



KIVI-NIRIA  
20 november 2014

## Doorlatendheidsmeting met sondeertechniek Grip op doorlatendheid



Bert de Doelder , Ingenieursbureau Gemeente Rotterdam  
Volkert Lubbers, Fugro GeoServices B.V.

## Waarom onderzoek?

### Gebiedsgericht Grondwaterbeheer pilot Botlek

- Totale omvang havengebied 2010: ca. 10.500 ha
- Waarvan uitgegeven bedrijfsterrein: ca. 5.000 ha
- Waarvan ernstig vervuild: ca. 500 ha
- minerale olie, vluchtige aromaten en chloor-koolwaterstoffen
- Verspreiding grondwaterverontreiniging buiten havengebied dreigt (op basis van modelstudie Deltares)

## Gebiedsgericht Grondwaterbeheer pilot Botlek



Waarom gebiedsgericht?

- Grootschalige, complexe verontreinigingen
- Oorsprong (oude, diepe) verontreinigingen moeilijk te achterhalen
- Traditioneel saneren technisch en financieel niet haalbaar
- Gebiedsgericht goedkoper: reactorvat gebruiken
- Gebruik maken van aangepaste Wbb en invulling geven aan Kaderrichtlijn Water

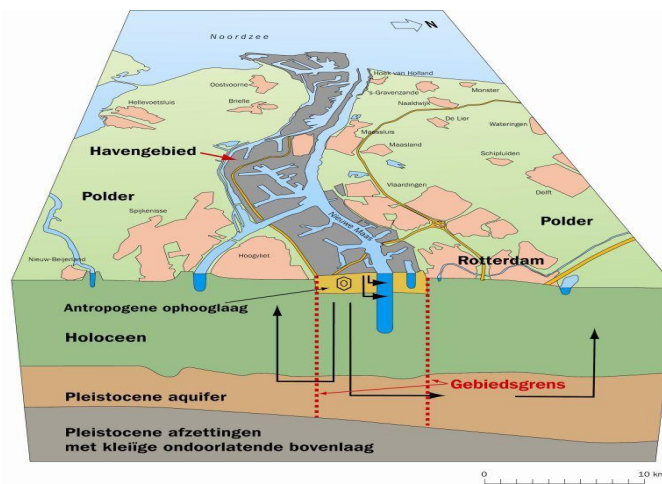
3

www.fugro.com

## Gebiedsgericht Grondwaterbeheer pilot Botlek



### Grondwatermodellering Met Imod (modflow)



4

www.fugro.com

## Gebiedsgericht Grondwaterbeheer pilot Botlek



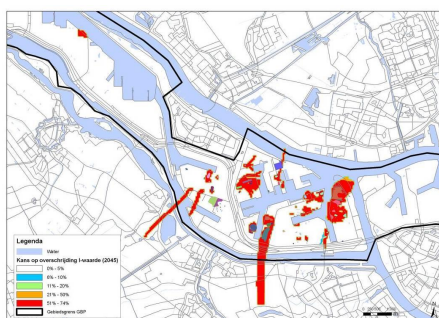
Bron – Pad – Receptor principe

- Bodemopbouw, zandpalen, inschatting k-waarde op basis van Regis, Geotop
- Inschatting kans op overschrijding pluimen op de gebiedsgrens in de tijd (Monte Carlo)
- Doorrekenen model op basis van:
  - Vlekkenkaart (beschikbare bodemdata)
  - Probabilistische inschatting (brondefinitie op basis van locatiegebruik)

5

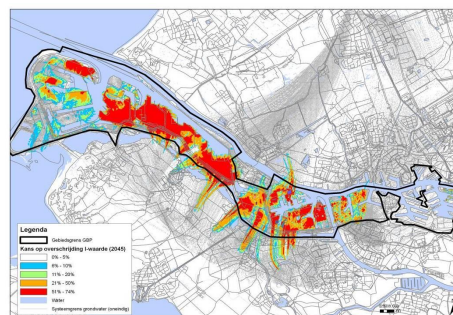
www.fugro.com

## Modelresultaten



Kans op doorbraak in 2045 op basis van probabilistische aanpak (brondefinitie op basis van locatiegebruik): worst case scenario met oneindige bronnen

