



### 1.1 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van deze rapportage is de bodemopbouw en de lokale geohydrologie beschreven. De omgekeerde boorgatmethode en de ringinfiltrometerproef zijn respectievelijk in hoofdstuk 3 en 4 behandeld. Het advies wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 5).

## 2 Bodemopbouw en geohydrologische schematisatie

### 2.1 Bodemopbouw

De beschrijving van de bodemopbouw in het werkgebied is gebaseerd op de veldwerkzaamheden van 24 september (bijlage 2) en de beschikbare boringen uit de database van TNO (DINOloket).

De ontwikkelingslocatie ligt in de Provincie Utrecht, aan de Kromme Rijnsoever. De maaiveldhoogte bedraagt gemiddeld circa NAP +4,3 m.

**Tabel 1 Schematisatie bodemopbouw**

diepte in m t.o.v. NAP	bodemopbouw
+mv tot +2,8	Klei met lokaal een zandlaagje
+2,8 tot verkende diepte (NAP -3,0)	Zand met lokaal een storend laagje

### 2.2 Geohydrologische schematisatie

De bodem is geschematiseerd in goed doorlatende watervoerende pakketten en slecht doorlatende scheidende lagen.

In een watervoerend pakket treedt een overwegend horizontale grondwaterstroming op en in een scheidende laag een hoofdzakelijk verticale grondwaterbeweging. Watervoerende pakketten worden beschreven aan de hand van het doorlaatvermogen (kD).

Dit is het product van de horizontale doorlatendheid ( $k_r$ ) en de dikte van het pakket (D). Scheidende of slecht doorlatende lagen worden beschreven door middel van de hydraulische weerstand of c-waarde. Deze weerstand is het quotiënt van de dikte van de scheidende laag (D) en de verticale doorlatendheid ( $k_v$ ). In tabel 2 is de geohydrologische schematisatie beschreven.

**Tabel 2 Geohydrologische schematisatie\***

diepte (m t.o.v. NAP)	schematisatie	samenstelling	weerstand (dagen)	doorlaatvermogen (m <sup>2</sup> /dag)
+4,3 tot +2,8	deklaag	Klei met lokaal een zandlaagje	120	50-100
+2,8 tot -42	eerste watervoerend pakket (freatisch)	matig tot zeer fijn zand, lokaal leem en kleilagen		1.250-1.850
-42,0 tot -54	eerste scheidende laag	leem en kleilagen	500 -1.000	

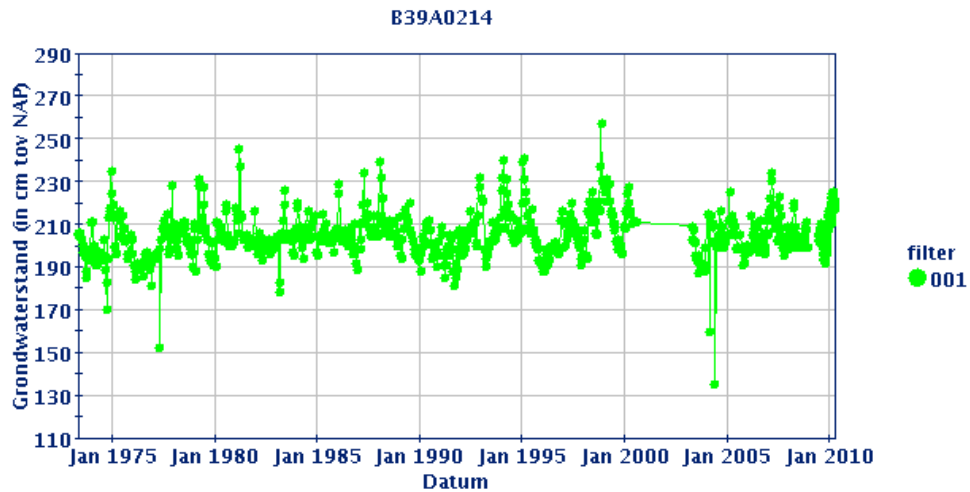
\*bron: Landelijk REGIS-model II.1, 2008

De deklaag heeft een dikte van circa 1,5 meter. De hydraulische weerstand van deze laag wordt geschat op 120 dagen. Het onderliggende zandpakket betreft het eerste watervoerende pakket. Het doorlaatvermogen van het eerste pakket bedraagt gemiddeld 1550 m<sup>2</sup>/dag.

Door de relatief grote weerstand van de slecht doorlatende kleiige afzettingen van de eerste scheidende laag is de invloed van de onderliggende watervoerende pakketten gering. Voor dit onderzoek wordt de slecht doorlatende kleilaag onder het derde watervoerend pakket daarom beschouwd als ondoorlatende basis van het geohydrologische systeem.

