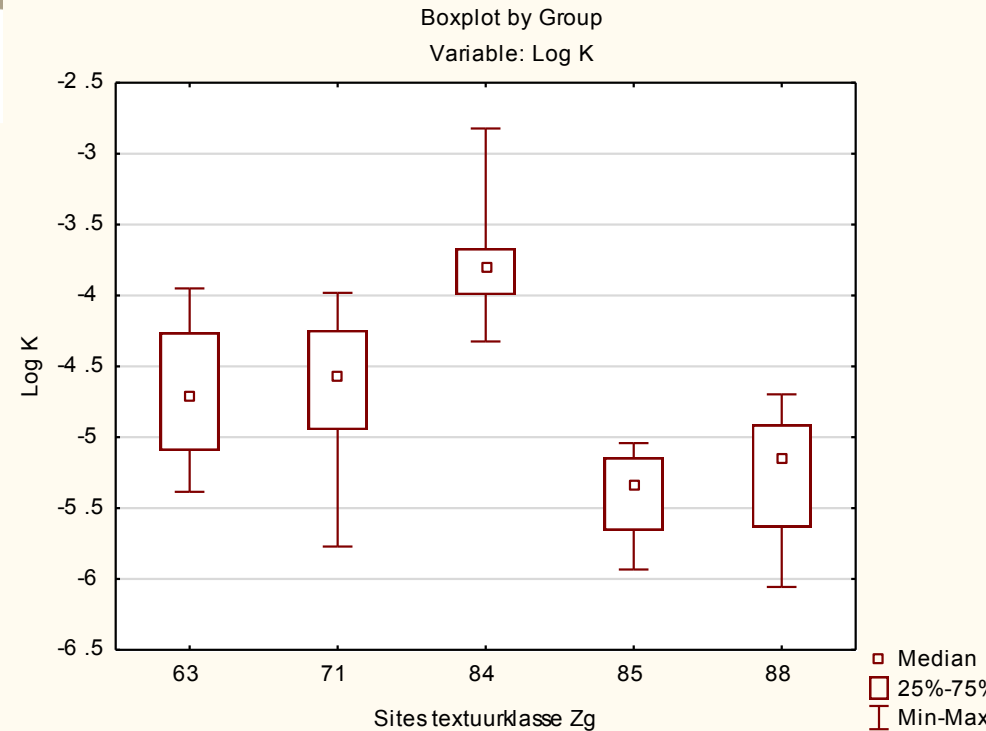


Granulometrie

Verwerking meetresultaten in situ



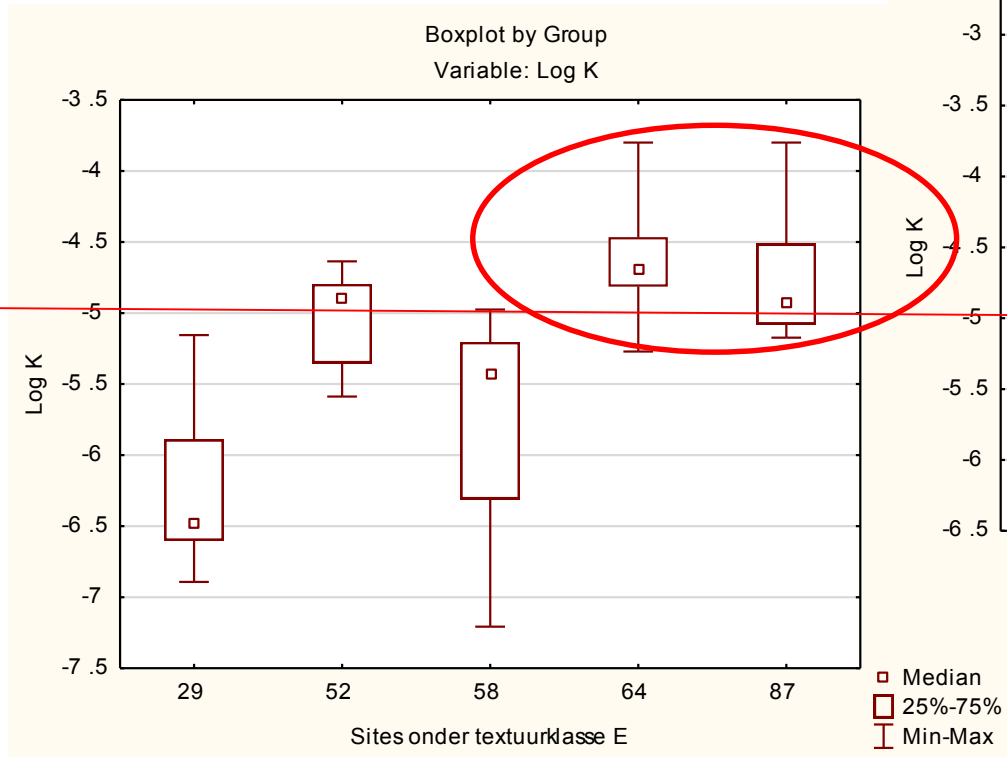
Log K voor 5 sites textuur E (klei)



