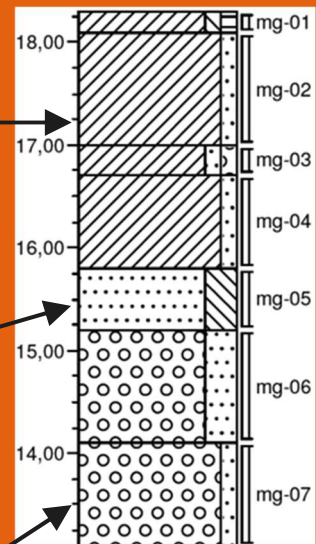


# POV PIPING - INVLOED MAASKLEI EN GRINDLAGEN

Opdrachtgever: Waterschap Limburg

9 JULI 2018



## Contactpersonen

**RIMMER KOOPMANS**  
Geotechnisch adviseur

T +31 6 2706 0177  
E [rimmer.koopmans@arcadis.com](mailto:rimmer.koopmans@arcadis.com)

Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland

---

**WIEBE JANSSEN**  
Geotechnisch adviseur

T +31 6 1101 1936  
E [wiebe.janssen@arcadis.com](mailto:wiebe.janssen@arcadis.com)

Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 33  
6800 LE Arnhem  
Nederland

---

# INHOUDSOPGAVE

<b>SAMENVATTING</b>	<b>6</b>
<b>1 INLEIDING</b>	<b>9</b>
<b>2 AANLEIDING EN DOEL</b>	<b>11</b>
<b>3 METHODE VAN ONDERZOEK</b>	<b>12</b>
3.1 Technische beschrijving	12
3.2 Inventarisatie pilot locaties	12
3.3 Literatuurstudie	13
3.4 Nader grond- en laboratoriumonderzoek	13
3.5 Stijghoogte metingen	13
3.6 Doorlatendheidsproeven	14
3.7 Modelleren en kalibratie	14
<b>4 UITGEVOERD GRONDONDERZOEK</b>	<b>15</b>
4.1 Analyse aanwezigheid Limburgse “leem”	15
4.2 Boringen + sonderingen	15
4.3 Pompproef	15
4.4 Doorlatendheid	16
4.4.1 Porchetproef	16
4.4.2 Kleine ringproeven	17
4.4.3 Empirische formule	17
4.5 Laboratorium onderzoek	18
<b>5 ANALYSE GRONDONDERZOEK</b>	<b>19</b>
5.1 Analyses Maasklei	19
5.1.1 Maasklei is geen “leem” of löss	19
5.1.2 “Leem” Belgische zijde grens(maas)	19
5.1.3 Cohesie deklaag	20
5.1.4 Analyse doorlatendheid deklaag	21
5.1.5 Invloed doorlatendheid op potentiaal	22

5.1.6	Conclusie deklaag	23
<b>5.2</b>	<b>Grindlagen</b>	<b>24</b>
<b>5.3</b>	<b>Stabiliteit van het 3-lagen systeem</b>	<b>25</b>
5.3.1	Het “omgevingsrisico” voor veilige dijken	25
5.3.2	Zandmediaan	25
5.3.3	Suffosie volgens Kenny en Lau	26
5.3.4	Conclusie stabiliteit 3-lagen systeem	28
<b>6</b>	<b>GRONDWATERMODELING BUGGENUM</b>	<b>29</b>
6.1	Gevoeligheidsanalyse stromingsgradiënten	29
6.2	Sellmeijer, Plaxflow en D-Geo Flow	30
<b>7</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELING</b>	<b>32</b>
7.1	Conclusies	32
7.1.1	Grondeigenschappen	32
7.1.2	Piping gevoeligheid	32
7.1.3	Beantwoording onderzoeksvragen	33
7.2	Aanbevelingen	33
7.2.1	Witte vlekken door grind	33
7.2.2	Doorlatendheid deklaag	33
7.2.3	Modelkeuze	34
7.2.4	Kennisagenda's	34
<b>8</b>	<b>LITERATUUR</b>	<b>35</b>
8.1	Gebruikte literatuur	35
8.2	Resultaten literatuuronderzoek	35

## TABELLEN

Tabel 1: resultaten pompproeven Thorn, Well en Buggenum	16
Tabel 2: gemiddelde doorlatendheid ringproeven	17
Tabel 3: doorlatendheid op basis van empirische formules uit CUR 2003-7	17
Tabel 4: fysische eigenschappen afdekkende Maasklei lagen	19
Tabel 5: fysische eigenschappen kleilaag Belgische zijde	20
Tabel 6: sterkte parameters triaxiaal proeven 2%-, 5%-, piek- en eindrek	20
Tabel 7: gemiddelde doorlatendheden deklaag per locatie per type proef	21
Tabel 8: potentiaal afhankelijk van geometrie en doorlatendheid deklaag	22
Tabel 9: zandgrofheid proevenverzameling Maaswerken [lit 3]	26
Tabel 10: zandgrofheid proevenverzameling POV verkenning “Maasklei en grindlagen”	26
Tabel 11: formules voor controle op interne stabiliteit/suffosie	26



Tabel 12: rekenvoorbeeld controle op interne stabiliteit/suffosie	27
---	----

## FIGUREN

Figuur 1: onderzoekslocaties: Well, Buggenum, Beesel en Thorn	10
Figuur 2: potentiaal afhankelijk van geometrie en doorlatendheid deklaag	23
Figuur 3: bodemschematisatie onderzoekslocatie Well	24
Figuur 4: voorbeeld beoordeling interne stabiliteit Kenny en Lau	27
Figuur 5: locaties van de gemodelleerde dijken	29
Figuur 6: gekromde grondwaterstroming door grindlagen	31
Figuur 7 geometriefactor rekenregel Sellmeijer	31
Figuur 8: kritieke verval $\Delta H_{crit}$ volgens D-Geo Flow	31

## BIJLAGEN

BIJLAGE A KAARTEN LEEMGRONDEN LIMBURG	36
BIJLAGE B DOORLATENDHEIDSPROEVEN	37
BIJLAGE C BOORSTATEN + LABRESULTATEN	38
BIJLAGE D ANALYSES TRIAXIAALPROEVEN	39
BIJLAGE E LITERATUUR IN BIBLIOTHEKEN	40
BIJLAGE F GEOTECHNISCHE DWARSPROFIELEN	44

<b>COLOFON</b>	<b>45</b>
----------------	-----------

## SAMENVATTING

In het dijkverbeteringsprogramma HWBP is een Project Overstijgende Verkenning (POV) opgenomen naar het bezwijkmechanisme piping. Eén van de aspecten in deze landelijke verkenning is vergroting van de kennis over de eigenschappen van grindlagen en de invloed hiervan op piping. Het onderhavig onderzoek is opgezet met twee doelstellingen namelijk: “Invloed van (lokale) grindlagen in kaart brengen” en “invloed van Maasklei op het mechanismen piping in beeld brengen”.

Gaandeweg het onderzoek is vast komen te staan dat de grond in Limburg weliswaar vaak benoemd wordt als “leem”, maar dat feitelijk sprake is van sterk zandige klei. De titel van de verkenning is daarom gewijzigd in “Invloed van Maasklei en grindlagen”.

Met betrekking tot de invloed van grindlagen richt het onderzoek zich primair op de doorlatendheden van de grindlagen en in welke mate deze de grondwaterstroming beïnvloeden. Het onderzoek naar de invloed van kleilagen richt zich op twee sporen. Vanuit de theorie wordt de zandige Maasklei (of “leem”) gezien als een afdekkende laag, maar desondanks worden in Limburg weinig tot geen zandmeevoerende wellen waargenomen. Is het materiaal niet cohesief genoeg of juist te doorlatend waardoor de deklaag niet opbarst en piping dus niet kan ontstaan?

Vanuit de constatering dat sprake is van een “markante afwezigheid van zandmeevoerende wellen”, zijn de volgende hoofd onderzoeksvragen geformuleerd:

- Wat voor invloed hebben lokale grindlagen op de vorming van zandmeevoerende wellen?
- Wat is de invloed van Maasklei op het mechanismen piping?

De belangrijkste eigenschappen van de grindlagen worden, om deze vragen te beantwoorden, gedetailleerd bepaald op vier onderzoeklocaties langs de Maas (Well, Buggenum, Beessel en Thorn). Op deze locaties is een voor Limburg kenmerkende bodemopbouw aanwezig met een overgangslaag van grof zand tussen de deklaag en de ondergrond met grind.

Voor het onderzoek naar de invloed van de grindlagen zijn drie pompproeven uitgevoerd en is een meetnet van totaal 64 peilbuizen ingericht. De peilbuizen zijn geplaatst op verschillende dieptes (deklaag, zandlaag en grindlaag) en in de peilbuizen is gedurende meer dan twee jaar de grondwaterstand gemonitord. De eigenschappen van de verschillende lagen zijn onderzocht met veld- en laboratoriumproeven. Onder andere doorlatendheidsmetingen, zeefproeven om de korrelverdeling te bepalen en triaxiaalproeven om de sterkte te bepalen. Uit de onderzoeken naar de laageigenschappen kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- De term Maasklei past beter bij de samenstelling van de deklaag dan de term “leem”.
- De deklaag bezit cohesie bij kleine vervormingen en juist in de situatie van piping is sprake van een kleine vervormingen.
- De doorlatendheid van Maasklei is met 0,1 tot 1 m/dag duidelijk hoger dan een typische komafzetting in het rivierengebied. Hierdoor ontstaat makkelijker kwel.
- Het zand in de poriën van het grind bepaalt in hoofdzaak de doorlatendheid.
- De fijnste delen kunnen uit de korrelmatrix van de zandlaag (tussen deklaag en watervoerend pakket) wegspoelen, waardoor sprake zal zijn van “vuile kwel”.

Op basis van de uitgevoerde veldproeven en empirische formules wordt een doorlatendheid van de deklaag gevonden, die dusdanig laag is dat het optreden van opbarsten mogelijk is. Ook wordt aangetoond dat de deklaag cohesie heeft, waarin een opbarst-kanaal kan ontstaan en waaronder een pipe in stand kan blijven. Maar desondanks worden in Limburg geen of zeer weinig zandmeevoerende wellen waargenomen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de keringen in Limburg een lage kerende hoogte hebben, waardoor de optredende potentialen niet extreem hoog zijn (lees: lager dan de grenspotentiaal). In combinatie met de doorlatendheid van 0,1 à 1 m/dag, is de lage potentiaal een indicatie dat er sprake is van gelijkmatige kwel. Er is geen sprake van geconcentreerde uitstroming wat zandmeevoerende wellen tot gevolg heeft.

In het systeem van drie lagen is juist de, als piping gevoelige laag aan te merken, tweede laag van zeer grof zand ( $M_z = 334 \mu\text{m}$ ) niet gevoelig voor suffusie en/of suffosie. Om een uitspraak over piping te kunnen doen zou daarom juist wel met Sellmeijer moeten worden gerekend. Maar de nu nog onbekende invloed van het aanwezige grind in deze laag (heterogeniteit) mag daarbij niet uit het oog worden verloren. Een toets op het heave criterium uitvoeren middels grondwaterstromingsanalyses en meetreeksen wordt als een betrouwbaardere manier gezien van beoordelen dan Sellmeijer berekeningen.

Een gevoeligheidsanalyse voor het effect van de grindlagen op het pipingproces, wijst uit dat het verticale uittrede verhang niet hoger wordt dan  $i = 0,4$ . Deze waarde volgt uit het meest ongunstige scenario voor de bodemopbouw, maar geldt voor de dijken anno 2017 en dus een waterstand behorende bij een 1/50 à 1/250 overschrijdingskans. Volgens de aangescherpte eis voor heave ( $i < 0,3$ ) in het WBI voldoet de dijk dus niet. De vraag is echter of deze waarde ook van toepassing is voor de bodemopbouw zoals aangetroffen wordt in de Maasvallei.

Een eerste analyse met D-Geo Flow toont aan dat de rekenregel van Sellmeijer tamelijk conservatief is. Volgens D-Geo Flow bedraagt de kritische kerende hoogte in Buggenum  $\Delta H_{\text{crit}} = 3,3 \text{ m}$  en volgens de rekenregel in het ORZW2012 bedraagt  $\Delta H_{\text{crit}} = 2,45 \text{ m}$ . De toename kan deels worden verklaard door de geometriefactor ( $F_G$ ) van de rekenregel, maar het verschil lijkt dermate groot dat dit niet de enige verklaring kan zijn.

Zoals zo vaak zijn het namelijk zeer lokale anomalieën en/of de gelaagdheid in de bodem die het bezwijkgedrag, van in dit geval een waterkering, bepalen. Daar waar ontwerpberekeningen worden gemaakt voor nieuwe Maasdijken en beoordelingen met het WBI, moet hiermee zeer sterk rekening worden gehouden. In de praktijk betekent dit meer grondonderzoek, meer gevoeligheidsanalyses en nauwkeuriger schematiseren. Alles moet uit de kast worden gehaald om de werkelijkheid zo natuurgetrouw te modelleren en de echte veiligheid van een dijk vast te stellen.

Het wordt nadrukkelijk aanbevolen om de geometriefactor  $F_G$  voor de Limburgse situatie opnieuw af te leiden. Uitkomsten van de analytische Sellmeijer rekenregel worden hierdoor beter.





*De dijk bij Beessel, één van de meetlocaties (juni 2017)*

# 1 INLEIDING

## Aanleiding

In het dijkverbeteringsprogramma HWBP is een Project Overstijgende Verkenning opgenomen naar het bezwijkmechanisme piping. Hierin wordt de piping problematiek inclusief oplossingsrichtingen op een landelijk niveau onder de loep genomen. Eén van de aspecten is vergroting van de kennis over de bodem en eigenschappen van grondlagen. De verwachting is dat hierdoor op termijn de benodigde maatregelen om piping te voorkomen, ingeperkt kunnen worden.

De vergroting van de kennis wordt binnen de POV-piping bewerkstelligd door verkenningen uit te voeren. Een van deze verkenningen heeft de titel “Invloed leem en grindlagen” en is beschreven in voorliggend rapport. Deze verkenning is tot stand gekomen via een samenwerking tussen Waterschap Peel en Maasvallei (sinds 1 januari 2017 Waterschap Limburg) en Arcadis.

**Gaandeweg de verkenning is het inzicht ontstaan dat de deklaag in Limburg weliswaar vaak benoemd wordt als “leem”, maar dat feitelijk sprake is van sterk zandige klei. De titel van de verkenning is daarom gewijzigd in “Invloed van Maasklei en grindlagen”. In de tekst is zo veel mogelijk gebruik gemaakt van de term Maasklei.**

## Doel, scope en onderzoeksvragen

De verkenning is opgezet met twee doelstellingen namelijk: “Invloed van (lokale) grindlagen in kaart brengen” en “invloed van Maasklei op het mechanismen piping in kaart brengen”.

Met betrekking tot de invloed van grindlagen richt het onderzoek zich primair op de doorlatendheden van de grindlagen en in welke mate deze de grondwaterstroming beïnvloeden. Grindlagen hebben een zeer veel grotere doorlatendheid dan zand- en kleilagen. Een grindlaag die doorloopt onder de waterkering zal de grondwaterstroming domineren. Het onderzoek naar de invloed van kleilagen richt zich op twee sporen. Vanuit de theorie wordt de zandige klei (of “leem”) gezien als een afdekkende laag, maar desondanks worden in Limburg weinig tot geen zandmeevoerende wellen waargenomen. Is het materiaal niet cohesief genoeg of juist te doorlatend waardoor de deklaag niet opbarst en piping dus niet kan ontstaan?

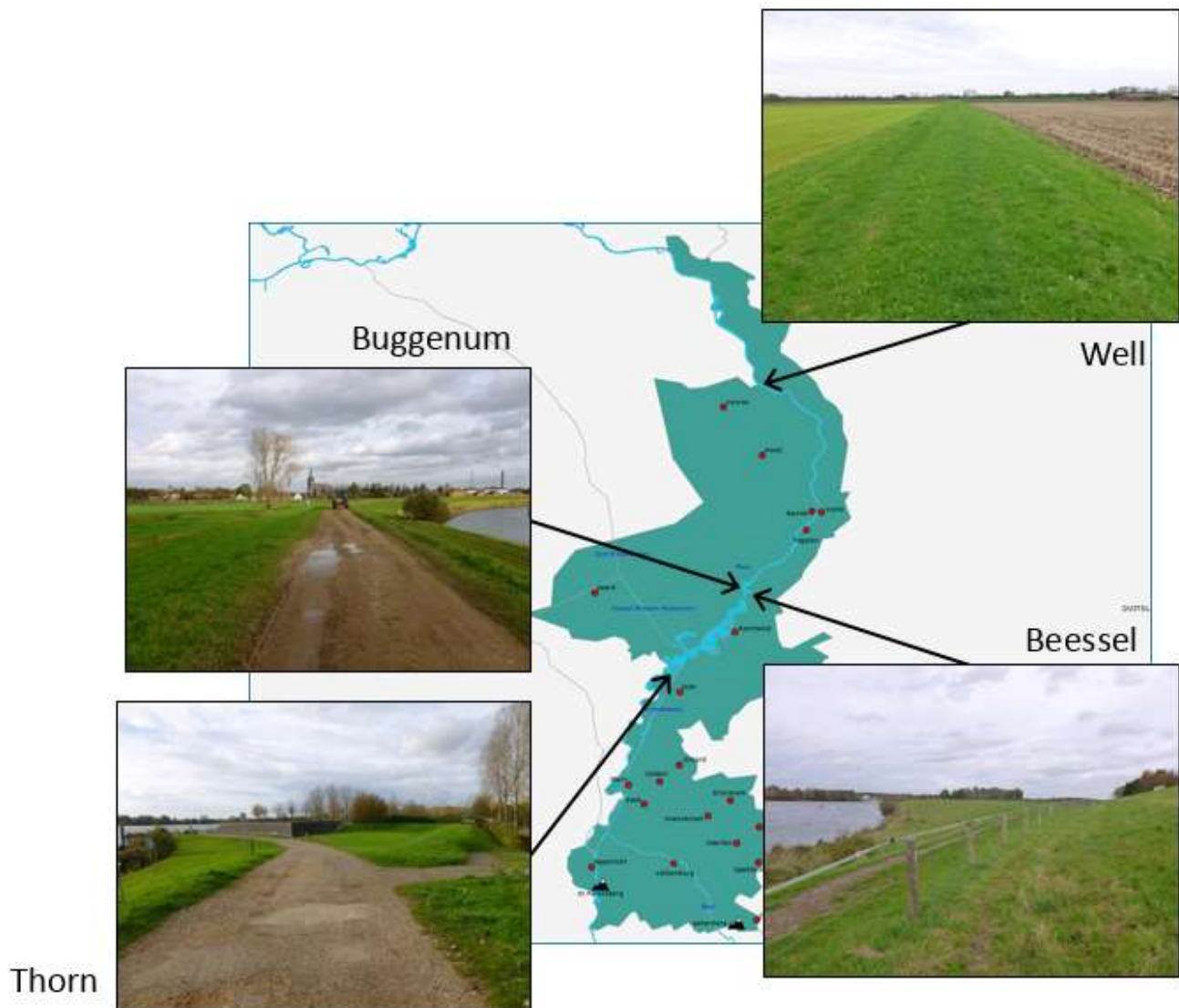
Vanuit de constatering dat sprake is van een “markante afwezigheid van zandmeevoerende wellen”, zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

- Wat voor invloed hebben lokale grindlagen op de vorming van zandmeevoerende wellen? De volgende deelvragen worden hiertoe beantwoord:
  - Hoe wordt de grondwaterstroming beïnvloed door de grindlagen en wat is het uittrede-verhang bij de binnenteen?
  - is uitspoeling van de fijne fractie uit de grove fractie mogelijk (suffusie / suffosie)?
- Wat is de invloed van Maasklei op het mechanismen piping? De volgende vragen worden hiertoe beantwoord:
  - Is op basis van de cohesie het materiaal tot de deklaag of tot de pipinggevoelige zandlaag te rekenen?
  - Hoe doorlatend is het materiaal en wat is de invloed hiervan op het uittrede verhang?