### 2.3 Grondwater

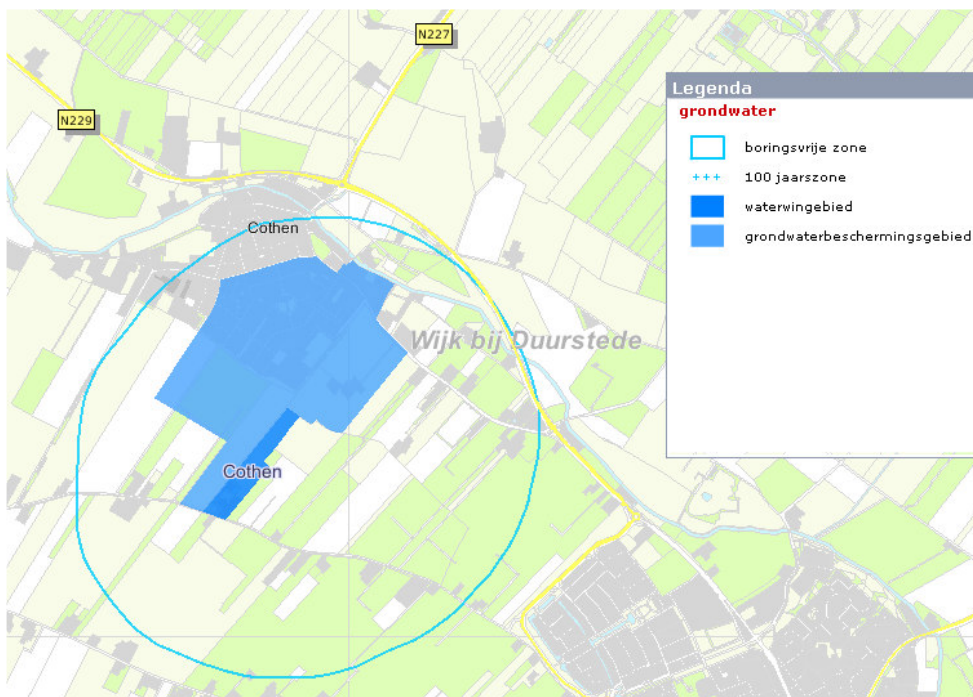
Op vrijdag 24 september bevond de grondwaterstand zich op circa NAP 2 m. Op een afstand van circa 125 m van de ontwikkelingslocatie bevindt zich peilbuis B39A0214. De grondwaterstand varieert hier gemiddeld van NAP +1,90 m tot circa NAP +2,30 m. Dit komt goed overeen met de opgenomen grondwaterstand.



□ TNO-NITG 2004

*Figuur 2: Grondwaterbeschermingsgebied Cothen*

In Cothen is een drinkwaterwinning van Vitens gevestigd. Dit is in figuur 2 in kaart gebracht. Dit beïnvloedt de stroming van het diepere grondwater richting de drinkwaterwinning.



*Figuur 3: Grondwaterbeschermingsgebied Cothen*

## 2.4 Oppervlakte water

In de directe omgeving van de geplande werkzaamheden bevindt zich de Kromme Rijn. Het zomerpeil van de Kromme Rijn<sup>1</sup> is ca. NAP +2,10 m en winterpeil ca. NAP +1,90 m.

## 3 De omgekeerde boorgatmethode proef

### Algemeen

De drie infiltratievoorzieningen zijn weergegeven in bijlage 1 en komen overeen met de peilbuislocaties. Ze zijn gelegen op een braakliggend land met een hoogteverschil van circa 0,20 m. De week voordat de infiltratieproeven uitgevoerd zijn heeft het relatief veel geregend. In het zuidoosten van de ontwikkelingslocatie stonden tijdens de proeven grote plassen water op het maaiveld. In het zuidwesten ter hoogte van de voormalige tennisgravelbaan kwamen geen plassen water voor.

### 3.1 Omgekeerde boorgatmethode

#### 3.1.1 Methode

Er wordt een boorgat geboord tot in de laag waarvan men de doorlaatfactor (k-waarde) wil weten. Het grondwater wordt uit het boorgat gepulst en vervolgens wordt de snelheid gemeten waarmee het grondwater stijgt. Aan de hand van de meetresultaten kan met behulp van formules (Bouwer en Rice, 1976) de doorlatendheid van het aangeboorde bodempakket worden berekend.

De omgekeerde Hooghoudtmethode, ook wel omgekeerde boorgatmethode genoemd, is vergelijkbaar met de Hooghoudtmethode, met het verschil dat bij deze proef de horizontale doorlatendheid boven de grondwaterspiegel wordt gemeten. Er wordt een gat geboord tot in de gewenste laag. Het boorgat wordt gevuld met water waarna, na verzadiging van het boorprofiel, de snelheid waarmee het water daalt wordt gemeten. Aan de hand van de meetresultaten kan de doorlatendheid van de betreffende bodemlaag worden berekend. Een hoge doorlaatfactor van de bodem is echter geen garantie voor het goed en duurzaam functioneren van een Wadi. Een juiste aanleg, en afdoende onderhoud en beheer spelen een belangrijke rol bij het voorkomen van wateroverlast in gebieden die aan de "rivierbedding" gelegen zijn.