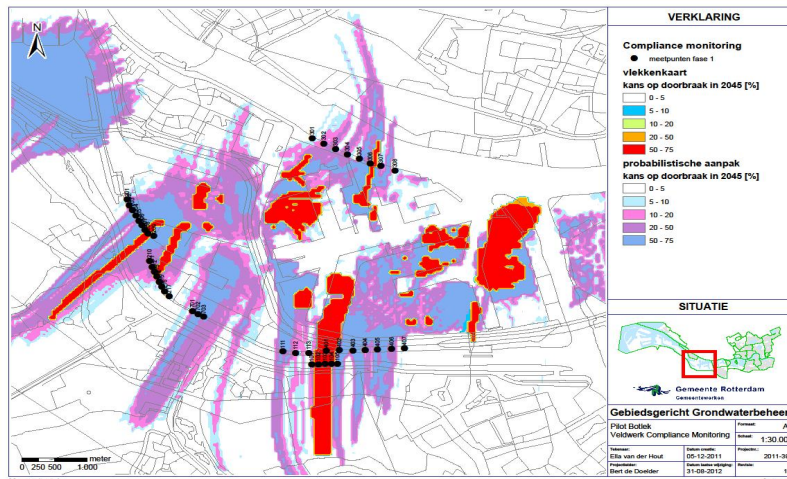
Kans op doorbraak in 2045 op basis van vlekkenkaart (bekende gegevens) worst case scenario met oneindige bronnen



6

www.fugro.com

## Veldwerk op de grens



www.fugro.com

## Monitoring



- 45 meetpunten
- Per meetpunt minimaal 3 Filters van 5 mtr over hele watervoerend pakket
- Enkele boringen >60 m diep; onderzoek naar kleilaag/geohydrologische basis
- Nog geen gebiedsoverschrijding

www.fugro.com

## Keuze Parameters



ir. H.W Thijssen (Mos grondmechanica b.v.:

Voor inschatting k- en C-waarde zijn bronnen beschikbaar: Grondwaterkaart en REGIS.

Bronnen leveren voor één locatie verschillende geohydrologische parameters

doorlaatfactoren uit REGIS aan de lage kant.

Advies: pompproof of proefbemaling MAAR dat is kostbaar

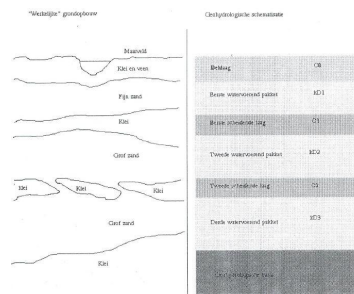
www.fugro.com

## Parameters



### Bodemparameters

- Horizontale en verticale doorlatendheid:  $k_h$  en  $k_v$  [m/d]
- Horizontaal doorlaatvermogen (watervoerende lagen):  
 $k_h$  [m/d] x D [m] = KD [m<sup>2</sup>/d]
- Weerstand tegen verticale grondwaterstroming (waterremmende lagen):  
 $D$  [m] /  $k_v$  [m/d] = c [d]



www.fugro.com

## Doorlatendheidsmetingen



Goed inzicht van belang voor:

- Bemalingen (bouwputontwerp)
- Omgevingsaspecten (effectenberekeningen)
- Bronontwerp
- Piping
- 2D en 3D bodemmodellering
  - Verontreinigingen
  - Zoet-zout



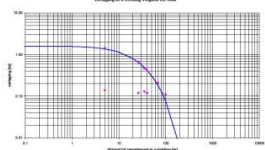
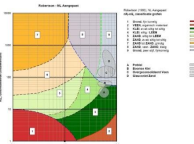
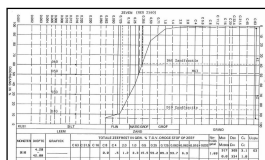
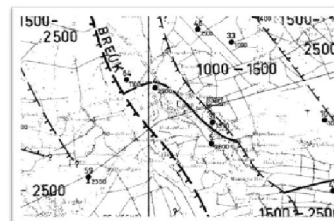
www.fugro.com

## Doorlatendheidsmetingen



Methoden:

