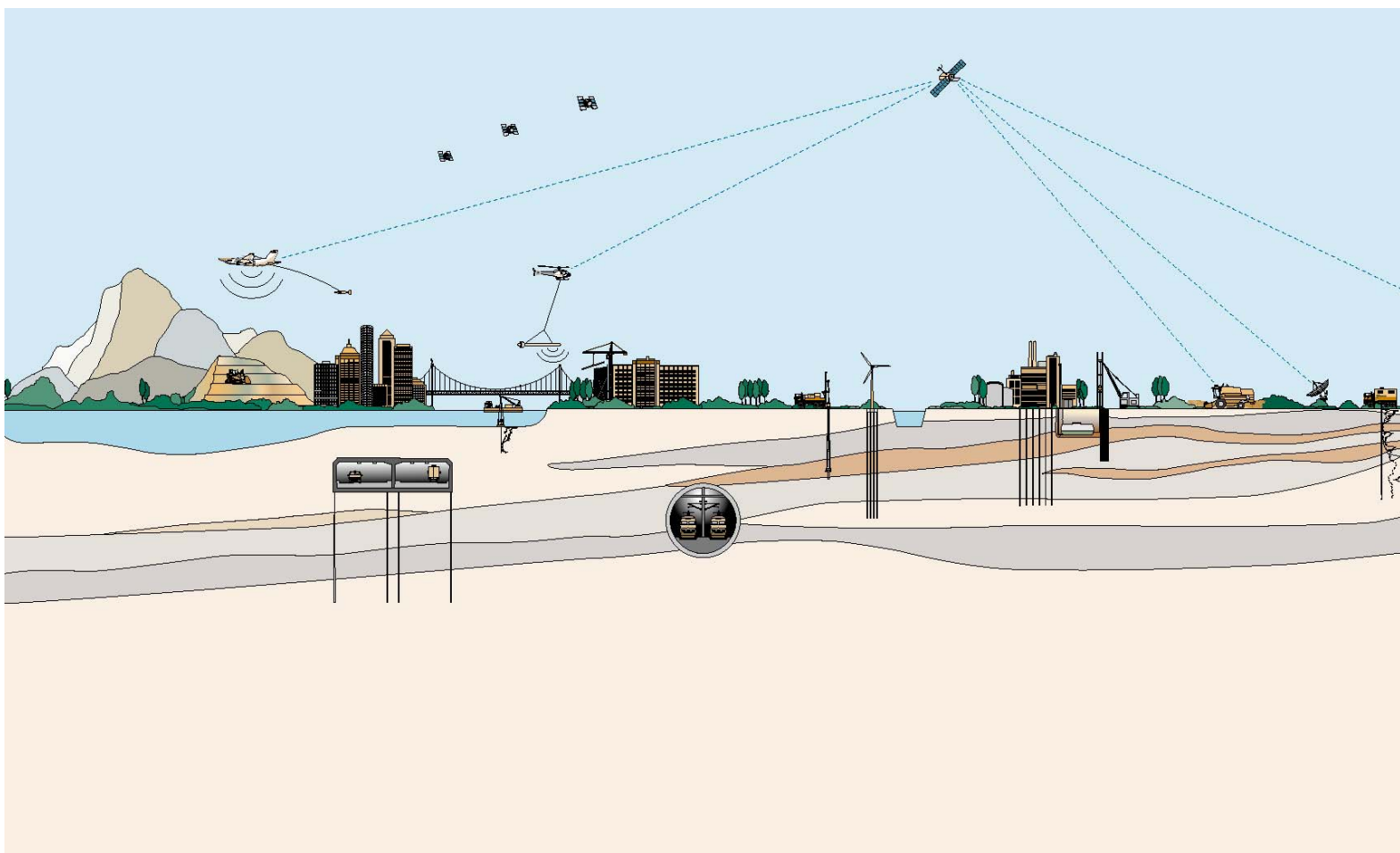


RAPPORT
betreffende

POV PIPING

HANDREIKING OMGANG MET SCHAALEFFECTEN BIJ DOORLATENDHEIDSMETINGEN

Opdrachtnummer: 1213-0101-000



RAPPORT
betreffende

POV PIPING

**HANDREIKING OMGANG MET
SCHAALEFFECTEN BIJ
DOORLATENDHEIDSMETINGEN**

Oprichtnummer: 1213-0101-000

Opdrachtgever : Waterschap Aa en Maas
Postbus 5049
5201 GA 'S HERTOGENBOSCH

Projectleider : drs. B.M. Berbee

Opgesteld door : drs. B.M. Berbee
Adviseur Waterbouw

Gecontroleerd door : ir. G.R. Van Goor
Adviseur Waterbouw

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	24 mei 2016	Versie 1.0	BMB/GRG
Definitief	29 juni 2016	Definitief	BMB/GRG