#### 3.1.2 Uitvoering

De peilbuizen zijn geplaatst op 24 september 2010, zie ook bijlage 2. De filters van de peilbuizen zijn geplaatst (tot 5 m-mv) in het eerste watervoerende pakket. In alle drie de peilbuizen is 2 keer de omgekeerde boorgatmethode proef uitgevoerd. De proef is als volgt uitgevoerd:

1. De datalogger is geprogrammeerd op een frequentie van 1 seconden.
2. In de peilbuis is de datalogger geplaatst.
3. De grondwaterstand is met 3 liter water verhoogd.
4. de data logger heeft circa 2 minuten de drukhoogte geregistreerd.
5. de test is vanaf stap 3 opnieuw uitgevoerd.

#### 3.1.3 Resultaten

---

<sup>1</sup> Bron: Peilbesluit Tussen Kromme Rijn en Amsterdam-Rijnkanaal, 3 juni 2008

Met behulp van de meetreeksen is in Aquiferwin32 de doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket berekend. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- het eerste watervoerende pakket is homogeen
- de grondwaterstandverhoging is niet stationair
- de berging is verwaarloosbaar
- de diameter van het boorgat = 0,10 m
- de diameter van het filter = 0,033 m
- dikte zandlaag = 45 m

De resultaten zijn samengevat in tabel 3. Daarnaast staan de resultaten in grafiekvorm in bijlage 3 weergegeven.

Uit de tabel blijkt dat de doorlatendheid op de ontwikkelingslocatie in de zandlaag volgens de volgens de formule van Bouwer en Rice tussen de 8 en 9 m/dag bedraagt.

Volgens het landelijke REGIS-model II-1 (2008) betreft het eerste watervoerende pakket de Formatie van Kreftenheye. Deze formatie bestaat uit fluviatiel zand en grind. De horizontale doorlatendheid varieert volgens REGIS tussen de 20 en de 60 m/dag, zie ook paragraaf 2.2.

De berekende doorlatendheid is een factor 2 tot 6 lager. Mogelijk liggen de filter niet in het eerste watervoerende pakket, maar in gelaagde zanden van de deklaag. Volgens REGIS ligt de top van het eerste watervoerende pakket namelijk tussen NAP en NAP -5,0 m. Het filter van de peilbuis is geplaatst op NAP -0,7 m. Dit verklaart de berekende doorlatendheid.

**Tabel 3**      **Resultaten van de omgekeerde boorgat methode**

peilbuisnummer	testnummer	Doorlatendheid volgens de formule van Bouwer en Rice (m/dag)
1	1	9
	2	8
2	1	9
	2	8
	3	9
3	1	9
	2	9

### 3.2 De ringinfiltrometer proef

#### 3.2.1 Methode

De dubbele ringinfiltrometer is een eenvoudig apparaat waarmee de infiltratiesnelheid van de bodem kan worden gemeten. Deze infiltratiesnelheid wordt gemeten als de hoeveelheid water die per oppervlakte-eenheid en tijdseenheid in de bodem doordringt. De standaardset van de dubbele ringinfiltrometer bestaat uit twee roestvaststalen ringen met verschillende diameters.

#### 3.2.2 Uitvoering

Op de drie locaties is twee keer de ringinfiltrometer proef uitgevoerd.



De proef is als volgt uitgevoerd:

1. De datalogger is geprogrammeerd op een frequentie van 1 minuut.
2. De ringen zijn met zorg rechtstandig circa 10 centimeter in de bodem geslagen. Vervolgens zijn beide ringen gevuld met water.
3. Om de minuut is een handmatige meting uitgevoerd. Het water uit de buitenste ring moet de onderliggende grond bevochtigen en een bufferzone creëren, om horizontale wegstroming van water uit de binnenste ring te beperken.
4. De proef is doorgezet tot een constante infiltratiesnelheid wordt gemeten.

Opmerkingen:

- Op locatie 1 is de proef uitgevoerd. Voordat de proef uitgevoerd is de vegetatie verwijderd.
- Op enkele meters van locatie 2 stonden de plassen regenwater nog op het veld. Het water infiltreerde hier zo langzaam dat het erg lastig was om een nauwkeurige meting uit te voeren. De waterspiegel daalde met minder dan halve millimeters per minuut.
- Op locatie 3 bestaat de bovenste laag uit gravel en zand, zie ook de boorbeschrijving van de peilbuis in bijlage 2. Het water infiltreerde hier zo snel in de bodem dat het niet mogelijk was om een nauwkeurige meting uit te voeren.