De belangrijkste parameters (sterkte eigenschappen en doorlatendheden) om deze vragen te beantwoorden, worden hiertoe gedetailleerd bepaald binnen vier onderzoeklocaties langs de Maas (zie Figuur 1, pagina 10). Hierbij wordt opgemerkt dat zandmeevoerende weliswaar een voorwaarde voor piping zijn, maar ook door andere oorzaken (opbarsten en heave) kunnen ontstaan. Andersom geredeneerd betekent dit dat de markante afwezigheid van de zandmeevoerende wellen ook verklaard worden doordat de deklaag niet opbarst of dat heave niet ontstaat.

Indien de deklaag niet cohesief is doordat deze bestaat uit lemig zeer fijn zand of sterk zandige klei, kan er in theorie grensvlak erosie ontstaan mits de deklaag direct op een pakket grind ligt met een hoge doorlatendheid. Op de onderzochte locaties is hiervan echter geen sprake. Tussen de deklaag en het pakket grind bevindt zich namelijk vrijwel altijd een overgangslaag van zand. De situatie met overgangslaag is kenmerkend voor de Maasvallei en daarom is grensvlak erosie verder niet onderzocht.





*Figuur 1: onderzoekslocaties: Well, Buggenum, Beesel en Thorn  
in de Noordelijke helft van de Maasvallei*

### Leeswijzer

In de navolgende zeven hoofdstukken, die voor zich spreken, worden de onderzoeksvragen grotendeels beantwoord. Het kritieke uittrede verhang wordt in een separate rapportage in detail behandeld alsmede de invloed van de doorlatendheid en heterogeniteit van het watervoerend pakket van grindhoudend zand. In de onderhavige rapportage gaat het vooral om de grondeigenschappen van de deklaag en in mindere mate de waterspanningen in de zand- en grindlaag.

## 2 AANLEIDING EN DOEL

Als gevolg van nieuwe inzichten is de relatief eenvoudige rekenregel “methode Bligh” vervallen en de nieuwe rekenregel van Sellmeijer geïntroduceerd. Deze rekenregel beschrijft de theorie van het faalmechanisme piping beter, maar resulteert in grotere benodigde kwelweglengtes. De huidige rekenregel voor piping is beschreven in het Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen (Deltares, RWS Waterdienst, 2012-2013). Evenals bij de voorgaande rekenregel is bij het formuleren van de rekenregel uitgegaan van een uniforme grondopbouw: een uniforme zandlaag onder een vaste of cohesieve toplaag. In de praktijk komen veel wisselingen voor in de grondopbouw, waarbij niet alleen wisselingen in de zandlaag een rol spelen, maar ook grindlagen aanwezig zijn die helemaal niet in het rekenrecept zijn te verwerken.

Het gaat hier om grindhoudende lagen en lemige lagen. Beide zullen een aanzienlijke invloed hebben op de grondwaterstroming. Omdat de grondwaterstroming de aandrijvende kracht is voor piping, zal het ook een aanzienlijke invloed hebben op piping. Zowel het ontstaan van zandmeevoerende wellen kan beïnvloed worden, als de vorming van een “pipe”.

Verwacht wordt dat bij een betere mechanisme-beschrijving, waarbij de aanwezigheid van klei- en/of grindlagen betrokken wordt, de omvang van benodigde pipingmaatregelen aanzienlijk beperkt kan worden.

Grind- en kleilagen hebben heel verschillende effecten op het mechanisme piping. De effecten worden daarom separaat van elkaar in kaart gebracht.

Het inzichtelijk maken van de invloed van grind- en kleilagen op piping en het bij elkaar brengen van theorie en praktijk, sluit aan op doel 1b van de POV. Op deze wijze is het resultaat toepasbaar binnen de projecten van het HWBP.

### Het doel van het programma POV-piping in relatie tot de verkenning invloed Maasklei en grindlagen.

De POV piping heeft de volgende twee doelen:

1. Het - op basis van verkenningen - nauwkeuriger in beeld brengen van het areaal (op het faalmechanisme piping) te verbeteren waterkeringen, door:
  - a. de toepassing van de rekenregels te verbeteren én de toepasbaarheid ervan te vergroten;
  - b. de theorie (rekenregels) en de praktijk (werkelijkheid buiten) dichter bij elkaar te brengen.
2. Het ontwikkelen van nieuwe geaccepteerde maatregelen om het piping probleem op te lossen. In verkenningen wordt onderzocht of de innovatieve maatregel werkt, haalbaar en efficiënt is.

De pilot “Maasklei en grindlagen” valt in doel 1b van de POV en haakt aan op de aanwezigheid van grind- en kleilagen en in welke mate deze de grondwaterstroming beïnvloeden.

### Hypothese

Het eerste doel van deze pilot is om de invloed van (lokale) grindlagen in kaart brengen. Grindlagen hebben een zeer veel grotere doorlatendheid dan zand- en kleilagen en zullen daarom de grondwaterstroming beïnvloeden. Een grindlaag die doorloopt onder de waterkering zal de grondwaterstroming domineren. De stroming door ook aanwezige zandlagen is in dit geval veel beperkter dan in een situatie zonder grindlaag. Dit beïnvloedt de locatie van het uittredepunt van de kwelstroom en het uittrede verhang; beiden van invloed op het ontstaan van een zandmeevoerende wel. Bovendien kan de vorming van een “pipe” (terugschrijdende erosie) worden beïnvloed.

Het tweede doel van deze pilot is de invloed van kleilagen op het mechanisme piping in kaart brengen. Leemlagen bestaan voor een belangrijk deel uit fijne bestanddelen, die qua korrelgrootte tussen lutum (kleimineralen) en zand liggen. In Limburg betreft het windafzettingen en wordt het materiaal löss genoemd. Elders in Nederland wordt deze fractie meestal silt genoemd. Leemlagen kunnen een aanzienlijk aandeel zand of lutum bevatten. De doorlatendheid kan daardoor wisselend zijn en ook de cohesiviteit is niet op voorhand duidelijk. Hierdoor is ook onduidelijk of een leemlaag als een pipinggevoelige (zand)laag beschouwd moet worden, of als een cohesieve kleilaag. Of wellicht als een derde categorie, die echter in de rekenregels voor piping nog geen plaats hebben. De korrelverdeling en, samenhangend daarmee, de doorlatendheid spelen bij deze vraag een belangrijke rol.

## 3 METHODE VAN ONDERZOEK

### 3.1 Technische beschrijving

De mate van onbekendheid over de invloed van Maasklei en grindlagen op piping is dermate groot, dat een jarenlang durend breed onderzoeksprogramma opgesteld zou kunnen worden. Dat gaat echter te ver voor de POV. Het onderzoeksvoorstel in het kader van de POV is daarom relatief beknopt en vooral gericht op een nadere verkenning van het probleem, leidend tot openingen voor verder onderzoek. Tevens vormt het onderzoek een inventarisatie voor twee van de belangrijkste aspecten die de kans op piping bepalen. En daarmee ook de noodzaak tot het treffen van maatregelen bepalen en het type maatregelen dicteren.

Omdat de Maasklei en grindlagen heel verschillende effecten hebben, is het onderzoek gesplitst naar deze grondsoorten. Wel wordt opgemerkt dat frequent een combinatie van een kleilaag boven een grindlaag wordt aangetroffen. Mogelijk zijn daarom niet alleen de afzonderlijke lagen van belang, maar ook de combinatie.

In onderhavig onderzoek zijn twee sporen gevolgd, om de invloed van Maasklei en grindlagen afzonderlijk te beschouwen, met steeds dezelfde opbouw:

1. inventarisatie beschikbaar grondonderzoek, specifiek gericht op het in kaart brengen van aangetroffen Maasklei en grindlagen, inclusief beschikbaar laboratoriumonderzoek;
2. literatuurstudie piping in grindlagen;
3. nader grond- en laboratoriumonderzoek op enkele geselecteerde locaties;
4. peilbuismetingen op geselecteerde locaties;
5. pompproeven of kleinschalige proeven voor het bepalen van de in-situ doorlatendheid;
6. kalibreren van het grondwatermodel per locatie via numerieke grondwaterstromingsberekeningen (2-dimensionaal), met de gegevens uit stap 1 tot en met 5;
7. variantenstudie met het grondwatermodel van elke locatie, voor het verkrijgen van extra inzicht in de grondwaterstroming, uitgaande van het reeds gekalibreerde model;
8. formuleren van conclusies ten aanzien van de piping gevoeligheid, maatregelen en lacunes in kennis;

### 3.2 Inventarisatie pilot locaties

Met enkele specialisten is gezocht naar locaties met een specifieke, gelaagde, bodemopbouw. Waarbij de deklaag bestaat uit cohesief materiaal (zandige klei of "leem"), met daar direct onder een zandlaag met een dikte van enkele meters gevolgd door een grindlaag met een dikte van enkele meters.

Om deze specifieke grondopbouw te vinden is gestart met een Quick Scan op basis van de beschikbare boringen en sondering in Dino loket. De volgende dijktringen zijn in deze Quick Scan bekeken: 54; 55; 56; 59; 60; 62; 63; 71&72; 73; 74; 75; 78 en 79. Na de Quick Scan is in het beheerregister van het waterschap gekeken of het lokaal beschikbare grondonderzoek aansluit bij het beeld uit de Quick Scan.

Bij het kiezen van de definitieve locaties is, naast de aanwezigheid van zand en grindlagen, ook rekening gehouden met:

- aanwezigheid van zandige klei of "leem" in de deklaag, locaties met deklaag hebben een duidelijke voorkeur omdat hier beide invloeden in één locatie onderzocht kunnen worden.
- reeds aanwezige peilbuizen, locaties waar reeds peilbuismetingen worden uitgevoerd zijn aantrekkelijker omdat reeds beschikbare meetresultaten gebruikt kunnen worden;
- oude waterlopen in het voorland die mogelijk een versturende invloed kunnen hebben;
- eigendom van de percelen, i.v.m. toestemming voor het plaatsen van de peilbuizen;
- hoogteligging van het achterland, de voorkeur gaat uit naar een relatief laag achterland waardoor er bij een lagere buitenwaterstand al relevante stijghoogten gemeten kunnen worden.

Uiteindelijk zijn 4 locaties gekozen (zie Figuur 1 op pagina 10), waarbij rekening is gehouden met de lokale bodem opbouw en praktische aspecten. De locaties in dijktringen 73 en 75 zijn bij uitstek geschikt voor het onderzoek naar de invloed van grindlagen. De locatie in dijkkring 60 sluit iets minder aan bij het ideaalbeeld vanwege de grotere diepte waarop de grindlaag aanwezig is, maar voldoet vanwege samenstelling van de deklaag. De bodemopbouw in dijkkring 79 is niet ideaal, vanwege een beperkt risico op het ontbreken van een zandlaag, maar de invloed van de aanwezige grindlagen kan wel duidelijk aangetoond worden. Op deze locatie is al wel een bestaand meetnet van peilbuizen aanwezig, dat uitgebreid kan worden.



### 3.3 Literatuurstudie

Als onderdeel van de pilot is beschikbare Duitse en Engelse literatuur beschouwd, waarbij is nagegaan of de resultaten bruikbaar zijn in Nederlandse omstandigheden. De volgende bronnen zijn geraadpleegd:

- het internet;
- bibliotheek TU Delft;
- bibliotheek Arcadis en door WPM aangeleverde literatuur.

Uit de geraadpleegde literatuur is geen bruikbare voor Nederland nieuwe kennis beschikbaar gekomen. Het is vaak veel van hetzelfde en niet specifiek genoeg voor de POV piping verkenning Maasklei en grindlagen. In hoofdstuk 8.2 op pagina 35 is een verslag opgenomen.

Het meest waardevolle inzicht dat gaandeweg het onderzoek is ontstaan heeft te maken met suffusie en suffosie, waarover in diverse literatuur wel het nodige te vinden is (zie lit. 4, 5 en 6).

### 3.4 Nader grond- en laboratoriumonderzoek

Op de geselecteerde locatie, met uitzondering van Beesel, is nader grondonderzoek gedaan om de laagopbouw in beeld te brengen. Hierbij is specifiek gelet op de continuïteiten en discontinuïteiten in de grondopbouw: loopt de betreffende laag al dan niet onder de waterkering door en over welke lengte in langsricting is de laag aanwezig. Dit betreft voor een groot deel handboringen vanwege de beperkte diepte (tot 3 m diepte) en in verband met de kosten. Bij de boringen zijn geroerde en ongeroerde monsters genomen. Indien door de aanwezigheid van grind het steken van goede ongeroerde monsters niet mogelijk was is ervoor gekozen om een machinale boring uit te voeren. Daarnaast zijn sonderingen uitgevoerd. Op de monsters zijn in het laboratorium de volgende proeven gedaan:

- bepaling soortelijk gewicht en poriëngehalte;
- bepaling korrelverdeling, inclusief de fijne- en grove fracties;
- bepaling cohesie (deklagen, door middel van single stage triaxiaalproeven);
- bepaling plasticiteit (deklagen, door middel van het bepalen van de Atterbergse grenzen).

### 3.5 Stijghoogte metingen

Peilbuismetingen geven een reflectie van de reactie van de ondergrond als deze wordt blootgesteld aan drukveranderingen, in dit geval vooral door wisselende rivierwaterstanden. Peilbuismetingen zijn daarom een belangrijke bron van informatie om de laagopbouw te begrijpen en de geohydrologische schematisatie te ijken.

Per geselecteerde locatie zijn 2 raaien peilbuizen geplaatst, met per raai 4 meetpunten. Buitendijks is een meetpunt gesitueerd ter plaatse van de buitenteen en één op het voorland. Binnendijks ter plaatse van de binnenteen en verder landinwaarts.

In de raaien is, op elk meetpunt en op tenminste twee dieptes, de stijghoogte gemeten. Er zijn filters geplaatst in en boven de grindlaag. Bij aanwezigheid van een deklaag is hierin ook een filter geplaatst. Hierdoor is inzicht verkregen in het verloop van de stijghoogte met de diepte.

### 3.6 Doorlatendheidsproeven

De doorlatendheid van de grondlagen is van groot belang voor de grondwaterstroming. De doorlatendheid kan op verschillende manieren worden bepaald:

- op basis van korrelverdelingen (niet nauwkeurig blijkt uit POV piping verkenning continue doorlatendheidsprofielen [lit 8.]);
- op basis van laboratoriumproeven (bijvoorbeeld constant head) op ongeroerde monsters: nauwkeurig, maar geeft alleen voor individuele monsters een resultaat, niet voor de grondlaag als geheel; het nemen van ongeroerde monsters op niet-cohesieve grond is bovendien niet goed mogelijk;
- op basis van kleinschalige in-situ proeven: geeft een resultaat dat representatiever is voor een groter grondvolume dan laboratoriumproeven, via boorgaten op beperkte diepte en via speciale sonderingen op grotere diepte;
- door middel van pompproeven: deze geven een beeld van de doorlatendheid van een grondlaag als geheel, maar zijn relatief duur.

Voor voldoende nauwkeurig beeld van de doorlatendheid en een praktische insteek, is een combinatie van deze proeven uitgevoerd. Het verschil tussen verticale en horizontale doorlatendheid, dat doorgaans tussen 1 en 3 ligt, is in de analyses en modellering meegenomen.

### 3.7 Modelling en kalibratie

Het modelleren bestaat voornamelijk uit het bij elkaar brengen van alle informatie die nodig is en dit in het model verwerken. Hierbij moet gedacht worden aan bijvoorbeeld: de hoogte van het maaiveld, de geologie en de hydraulische randvoorwaarden. Onder het modelleren valt in dit geval alleen het vertalen van de beschikbare informatie naar de software. Het model is dan nog niet klaar om mee te rekenen. Daar is dan nog een kalibratieslag voor nodig. Niet alles kan gemeten worden en niet alle informatie is op elke locatie in het model beschikbaar. Daarom worden er aannames gemaakt. Tijdens de kalibratiefase worden deze aannames zo nauwkeurig mogelijk gemaakt. Dit gebeurt door de beschikbare gegevens (peilbuismetingen) constant te vergelijken met de resultaten van het model (berekende drukken) en doorlatendheden en/of modelrandvoorwaarden aan te passen. Op deze manier wordt iteratief een realistisch model gerealiseerd. Eerst wordt het model voor de stationaire situatie gekalibreerd. Dit houdt in dat de randvoorwaarden niet veranderen gedurende de modelleertijd. Vervolgens worden ook de variaties in de tijd meegenomen in de kalibratie. Uiteindelijk wordt een hoogwatergolf gemodelleerd en ontstaat een volledig gekalibreerd model.

## 4 UITGEVOERD GRONDONDERZOEK

In hoofdstuk 3 is beschreven dat op grote schaal aanvullend onderzoek is uitgevoerd ten behoeve van het beantwoorden van de onderzoeksvragen. In dit hoofdstuk wordt dieper in gegaan op het uitgevoerde grondonderzoek en de daar uit volgende resultaten.

### 4.1 Analyse aanwezigheid Limburgse “leem”

Op basis van de analyse naar de aanwezigheid van Limburgse “leem” of löss zijn overzichtskaarten opgesteld, waar deze gronden zich bevinden in Limburg. De overzichtskaarten zijn bijgevoegd in Bijlage A.

Naast het opstellen van de overzichtskaarten is een eerste beeld geschetst van de samenstelling en eigenschappen van de aangetroffen deklaag in Limburg. Op basis van in februari 2015 uitgevoerde korrelverdelingen (4 stuks) en Atterbergse grenzen (4 stuks) is vastgesteld dat:

- de deklaag gemiddeld 17,5% silt bevat (voor komklei in de Betuwe is dit 2 tot 2 keer zo hoog);
- de  $d_{50}$  van de deklaag gemiddeld 254  $\mu\text{m}$  is (voor komklei in de Betuwe is dit 5 tot 10 keer zo laag);
- de plasticiteitsindex ( $I_p$ ) van de deklaag gemiddeld 2,9% bedraagt (voor komklei in de Betuwe is dit 5 tot 10 keer zo hoog).