- Literatuur
- O.b.v. classificatie
- Lab. Proeven
- In-situ metingen
- Bemalingsproeven
- Pompproeven



Grondsoort	Doorlaatfactor in m/dag
Zwak siltige klei	<0,0001
Matig tot sterk siltige klei	0,0001 - 0,001
Sterk siltige klei	0,001 - 0,01
Zwak zandige tot sterk zandige klei	0,01 - 0,1
Kleilig en uiterst fijn zand	0,1 - 1,0
Zeer fijn tot matig fijn zand	1,0 - 10
Matig grof tot zeer grof zand	10 - 100
Uiterst grof zand en grind	100 - 1000
Kalksteen	0,5 - 5,0
Kleilig veen	0,005 - 0,1
Veen	0,1 - 1,0

www.fugro.com

## Doorlatendheidsmetingen



Maar meet je wat je wilt?

- Lab. omstandigheden
- Puntproeven
- Gemiddeld horizontaal doorlaatvermogen

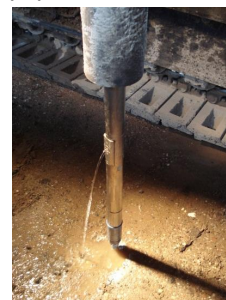


[www.fugro.com](http://www.fugro.com)

## HPT-Sondering



- HPT = Hydraulic Profiling Tool
- Conusweerstand + kleefmeting + waterspanning + drukrespons bij injectie
- HPT: constant injectiedebiet water door een opening
- Drukrespons bodem gemeten door ingebouwde druksensor
- Mate waterinfiltratie is afhankelijk van de doorlatendheid lagen
  - Relatief lage druk ~ relatief goed doorlatende lagen
  - Relatief hoge druk ~ relatief slecht doorlatende lagen
- Bereik van 0,1 m/d tot 75 m/dag
- Grafiek relatieve doorlatendheid bodem over gehele sondeerdiepte
- Q/p om variaties in het injectiedebiet uit te sluiten



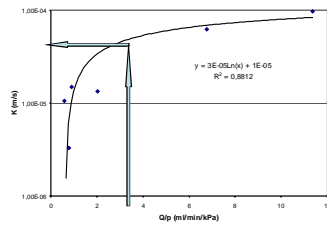
[www.fugro.com](http://www.fugro.com)



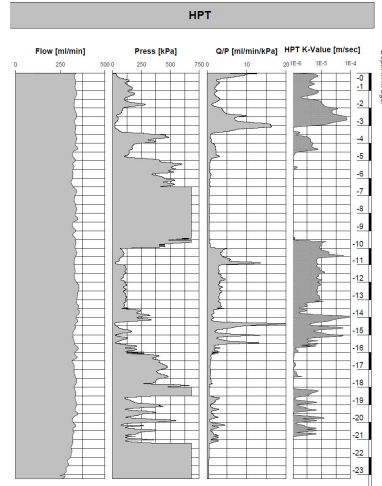
## HPT-Sondering



- Validatie Q/p met in-situ doorlatendheidsmetingen
  - slugtesten
  - minimaal 4-7 per projectlocatie
  - evt. in combinatie met korrelverdelingen
- Geoprobe heeft conversie formule ontwikkeld

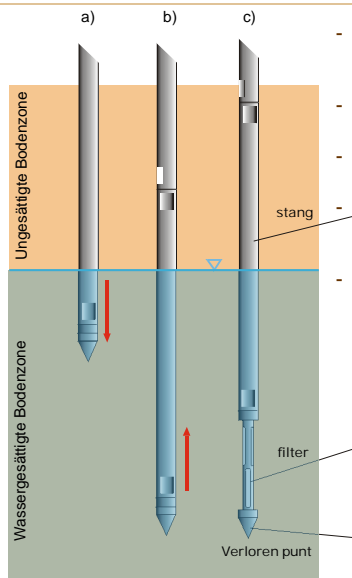


- Deze aanpassen aan lokale omstandigheden
- Conversie van relatieve naar absolute doorlatendheden ( $k_{HPT}$ ) over gehele sondeerdiepte (nauwkeurigheid hangt onder andere af van lokale situatie)