### 3.2.3 Resultaten

Met behulp van de meetreeksen en de Wet van Darcy is de doorlatendheid van de kleilaag berekend.

$$v * A = -k \cdot dh/dl \cdot A$$

waarin:

Q = debiet [m<sup>3</sup>/s];

K = infiltratiesnelheid van grond [m/s]

dh / dl = het verhang

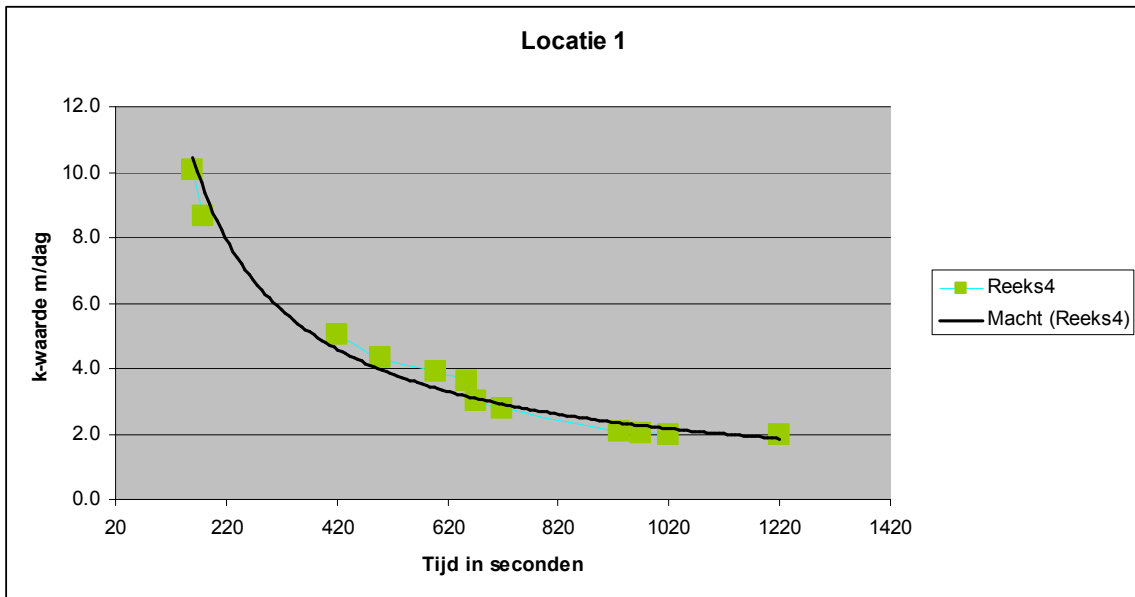
A = oppervlak [m<sup>2</sup>]

v = filtersnelheid (m/dag)

In figuur 5 is de berekende doorlatendheid van de bovenste laag weergegeven. De berekende k-waarde is circa 2 m/dag. Volgens de literatuur (Koopmans, 1994) heeft middelfijn zand een doorlatendheid van 2 m/dag. De deklaag bestaat uit klei. De k-waarde is een factor 10 te hoog.

Dit heeft mogelijk te maken met de volgende factoren:

1. De aanwezigheid van wortels en wormgangen heeft de doorlatendheid vergroot
2. De buitenste ring heeft niet goed gewerkt, waardoor het water zowel horizontaal als verticaal kon stromen.
3. De ringen zaten niet diep genoeg in de grond, waardoor lekkage ontstond.



Figuur 5 De berekende doorlatendheid van de bovenste laag

#### **4 Conclusie en aanbevelingen**

Op vrijdag 1 oktober 2010 zijn verschillende bodemdoorlatendheidstesten uitgevoerd.

Uit de omgekeerde boorgatmethode proef blijkt dat de k-waarde van het bovenste deel van het eerste watervoerende pakket varieert tussen de 8 m/dag en de 9 m/dag. Dit is aanzienlijk lager dan de vooraf gemiddelde waarden voor het eerste watervoerend pakket die in REGIS zijn genoemd.

Uit de ringinfiltrometerproef blijkt dat de infiltratiecapaciteit van de deklaag 2 m/dag is. Uit de literatuur blijkt dat deze k-waarde bij een zandlaag hoort. Het betreft echter een kleilaag, welke door biologische activiteiten lokaal een hoge infiltratiecapaciteit heeft.