FILE: 1213-0101-000.R07 Handreiking schaaffect bij doorlatendheidsmetingen

INHOUDSOPGAVE

	<u>Blz.</u>
1. INLEIDING	3
2. BESCHRIJVING PROEFSCHAAL EFFECT	4
2.1.1. Schaalfactor m	5
2.1.2. Coëfficiënt c	5
2.1.3. Volume V_P	5
2.1.4. Range V_R	6
3. OPSCHALINGSMETHODE KLEINSCHALIGE PROEVEN	7
4. VOORBEELD OPSCHALING KLEINSCHALIGE PROEVEN	9

1. INLEIDING

In het kader van de POV-piping is door Waterschap Aa en Maas, Deltares en Fugro GeoServices B.V. onderzoek gedaan naar diverse doorlatendheidsbepalingen voor de beoordeling van het faalmechanisme piping.

Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat er een schaaffect aanwezig is in directe (absolute) doorlatendheidsmetingen. Directe metingen, zoals in-situ doorlatendheidsmetingen en laboratoriumtesten, zijn als gevolg van heterogeniteit in de ondergrond aan een schaaffect onderhevig. De resultaten van deze verkenning laten zien dat testen waarbij een relatief klein bodemvolume is betrokken, leiden tot een relatief lage bepaling van de doorlatendheid. Grootschalige testen sluiten beter aan op het schaalniveau van het pipingproces waarbij de voeding van de pijp wordt beïnvloed door soms wel tientallen meters watervoerend pakket. Kleinschalige in-situ proeven (dissipatietesten, slugtesten, laboratoriumproeven) leveren daarom zonder correctie voor het schaaffect een forse onderschatting van de doorlatendheid en zijn daarmee onveilig om toe te passen bij pipinganalyses voor waterkeringen.

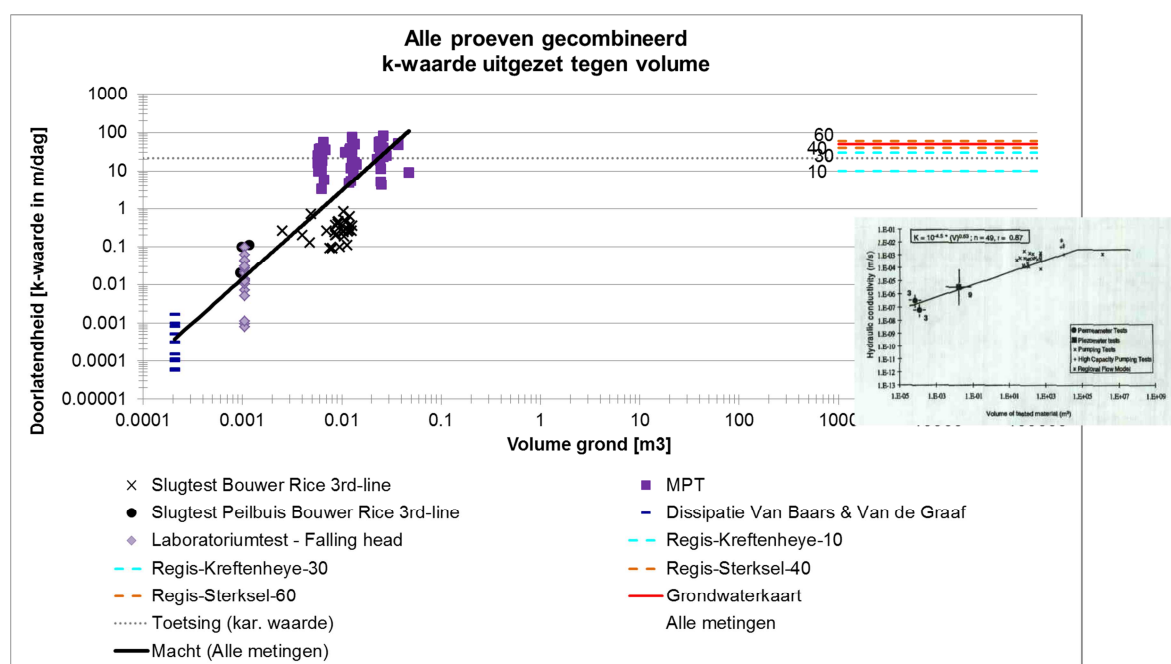
Voor indirecte metingen (m.n. korrelverdelingsmethoden) is het schaaffect niet verder onderzocht omdat de proefschaal niet eenduidig is vast te stellen.