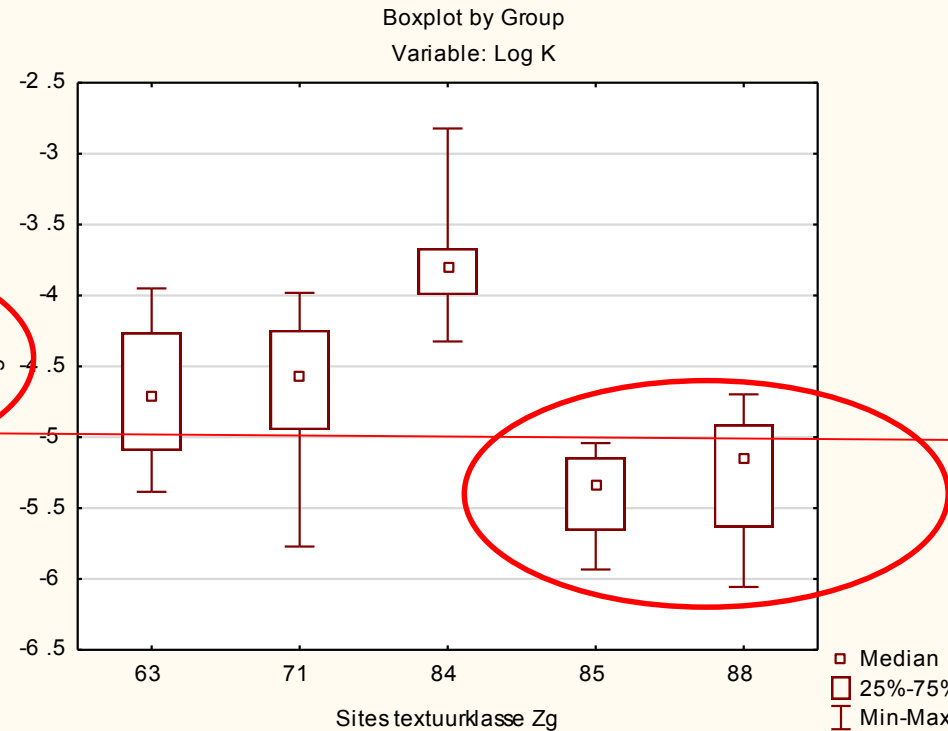
Log K voor 5 sites textuur Zg (grof zand)

Binnen eenzelfde textuurklasse verschillen in K waarde tussen de sites
=> *Bodemtextuur alleen kan geen betrouwbare schatting van de K waarde leveren*

Verwerking meetresultaten in situ



Log K voor 5 sites textuur E (klei)



Log K voor 5 sites textuur Zg (grof zand)

VB site 85 en 88 (textuur Zg) hebben een lagere K dan site 64 en 87 (textuur E)