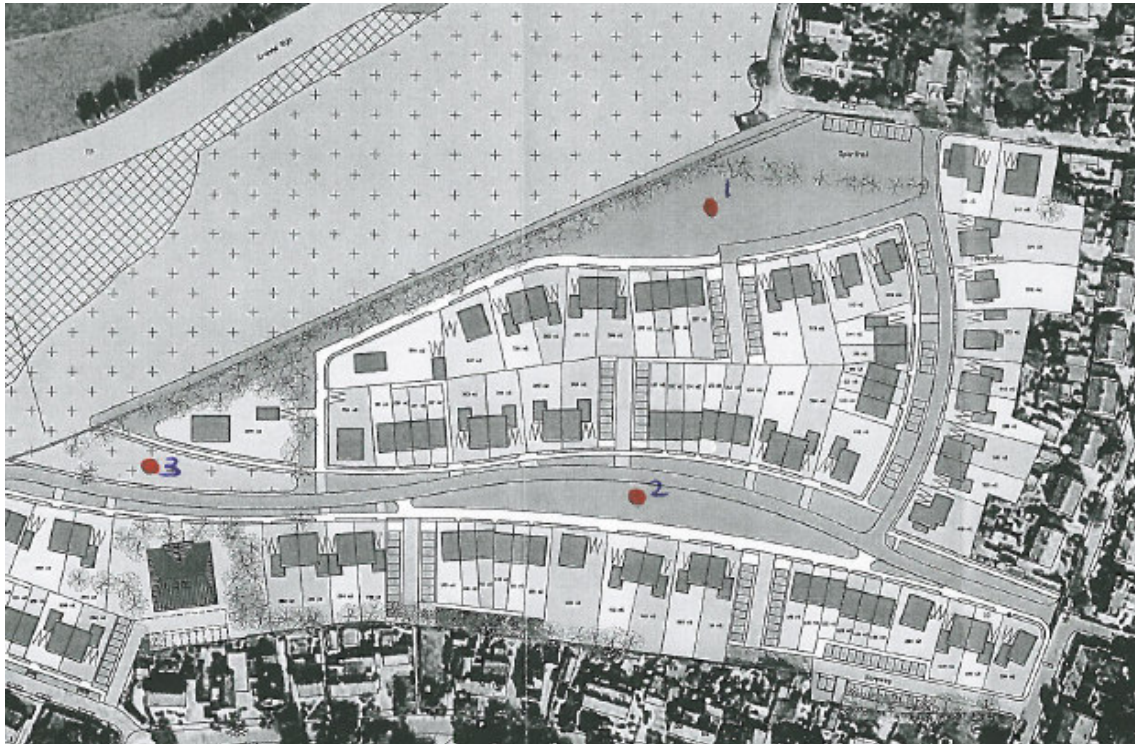
Tijdens het veldbezoek bleken waterplassen op het maaiveld in het zuidoostelijke deel van de ontwikkelingslocatie voor te komen. Duidelijk is dat hier het water niet eenvoudig weg kan. Mogelijk door de lagere ligging in combinatie met de slechte doorlatendheid van het kleipakket.

Bij de aanleg van de wadi's zal daarom zorg gedragen moeten worden voor het afvoeren van het geïnfiltreerde water. Geadviseerd wordt horizontale dan wel verticale drainage onder de wadi's aan te leggen.

Een goede infiltratiecapaciteit van de bodem is geen garantie voor het goed en duurzaam functioneren van een Wadi. Een juiste aanleg, en afdoende onderhoud en beheer spelen een belangrijke rol bij het voorkomen van wateroverlast in gebieden die aan de "rivierbedding" gelegen zijn.

## **Bijlage 1**

Locatie van de peilbuizen



*Figuur 1* Globale ligging peilbuizen.



*Figuur 2* foto peilbuis 01



*Figuur 3* foto peilbuis 02



*Figuur 4*      *foto peilbuis 03*

**Tabel 1**      **Gegevens peilbuizen**

Peilbuisnr.	x-coördinaat	y-coördinaat	maaveldhoogte (mNAP)	Filterdiepte (mNAP)	grondwaterstand op vrijdag 24-09-2010 (mNAP)
Pb01	149308	445518	+4,36	+0,36 tot -0,64	+2.00
Pb02	149299	445439	+4,29	+0,29 tot -0.71	+2.14
Pb03	149143	445437	+4,16	+0,16 tot -0,84	+2,16