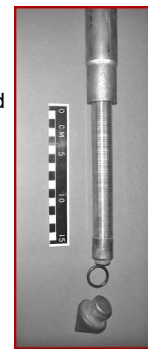


www.fugro.com

## In-situ slugtest – Geoprobe Pneumatic tool



- Locatie, diepte en filterlengte (traject) o.b.v. HPT-CPT resultaten
- Druk tijdelijk verhogen/verlagen rond filter d.m.v. luchtdruk
- Monitoren waterdrukverloop met druksensoren
- Uitwerken slugtesten volgens methode Hvorslev of Bouwer&Rice
- Goede resultaten voor k-waarden tussen  $10^{-6}$  à  $10^{-3}$  m/s - 0,086 à 86 m/dag zandige klei/leem tot zeer grof zand



Date

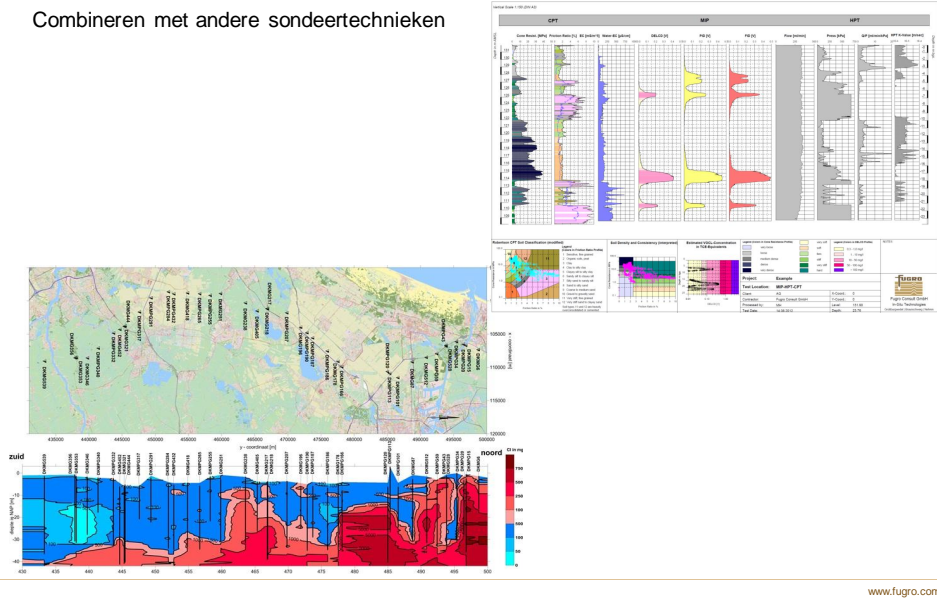
www.fugro.com



## HPT-CPT-MIP resultaat

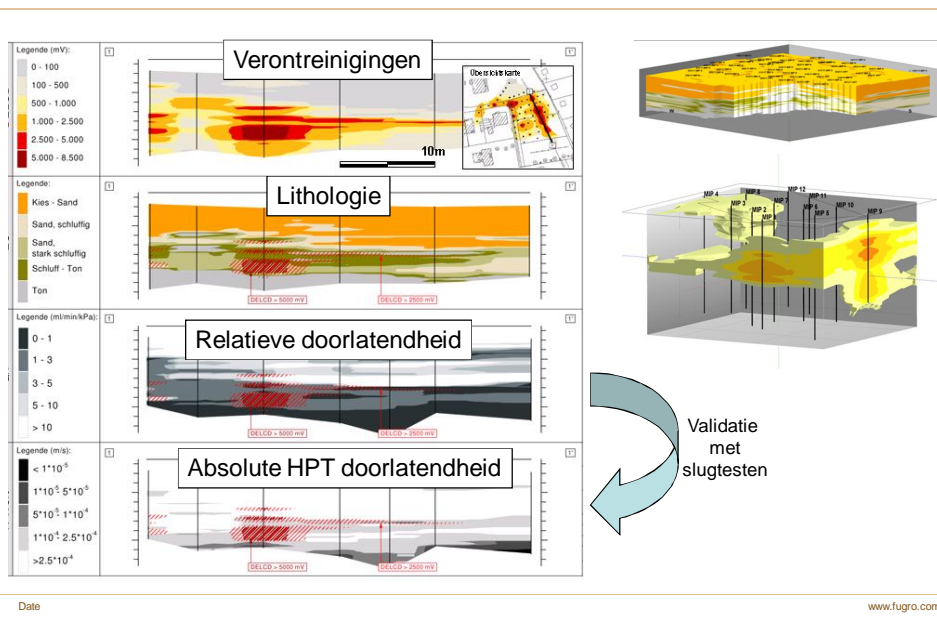


Combineren met andere sondeertechnieken



www.fugro.com

## 2D en 3D bodemmodellering



Date

www.fugro.com