Idealiter worden bij pipinganalyses alleen maar meetmethoden toegepast waarvan de omvang van de test aansluit op het pipingproces. Dit brengt echter het probleem met zich mee dat alle in het verleden uitgevoerde kleinschalige proeven niet langer bruikbaar zijn, wat neer komt op kapitaalvernietiging. Om deze data alsnog toe te kunnen passen voor pipinganalyses wordt in deze achtergrondrapportage een voorstel gedaan hoe voor dit schaaffect gecorrigeerd kan worden.

Achtereenvolgens wordt het schaaffect beschreven, wordt een methode voor opschaling aangedragen, en wordt een voorbeeld gegeven van hoe de feitelijke opschaling plaatsvindt.

2. BESCHRIJVING PROEFSCHAAL EFFECT

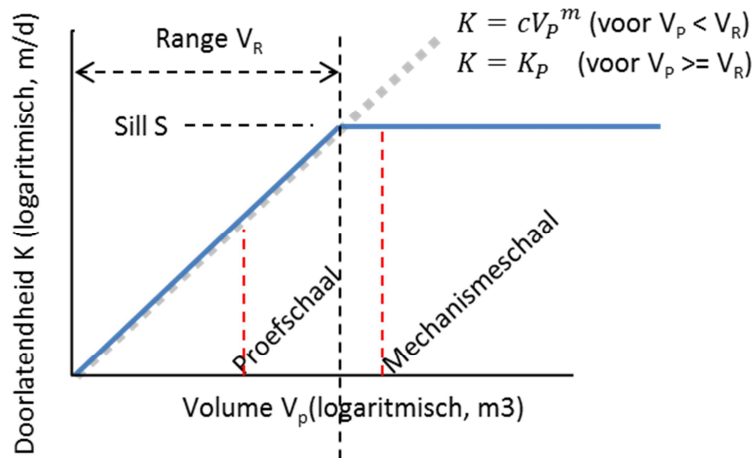
Uit het onderzoek van de POV Piping *Doorlatendheden en Continue doorlatendheidsprofielen (HPT sondering)* is naar voren gekomen dat er sprake is van een proefschaafeffect in in-situ doorlatendheidsmetingen (figuur 2-1). Dit houdt in dat metingen die weinig grondvolume beïnvloeden een lagere doorlatendheid opleveren dan grootschalige metingen. Dit principe is bekend uit de literatuur. Dit proefschaafeffect speelt in principe ook op andere geotechnische gebieden, bijvoorbeeld bij samendrukkingsproeven, en kan potentieel grote beoordelingsfouten opleveren.



Figuur 2-1: Schaafeffect, combinatie Kreftenheye & Sterksel formatie, inzet: bevindingen Schulze-Makuch et al. (1999)

In figuur 2-2 is de proefschaal als functie van het invloedsgebied of volume van de proef weergegeven. Het schaafeffect effect treedt op, tot een bepaalde bovengrens wordt bereikt. Deze bovengrens valt samen met het moment dat alle in de zandlaag voorkomende heterogeniteit (sedimentaire structuren) deelnemen in de stroming van de proef. Op logaritmische schaal heeft het patroon dat hiermee ontstaat veel weg van een variogram uit de geostatistiek, en dezelfde termen zijn bruikbaar voor de beschrijving ervan: Range (V_R) en Sill. Het verloop tot aan de Sill kan worden beschreven door een machtsfunctie.

De beste test vindt plaats op de schaal van het mechanisme waar het onderzoek om draait, in dit geval op de schaal van de grondwaterstroming die een pipe voedt. Veelal wordt echter een kleinere proef gedaan met een kleinere schaal. Een keuze voor een kleinere proef wordt veelal ingegeven uit kostenoverwegingen, keuze voor praktische toepasbaarheid, mitigatie van mogelijke omgevingsinvloeden en onbekendheid met het effect van het schaalniveau op de resultaten.



Figuur 2-2: Visuele voorstelling proefschaal als functie van invloedsg gebied.