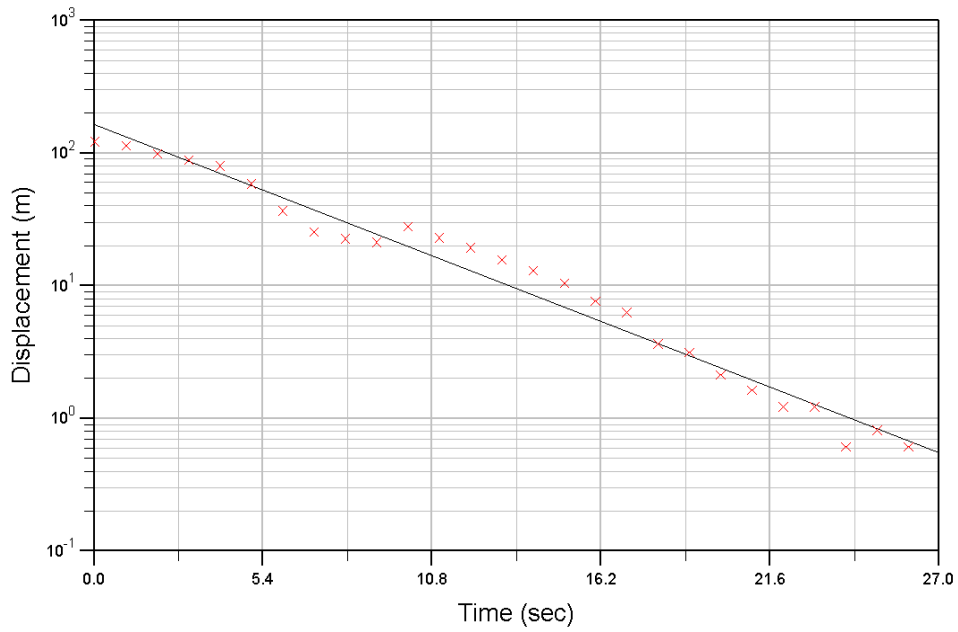
## **Bijlage 2**

### Boorbeschrijvingen

## **Bijlage 3**

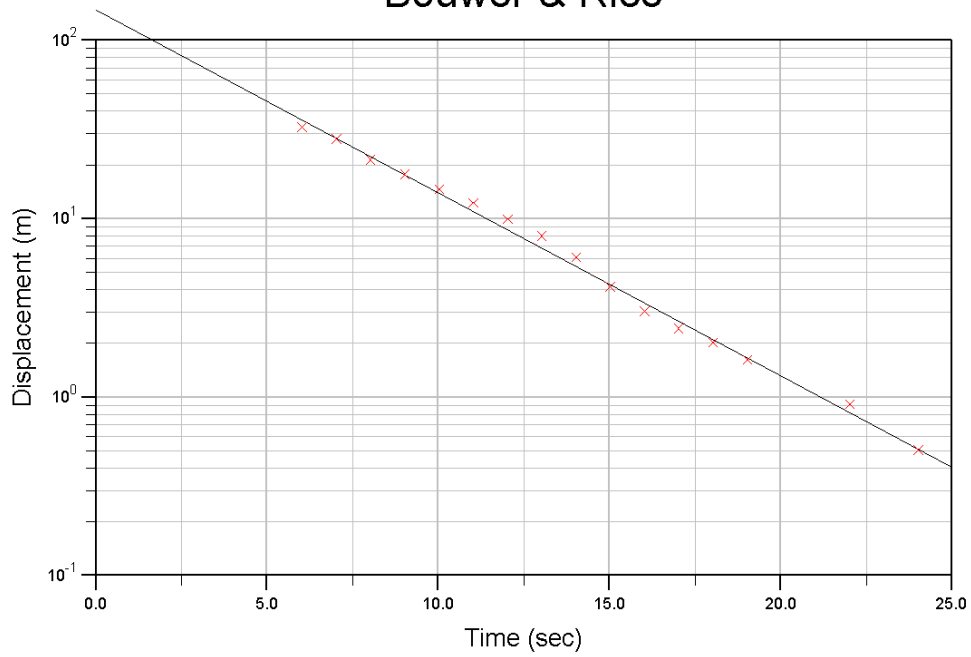
Grafieken omgekeerde boorgatmethode

### Bouwer & Rice



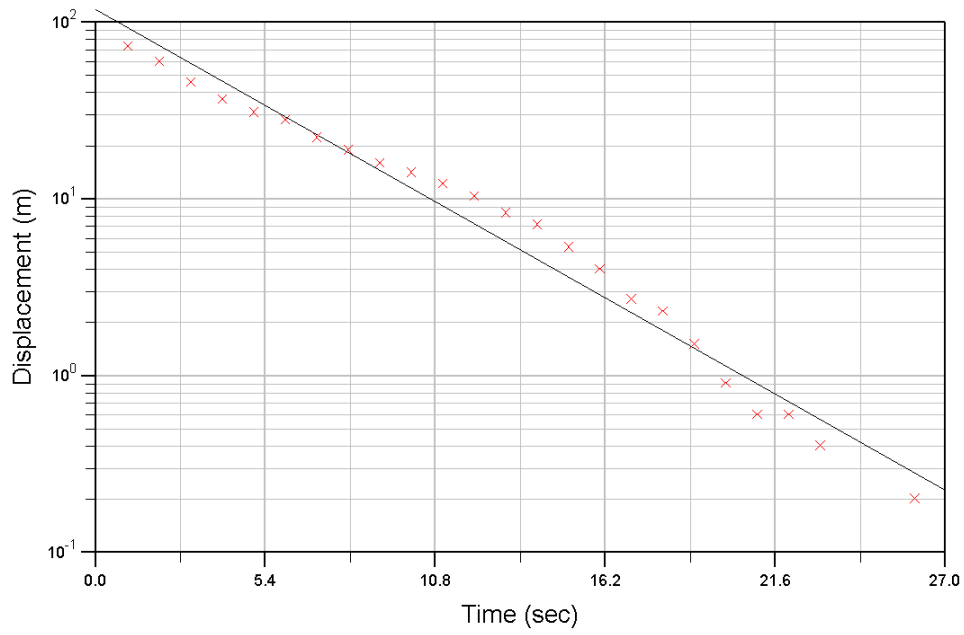
Figur 3-1 Bouwer & Rice, peilbuis 1, test 1