Verwerking meetresultaten laboratorium

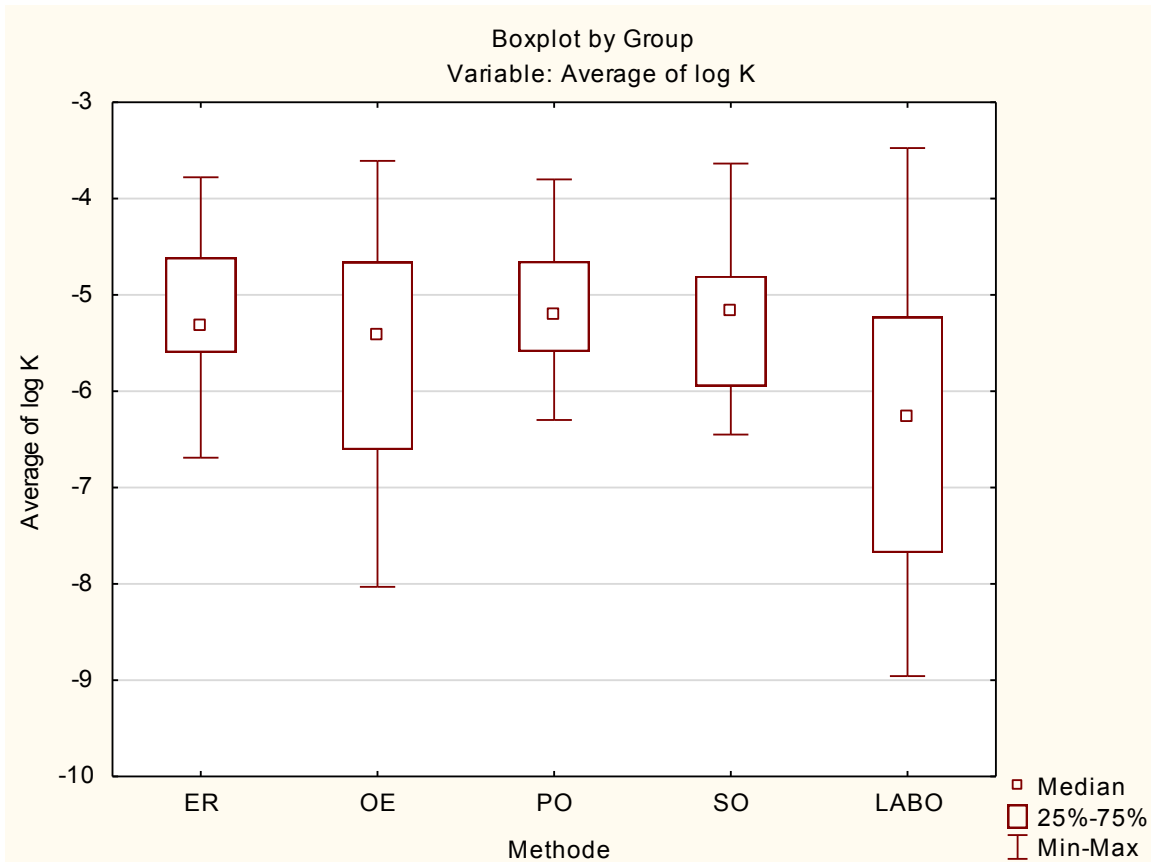
Ongestoorde staalname door BDB

Meting K door MOW, Afd. Geotechniek te Gent.

- Waardes waarbij $K < 10^{-6}$: veranderd verval op ongestoord staal
- Waardes waarbij $K > 10^{-6}$: constant verval op gestoord staal

lagere K waarde ten opzichte van
Enkele Ring (ER), Porchet (PO) en
Soakaway (SO)

Niet ten opzichte van Open End
(OE)



Verwerking meetresultaten in situ

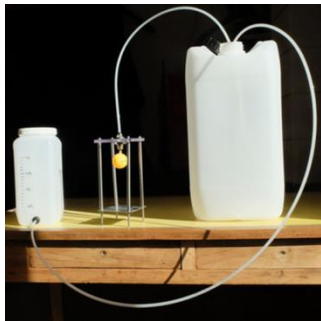
Enkele Ring (ER)



Porchet (PO)



Open end (OE)



Soakaway (SO)



Verwerking meetresultaten in situ

Hoogste correlatie tussen PO en SO, laagste tussen OE en ER

Pearson correlatie tussen de meetmethodes in situ (*p<0.05)

	ER	OE	PO
Alle data			
OE	0.16		
PO	0.70*	0.54*	
SO	0.70*	0.44*	0.84*
Zand texturen (Z, Zg)			
OE	0.49		
PO	0.57	0.63	
SO	0.52	0.85*	0.87*
Overige texturen (A, E, L, P, S)			
OE	-0.15		
PO	0.65*	0.42*	
SO	0.61*	0.20	0.79*

Lagere correlatie met de labobepaling

Pearson correlatie tussen de labobepaling en de meetmethodes in situ (*p<0.05)

	ER	OE	PO	SO	Gemiddelde in situ
Zand texturen (Z, Zg)	0.28	0.48	0.20	0.19	0.34
Overige texturen (A, E, L, P, S)	0.51*	0.04	0.26	0.23	0.29
Alle data	0.61*	0.35*	0.46*	0.53*	0.58*

Verwerking meetresultaten in situ

Samenvattend:

	Enkele Ring (ER)	Porchet (PO)	Soakaway (SO)	Open End (OE)
Investeringskost	Gematigd	Gematigd	Zeer laag	Eerder hoog
Gemiddelde duur tot verzadiging	1 tot 3 uur	4 uur	0.5 tot 24 u	20 minuten
Hoeveelheid water nodig voor de meting	Normaal (+- 20 l)	Kan oplopen tot meer dan 100 l	Normaal (+- 20 l)	Normaal (+- 20 l)
Risico op outliers	Normaal	Normaal	Normaal	Hogere kans
Beperkingen en calamiteiten op het terrein	Moeilijk om ring aan te brengen in stenige ondergrond Veel graafwerk indien metingen op de diepere horizonten	Vereist opvolging tijdens de meting Beperking in meetbereik bij hoge K	Put valt in Veel graafwerk indien metingen op de diepere horizonten	Visuele controle moeilijk bij technische storingen ingeval automatisatie

Referentie waarden

Zanderige
texturen lager dan
Ovam (2002)
maar hoger dan
Vlario (2005)

Leemachtige
texturen hoger of
gelijk dan Ovam
(2002) en dan
Vlario (2005)

Kleitexturen hoger
dan Ovam (2002)
en dan Vlario
(2005)