Van de uitgevoerde Atterbergse grenzen wijkt één proef sterk af van de andere proeven, doordat er waarschijnlijk meer lutum in het geanalyseerde monster zit. Deze proef, met een plasticiteitsindex van 18%, is uit de verzameling gelaten.

### 4.2 Boringen + sonderingen

Om een goed beeld te creëren van de ondergrond van de te onderzoeken locaties en het verzamelen van monsters voor het uitvoeren van proeven zijn diversen boringen en sonderingen uitgevoerd. Het streven is geweest om zoveel mogelijk handboringen uit te voeren in plaats van machinale. Indien teveel grind aanwezig was, waardoor het steken van bussen onmogelijk werd, is ervoor gekozen om een machinale boring in te zetten. Het steken van bussen met een licht valgewicht wijkt af van wat er in de huidige protocollen van Stowa wordt voorgeschreven. Door deze wijze zou een monster te veel verstoord kunnen worden waardoor de bepaalde sterktes uit de triaxiaal proeven niet betrouwbaar zijn. In dit onderzoek is het doel om vast te stellen of het materiaal in de deklaag cohesief is of niet. Het is niet een doel op zich om sterktes te bepalen die de praktijk het best benaderen en gebruikt worden in stabiliteitsberekeningen. Monsternamen op deze manier is afdoende om proeven uit te voeren waarbij vastgesteld kan worden of het materiaal cohesief is of niet. Ten behoeve van het inzicht verschaffen van de ondergrond en monsteropname is het volgende grondonderzoek uitgevoerd:

- 8 x sondering met kleef tot 20 m –mv;
- 34 x mechanische boring tot 5 m –mv;
- 6 x handboring tot 2 m –mv;
- 15 x handboring tot 3 m –mv;
- 18 x steken ongeroerd monster;
- 21 x machinale boring uitvoeren in verband met aanwezige grindlagen.

### 4.3 Pompproef

Op drie locaties is een pompproef uitgevoerd waar in eerste instantie het plan was om dit op vier locaties te doen. De pompproef bij Beesel is komen te vervallen om budgettaire redenen. Van de pompproeven bij Well, Buggenum en Thorn zijn door Inpijn-Blokpoel twee uitgebreide rapportages opgesteld: Analyse pompproef deellocatie 1 (Well) en 3 (Buggenum), 02P005360-adv-04 en Analyse pompproef deellocatie 4 (Thorn), 02P005360-adv-03. Voor verdere toelichting wordt verwezen naar deze rapporten.

In Tabel 1 zijn de resultaten volgend uit de uitgevoerde proeven weergegeven. Het verschil tussen verticale en horizontale doorlatendheid (anisotropie), is verdisconteerd in de  $kD$  waarde ( $k$  = doorlatendheid en  $D$  = dikte watervoerende laag). Bij de modellering is de  $kD$  waarde opgesplitst in een verticale en horizontale component per deellaag.

Tabel 1: resultaten pompproeven Thorn, Well en Buggenum

Locatie	kD (m <sup>2</sup> /dag)	opmerkingen
Thorn	1.330 + / - 65	D = 19 m
Well	40 + / - 15	restgeulopvulling aanwezig
Buggenum	3.080 + / - 20	D = 31 m

*k* = doorlatendheid en *D* = dikte watervoerende laag

## 4.4 Doorlatendheid

Om data te verschaffen over de doorlatendheid van de deklaag zijn twee type proeven uitgevoerd. Per locatie (Well, Buggenum en Thorn) zijn twee ringproeven en één porchetproef uitgevoerd. Daarnaast is op basis van korrelverdeling de doorlatendheid bepaald met de empirische formules uit CUR 2003-7.

In het algemeen moet bij doorlatendheidsproeven aandacht worden besteed aan de mate van verzadiging van de bodem. Verzadigde en onverzadigde bodems hebben namelijk een verschillende doorlatendheid. Daarnaast dient in ogenschouw te worden genomen dat onder maatgevende omstandigheden de grond over het algemeen al een langere periode (> 10 dagen) erg nat is geweest en dus verzadigd is. Dit hoeft niet het geval te zijn tijdens de meting.

### 4.4.1 Pochetproef

Bij de porchetproef wordt met een handboor een gat van circa 1,5 m geboord. Hierin wordt een koker geplaatst die rondom open is en welke gevuld wordt met water. Vanaf  $t = 0$  wordt gemeten hoe snel het water daalt en in welke mate. Bij deze proef wordt de horizontale doorlatendheid bepaald door te meten hoeveel het water daalt binnen een bepaalde tijd. In Bijlage B zijn de resultaten van de doorlatendheidsproeven toegevoegd.

Bij locatie Buggenum is de proef meerdere malen uitgevoerd, omdat de doorlatendheid aanzienlijk hoger lag dan verwacht mag worden voor de aangetroffen grond. Bij de eerste twee uitgevoerde proeven is een doorlatendheid van circa 7,5 m/dag berekend en in de laatste proef was dit al afgenomen tot 3,8 m/dag. Daartegenover is bij Thorn en Well een doorlatendheid berekend van respectievelijk 0,1 – 0,3 m/dag. Bij het bestuderen van de grond, vrijkomend uit het boorgat, en de boorstaten mocht verwacht worden dat de verschillen tussen locaties niet zo groot zouden zijn.

Wanneer vanuit de situatie tijdens de uitvoering wordt geredeneerd zijn de verschillen goed te verklaren. De locatie bij Buggenum is geboord op een hoger gelegen maaiveld waar de proef is uitgevoerd boven de grondwaterstand, terwijl bij Well en Thorn de grondwaterstand vrij dicht onder het maaiveld lag. Daarnaast was bij Well ook duidelijk te zien dat er nog water op het weiland stond, wat er op wijst dat de poriën goed gevuld zijn. Het tegenovergestelde is het geval geweest bij Buggenum, waardoor het water uit het boorgat snel weg kon stromen de poriën in. Dat verklaart ook waarom de doorlatendheid in de 3<sup>e</sup> proef al is afgenomen, omdat de grond rondom het boorgat meer verzadigd is geraakt dan de proeven ervoor. Bij locatie Buggenum is niet de doorlatendheid gemeten, maar de snelheid van het vullen van poriën. Resultaten van locatie Buggenum kunnen als onbetrouwbaar en niet representatief beschouwd worden.

In het algemeen wordt geadviseerd om de proeven uit te voeren onder vergelijkbare omstandigheden, waarbij het gewenst is om dit te doen tijdens hoogwater waarbij de grondwaterstand nagenoeg gelijk is aan maaiveld.

#### 4.4.2 Kleine ringproeven

Naast de porchetproeven zijn per locatie 2 kleinschalige ringproeven uitgevoerd. Bij een kleinschalige ringproef wordt een kleine ring op het maaiveld geplaatst met daar omheen een grotere ring. Beide worden gevuld met water. De daling van het water in de binnenste ring wordt gemeten. Aan de hand hiervan wordt de verticale doorlatendheid bepaald. Om eventuele verkeerde metingen te voorkomen, door bijvoorbeeld slempgevoeligheid, is eerst circa 20 a 30 cm van het maaiveld afgegraven alvorens de ring geplaatst is.

In Tabel 2 zijn de resultaten van de proeven weergegeven.

Tabel 2: gemiddelde doorlatendheid ringproeven

locatie	meting	$k_{gem}$ deklaag (m/dag)
Buggenum	1	0,341
	2	0,071
Thorn	1	0,260
	2	0,536
Well	1	0,05
	2	0,014

$k_{gem}$  = gemiddelde doorlatendheid

De resultaten liggen hier bij alle locatie dicht bij elkaar in de buurt. De doorlatendheid ligt tussen de 0,1 en 0,5 m/dag. Het totale gemiddelde is 0,2 m/dag. In Bijlage B zijn de resultaten van de ringproeven toegevoegd.

#### 4.4.3 Empirische formule

Naast het bepalen van de doorlatendheid van de deklaag doormiddel van veldproeven is gebruik gemaakt van de uitgevoerde zeefproeven op de deklaag. Op basis van de empirische formules uit CUR 2003-7 zijn de doorlatendheden vastgesteld. In CUR 2003-7 zijn meerdere formules gegeven die gehanteerd kunnen worden voor het bepalen van de doorlatendheid. Echter zijn niet alle formules geschikt voor het bepalen van de doorlatendheid van de grondsoort klei en silt. Deze zijn vooral te gebruiken voor zandige afzettingen. Bij het rekenen met de formules, bedoeld voor zand, worden bij klei monsters onrealistische waarden gevonden als doorlatendheden van circa 10 m/dag.

Voor de deklaag die in deze studie beschouwd wordt is één formule uit de CUR wel te gebruiken, namelijk de Grontmij formule. In deze formule wordt ook rekening gehouden met het Lutum gehalte van een monster. In Tabel 3 is de doorlatendheid, op basis van de Grontmij formule, gegeven. Deze waarde is het gemiddelde van alle 3 de onderzochte locaties samen.

Tabel 3: doorlatendheid op basis van empirische formule uit CUR 2003-7

formule	$k_{gem}$ (m/dag)
$k = (M63/60)^2 10^{-0,2L}$	0,76

$k_{gem}$  = gemiddelde doorlatendheid

Om een beeld te krijgen van het verschil in doorlatendheid per onderzoekslocatie is ook per locatie de doorlatendheid bepaald. Locatie Thorn is hier niet geschikt voor, omdat hier maar één korrelverdeling van de deklaag beschikbaar is. Vanwege de beperkte dikte van de deklaag zijn er simpelweg niet meer analyses beschikbaar. Van locatie Well zijn 7 proeven beschikbaar en van locatie Buggenum 10 proeven. Uit de formule zoals gegeven in tabel 3 volgt bij Well een doorlatendheid van 1,4 m/dag en bij Buggenum 0,34 m/dag. Wanneer gekeken wordt naar het gemiddelde zandgehalte per locatie is de hogere doorlatendheid bij locatie Well te verklaren. Het zandgehalte in de monsters van Well is gemiddeld 70% en bij Buggenum is dit gemiddeld 25%.

## 4.5 Laboratorium onderzoek

Om de aanwezige deklaag in het Maasdal van de Zandmaas beter te begrijpen zijn diversen laboratoriumproeven uitgevoerd. Zoals eerder is gesteld zou op basis van de theorie Limburg zeer piping gevoelig moeten zijn. De aanwezige kwelweg is te kort voor wat benodigd is en er is een cohesieve deklaag aanwezig in het achterland op een zeer goed doorlatend pakket. Ondanks deze factoren worden in Limburg weinig tot geen zandmeevoerende wellen waargenomen. De vraag is of dit komt omdat de deklaag niet cohesief is of dat de deklaag voldoende doorlatend is om drukopbouw, wat opbarsten tot gevolg heeft, te voorkomen. Van een dikke deklaag (> 3 m) en om die reden niet opbarst gevoelige situatie is geen sprake. De gestoken monsters vanuit het veld, zie Bijlage C voor boorstaten, zijn beproefd om hier antwoord op te geven. Ten behoeve van het onderzoek naar de deklaag zijn in het lab de volgende proeven uitgevoerd:

- 25 x korrelverdeling exclusief bezinken;
- 18 x korrelverdeling inclusief bezinken;
- 15 x single stage anisotrope triaxiaal proeven tot 25% rek;
- 20 x Atterbergse grenzen.

Waar bij het steken van monsterbussen niet is aangesloten op het Stowa protocol is dit wel gedaan bij de uitgevoerde triaxiaal proeven. De monsters zijn bij terreinspanning beproefd tot 25% rek percentage (conform versie 5). Ondanks de mogelijk verstoring door de manier van het steken van de bussen kunnen de proeven op deze manier wel nog meegenomen worden in een mogelijke proevenverzameling van waterschap Peel en Maasvallei. Het rapport van het geotechnisch laboratoriumonderzoek is toegevoegd in Bijlage C.

## 5 ANALYSE GRONDONDERZOEK

### 5.1 Analyses Maasklei

#### 5.1.1 Maasklei is geen “leem” of löss

In februari 2015 zijn eerste proeven uitgevoerd op de afdekkende lagen langs de keringen van de Maas. Uit deze proeven volgde de volgende gemiddelden: een siltgehalte van 17,5%,  $d_{50}$  van 254  $\mu\text{m}$  en een plasticiteitsindex van 2,9%, zie paragraaf 4.1. Voor onderhavige studie zijn de in paragraaf 4.5 beschreven laboratoriumproeven uitgevoerd. De resultaten van de korrelverdelingen en Atterbergse grenzen zijn toegevoegd aan de analyses op de proeven uit 2015. Uit de totale verzameling zijn de fysische eigenschappen, zoals weergegeven in Tabel 4, af te leiden.

Tabel 4: fysische eigenschappen afdekkende Maasklei lagen

eigenschappen	gemiddelde	variatie coëfficiënt
lutumgehalte	13,5%	0,71
siltgehalte	36,4%	0,60
zandgehalte	49,8%	0,63
plasticiteitsindex	8,3%	0,67
$d_{50}$	205 $\mu\text{m}$	0,23

$d_{50}$  = gemiddelde korrelgrootte zandfractie

Gemiddeld gezien is de variatie coëfficiënt van de fysische eigenschappen circa 0,65. Dit wijst op verschillende grondsoorten in één verzameling. Dit onderschrijft nog maar is de heterogeniteit van de deklaag in Limburg. Wat in ieder geval duidelijk wordt vanuit de proeven, is dat het merendeel van de onderzochte monster een hoog zandgehalte heeft. Op basis van de gemiddelde waarde uit Tabel 4 kan geconcludeerd worden dat de deklaag geen Limburgse “leem” of löss betreft, maar een combinatie van grondsoorten die gezamenlijk het best kan worden gekarakteriseerd als zandige Holocene klei afgezet door de Maas. **De term Maasklei past beter bij de samenstelling van de deklaag dan de term “leem”.** Het hoge zandgehalte is daarbij een eerste aanwijzing waardoor er in Limburg geen zandmeevoerende wellen worden waargenomen. Door de hogere doorlatendheid van de deklaag, zal de deklaag minder snel/niet opbarsten tijdens maatgevende omstandigheden en juist wel gelijkmatige kwel vertonen. Door de gelijkmatige kwel zullen de lokale gradiënten onder de deklaag ook lager zijn, waardoor de waarschijnlijkheid van heave en piping een stuk kleiner is.

#### 5.1.2 “Leem” Belgische zijde grens(maas)

In België is door het Departement Mobiliteit en Openbare Werken Vlaanderen (MOW Vlaanderen) ook onderzoek gedaan langs de Maas (grensmaas) naar de zandige kleilagen. Op 3 verschillende locaties langs de winterdijken van de Maas (op grondgebied Maasmechelen en Dilsen-Stokkem) is een machinale boring uitgevoerd. Bij deze boringen zijn monsters genomen en hier zijn korrelverdelingen, Atterbergse grenzen, doorlatendheidsproeven en triaxiaal proeven op uitgevoerd. Om te kijken of de bij de grensmaas onderzochte kleilagen vergelijkbaar zijn met de in deze studie onderzochte deklaag zijn de proeven geanalyseerd (zie Tabel 5).

Tabel 5: fysische eigenschappen kleilaag Belgische zijde

eigenschappen	gemiddelde	karacteristiek
siltgehalte	54,8%	66,0%
d <sub>50</sub>	14,5 µm	25,6 µm
plasticiteitsindex	13,8%	20,4%

$d_{50}$  = gemiddelde korrelgrootte gehele monster

De langs de grensmaas onderzochte kleilaag is duidelijk kleiiger dan de zandige klei, die op de vier onderzoekslocaties van deze verkenning is aangetroffen. Dit is toe te schrijven aan een lokaal voorkomende dikke afzetting van klei langs de grensmaas, die niet kenmerkend is voor het Maasdal. Een verdere vergelijking met de resultaten in de onderhavige verkenning is derhalve niet aan de orde.

### 5.1.3 Cohesie deklaag

De resultaten van de single stage anisotrope triaxiaal proeven zijn verwerkt in de Stowa database en verder geanalyseerd. Van de proeven zijn in een grafiek de spanning en de schuifsterkte uitgezet. Bij het bestuderen valt het op dat van de in totaal vijftien proeven drie proeven uitschieten ten opzichte van de andere. Deze proeven hebben een hogere waarden voor spanning ( $s'$ ) en schuifsterkte ( $t$ ). Het betreffen meer zandige monsters, wat de hogere schuifsterkte en spanning verklaard. De situatie met een relatief lage spanning is kenmerkend voor een dijk tijdens hoogwater. Dit pleit er voor om de verzameling zonder uitschieters representatief te stellen.

De hoek van inwendige wrijving en cohesie is per rek percentage (0,5% rek, 2% rek, 5% rek, piek- en eindsterkte) bepaald voor zowel de verzamelingen met als zonder uitschieters (sterk zandige monsters). In Tabel 6 zijn de resultaten van de analyses op de proevenverzameling weergegeven. Het betreft rekenwaarden en in Bijlage D zijn de analyses toegevoegd.

Tabel 6: sterkte parameters triaxiaal proeven 2%-, 5%-, piek- en eindrek

grondsoort	rek (%)	$\varphi_d$ (°)	$\gamma_{m; \varphi}$ (-)	$c'_d$ (kPa)	$\gamma_{m; c}$ (-)
klei	0,5	23	1,2	2,4	1,25
klei + zandige uitschieters	0,5	26,5	1,2	1,7	1,25
klei	2	29	1,2	2	1,25
klei + zandige uitschieters	2	32	1,2	1	1,25
klei	5	33,5	1,2	0,5	1,25
klei + zandige uitschieters	5	31	1,2	0,25	1,25
klei	piek	27,5	1,2	2,5	1,25
klei + zandige uitschieters	piek	30,5	1,2	0	n.v.t
klei	eind	33	1,05	0	n.v.t
klei + zandige uitschieters	eind	33,5	1,05	0	n.v.t

Waarin:

- rek = percentage vervorming van het grondmonsters in de triaxiaal cel
- $\varphi_d$  = rekenwaarde wrijvingshoek
- $\gamma_{m; \varphi}$  = partiële materiaalfactor hoek van inwendige wrijving
- $c'_d$  = rekenwaarde cohesie
- $\gamma_{m; c}$  = partiële materiaalfactor cohesie



Doel van de triaxiaalproeven is geweest om te onderzoeken of de deklaag als cohesieve laag bestempeld kan worden of niet. Bij kleine vervormingen (0,5 tot 2%) wordt cohesie aangetoond, maar bij grote vervorming (25%) is dit niet het geval. Dit sluit aan bij de filosofie voor het grondgedrag tijdens een afschuiving (critical state) waar grote vervorming optreden en grond geen cohesie heeft. In tegenstelling tot een afschuiving treden bij piping geen grote vervormingen op, want er vindt geen grote verplaatsing van grond plaats. Alleen tijdens de initiatie van piping (opbarsten) zal de grond een klein beetje vervormen.