### Bouwer & Rice



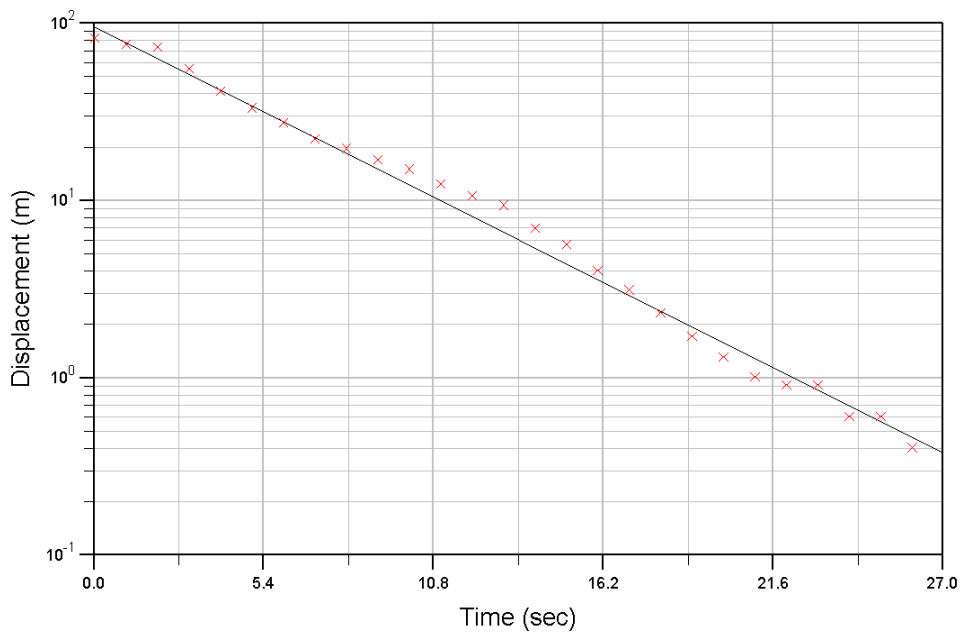
Figur 3-2 Bouwer & Rice, peilbuis 1, test 2

### Bouwer & Rice



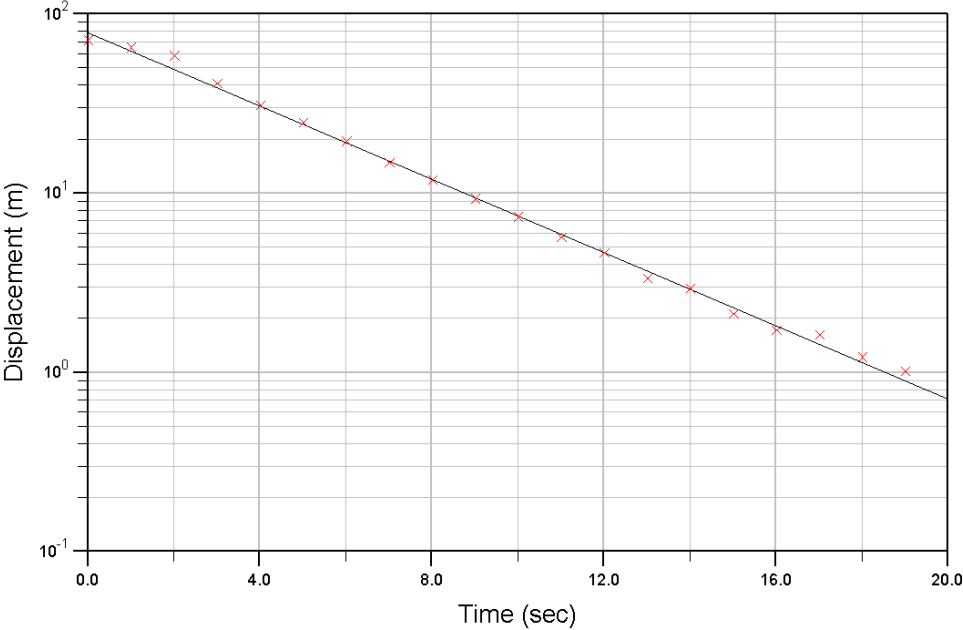
Figuur 3-3 Bouwer & Rice, peilbuis 2, test 1