Uit Schulze-Makuch et al. (1999, Scale Dependency of Hydraulic Conductivity in Heterogeneous Media) blijkt dat voor de doorlatendheid een machtsfunctie geldt:

$$K = cV_p^m \quad (\text{voor } V_p < V_R)$$

$$K = K_p \quad (\text{voor } V_p \geq V_R)$$

met:

K	[m/d]	Doorlatendheid
c		Coëfficiënt
V_p	[m ³]	Beproefd volume, volgt uit proef
K_p	[m/d]	Bepaalde doorlatendheid bij getest volume
m		Schaalfactor
V_R	[m ³]	Volume van knikpunt (Range)

Ten aanzien van deze formule het volgende:

2.1.1. Schaalfactor m

Deze parameter hangt af van het type, of types, van stroming. Hierbij moet gedacht worden aan stroming door poriën, breuken of gangstelsels (voornamelijk karstgebieden). Voor de Nederlandse waterkeringen zal in nagenoeg alle gevallen sprake zijn van poriën gedomineerde stroming, en dus overal nagenoeg dezelfde m-waarde. Bij het onderzoekproject bij Doeveren is een waarde van $m = 2,31$ bepaald. Deze waarde zou in Nederland nagenoeg overal gelijk moeten zijn.

2.1.2. Coëfficiënt c

Deze parameter hangt af van de lithologische eigenschappen korrelgrootte en onderlinge verbondenheid tussen poriën. In het onderzoekproject bij Doeveren is deze waarde bepaalde op 126.500.

2.1.3. Volume V_p

Deze parameter is afhankelijk van het type test. Voor laboratoriumtesten kan het volume van het monster aangehouden worden. Voor injectie/extractie testen (pompproeven, slugtesten, mini pompproeven) wordt het geïnjecteerde/onttrokken volume water bepaald, welke vervolgens gedeeld is door de porositeit. In dit onderzoek is een porositeit van 0,4 aangehouden.

2.1.4. Range V_R

Bij een lager volume dan V_R speelt een schaaffect, bij een hoger volume kan de grond als quasi-homogeen worden gezien. Deze parameter is afhankelijk van de heterogeniteit van de afzetting. De heterogeniteit hangt samen met de ontstaansgeschiedenis (structuren binnen sedimentaire facies) alsook latere ontwikkelingen (bv. breuken, oplossing van kalk). Deze laatste hebben een groot effect, maar komen in Nederland weinig voor. De heterogeniteit in Nederland hangt hoofdzakelijk samen met de sedimentaire structuren. In het algemeen kan gesteld worden dat hoe heterogener de grond, hoe groter het schaaffect. V_R is daarom bij benadering altijd gelijk binnen een afzettingsmilieu.

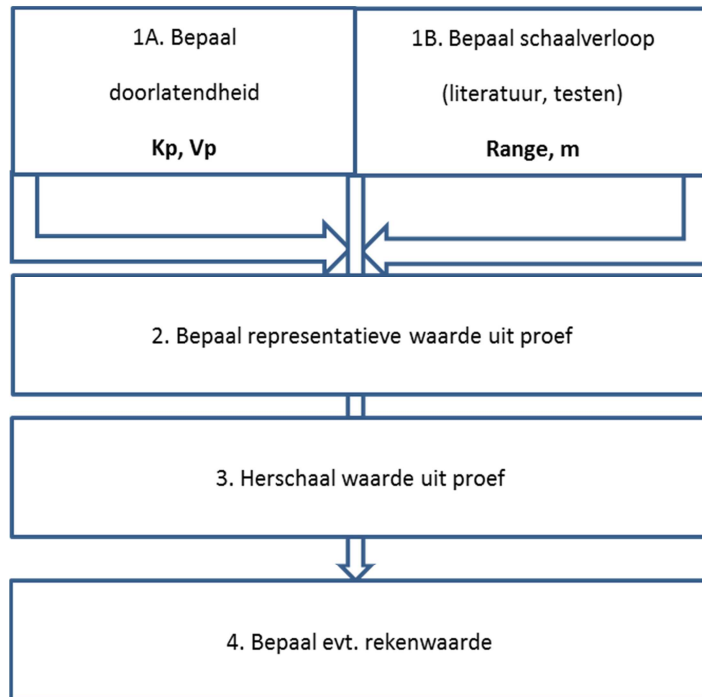
Wellicht ten overvloede wordt opgemerkt dat deze hoofdgroepen niet altijd gelijk vallen met Formaties. Ter vergelijking: de Formatie van Kreftenheye omvat naast Fluviaatiele afzettingen tevens het Deltaïsche laagpakket van Twello.