**In de situatie van piping heeft grond de sterkte behorend bij kleine vervormingen en dus cohesie. Het feit dat de deklaag cohesie heeft kan ervoor zorgen dat bij het opbarsten van de deklaag een blijvende open verbinding ontstaat waar kwel geconcentreerd kan uitstromen en er zich een "dak" kan vormen boven de pipe. Op basis van de uitgevoerde triaxiaal proeven kan gesteld worden dat de mogelijkheid tot het optreden van piping aanwezig is.**

### 5.1.4 Analyse doorlatendheid deklaag

In paragraaf 4.4 zijn de uitgevoerde doorlatendheidsproeven besproken. Met drie verschillende methodes is de doorlatendheid bepaald, namelijk: porchetproeven, infiltratieproeven en op basis van de empirische formule van Grontmij uit CUR 2003-7. In Tabel 7 is een samenvatting van de resultaten van de verschillende proeven weergegeven. De resultaten zijn gemiddelde waarden en deze zijn per locatie en per proef weergegeven. Daarnaast zijn totaal gemiddelden gegeven.

Tabel 7: gemiddelde doorlatendheden deklaag per locatie per type proef

locatie	porchetproef (m/dag)	infiltratieproef (m/dag)	empirische formule (m/dag)	gemiddeld (m/dag)
Well	0,37	0,01	1,4	0,6
Beessel	0,36	-	-	-
Buggenum	resultaat niet geschikt	0,206	0,37	0,29
Thorn	0,57	0,4	onvoldoende korrelverdelingen	0,49
<b>totaal</b>	0,43	0,205	0,89	<b>0,46</b>

De uitgevoerde porchetproeven bij Buggenum laten een aanzienlijk hogere doorlatendheid zien dan de doorlatendheden volgens de infiltratieproef en empirische formule op die locatie. De hogere doorlatendheid is terug te herleiden naar de omstandigheden waarin de proef is uitgevoerd. Deze is namelijk anders geweest dan bij de overige locatie. Het maaiveld lag hier namelijk aanzienlijk hoger ten opzichte van de grondwaterstand, waardoor de proef uitgevoerd is op relatief droge grond en waarbij de poriën niet gevuld waren. Bij de porchetproef waar ook horizontale doorlatendheid wordt gemeten heeft dit grote invloed. Op basis van het resultaat en de omstandigheden waarbij de proef is uitgevoerd wordt de porchetproef bij Buggenum gezien als niet representatief.

Op basis van de porchetproef en ringproeven is een doorlatendheid bepaald van orde grootte van 0,2 tot 0,4 m/dag. Met de empirische formule wordt een iets hogere doorlatendheid gevonden 0,9 m/dag. De doorlatendheid van Maasklei is duidelijk hoger dan van een typische komafzetting in het rivierengebied.

**Grondsoorten met een doorlatendheid kleiner dan 1 m/dag kunnen gezien worden als redelijk tot matig doorlatend. Gezien de stroomsnelheid, die het water door zand en grind heeft in de onderliggende lagen, zorgt de deklaag met doorlatendheid van circa 0,5 m/dag voor een dusdanige weerstand dat hier opbarsten mogelijk is en zandmeevoerende wellen kunnen ontstaan. De potentialen die opbarsten veroorzaken zijn echter wel lager dan bij typische komafzettingen.**

### 5.1.5 Invloed doorlatendheid op potentiaal

Op basis van de uitgevoerde veldproeven en empirische formules wordt een doorlatendheid van de deklaag gevonden welke dusdanig laag is dat het optreden van opbarsten mogelijk is. Maar in Limburg worden geen of zeer weinig zandmeevoerende wellen waargenomen.

Een belangrijk gegeven voor het opbarsten van een deklaag is de opwaartse druk die heerst vanuit het watervoerende pakket onder de deklaag. De opwaartse druk wordt bepaald door de stijghoogte bij het uittredepunt. De doorlatendheid van de deklaag heeft invloed op de stijghoogte. Hoe hoger de doorlatendheid des te lager wordt de stijghoogte ten opzichte van de onderkant van de deklaag. Dit is onderzocht met een aantal potentiaal berekening bij een fictieve kering waarbij gevarieerd is in de doorlatendheid van de deklaag. De volgende doorlatendheden zijn beschouwd:

- $k = 0,05$  m/dag → standaard waarde voor Betuwse klei in potentiaal berekening;
- $k = 0,2$  m/dag → resultaat infiltratieproeven deklaag (zie Tabel 7);
- $k = 2,0$  m/dag → goed doorlatende deklaag;
- $k = 10,0$  m/dag → deklaag met meerdere opbarstkanalen.

Naast deze doorlatendheden zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- deklaagdikte = 2 m (kenmerkende waarde voor Zandmaas);
- gewicht deklaag =  $18 \text{ kN/m}^3$  (kenmerkende waarde voor zandige klei in Maasvallei);
- $kD = 2500 \text{ m}^2/\text{dag}$  (bovengrens benadering).

Er is gerekend met een fictieve kering, maar om een vertaling te kunnen maken naar de keringen in Limburg zijn verschillende situaties bekeken. Zo is voor het optredend verval uitgegaan van 2 situaties, namelijk 2 m en 4 m. De waarde van 2 m is anno 2017 kenmerkend voor de dijken in Limburg en 4 m is grofweg de bovengrens. Door de normwijziging en veranderingen in de afvoer kunnen deze waarden in de ( nabije) toekomst hoger worden.

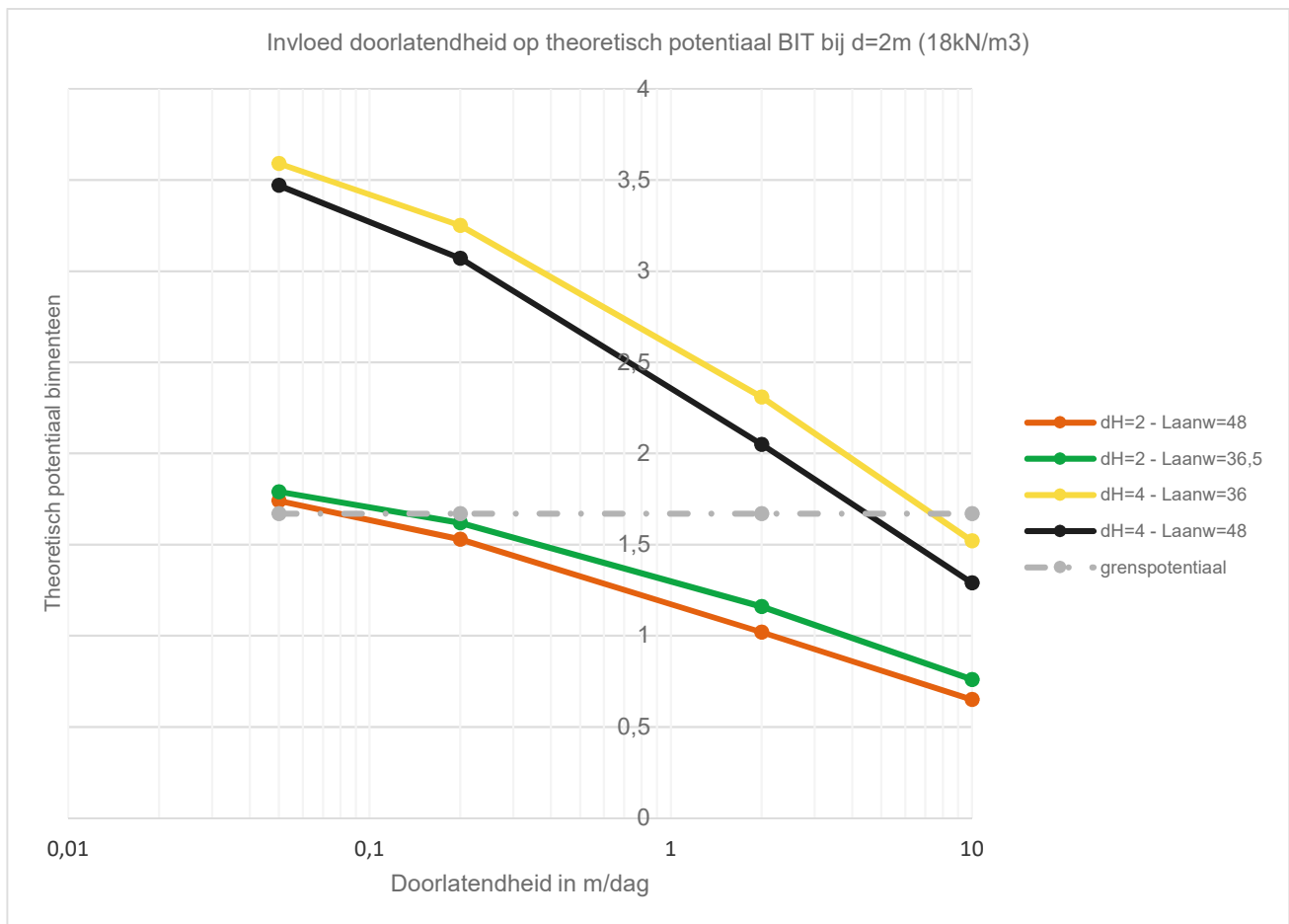
Naast de kerende hoogte is de invloed van de aanwezige kwelweg in beeld gebracht door de potentialen te berekenen bij een kwelweg van 36 m en 48 m. Ook deze waarden zijn een inschatting van wat representatief is voor Limburg.

Om de invloed van de doorlatendheid op het mogelijk optreden van piping is bij verschillende situaties de theoretische potentiaal bepaald ter hoogte van het opbarstpunt. De grenspotentiaal is bij alle situaties hetzelfde, omdat in elke berekening met dezelfde deklaag is gerekend. In Tabel 8 zijn de resultaten van de potentiaalberekening weergegeven.

Tabel 8: potentiaal afhankelijk van geometrie en doorlatendheid deklaag

situatie	$\Delta H$ (m)	$L_{\text{aanwezig}} = 36 \text{ m}$ theoretisch pot. (m +NAP)	$L_{\text{aanwezig}} = 48 \text{ m}$ theoretisch pot. (m +NAP)	grenspotentiaal (m +NAP)
k deklaag = 0,05 m/dag	2	1,74	1,79	1,67
k deklaag = 0,2 m/dag	2	1,53	1,62	1,67
k deklaag = 2,0 m/dag	2	1,02	1,16	1,67
k deklaag = 10,0 m/dag	2	0,65	0,76	1,67
k deklaag = 0,05 m/dag	4	3,47	3,59	1,67
k deklaag = 0,2 m/dag	4	3,07	3,25	1,67
k deklaag = 2,0 m/dag	4	2,05	2,31	1,67
k deklaag = 10,0 m/dag	4	1,29	1,52	1,67

De resultaten uit Tabel 8 zijn visueel gemaakt in Figuur 2.



Figuur 2: potentiaal afhankelijk van geometrie en doorlatendheid deklaag

Bij een kleine kerende hoogte ( $dH = 2$  m) en bij  $k = 0,2$  m/dag of groter, is sprake van gelijkmatige kwel in plaats van opbarsten en geconcentreerde uitstroming. Bij een grotere kerende hoogte, ontstaat pas bij  $k = 5$  à  $8$  m/dag gelijkmatige kwel.

**Over het algemeen hebben de keringen bij Limburg een lage kerende hoogte, waardoor de optredende potentialen niet extreem hoog zijn (lees: lager dan de grenspotentiaal). Dit in combinatie met de waargenomen doorlatendheid van de deklaag van  $0,5$  m/dag is een indicatie dat er geen geconcentreerde uitstroom optreedt wat tot piping kan leiden. Er is louter sprake van gelijkmatige kwel.**

### 5.1.6 Conclusie deklaag

Een mogelijke oorzaak waarom in Limburg, ondanks de korte kwelwegen, weinig tot geen zandmeevoerende wellen worden waargenomen is de samenstelling van de deklaag.

Uit de uitgevoerde triaxiaalproeven blijkt echter dat de deklaag bij kleine vervorming cohesief reageert, met een cohesie van  $2$  tot  $2,5$  kPa (rekenwaarde). Deze eerste aanwijzing duidt erop dat er wel degelijk sprake is van een piping gevoelige bodemopbouw.

Het onderzoek naar de doorlatendheid van dezelfde deklaag versterkt deze onderbouwing. De doorlatendheid ligt tussen  $k = 0,1$  en  $1$  m/dag (gemiddeld  $k = 0,5$  m/dag) en vormt een groot contrast met de daaronder gelegen grove zandlagen. Hierdoor kan er wateroverspanning opbouwen onder de deklaag met opbarsten tot gevolg. De in deze verkenning gevonden doorlatendheid is echter wel duidelijk hoger dan de typische waarde van komkleien ( $k < 0,05$  m/dag).



## 5.3 Stabiliteit van het 3-lagen systeem

Van Limburg is bekend dat er verschillende situaties voorkomen qua bodemopbouw en dan specifiek in de laagopbouw van Maasklei, zand en grind. Er zijn drie situaties te onderscheiden:

1. afdekkende kleilaag boven een grindlaag met zandlenzen;
2. toplaag van zand boven een grindlaag;
3. afdekkende kleilaag boven zand met daaronder een grindpakket.

### 5.3.1 Het “omgevingsrisico” voor veilige dijken

Vanwege de specifieke bodemopbouw in Limburg gonzen binnen sommige gremia geruchten dat in Limburg piping niet kan optreden. Enerzijds omdat sprake zou zijn van gelijkmatige kwel door de afdekkende kleilaag in plaats van geconcentreerde uitstroming in een opbarstkanaal. Anderzijds omdat het zand onder de afdekkende laag grover is dan langs de Rijn en haar takken. Dit geluid heeft zichzelf de afgelopen tijd versterkt tot op het punt dat binnen RWS “geroepen” wordt dat er geen sprake is van piping maar van suffosie.

Aangezien het punt van gelijkmatige kwel niet ontkend kan worden door de absentie van dikke kleipakketten, is er wat voor te zeggen dat piping minder waarschijnlijk is in de Maasvallei. Daarnaast is de Sellmeijer rekenregel geldig voor relatief fijne zanden met een  $d_{70}$  van 150  $\mu\text{m}$  tot 500  $\mu\text{m}$  en in Zuid Limburg is het zand dikwijls grover. Dat piping hierdoor niet optreedt en suffosie wel is echter te stellig. Daarom is een analyse gemaakt van de kans op uitspoeling van fijnere gronddeeltjes.

Voordat verder in kan worden gegaan met het ontzenuwen van de geruchten, moeten eerst enkele termen worden verklaard, namelijk (zie ook ORZW2012, lit. 7):

- zandmeevoerende wel: aan maaiveld opborrelend zand getransporteerd uit de ondergrond door heave, suffusie, suffosie of piping;
- heave: situatie waarbij verticale korrelspanningen in een zandlaag wegvallen onder invloed van een verticale grondwaterstroming;
- suffusie: uitspoeling van fijn materiaal uit een grof korrelskelet, waarbij het korrelskelet zijn functie behoudt;
- suffosie: uitspoeling van fijn materiaal uit een grovere matrix, waarin het fijne materiaal een dragende functie heeft;
- piping: zandtransport onder een waterkering door richting de rivier (terugschrijdende erosie);
- interne erosie: verzamelnaam uit het “International Levee Handbook” voor mechanismen met zandtransport;
- Gap-graded: zeefkromme waarbij er midden in de zeefkromme een bijna horizontaal deel zit, omdat het gaat om een mengsel van een fijn materiaal met een grof materiaal.

### 5.3.2 Zandmediaan

In 2011 is door Arcadis een proevenverzameling opgesteld van de beschikbare laboratoriumanalyses van Waterschap Peel en Maasvallei [lit.3]. Deze analyses zijn uitgevoerd in het kader van het Maaswerken project. In deze proevenverzameling is onder andere de gemiddelde zandmediaan vastgesteld van het zand onder de deklaag en van de top van de watervoerende laag. In de Sellmeijer formule wordt de  $d_{70}$  ingevoerd. De karakteristieke  $d_{70}$  is ongeveer gelijk aan het gemiddelde van de zandmediaan blijkt uit ervaringen bij andere projecten.

In Tabel 9 zijn de zandgrofheden gegeven van het Maaswerken project. Deze sluiten goed aan bij de waarden die in de onderhavige POV piping verkenning zijn gevonden (zie Tabel 10).

Het zand onder de deklaag bevat gemiddeld 10% grind, maar de variatiecoëfficiënt is met  $v = 1,0$  zeer groot. Zowel zandlagen met 0% grind als met 30% grind worden direct onder de deklaag aangetroffen. In Thorn is de kans op sterk grindhoudend zand weliswaar groter, maar het is niet zo dat in Well of Buggenum geen sterk grindhoudend zand onder de deklaag aanwezig is.



Tabel 9: zandgrofheid proevenverzameling Maaswerken [lit 3]

grondsoort	M <sub>z</sub> (µm)
zand onder deklaag	250
top van watervoerende laag (Noord Limburg)	450 *

\* = wijkt af c.q. is fijner dan in het zuidelijk deel van Limburg

Tabel 10: zandgrofheid proevenverzameling POV verkenning "Maasklei en grindlagen"

waarde	zand onder deklaag			gemiddelde top watervoerende laag	
	gemiddelde (µm)	aantal	variatie	Well/Buggenum (mm)	Thorn (mm)
d <sub>85</sub> gehele monster	627	28	0,42	20	51
d <sub>60</sub> zandfractie	378	27	0,24	n.v.t.	n.v.t.
d <sub>15</sub> gehele monster	203	28	0,26	0,4	5
d <sub>10</sub> zandfractie	174	27	0,25	n.v.t.	n.v.t.
M <sub>z</sub>	334	26	0,24	n.v.t.	n.v.t.
M <sub>g</sub>	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	13 (variatie = 0,4)	27 (variatie = 0,3)

\* = wijkt af c.q. is fijner dan in het zuidelijk deel van Limburg

### 5.3.3 Suffosie volgens Kenny en Lau

Binnen de Nederlandse literatuur is weinig aandacht voor het principe van suffusie of suffosie, alhoewel in het ORZW2012 [lit 7.] wel praktische informatie is te vinden. Daarom is internationale literatuur geraadpleegd en in "The International Levee Handbook" [lit.4] staat een zeer bruikbare definitie van de interne erosie en de deelprocessen die daarbij worden onderscheiden (onder andere suffosie). Verschillende theorieën worden uit de doeken gedaan met bijbehorende formules (zie Tabel 11).