Praktijkonderzoek		Ovam (2002)		Vlario (2005)		Staringreeks (Wösten et al., 2002)	
Indeling	K (m/s)	Indeling	K (m/s)	Indeling	K (m/s)	Indeli ng	K (m/s)
Zanderige texturen							
						O1	$1,76 \times 10^{-6}$
Zg	$2,05 \times 10^{-5}$	Grof zand	$2,3 \times 10^{-4}$ tot $5,8 \times 10^{-4}$	Fijn zand	$5,6 \times 10^{-6}$	O2	$1,47 \times 10^{-6}$
Z	$1,70 \times 10^{-5}$	Middel grof zand	$1,2 \times 10^{-4}$ tot $2,3 \times 10^{-4}$	Leemachtig fijn zand	$3,1 \times 10^{-6}$	O3	$1,26 \times 10^{-6}$
S	$5,44 \times 10^{-6}$	Lemig zand, fijn zand	$1,2 \times 10^{-6}$ tot $1,2 \times 10^{-4}$	Lichte zavel	$2,8 \times 10^{-6}$	O5	$2,89 \times 10^{-6}$
Leemachtige texturen							
P	$3,79 \times 10^{-6}$	Leem, zandige leem, kleiig zand	$1,2 \times 10^{-7}$ tot $1,2 \times 10^{-6}$	Löss	$1,7 \times 10^{-6}$	O7	$4,53 \times 10^{-6}$
L	$2,07 \times 10^{-6}$			Leem	$5,8 \times 10^{-7}$	O8	$1,05 \times 10^{-6}$
A	$1,58 \times 10^{-6}$					O9	$2,58 \times 10^{-7}$
						O14	$1,75 \times 10^{-7}$
						O15	$4,28 \times 10^{-7}$
Kleiachtige texturen							
				Lichte klei	$4,2 \times 10^{-7}$	O10	$2,45 \times 10^{-7}$
E	$4,85 \times 10^{-6}$	Klei	$< 1,2 \times 10^{-7}$	Matig zware klei	$1,4 \times 10^{-7}$	O11	$1,60 \times 10^{-6}$
				Kleiige leem	$1,1 \times 10^{-7}$	O12	$1,18 \times 10^{-7}$
						O13	$5,06 \times 10^{-7}$