In het onderzoeksproject bij Doeveren is het effect bepaald voor de bovenste zandlaag. In REGIS wordt deze aangeduid als Kreftenheye Zandlaag 2 (KRZ2). Dit zou betekenen dat deze bovenste zandlaag voornamelijk gekenmerkt wordt door afzettingen van vlechtende rivieren. Gezien de nabij gelegen restgeul van het Oude Maasje, lijkt het echter aannemelijk dat bovenin dit pakket tevens sprake is van Holocene afzettingen behorende tot de Formatie van Echteld. In dat geval zou sprake zijn afzettingen van hoofdzakelijk meanderende rivieren. De bepaalde V_R voor deze eenheid bedraagt 0,024 m³.

Een belangrijke aanbeveling van het onderzoek is dan ook om deze waarden (m , V_R per afzettingsmilieu) op andere locaties te verifiëren en/of voor andere locaties te bepalen. De methode is zeer gevoelig voor V_R . Voor verificatie zijn per afzetting minimaal twee verschillende proeven beneden V_R (bv. dissipatietest en slugtesten) nodig, en 1 proef boven de Range (bv. pompproef, responsanalyse oid.). Totdat deze informatie beschikbaar is kan wellicht tevens internationale literatuur worden gebruikt om een beeld te krijgen van Ranges en m waarden.

3. OPSCHALINGSMETHODE KLEINSCHALIGE PROEVEN

Op basis van de beschreven relatie ontstaat de mogelijkheid om op een locatie een kleinschalige proef (bv dissipatietest, laboratoriumtest, slugtest, mini-pompproef) op te schalen naar een meer representatieve doorlatendheid die aansluit bij de schaal van het faalmechanisme piping in Nederland. Hiervoor wordt hieronder een eerst aanpak voorgesteld.



Figuur 3-1: Opschalingsprocedure proefschaaffect

Stap 1A: Bepaal de doorlatendheid via een kleinschalige proef en de bijbehorende uitwerkingsmethode (bv. dissipatietest, laboratoriumtest, slugtest).

Stap 1B: Bepaal het afzettingsmilieu en de bijbehorende Range V_R , op basis van literatuurwaarden of op basis van lokale in-situ testen met verschillende proefvolumes. Ga na of de schaalfactor m (poriën gedomineerde stroming) geldig is.

Stap 2: Bepaal op basis van de proefresultaten de karakteristieke waarde van de testen die je wilt opschalen. Opgemerkt wordt dat deze stap ook na stap 3 kan worden uitgevoerd: dit maakt voor de resultaten niet uit.

Stap 3: Herschaal de waarde op basis van de bekende Range en schaalfactor m . De coëfficiënt c kan als volgt worden bepaald uit de proefresultaten:

$$c = \left(\frac{K_p}{V_p^m} \right)$$

Directe opschaling op basis van een bekende Range en schaalfactor m kan als volgt plaatsvinden:

$$K = K_P \left(\frac{V_R}{V_P} \right)^m$$

De volgende punten zijn hierbij relevant:

- De methode is alleen voor opschaling $V_P < V_R$.
- De methode is niet geschikt voor doorlatendheden bepaald middels korrelverdelingen, aangezien tijdens de bepaling van een korrelverdeling alle afzettings-afhankelijke informatie, zoals sedimentaire structuur en pakking verloren gaat en de bepaling van het proefvolume arbitrair is.

Uitgangspunt in deze aanpak is dat de schaal waarop piping speelt altijd groter is dan de Range waarboven de doorlatendheid zich quasi-homogeen gedraagt. Ter vergelijking: Voor een eenvoudige kleine kade zonder noemenswaardig voorland, waarbij de invloedsdiepte van de pipe gelijk wordt genomen aan de breedte van de dijkzate ($D=L=14$ m), bedraagt het volume bij piping minimaal ($l \times b \times h$) $1 \times 14 \times 14 = 200$ m³ grond/m. Deze ondergrens benadering valt reeds ruim boven de Ranges die in het onderzoeksproject zijn gevonden.