Tabel 11: formules voor controle op interne stabiliteit/suffosie

referentie	materiaal	criterium
Istomina (1957) [lit.5]	zandig grind	C <sub>u</sub> ≤ 10: intern stabiel 10 ≤ C <sub>u</sub> ≤ 20: overgang C <sub>u</sub> ≥ 20: intern onstabiel
Kezdi (1969) [lit.6]	alle grondsoorten	max ( d <sub>15g</sub> / d <sub>85f</sub> ) ≤ 4: intern stabiel
Kenny and Lau (1985) [lit.4]	silt, zand en grind	min F <sub>d</sub> < 30% ( F <sub>4d</sub> / F <sub>d</sub> - 1 ) ≥ 1: intern stabiel

C<sub>u</sub> = uniformiteit coëfficiënt = d<sub>60</sub>/d<sub>10</sub>; d<sub>15g</sub> = diameter waarvan 15% van het grove materiaal binnen een korrelverdeling de zeef passeert; d<sub>85f</sub> = diameter waarvan 85% van het fijne materiaal binnen een korrelverdeling de zeef passeert

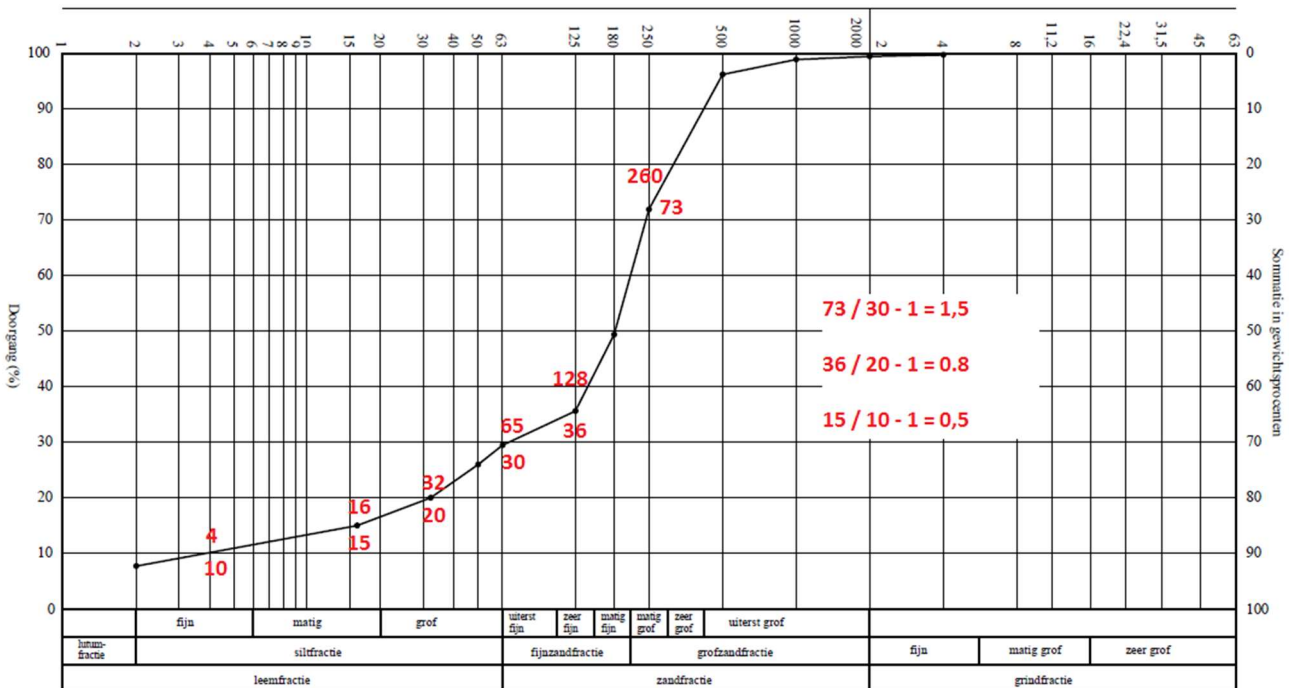
In deze verkenning wordt Kenny and Lau gebruikt om suffusie/suffosie te beschouwen, omdat dit een veel gebruikte en recente methode is. Uit de analyse van 62 korrelverdelingen van zand- en grindmonsters op verschillende dieptes blijkt het volgende.

- Matig grof tot zeer fijn sterk silthoudend zand dat aanwezig is op de overgang van deklaag naar watervoerend pakket, is gevoelig voor suffusie/suffosie. De fijnste fractie (het silt) kan uitspoelen via de openingen tussen het fijne zand.
- Het grove zand, dat normaliter als pipinggevoelige laag wordt aangewezen, met een zandmediaan van gemiddeld  $M_z = 334 \mu\text{m}$  (variatie = 0,24) is intern stabiel.
- Het grindhoudende pakket is intern niet stabiel. Het zand kan uitspoelen via de openingen tussen het grind.

In Tabel 12 is een rekenvoorbeeld gegeven met in Figuur 4 een illustratie van het voorbeeld.

Tabel 12: rekenvoorbeeld controle op interne stabiliteit/suffosie

boring	monster	diepte (m)	classificatie	$M_z$ (mm)	$F_d$	$F_{4d}$	$F_{4d}/F_d - 1$	oordeel
HB-60.062+50D	mo-01	1,00	zand, siltig	0,227	4 $\mu\text{m}$ (10%)	16 $\mu\text{m}$ (15%)	15/10-1=0,5	instabiel
					32 $\mu\text{m}$ (20%)	128 $\mu\text{m}$ (36%)	36/20-1=0,8	instabiel
					65 $\mu\text{m}$ (30%)	260 $\mu\text{m}$ (73%)	73/30-1=1,5	stabiel



Figuur 4: voorbeeld beoordeling interne stabiliteit Kenny en Lau

### 5.3.4 Conclusie stabiliteit 3-lagen systeem

Uit de controle op interne stabiliteit blijkt dat de geruchten over suffosie deels kunnen worden tegengesproken. De fijnste delen kunnen weliswaar uit de korrelmatrix wegspoelen maar zullen niet lijken op zandmeevoerende welletjes aan maaiveld. Er zal eerder sprake zijn van “vuile kwel” dat zich het beste laat vergelijken met troebel water waarin veel fijne zwevende delen aanwezig zijn.

**In het systeem van drie lagen is juist de als piping gevoelige laag aan te merken tweede laag van zeer grof zand ( $M_z = 334 \mu\text{m}$ ) niet gevoelig voor suffosie. Dit zou betekenen dat juist wel met Sellmeijer moet worden gerekend als niet aan het opbarsten en heave criterium wordt voldaan. Maar de invloed van het aanwezige grind in deze laag mag daarbij niet uit het oog worden verloren. Deze vorm van heterogeniteit wordt verder onderzocht in een andere verkenning.**

Het zand in het grind kan migreren maar dikwijls zullen de verhangen daarvoor niet groot genoeg zijn. Verwacht mag worden dat dit alleen een rol speelt als het grind direct aan de oppervlakte ligt, bijvoorbeeld op de bodem van een beek aan de binnenteen.

Wanneer suffusie overgaat in suffosie is niet duidelijk geworden uit de bestudeerde literatuur. Eén van de situaties waar de transitie kan plaatsvinden, is als er verstoring van de korrelspanning aan de bovenzijde van een grondlaag plaats vindt door opbarsten.



## 6 GRONDWATERMODELERING BUGGENUM

In het kader van onderhavige studie voor de POV-piping is een grondwatermodel opgezet voor locatie Buggenum. In het navolgende worden de belangrijkste keuzes en bevindingen samengevat uit een stage opdracht [lit. 9] en een afstudeeronderzoek [lit. 10].

### 6.1 Gevoeligheidsanalyse stromingsgradiënten

Het **doel** van het onderzoek was om:

- meer inzicht te geven in het effect van grindlagen op de tweedimensionale grondwaterstroming bij piping gevoelige locaties;
- het bepalen van de stromingsgradiënten in het drie-lagen-systeem.

De **aanleiding** is dat binnen het POV-piping onderzoek, dat is opgezet door het hoogwater beschermingsprogramma, veel vragen zijn betreffende het faalmechanisme piping. Vragen omtrent de invloed van grindlagen op de stijghoogtes achter de dijk en de invloed van variaties in de doorlatendheid van de deklaag op het grondwater stromingsbeeld, zijn van belang. Daarnaast is de vraag hoe groot de stromingsgradiënten in het drie-lagen-systeem precies worden. Voor dit onderzoek is een model opgebouwd voor locatie Thorn en Buggenum waarvan de locaties in Figuur 5 zijn weergegeven. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op locatie Buggenum.



*Figuur 5: locaties van de gemodelleerde dijken*

Het **onderzoek** heeft bestaan uit:

- het opzetten van een Plaxflow model;
- het volledig kalibreren van dit model op de aanwezige randvoorwaarden, in drie fases;
  - stationaire kalibratie;
  - niet stationaire kalibratie;
  - kalibratie voor hoogwater;
- uitvoeren van berekeningen.

Uit de modellering- en kalibratiefase van dit project volgen een aantal interessante bevindingen: waarvan de belangrijkste hier genoemd zullen worden. Ten eerste, liggen de locaties voor de modellen in het Maasdal wat resulteert in een sterke kwelstroom vanuit de hoger gelegen gebieden richting de Maas. Deze kwelstroom manifesteert zich voornamelijk in het dieper watervoerende pakket. Om een beter inzicht te krijgen in de stijghoogtes in dit diepere pakket worden meer metingen aangeraden.

Ten tweede, op beide locaties wordt voor een gemiddeld waterpeil een drainerend systeem aangetroffen. Het water stroomt vanuit de polder richting de Maas. Bij maatgevend hoogwater zal het systeem omslaan naar infiltrerend. Het water stroomt van de maas richting het bedijkte gebied.

Met het volledig gekalibreerde model Buggenum zijn een aantal berekeningen uitgevoerd, de **hoofdconclusies** zijn:

- grindnesten veroorzaken afhankelijk van hun positie onder de dijk een hogere stijghoogte, doordat grind een grotere doorlatendheid heeft dan de omliggende grond;
- het verticale uittrede verhang over de deklaag is aan de binnentoe bepaald en bedraagt  $i = 0,4$  uitgaande van een conservatieve combinatie van uitgangspunten voor laagdikte, doorlatendheid en bodemopbouw. Deze waarde geldt voor de dijken anno 2017 en dus een waterstand behorende bij een 1/50 à 1/250 overschrijdingskans.

## 6.2 Sellmeijer, Plaxflow en D-Geo Flow

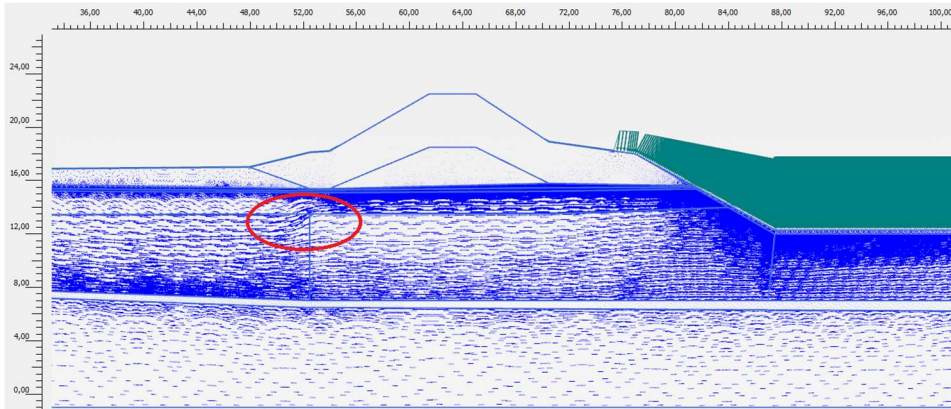
De dijken in de Maasvallei zijn relatief nieuw. Ze zijn geconstrueerd na de overstromingen in 1993 en 1995 en in 2011 is er opnieuw een periode van hoogwater geweest. Uit 2011 zijn geen duidelijke piping gerelateerde observaties bekend zoals grote zandmeevoerende wellen (meer dan 1 emmer zand). Naar **aanleiding** van deze tegenstelling is de vraag ontstaan of het falen van de dijken ten gevolge van piping realistisch is in de Noordelijke Maasvallei. Daarom is een afstudeeropdracht gedefinieerd voor een TU student (ir. P.G. van der Hulst). Het **doel** van de inmiddels afgeronde afstudeeropdracht c.q. het **onderzoek** was om met een analytische analyse en een numerieke analyse de tegenstelling te verklaren:

- een analytische analyse volgens het technisch Rapport Zandmeevoerende wellen (1999);
- een numerieke analyse met Plaxflow;
- een numerieke analyse met D-Geo Flow.

Uit de analytische analyse is gebleken dat er in het verleden waterstanden zijn voorgekomen waarbij de kritieke limieten (voor opbarsten en heave) zouden worden overschreden. Dit geldt niet voor alle dijkkringen, maar voor bepaalde kritieke locaties. Daarbij is aangetoond dat het aantal kritieke locaties in de toekomst zal toenemen als gevolg van de toenemende waterstand. Een gevoeligheidsanalyse heeft laten zien dat de doorlatendheid van de deklaag één van de belangrijkste parameters is met betrekking tot piping. Voorts zijn een aantal onvolkomenheden geïdentificeerd, gerelateerd aan de uitgangspunten van het analytische model. Het analytische model veronderstelt namelijk dat de ondergrond uit slechts twee lagen bestaat (deklaag en watervoerende laag) en dat deze lagen perfect horizontaal, homogeen en continu zijn. Daarnaast veronderstelt het model onjuist dat de grondwaterstroming in de watervoerende laag perfect horizontaal is en dat de stroming (lek) door de deklaag perfect verticaal is.

In de numerieke analyse is de grondwaterstroming verder onderzocht met een verfijnd model van de locatie Buggenum. Tevens is het model geïmplementeerd in de nieuwe software D-Geo Flow om de ontwikkeling van een pipe te modelleren. Aangetoond is dat de doorlatendheid van de deklaag van groot belang is. Een afname van de doorlatendheid resulteert in een hogere uittredepotentiaal en dus een grotere kans op piping. Het tegenovergestelde resulteert in een kleinere kans op piping. De tweede meest invloedrijke modelcomponent is de specifieke geometrie van de watervoerende laag. De aanwezigheid van horizontale zones met een sterk afwijkende doorlatendheid (grindlagen) heeft een groot effect op de uittredepotentiaal. Het is hierdoor mogelijk dat de specifieke geometrie lokaal de uittredepotentiaal verlaagt. Het tegenovergestelde is ook mogelijk.

Het analytisch model resulteerde in een significant lagere uittredepotentiaal onder de deklaag dan het numeriek model, respectievelijk NAP +19,32 m en NAP +18,92 m (maaiveldhoogte van NAP +16,87 m). Dit verschil kan worden verklaard door middel van een evaluatie van het stromingsbeeld van beide modellen. Het analytisch grondwaterstromingsmodel is gebaseerd op de aanname dat de grondwaterstroming in de watervoerende laag perfect horizontaal is, zoals hiervoor beschreven. Echter wijkt in werkelijkheid de grondwaterstroming af van dit perfecte horizontale pad (zie Figuur 6).



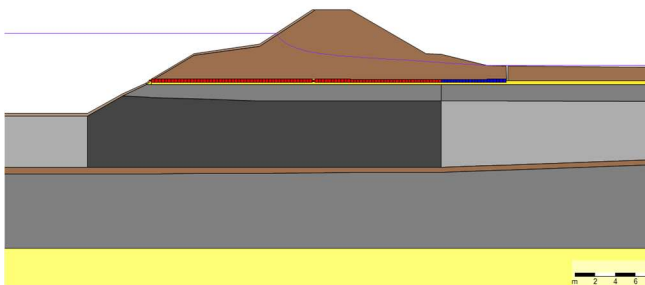
Figuur 6: gekromde grondwaterstroming door grindlagen

De rekenregel van Sellmeijer is gevalideerd middels een vergelijking van het kritieke verval  $\Delta H_{crit}$  volgens de rekenregel en het numerieke model in D-Geo Flow. De rekenregel van Sellmeijer heeft geresulteerd in een lager kritiek verval dan het numerieke model, respectievelijk  $\Delta H_{crit} = 2,45$  m en  $3,3$  m. Het verschil kan gedeeltelijk worden verklaard aan de hand van een vergelijking van de model configuratie. De rekenregel is gebaseerd op een standaard dijk configuratie door middel van een geometriefactor in de rekenregel ( $F_G$ ).

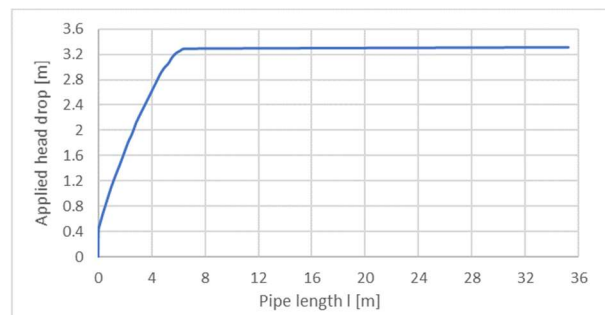
$$F_G = 0.91 \left( \frac{D}{L} \right)^{\frac{0.28}{2.8} - 1} + 0.04$$

Figuur 7  
geometriefactor  
rekenregel Sellmeijer

Wanneer de werkelijke geometrie verschilt van de standaard configuratie zal de rekenregel resulteren in een kritiek verval dat afwijkt. Om de rekenregel geschikt te maken voor een afwijkende dijk configuratie kan de geometrie factor opnieuw worden bepaald aan de hand van een numeriek model.



Figuur 8: kritieke verval  $\Delta H_{crit}$  volgens D-Geo Flow



De **eindconclusie** is dat het falen van een dijk als gevolg van piping realistisch is in de Maasvallei. Dit geldt niet voor alle dijken in het gebied, maar voor een aantal kritieke locaties. Het onderzoek heeft aangetoond dat er in het verleden waterstanden zijn opgetreden waarbij piping een realistisch scenario is als deze waterstanden opnieuw zouden voorkomen.

### Vervoltraject

Het onderzoek met het numerieke model is uitgevoerd met verwachtingswaarden voor grondparameters en waargenomen waterstanden. Tevens is uitgegaan van veiligheidseisen zonder partiële factoren, namelijk opbarsten ( $SF < 1,0$ ) en heave ( $i < 0,6$ ). Daarom moet de eindconclusie moet nog wel in het perspectief geplaatst worden van de nieuwe normering (met hogere waterstanden en dijken) en het WBI met aangescherpte eis voor heave ( $i < 0,3$ ). Daarbij wordt nadrukkelijk de vraag gesteld of de partiële veiligheidsfactor voor heave van 2,0 wel terecht is in de Limburgse situatie.