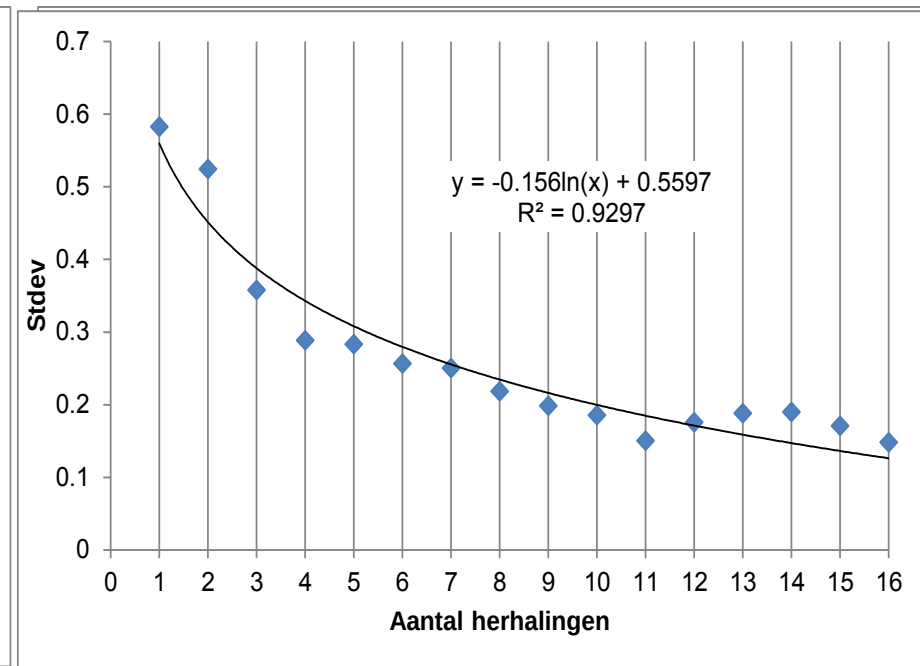
Referentie waarden

Praktijkonderzoek		Ovam (2002)		Vlario (2005)		Staringreeks (Wösten et al., 2002)	
Indeling	K (m/s)	Indeling	K (m/s)	Indeling	K (m/s)	Indeling	K (m/s)
Zanderige texturen							
						O1	$1,76 \times 10^{-6}$
Zg	$2,05 \times 10^{-5}$	Grof zand	$2,3 \times 10^{-4}$ tot $5,8 \times 10^{-4}$	Fijn zand	$5,6 \times 10^{-6}$	O2	$1,47 \times 10^{-6}$
Z	$1,70 \times 10^{-5}$	Middel grof zand	$1,2 \times 10^{-4}$ tot $2,3 \times 10^{-4}$	Leemachtig fijn zand	$3,1 \times 10^{-6}$	O3	$1,26 \times 10^{-6}$
S	$5,44 \times 10^{-6}$	Lemig zand, fijn zand	$1,2 \times 10^{-6}$ tot $1,2 \times 10^{-4}$	Lichte zavel	$2,8 \times 10^{-6}$	O5	$2,89 \times 10^{-6}$
Leemachtige texturen							
P	$3,79 \times 10^{-6}$	Leem, zandige leem, kleiig zand	$1,2 \times 10^{-7}$ tot $1,2 \times 10^{-6}$	Löss	$1,7 \times 10^{-6}$	O7	$4,53 \times 10^{-6}$
L	$2,07 \times 10^{-6}$			Leem	$5,8 \times 10^{-7}$	O8	$1,05 \times 10^{-6}$
A	$1,58 \times 10^{-6}$					O9	$2,58 \times 10^{-7}$
						O14	$1,75 \times 10^{-7}$
						O15	$4,28 \times 10^{-7}$
Kleiachtige texturen							
				Lichte klei	$4,2 \times 10^{-7}$	O10	$2,45 \times 10^{-7}$
E	$4,85 \times 10^{-6}$	Klei	$< 1,2 \times 10^{-7}$	Matig zware klei	$1,4 \times 10^{-7}$	O11	$1,60 \times 10^{-6}$

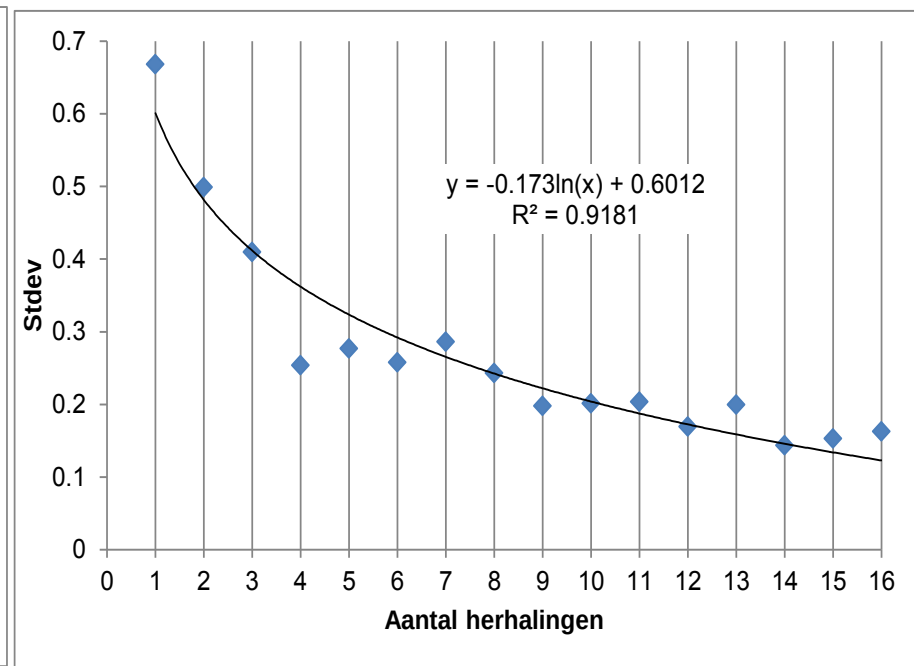
Categorie	Log K (m/s)	K (m/s)
Zeer laag (10 % laagste)	-6.13	7.41×10^{-7}
Laag (25 % laagste)	-5.73	1.86×10^{-6}
Normaal (50 %)	-5.27	5.37×10^{-6}
Hoog (25 % hoogste)	-4.82	1.51×10^{-5}
Zeer hoog (10 % hoogste)	-4.41	3.89×10^{-5}