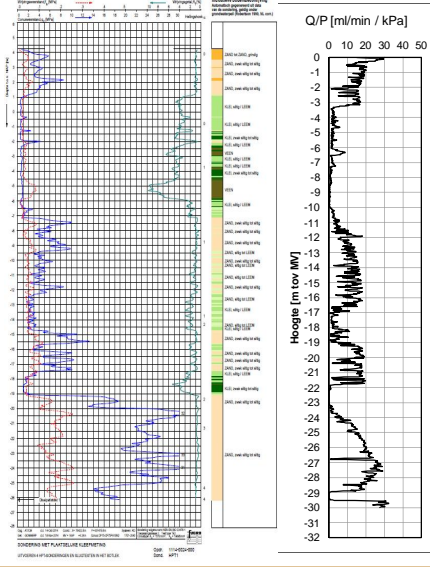
# Botlek



Gevraagd HPT-sondering ter verificatie modelinput

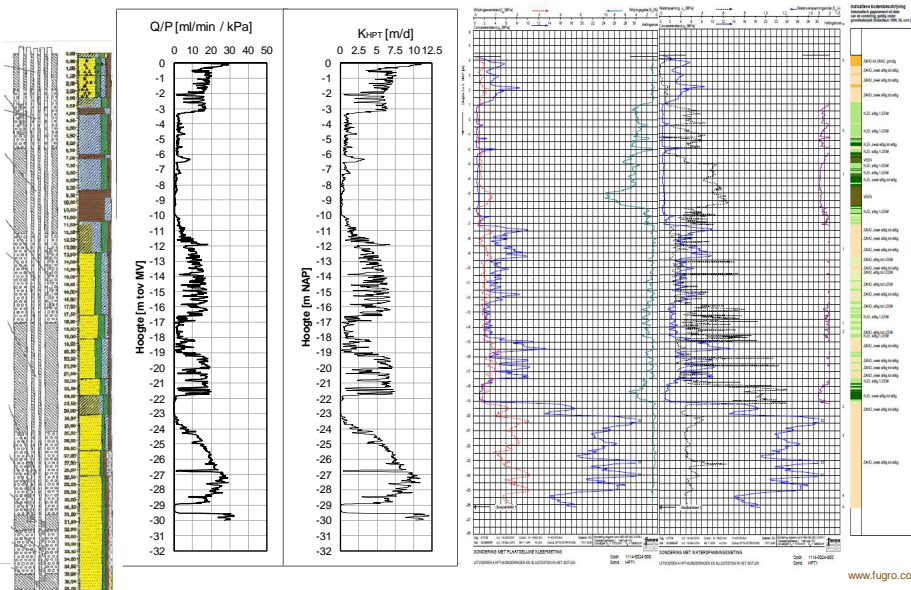
Hiervoor onderzoek op 2 locaties:

- 2 HPT sonderingen tot 30 m per locatie
- 4 en 6 slugtesten



www.fugro.com

# Botlek – HPT1

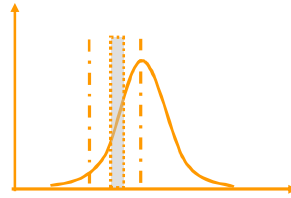


www.fugro.com

## Samenvattend



- Relatieve doorlatendheid over gehele sondeerhoogte
- Variatie in doorlatendheden inzichtelijk
- Te valideren naar absolute k-waarden
- In combinatie met andere methoden nauwkeurigheid groot
- Efficiënter en effectiever inzetten van kostbare technieken



[www.fugro.com](http://www.fugro.com)



Dank voor uw aandacht!

Vragen?

[www.fugro.com](http://www.fugro.com)