## 7 CONCLUSIES EN AANBEVELING

### 7.1 Conclusies

#### 7.1.1 Grondeigenschappen

Uit de fysische proeven op de monsters uit de deklaag wordt duidelijk dat het merendeel van de onderzochte monster een hoog zandgehalte heeft. De deklaag bestaat niet uit Limburgse “leem” of löss, maar uit zandige Holocene klei afgezet door de Maas. **De term Maasklei past beter bij de samenstelling van de deklaag dan de term “leem”.** Het hoge zandgehalte is daarbij een eerste aanwijzing waardoor er in Limburg geen zandmeevoerende wellen worden waargenomen. Door de hogere doorlatendheid van de deklaag, zijn de optredende potentialen relatief laag. Hierdoor zal de deklaag minder snel of niet meer opbarsten en wordt de kritische heave gradiënt ook minder snel overschreden. Er zal juist wel sprake van gelijkmatige kwel zijn.

Met de sterkte proeven op monsters uit de deklaag wordt bij kleine vervormingen (0,5 tot 2%) cohesie aangetoond, maar bij grote vervorming (25%) is dit niet het geval. **In de situatie van piping heeft grond de sterkte behorend bij kleine vervormingen en dus cohesie.** Het feit dat de deklaag cohesie heeft kan ervoor zorgen dat bij het opbarsten van de deklaag een blijvende open verbinding ontstaat waar kwel geconcentreerd kan uitstromen. Daarom kan gesteld worden dat de mogelijkheid tot het optreden van piping aanwezig is.

Met veldproeven is de doorlatendheid van de deklaag bepaald. **De doorlatendheid van Maasklei is met 0,1 tot 1 m/dag duidelijk hoger dan een typische komafzetting in het rivierengebied.** De deklaag met beperkte doorlatendheid zorgt voor een dusdanige hydraulische weerstand dat toename van de potentiaal mogelijk is. Dit kan opbarsten en zandmeevoerende wellen tot gevolg hebben.

De grindlagen onder de dijk zijn niet aaneengesloten blijkt uit het uitgevoerde grondonderzoek. De doorlatendheid is met 85 tot 184 m/dag niet zo groot dat sprake is van ongelooftwaardige waarden. **Het zand in de poriën van het grind bepaalt in hoofdzaak de doorlatendheid.**

Uit de controle op interne stabiliteit blijkt dat suffosie niet op grote schaal zal optreden in de Maasvallei. De fijnste delen kunnen weliswaar uit de korrelmatrix van de deklaag wegspoelen maar zullen waarschijnlijk niet lijken op zandmeevoerende welletjes aan maaiveld. **Er zal sprake zijn van “vuile kwel”.** Dat laat zich het beste vergelijken met troebel water waarin veel fijne zwevende delen aanwezig zijn.

#### 7.1.2 Piping gevoeligheid

Op basis van de uitgevoerde veldproeven en empirische formules wordt een doorlatendheid van de deklaag gevonden welke dusdanig laag is dat het optreden van opbarsten mogelijk is. Ook wordt aangetoond dat de deklaag cohesie heeft waarin een opbarst-kanaal kan ontstaan en waaronder een pipe in stand kan blijven. Maar desondanks worden in Limburg geen of zeer weinig zandmeevoerende wellen waargenomen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de keringen in Limburg een lage kerende hoogte hebben, waardoor de optredende potentialen niet extreem hoog zijn (lees: lager dan de grenspotentiaal). **In combinatie met de doorlatendheid van 0,1 à 1 m/dag is de lage potentiaal een indicatie dat er sprake is van gelijkmatige kwel in plaats van geconcentreerde uitstroming wat zandmeevoerende wellen tot gevolg heeft.**

In het systeem van drie lagen is juist de, als piping gevoelige laag aan te merken, tweede laag van zeer grof zand ( $M_z = 334 \mu\text{m}$ ) niet gevoelig voor suffosie en/of suffosie. Om een uitspraak over piping te kunnen doen zou daarom juist wel met Sellmeijer moeten worden gerekend. Maar de nu nog onbekende invloed van het aanwezige grind in deze laag (zie Tabel 10, pagina 26) mag daarbij niet uit het oog worden verloren mede gelet op de geometriefactor  $F_G$  in de rekenregel (zie Figuur 7, pagina 31). Alles overziend wordt het volgende gesteld. **Een toets op het heave criterium uitvoeren middels grondwaterstromingsanalyses en meetreeksen is een betrouwbaardere manier van beoordelen dan Sellmeijer berekeningen.**

### 7.1.3 Beantwoording onderzoeksvragen

Wat voor invloed hebben lokale grindlagen op de vorming van zandmeevoerende wellen?

- De grondwaterstroming gaat door de aanwezigheid van grindlagen afwijken van een overwegend horizontaal patroon. Hierdoor past de Limburgse situatie niet goed meer bij de schematisatie van de rekenregel van Sellmeijer. Er kan zowel sprake zijn van een toename als een afname van de kans op piping door grindlagen.
- Uitgaande van een ongunstig bodemscenario en verwachtingswaarden is het uittrede-verhang bij de binnenteen circa  $i = 0,4$  voor de T=250 dijk bij Buggenum.

Is uitspoeling van de fijne fractie uit de grove fractie mogelijk (suffusie / suffosie)? Ja dit blijkt mogelijk te zijn, maar zal zich voornamelijk manifesteren in de vorm van vuile kwel. De siltdeeltjes kunnen uit de deklaag en top van de zandlaag spoelen, maar de piping gevoelige zandlaag is geometrisch dicht.

Wat is de invloed van Maasklei op het mechanismen piping?

- De cohesie van het materiaal in de eerste 1 à 2 meter beneden maaiveld is dusdanig dat dit gerekend kan worden tot de deklaag. Daardoor is sprake van een typische pipinggevoelige situatie, want onder de deklaag is een zandlaag aanwezig.
- De doorlatendheid van de deklaag is in vergelijking met een typische Betuwse komklei groot. Hierdoor zijn de waterspanningen onder de deklaag kleiner en is de kans op opbarsten en heave navenant kleiner. De hoeveelheid kwel binnendijs is echter groter.

## 7.2 Aanbevelingen

### 7.2.1 Witte vlekken door grind

Met vier proeftuinen, waar intensief grondonderzoek heeft plaatsgevonden, op kenmerkende locaties in de Noordelijke Maasvallei is het niet gelukt om een algemene conclusie over een ondergrond met grind te trekken. Er blijft sprake van witte vlekken (effect op erosiegevoeligheid en grondwaterstromingsrichting), maar één ding is wel duidelijk geworden. Zoals zo vaak zijn het namelijk zeer lokale anomalieën en/of de gelaagdheid in de bodem die het bezwijkgedrag, van in dit geval een waterkering, bepalen. Daar waar ontwerpberoeeningen worden gemaakt voor nieuwe Maasdijken en beoordelingen met het WBI, moet hiermee zeer sterk rekening worden gehouden. In de praktijk betekent dit meer grondonderzoek, meer gevoeligheidsanalyses en nauwkeuriger schematiseren. Alles moet uit de kast worden gehaald om de werkelijkheid zo natuurgetrouw te modelleren en de echte veiligheid van een dijk vast te stellen. Of berekeningen vervolgens met de analytische rekenregel van Sellmeijer worden gemaakt of met een numeriek model als D-Geo Flow doet in dat opzicht niet ter zake.

De invloed van het “heterogeniteit effect” van grind in de potentieel pipinggevoelige zandlaag is niet onderzocht, maar is gelet op resultaten uit andere verkenningen belangrijk. Aanbevolen wordt om het onderzoek hiernaar voort te zetten via de opvolger van POV piping. Tevens speelt de heterogene bodemopbouw een rol in de grondwaterstromingsrichting. Daarom wordt nadrukkelijk aanbevolen om de geometriefactor  $F_G$  voor de Limburgse situatie opnieuw af te leiden.

De eindconclusie van de literatuurstudie is dat over het algemeen er weinig gebundelde kennis over piping in grindhoudende lagen beschikbaar is. Het wordt daarom aanbevolen om in een schematiseringshandleiding van het WBI of een vergelijkbaar document een bundeling van de beschikbare kennis te realiseren. Alsmede concrete handvaten voor schematisatie te geven.

### 7.2.2 Doorlatendheid deklaag

Vooraf in Limburg waar dijken gemiddeld minder hoog zijn dan elders in Nederland en het achterland vaak hoger ligt dan het voorland, is de doorlatendheid van de deklaag extra relevant voor piping. De relatief grote doorlatendheid van de deklaag kan bij een beperkte kerende hoogte het ontstaan van opbarsten verhinderen. Het wordt aanbevolen om bij de dijkverbetering die vanaf 2017 in voorbereiding is hiermee rekening te houden. In de praktijk moet er dan grenswaarden voor de combinatie kerende hoogte en



doorlatendheid worden vastgesteld, waarbij piping niet kan ontstaan. Een eventueel restrisico kan beheerst worden met noodmaatregelen, mits hiervoor bestuurlijk draagvlak is.

### 7.2.3 Modelkeuze

Met welk model het beste pipingberekeningen kunnen worden gemaakt hangt van meerdere zaken af. Met numerieke modellen als D-Geo Flow kunnen in theorie nauwkeurigere analyses worden gemaakt, maar dit vraagt ook om meer gedetailleerde basisinformatie. Hierbij moet gedacht worden aan: stijghoogte meetreeksen, diep grondonderzoek in raaien van drie tot vijf onderzoekspunten over de dijk of doorlatendheidsmetingen van de deklaag. Terwijl de analytische rekenregel al gebruikt kan worden als de  $d_{70}$  uit ondiepe handboringen bekend is en de doorlatendheid uit enkele diepe boringen. Aanbevolen wordt om hiermee, bij de dijkverbetering die vanaf 2017 in voorbereiding is, rekening te houden. In de praktijk kan er bijvoorbeeld eerst met de analytische rekenregel een ruimtebeslag worden vastgesteld en vervolgens op kritieke punten worden verfijnd met numerieke analyses.

### 7.2.4 Kennisagenda's

Aanbevolen wordt, in het kader van bestaande kennisagenda's, het volgende verder te uitzoeken.

- Wanneer suffusie overgaat in suffosie is niet duidelijk geworden uit de bestudeerde literatuur. Op enig moment, als de stroming sterk genoeg is, zal deze transitie altijd plaats vinden. Vooral wanneer er verstoring van de korrelspanning aan de bovenzijde van een grondlaag plaats vindt door opbarsten.
- Met experts dient uitgezocht te worden of de partiële veiligheidsfactor voor heave van 2,0, waaruit de eis voor het verticale uittrede verhang van  $i < 0,3$  volgt, wel terecht is in de Limburgse situatie.

## 8 LITERATUUR

### 8.1 Gebruikte literatuur

Literatuurverwijzing	omschrijving
1.	Analyse pompproef deellocatie 1 (well) en 3 (Buggenum), Inpijn-Blokpoel, januari 2016 (02P005360-adv-04)
2.	Analyse pompproef deellocatie 4: Thorn, Inpijn-Blokpoel, januari 2016 (02P005360-adv-03)
3.	De proevenverzameling van “de zandmaas”, Arcadis, november 2011 (kenmerk: 075739991)
4.	The International Levee Handbook, CIRIA, London 2013
5.	Istomina, V.S., 1957, Filtration Stability of Soils, Gostroizdat, Moscow, Leningrad (in Russian)
6.	Kezdi, A., 1969. Increase of Protective Capacity of Flood Control Dikes. Department of Geotechnique. Technical University, Budapest, Hungary. Report no. 1 (in Hungarian).
7.	Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, Maart 2012, RWS Waterdienst
8.	Continue doorlatendheidsprofielen: verdiepend inzicht in de bodem, Fugro 5 juni 2015, opdracht nummer 1213-0101-000
9.	stage opdracht: POV piping – Plaxflow berekeningen voor de Maasvallei, Buggenum, dijkpaal 75.030 en Thorn, dijkpaal 79.037, Arcadis, 23 december 2016
10.	Master thesis: Piping in the Maasvallei, A possibility or far-fetched scenario? P.G. van der Hulst, 15 september 2017

### 8.2 Resultaten literatuuronderzoek

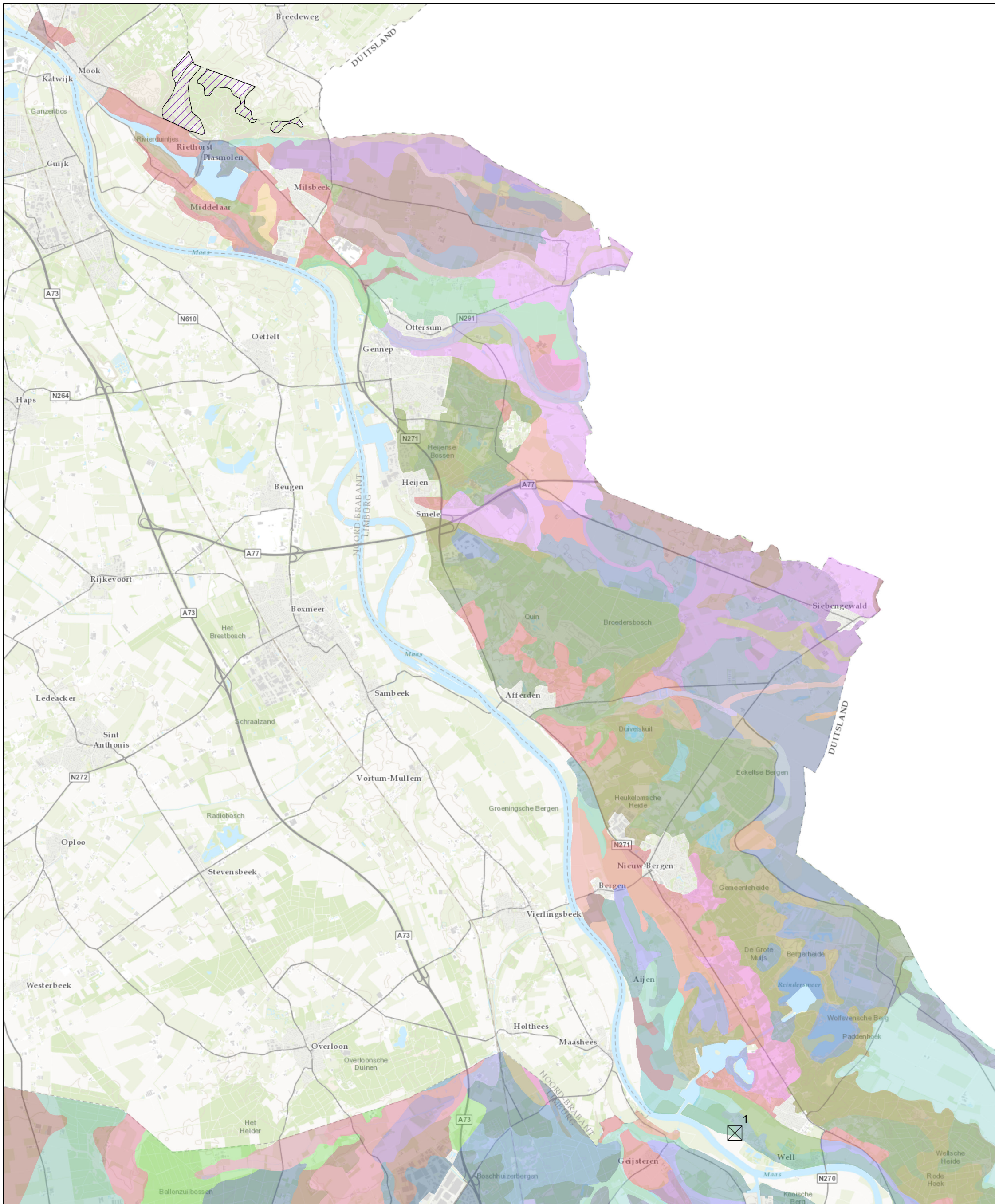
Op meerdere locaties is gezocht naar informatie over piping in grindhoudende grondlagen. De bibliotheek van de HAN heeft geen bijzondere resultaten opgeleverd en wordt verder niet behandeld in dit rapport. Enkele andere bibliotheken hebben meer zoekresultaten opgeleverd, maar ook daarvan is de relevantie niet altijd even groot (zie Bijlage E). Ook het ORZW2012 [lit 7.] bevat maar twee summierse verwijzingen naar onderzoeken uit 2009 van Fugro en Pruiksma.

**De eindconclusie van de literatuurstudie is dat over het algemeen er weinig gebundelde kennis over piping in grindhoudende lagen beschikbaar is.**

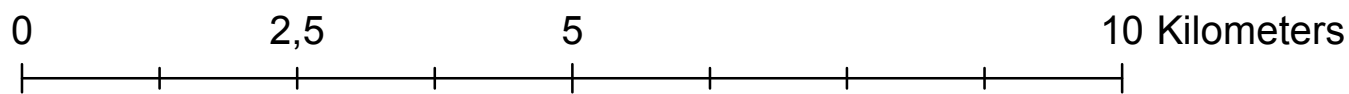
Alle kleine publicaties bij elkaar vormen de puzzelstukjes die nodig zijn om het plaatje compleet te maken. Het wordt daarom aanbevolen om in een schematiseringshandleiding van het WBI of een vergelijkbaar document een bundeling van de beschikbare kennis te realiseren. Dit moet dan wel wat meer zijn dan alleen een verwijzing naar literatuur. Er moeten concrete handvaten worden gegeven hoe bepaalde typen bodemopbouw te schematiseren en wanneer specifiek wel of niet sprake is van een piping gevoelige situaties.