Standaarddeviatie in functie van het aantal herhalingen

Vanaf 4 herhalingen belangrijke daling van de meetvariatie



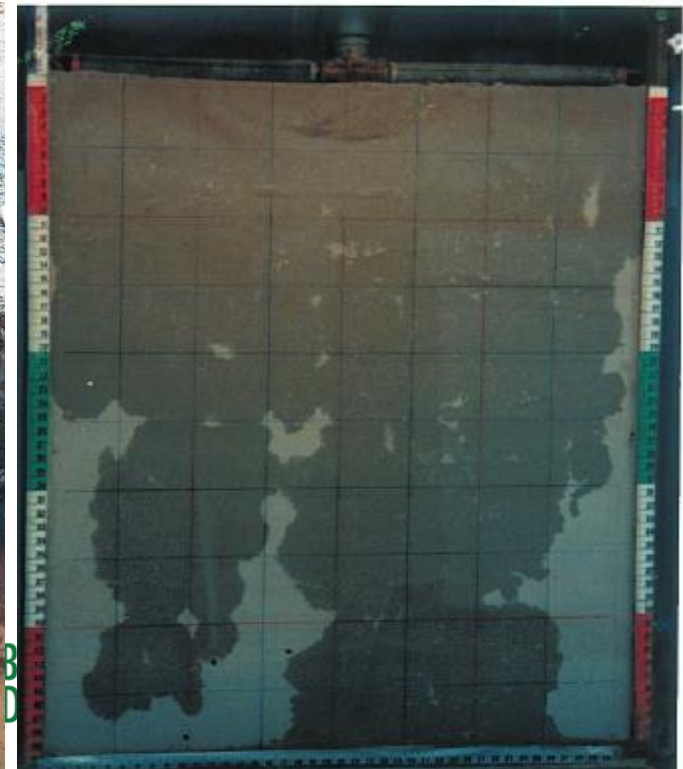
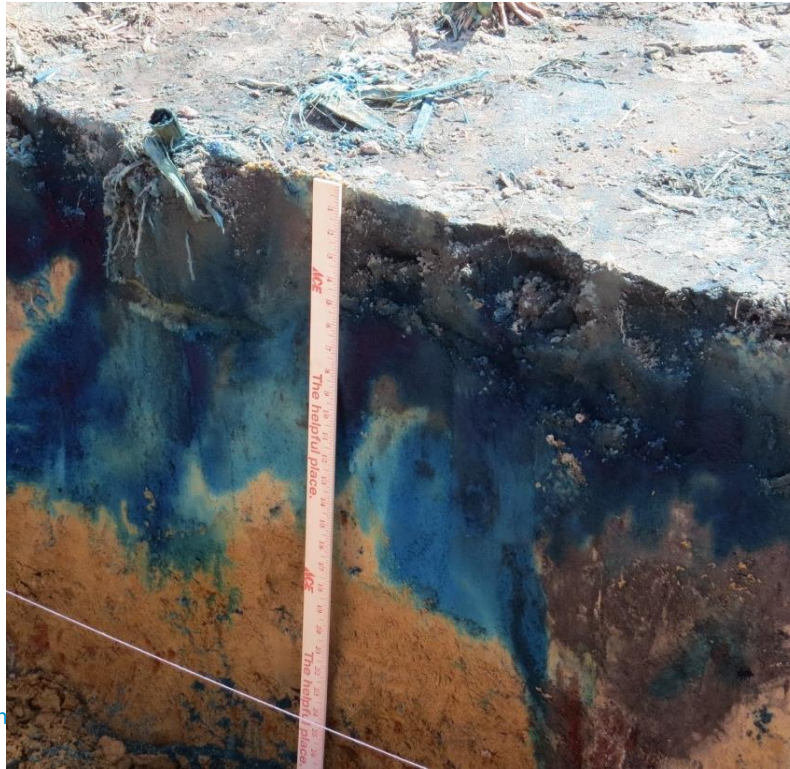
Site 17 (Textuur L)



Site 54 (Textuur A)