Ter informatie zijn hieronder de waarden weergegeven die nodig zijn om de opschaling uit te kunnen voeren (bepaald bij de projectlocatie Doeveren, voor andere locaties dient nog verificatie plaats te vinden):

Formatie van Echteld & Formatie van Kreftenheye:

$m = 2,31$

$V_R = 0,024$

4. VOORBEELD OPSCHALING KLEINSCHALIGE PROEVEN

Rekenvoorbeeld (zie uitwerking in grafiekvorm hieronder):

Stap 1A:

Gegeven een dijk locatie A met een Holocene rivierafzetting, er worden 5 doorlatendheidsmetingen op peilbuizen uitgevoerd. Gemiddeld wordt per proef 2 liter water gebruikt. Aangenomen porositeit 0,4. De resultaten:

$K_p = [0,2; 0,3; 0,4; 0,7; 0,9]$ m/d (zie driehoekjes in onderstaande grafiek)

$V_p = 2 \text{ liter} / 1000 / 0,4 = 0,005 \text{ m}^3$

Rekenvoorbeeld: Stap 1B:

In de POV Verkenning is het schaafeffect van een Holocene rivierafzetting gevonden. Deze blijkt een V_R van ca. $0,024 \text{ m}^3$ en een schaalfactor m van ca. 2,31 te hebben. Het schaalverloop hiervan is in onderstaande grafiek als K Holocene rivierafzetting opgenomen.

Rekenvoorbeeld: Stap 2:

Uitwerking volgens ORZW / TRZW:

Gemiddeld 0,50 m/d, (Onderste zwarte stip in de grafiek)

Karakteristiek 0,76 m/d (Bovenste zwarte stip in de grafiek)

Rekenvoorbeeld: Stap 3:

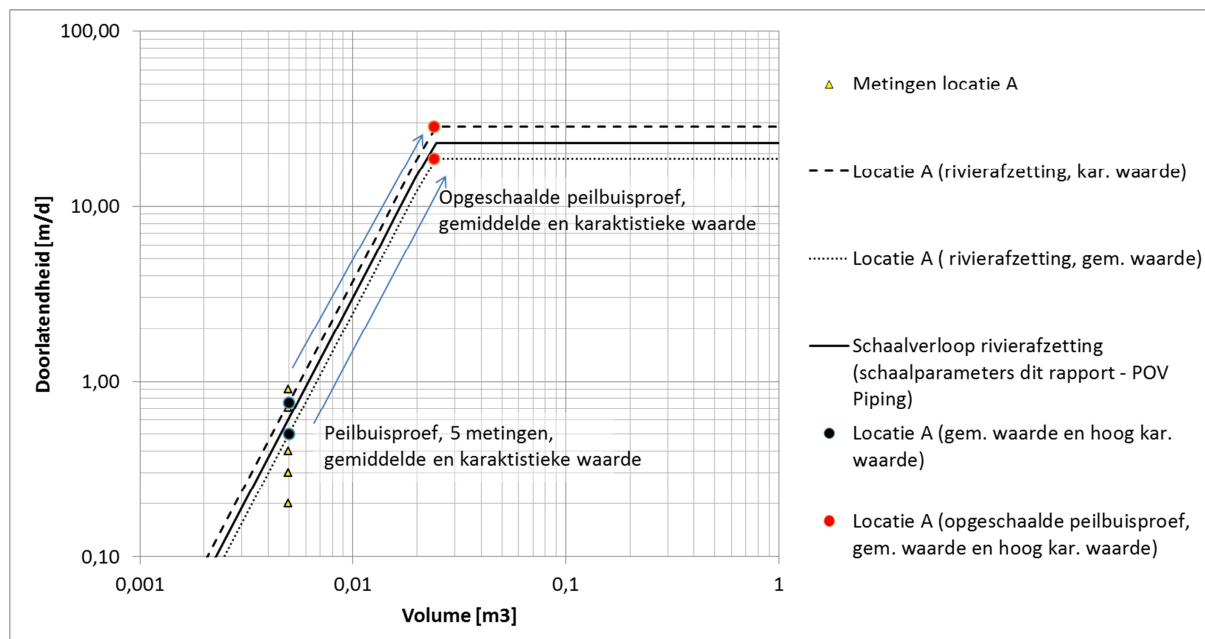
Gemiddeld:

$$K = K_p \left(\frac{V_R}{V_p} \right)^m = 0,50 \left(\frac{0,024}{0,005} \right)^{2,31} = 19 \text{ m/d}$$

Karakteristiek:

$$K = K_p \left(\frac{V_R}{V_p} \right)^m = 0,76 \left(\frac{0,024}{0,005} \right)^{2,31} = 28 \text{ m/d}$$

De opgeschaalde waarden zijn als rode stippen weergegeven. De opschaling verloopt van de zwarte punten via de stippel/streep lijnen naar de rode punten.



Figuur 4-1: Grafische weergave opschaling proefschaafeffect