## BIJLAGE A KAARTEN LEEMGRONDEN LIMBURG







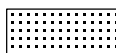

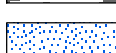
**Legenda**

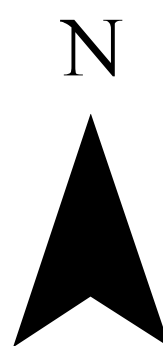


⊠ te plaatsen bronnen pompproeven

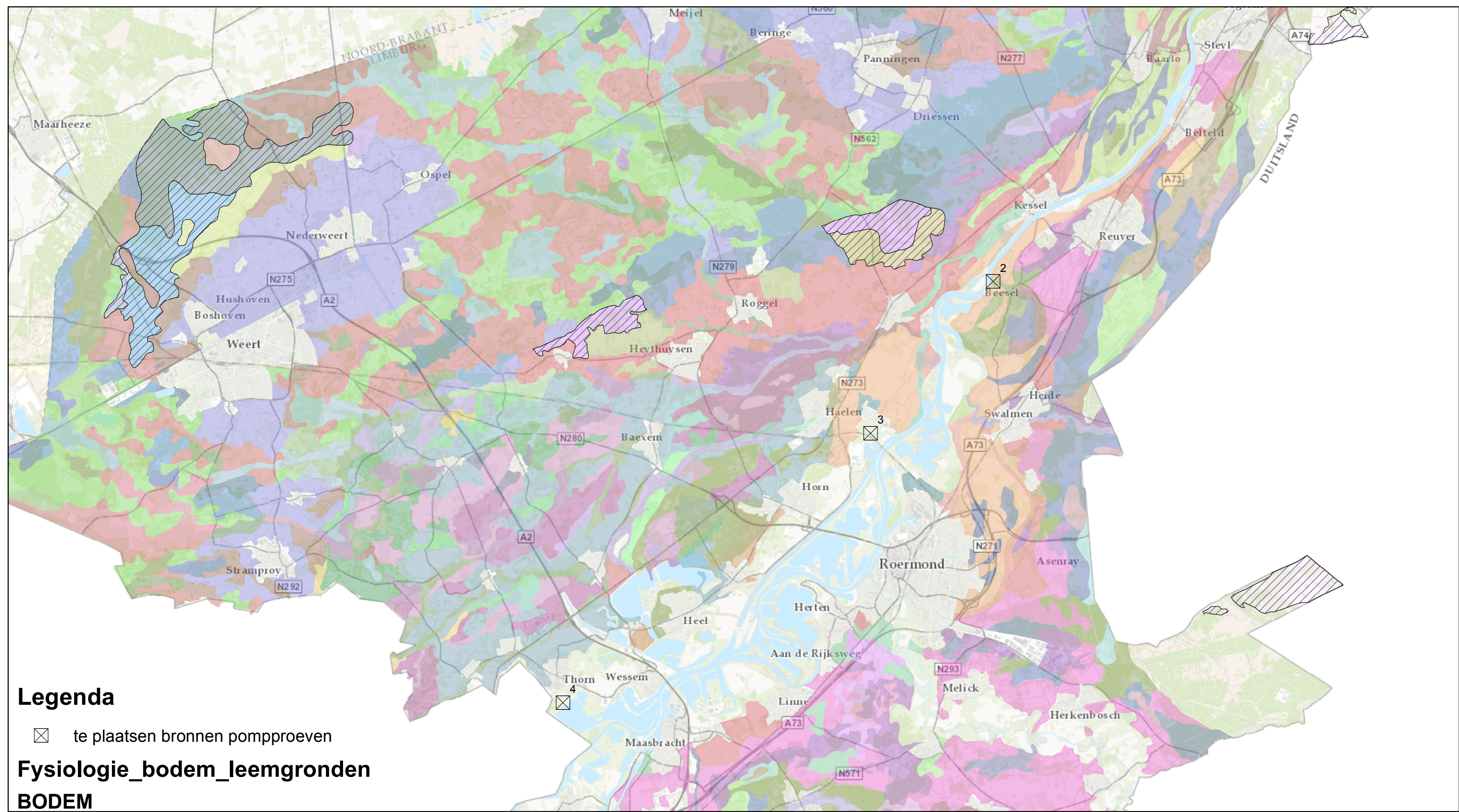
**Fysiologie\_bodem\_leemgronden**






**BODEM**

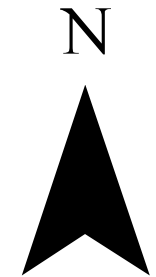
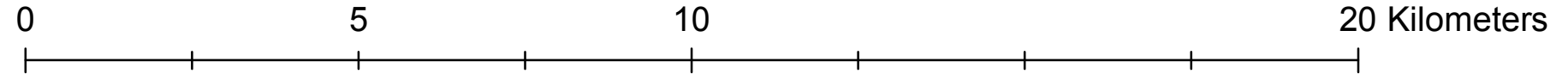
-  Leemgronden
-  Leemgronden ontwikkeld in zandige leem in situ
-  Niet geërodeerde leemgronden ontwikkeld in siltige leem in situ
-  (Ten dele) geërodeerde leemgronden ontwikkeld in siltige leem in situ
-  Leemgronden ontwikkeld in colluviale leem







-  Leemgronden
-  Leemgronden ontwikkeld in zandige leem in situ
-  Niet geërodeerde leemgronden ontwikkeld in siltige leem in situ
-  (Ten dele) geërodeerde leemgronden ontwikkeld in siltige leem in situ
-  Leemgronden ontwikkeld in colluviale leem





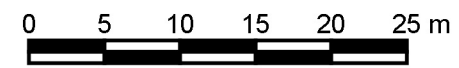
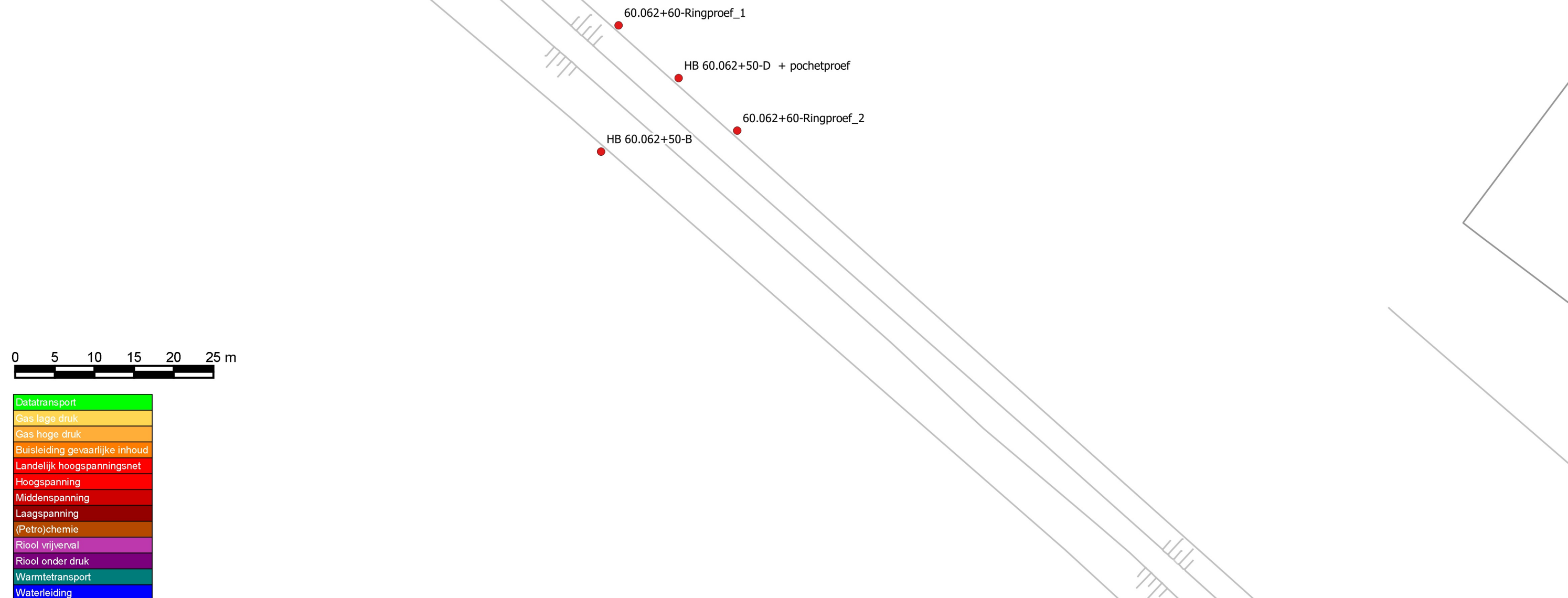
## BIJLAGE B DOORLATENDHEIDSPROEVEN

field_1	field_2	field_3
HB 60.062+50-D + pochetproef	202496.79	396478.61
HB 60.062+50-B	202487.01	396469.34
HB 75.030+50B	196272.97	360025.26
HB 75.030+50D + pochetproef	196257.06	360033.03
HB 75.030+85B	196287.57	360051.55
HB 75.030+85D	196271.66	360059.67
HB 79.037+50D + pochetproef	186994	351970.6
HB 79.037+50B	186997	351957.5
60.062+60-Ringproef_1	202489.2186	396485.2586
60.062+60-Ringproef_2	202504.18	396471.9862
75.030+60D_Ringproef_2	196261.0358	360042.2057
75.030+40D-Ringproef_1	196252.3466	360024.2105
79.037+60D-Ringproef_2	186984.9068	351966.4391
79.037+40D-Ringproef_1	187003.3685	351974.0974



396500

396500



Datatransport
Gas lage druk
Gas hoge druk
Buisleiding gevaarlijke inhoud
Landelijk hoogspanningsnet
Hoogspanning
Middenspanning
Laagspanning
(Petro)chemie
Riool vrijval
Riool onder druk
Warmtetransport
Waterleiding
Wees / Overig

396400

396400

<p><b>INPIJN-BLOKPOEL</b> ingenieursbureau</p>	<p><b>Omschrijving project:</b> POV piping grind- en leemlagen, projectlocaties Well, Beesel, Buggenum en Thorn</p>	<p><b>Projectnummer:</b> 02P005360</p>	<p><b>Bijlagenummer:</b> SIT-01</p>	
	<p><b>Titel tekening:</b> Situatietekening aanvullend onderzoek doorlatendheid Locatie Well</p>	<p><b>Opgesteld door:</b> KHH</p>	<p><b>Datum:</b> 22-02-2016</p>	<p><b>Schaal:</b> 1:500</p>
	<p><b>Gecontroleerd door:</b> KHH</p>	<p><b>Tekeningnummer:</b> 02P005360-D4-1-R0-A3L</p>		

Formule om de doorlatendheid volgens Porchet te bepalen :

$$k_f = 1,15 * r * (\log(h_0+r/2) - \log(h_1+r/2)) / dt \text{ [cm/s]}$$

Hierbij is :

$h_0$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_0$

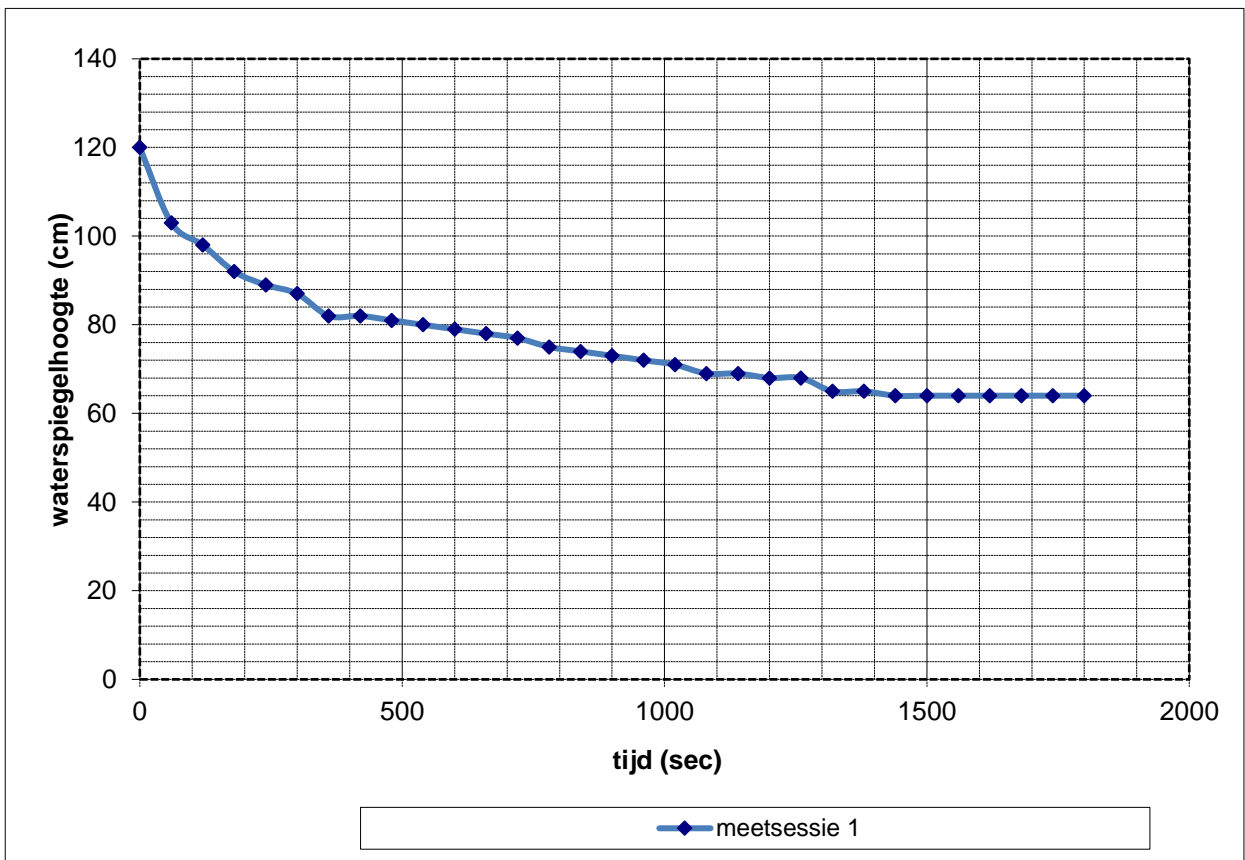
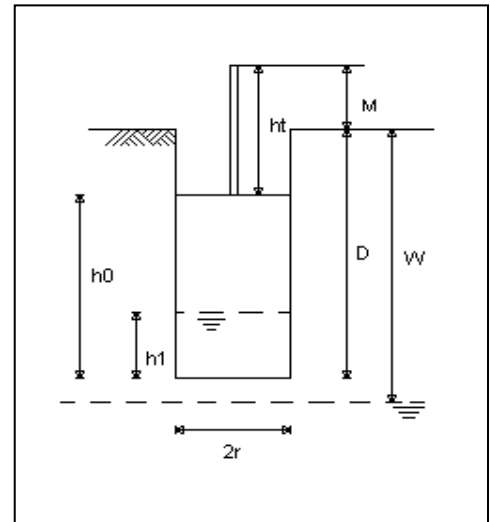
$h_1$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_1$

$r$  = boogtradius

$dt$  = verlopen tijd van  $t = t_0$  tot  $t = t_1$

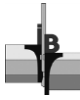
Onderzoekswaarden

Diepte boorgat	D :	150	cm
Standaardhoogte	M :	0	cm
Radiusboorgat	r :	5	cm
Grondwater	W :	130	cm



Meetsessie 1

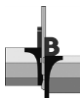
$k_f = 0,37$  m/dag

Formulier  Ringinfiltratieproef	Opdrachtnr. 02p005360	
	Datum: 3-3-2016	
	Locatie Well	

### Ring 1

Diameter buitenring	[cm]	57,5
Diameter binnenring	[cm]	32
Bovenkant ringen	[m t.o.v. mv]	0,12
Onderkant ringen	[m t.o.v. mv]	-0,13
Grondwaterstand	[m t.o.v. mv]	1,3

Tijd	aflezing binnenring voor bijvullen [mm]	aflezing binnenring na bijvullen [mm]	$\Sigma \Delta t$ [min.]	$\Sigma \Delta h$ [mm]	Doorlatendheid [mm/min.]	Doorlatendheid [m/dag]
0	1582					
5	1583		5	1	0,20	0,288
10	1583		10	1		
15	1583		15	1		
20	1583		20	1		
25	1583		25	1		
30	1583		30	1		
35	1583		35	1		
40	1583		40	1		
45	1583		45	1		
50	1583		50	1		
55	1583		55	1		
60	1584		60	2	0,03	0,005
70	1584		70	2		
80	1585		80	3	0,04	0,005
90	1585		90	3		
100	1586		100	4	0,04	0,006
110	1586		110	4		

Formulier  Ringinfiltratieproef	<b>Opdrachtnr.</b> 02p005360	
	<b>Datum:</b> 3-3-2016	
	<b>Locatie</b> Well	

### Ring 2

Diameter buitenring	[cm]	55
Diameter binnenring	[cm]	30,5
Bovenkant ringen	[m t.o.v. mv]	0,12
Onderkant ringen	[m t.o.v. mv]	-0,13
Grondwaterstand	[m t.o.v. mv]	1,3

Tijd	aflezing binnenring voor bijvullen [mm]	aflezing binnenring na bijvullen [mm]	$\Sigma \Delta t$ [min.]	$\Sigma \Delta h$ [mm]	Doorlatendheid [mm/min.]	Doorlatendheid [m/dag]
0	688					
5	689		5	1	0,20	0,288
10	690		5	1		
15	690		10	1		
20	690		15	1		
25	691		20	2	0,10	0,014
30	691		25	2		
35	691		30	2		
40	692		35	3	0,09	0,012
45	693		40	4	0,10	0,014
50	693		45	4		
55	694		50	5	0,10	0,014
60	694		55	5		
70	696		65	7	0,11	0,016
80	697		75	8	0,11	0,015
90	697		85	8		

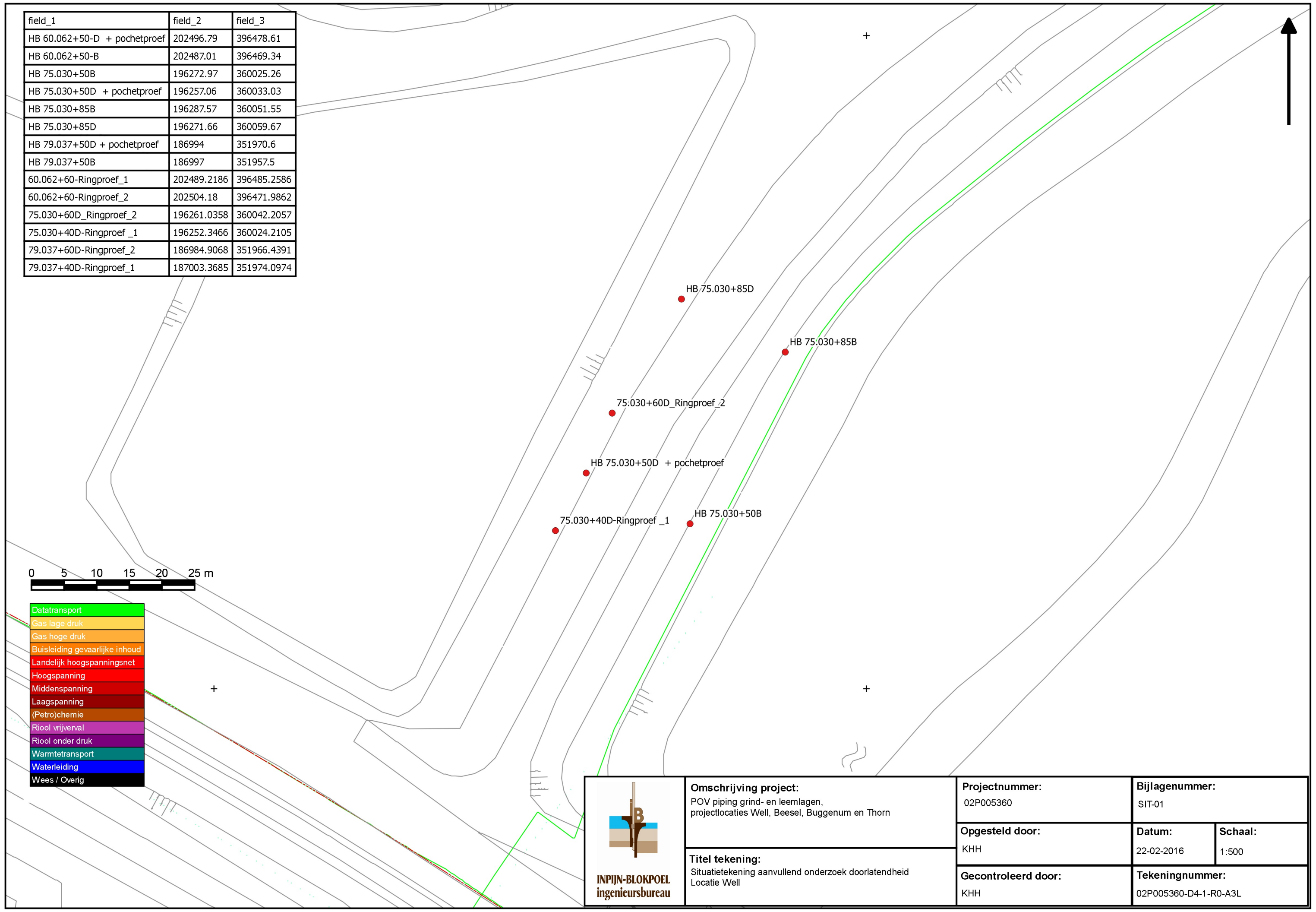
196200

196300

360100

360100

field_1	field_2	field_3
HB 60.062+50-D + pochetproef	202496.79	396478.61
HB 60.062+50-B	202487.01	396469.34
HB 75.030+50B	196272.97	360025.26
HB 75.030+50D + pochetproef	196257.06	360033.03
HB 75.030+85B	196287.57	360051.55
HB 75.030+85D	196271.66	360059.67
HB 79.037+50D + pochetproef	186994	351970.6
HB 79.037+50B	186997	351957.5
60.062+60-Ringproef_1	202489.2186	396485.2586
60.062+60-Ringproef_2	202504.18	396471.9862
75.030+60D_Ringproef_2	196261.0358	360042.2057
75.030+40D-Ringproef_1	196252.3466	360024.2105
79.037+60D-Ringproef_2	186984.9068	351966.4391
79.037+40D-Ringproef_1	187003.3685	351974.0974