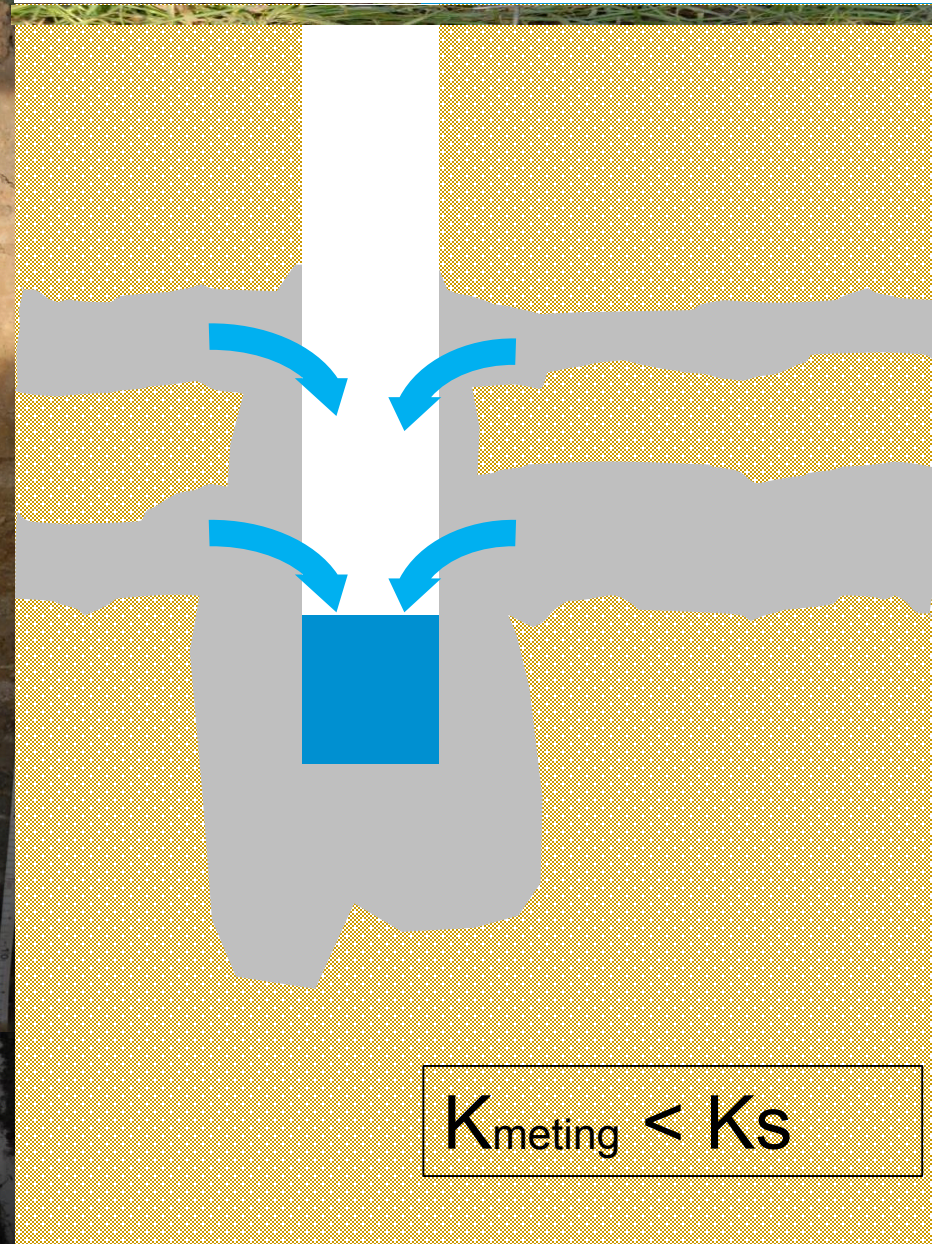
Metingen en spelbrekers

- K-waarde en meetomstandigheden:
Spelbrekers voor een correcte meting:
Lisse-effect en “neerslagfronten”
 - Neerslagfronten in de bodem:



Metingen en spelb

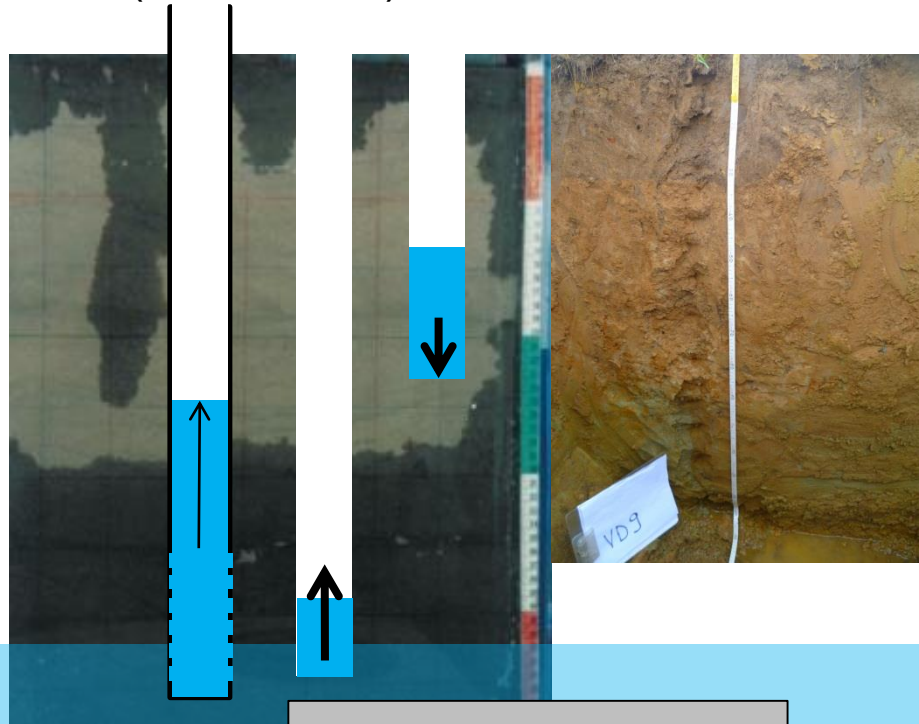
- Spelbrekers: Lisse
- Neerslagfronten in



$$K_{\text{meting}} < K_s$$

Metingen en spelbrekers

- Spelbrekers: Lisse-effect en “neerslagfronten”
 - Lisse-effect (1932; 2001):