### Bouwer & Rice



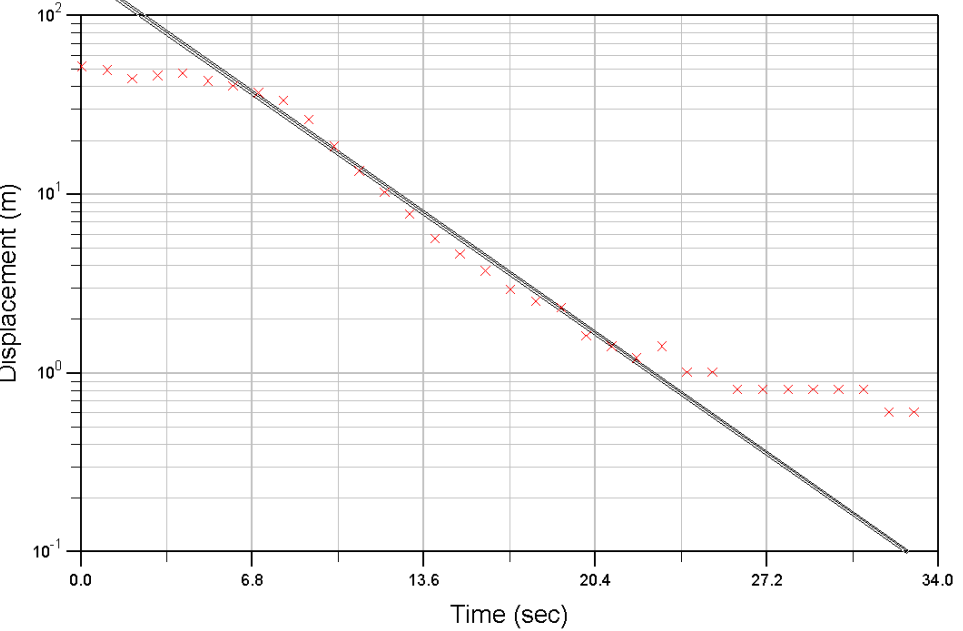
Figuur 3-4 Bouwer & Rice, peilbuis 2, test 2

### Bouwer & Rice



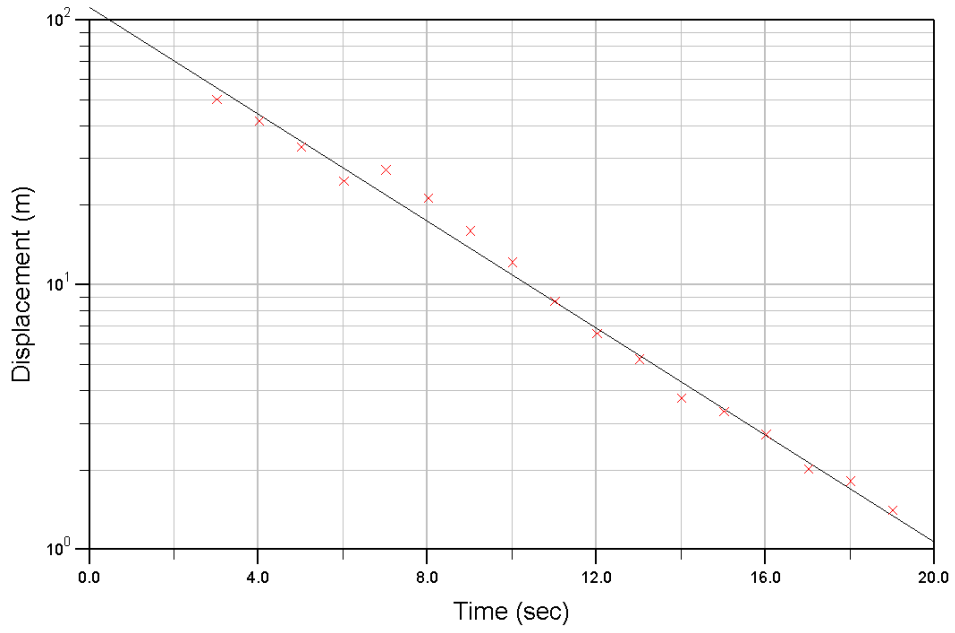
Figur 3-5 Bouwer & Rice, peilbuis 2, test 3

### Bouwer & Rice



Figur 3-6 Bouwer & Rice, peilbuis 3, test 1

# Bouwer & Rice



Figuur 3-7 Bouwer & Rice, peilbuis 3, test 2