? $K_{\text{meting}} <> K_s$

Conclusies/aanbevelingen na het onderzoek

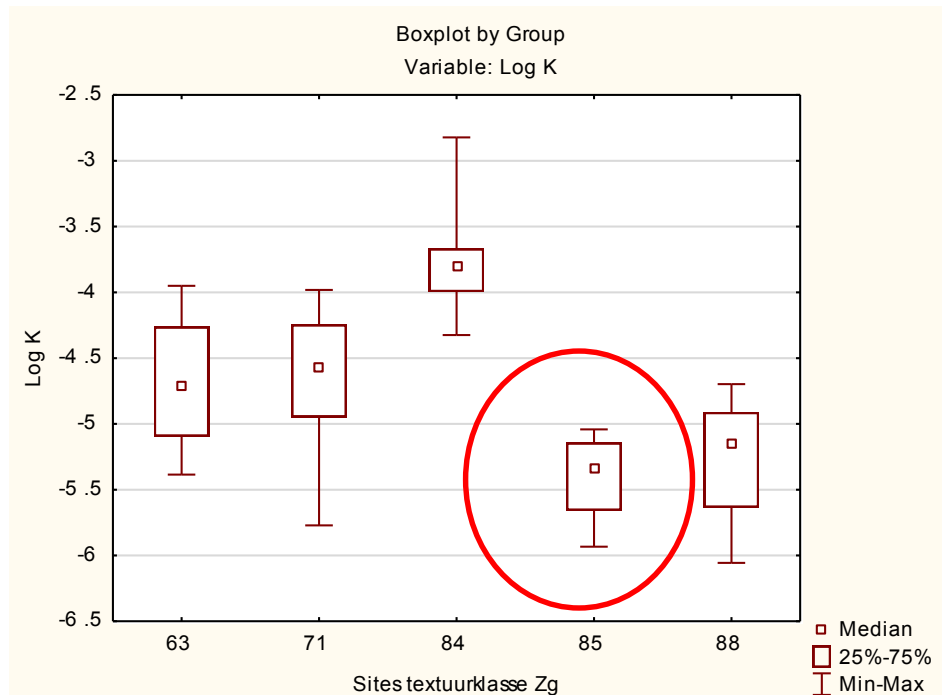
- Raadzaam om de infiltratieproef in vier of meer herhalingen uit te voeren, o.a. om outliers te detecteren.
- Binnen eenzelfde textuurgroep significant verschillende K waardes
=> Voorkeur van de een meting van de K waarde boven een schatting op basis van textuur en eventueel andere bodemparameters
- Lagere K waardes bij in situ metingen
- In textuurklasse E hogere K waardes dan verwacht op basis van literatuuronderzoek
- Voorafgaand werd een profielonderzoek uitgevoerd ter bepaling van grondwatertafelstandbeweging, voorkomen van afwijkende bodemhorizonten.

Conclusies/aanbevelingen na het onderzoek

- Aandacht voor het Lisse effect, belemmering van infiltratie door luchtinsluiting na hevige regenval.
- Stdev = 60% van de gemiddelde K waarde.

=> Aandacht voor de hoge variatie op K bepalingen bij de interpretatie van de meting of het gebruik van de K waarde in verdere onderzoeken

Site 85: gemiddelde K is 4.8×10^{-6} m/s
stdev is 2.9×10^{-6} m/s



Meer weten?

- Demonstraties vanmiddag o.l.v. Frank Elsen
- Het rapport: *“Opstellen van richtlijnen voor het meten van de infiltratiecapaciteit en het modelmatig onderbouwen voor de dimensionering van infiltratievoorzieningen”*

(<https://www.vmm.be/publicaties/opstellen-van-richtlijnen-voor-meten-van-infiltratiecapaciteit-en-modelmatig-onderbouwen-voor-dimensionering-van-infiltratievoorzieningen>)

Met daarbij o.a. werkvoorschriften voor het uitvoeren van de besproken infiltratieproeven.

- Contacteer Kristel Vuerinckx, Pieter Janssens of Frank Elsen op info@bdb.be en +32 16 310 922



VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ

RAPPORT

Vlaamse Milieumaatschappij

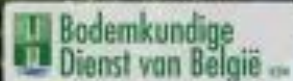
Afdeling Operationeel Waterbeheer

Opstellen van richtlijnen voor het meten van de infiltratiecapaciteit en het modelmatig onderbouwen voor de dimensionering van infiltratievoorzieningen

30 november 2016 - versie 9.0



In samenwerking met



“Opstellen van richtlijnen voor het meten van de infiltratiecapaciteit en het modelmatig onderbouwen voor de dimensionering van infiltratievoorzieningen”

(IMDC, BDB; 2016) in opdracht van
VMM Afdeling Operationeel
Waterbeheer

(<https://www.vmm.be/publicaties/opstellen-van-richtlijnen-voor-meten-van-infiltratiecapaciteit-en-modelmatig-onderbouwen-voor-dimensionering-van-infiltratievoorzieningen>)