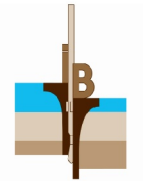
Datatransport
Gas lage druk
Gas hoge druk
Buisleiding gevaarlijke inhoud
Landelijk hoogspanningsnet
Hoogspanning
Middenspanning
Laagspanning
(Petro)chemie
Riool vrijverval
Riool onder druk
Warmtetransport
Waterleiding
Wees / Overig

360000

360000

196200

196300

 <b>INPIJN-BLOKPOEL</b> ingenieursbureau	<b>Omschrijving project:</b> POV piping grind- en leemlagen, projectlocaties Well, Beesel, Buggenum en Thorn	<b>Projectnummer:</b> 02P005360	<b>Bijlagenummer:</b> SIT-01	
	<b>Titel tekening:</b> Situatietekening aanvullend onderzoek doorlatendheid Locatie Well	<b>Opgesteld door:</b> KHH	<b>Datum:</b> 22-02-2016	<b>Schaal:</b> 1:500
	<b>Gecontroleerd door:</b> KHH	<b>Tekeningnummer:</b> 02P005360-D4-1-R0-A3L		



Formule om de doorlatendheid volgens Porchet te bepalen :

$$k_f = 1,15 * r * (\log(h_0+r/2) - \log(h_1+r/2)) / dt \text{ [cm/s]}$$

Hierbij is :

$h_0$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_0$

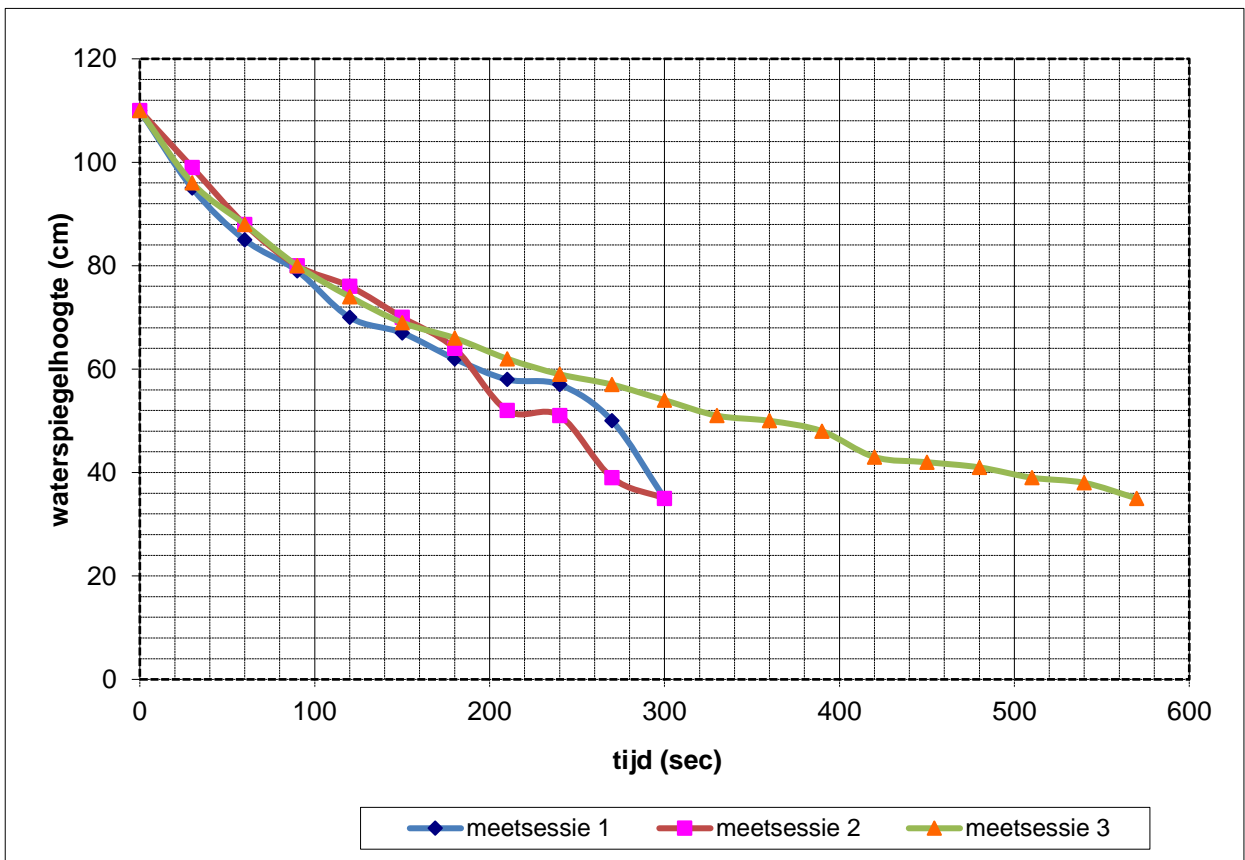
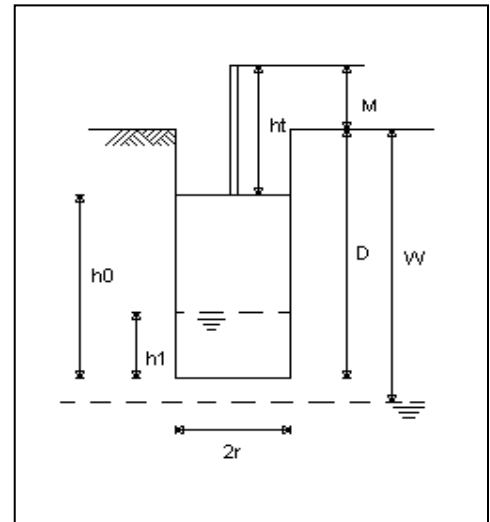
$h_1$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_1$

$r$  = boogtradius

$dt$  = verlopen tijd van  $t = t_0$  tot  $t = t_1$

Onderzoekswaarden

Diepte boorgat	D :	140	cm
Standaardhoogte	M :	0	cm
Radiusboorgat	r :	5	cm
Grondwater	W :	130	cm



Meetsessie 1

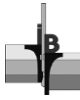
Meetsessie 2

Meetsessie 3

$k_f = 7,64$  m/dag

$k_f = 7,96$  m/dag

$k_f = 3,89$  m/dag

 <b>Formulier</b> Ringinfiltratieproef	<b>Opdrachtnr.</b> 02p005360	
	<b>Datum:</b> 3-3-2016	
	<b>Locatie</b> Buggenum	

### Ring 1

Diameter buitenring	[cm]	57,5
Diameter binnenring	[cm]	32
Bovenkant ringen	[m t.o.v. mv]	0,12
Onderkant ringen	[m t.o.v. mv]	-0,13
Grondwaterstand	[m t.o.v. mv]	1,3

Tijd	aflezing binnenring voor bijvullen [mm]	aflezing binnenring na bijvullen [mm]	$\Sigma \Delta t$ [min.]	$\Sigma \Delta h$ [mm]	Doorlatendheid [mm/min.]	Doorlatendheid [m/dag]
0	1591					
5	1613		5	22	4,40	6,336
10	1624		10	33	3,30	0,48
15	1629		15	38	2,53	0,36
20	1640		20	49	2,45	0,35
25	1659		25	68	2,72	0,39
30	1665		30	74	2,47	0,36
35	1670		35	79	2,26	0,33
40	1680		40	89	2,23	0,32
45	1685		45	94	2,09	0,30
50	1693		50	102	2,04	0,29
55	1702		55	111	2,02	0,29
60	1708		60	117	1,95	0,28

### Ring 2

Diameter buitenring	[cm]	55
Diameter binnenring	[cm]	30,5
Bovenkant ringen	[m t.o.v. mv]	0,125
Onderkant ringen	[m t.o.v. mv]	-0,125
Grondwaterstand	[m t.o.v. mv]	1,3

Tijd	aflezing binnenring voor bijvullen [mm]	aflezing binnenring na bijvullen [mm]	$\Sigma \Delta t$ [min.]	$\Sigma \Delta h$ [mm]	Doorlatendheid [mm/min.]	Doorlatendheid [m/dag]
0	686					
5	687		5	1	0,20	0,29
10	688		10	2	0,20	0,03
15	691		15	5	0,33	0,05
20	693		20	7	0,35	0,05
25	696		25	10	0,40	0,06
30	699		30	13	0,43	0,06
35	703		35	17	0,49	0,07
40	707		40	21	0,53	0,08
45	717		45	31	0,69	0,10
50	719		50	33	0,66	0,10
55	721		55	35	0,64	0,09
60	724		60	38	0,63	0,09

field_1	field_2	field_3
HB 60.062+50-D + pochetproef	202496.79	396478.61
HB 60.062+50-B	202487.01	396469.34
HB 75.030+50B	196272.97	360025.26
HB 75.030+50D + pochetproef	196257.06	360033.03
HB 75.030+85B	196287.57	360051.55
HB 75.030+85D	196271.66	360059.67
HB 79.037+50D + pochetproef	186994	351970.6
HB 79.037+50B	186997	351957.5
60.062+60-Ringproef_1	202489.2186	396485.2586
60.062+60-Ringproef_2	202504.18	396471.9862
75.030+60D_Ringproef_2	196261.0358	360042.2057
75.030+40D-Ringproef_1	196252.3466	360024.2105
79.037+60D-Ringproef_2	186984.9068	351966.4391
79.037+40D-Ringproef_1	187003.3685	351974.0974

352000

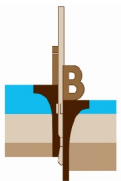
352000



Datatransport
Gas lage druk
Gas hoge druk
Buisleiding gevaarlijke inhoud
Landelijk hoogspanningsnet
Hoogspanning
Middenspanning
Laagspanning
(Petro)chemie
Riool vrijverval
Riool onder druk
Warmtetransport
Waterleiding
Wees / Overig

351900

351900

 <b>INPIJN-BLOKPOEL</b> ingenieursbureau	<b>Omschrijving project:</b> POV piping grind- en leemlagen, projectlocaties Well, Beesel, Buggenum en Thorn	<b>Projectnummer:</b> 02P005360	<b>Bijlagenummer:</b> SIT-01	
	<b>Titel tekening:</b> Situatietekening aanvullend onderzoek doorlatendheid Locatie Well	<b>Opgesteld door:</b> KHH	<b>Datum:</b> 22-02-2016	<b>Schaal:</b> 1:500
	<b>Gecontroleerd door:</b> KHH	<b>Tekeningnummer:</b> 02P005360-D4-1-R0-A3L		

Formule om de doorlatendheid volgens Porchet te bepalen :

$$k_f = 1,15 * r * (\log(h_0+r/2) - \log(h_1+r/2)) / dt \text{ [cm/s]}$$

Hierbij is :

$h_0$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_0$

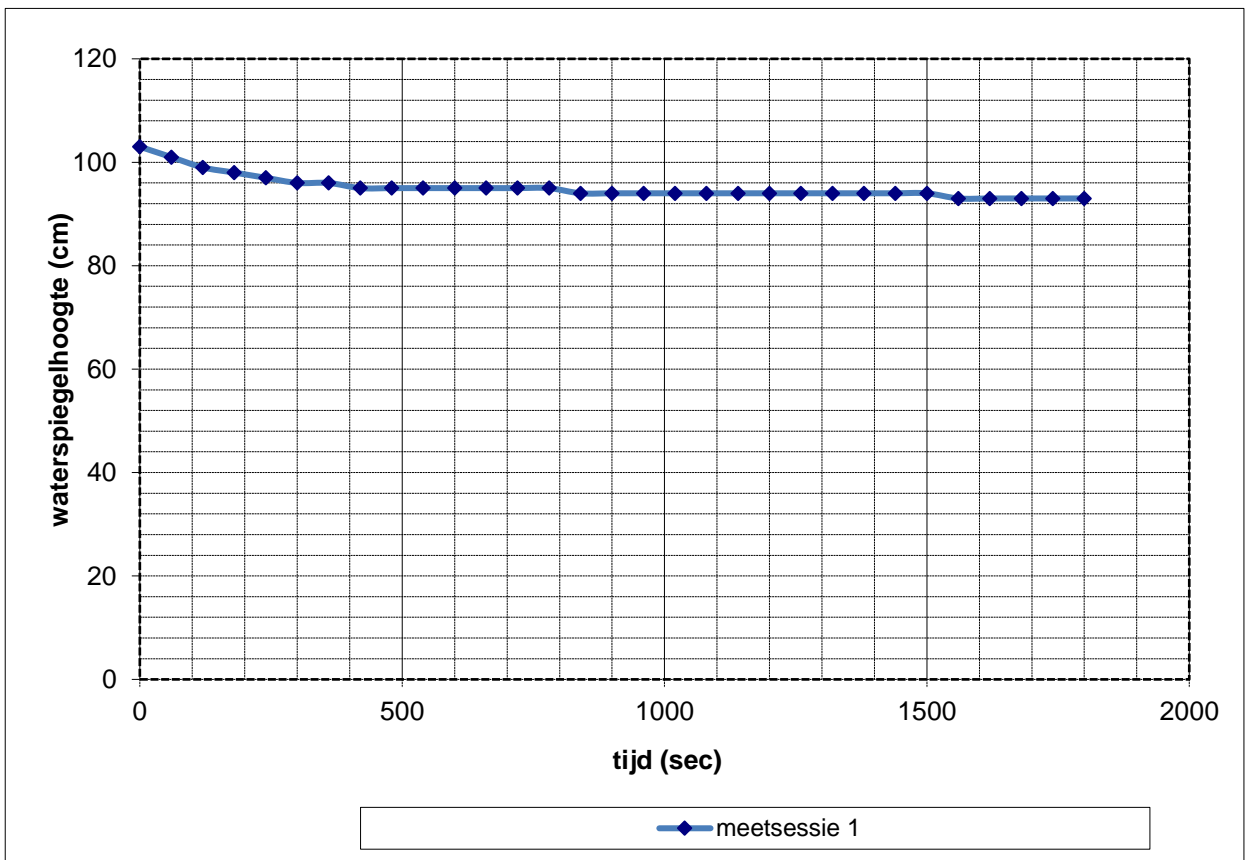
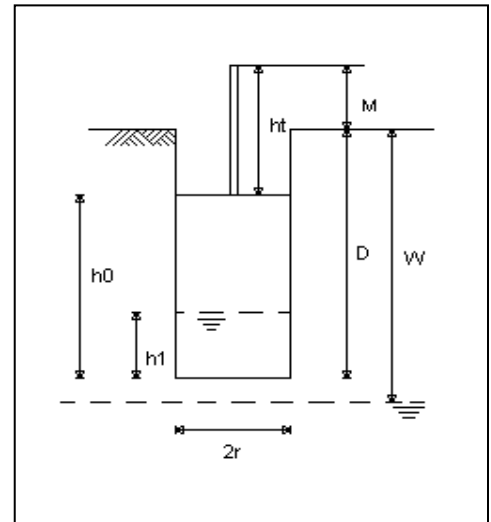
$h_1$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_1$

$r$  = boogtradius

$dt$  = verlopen tijd van  $t = t_0$  tot  $t = t_1$

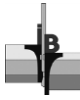
Onderzoekswaarden

Diepte boorgat	D :	<input type="text" value="140"/>	cm
Standaardhoogte	M :	<input type="text" value="40"/>	cm
Radiusboorgat	r :	<input type="text" value="5"/>	cm
Grondwater	W :	<input type="text" value="130"/>	cm



Meetsessie 1

$k_f =$   m/dag

 Formulier Ringinfiltratieproef	Opdrachtnr.	02p005360	
	Datum:	7-3-2016	
	Locatie	Thorn	

### Ring 1

Diameter buitenring	[cm]	57,5
Diameter binnenring	[cm]	32
Bovenkant ringen	[m t.o.v. mv]	0,12
Onderkant ringen	[m t.o.v. mv]	-0,13
Grondwaterstand	[m t.o.v. mv]	1,3

Tijd	aflezing binnenring voor bijvullen [mm]	aflezing binnenring na bijvullen [mm]	$\Sigma \Delta t$ [min.]	$\Sigma \Delta h$ [mm]	Doorlatendheid [mm/min.]	Doorlatendheid [m/dag]
0	1900					
5	1918		5	18	3,60	5,18
10	1927		10	27	2,70	0,39
15	1930		15	30	2,00	0,29
20	1933		20	33	1,65	0,24
25	1934		25	34	1,36	0,20
30	1937		30	37	1,23	0,18

### Ring 2

Diameter buitenring	[cm]	55
Diameter binnenring	[cm]	30,5
Bovenkant ringen	[m t.o.v. mv]	0,125
Onderkant ringen	[m t.o.v. mv]	-0,125
Grondwaterstand	[m t.o.v. mv]	1,3

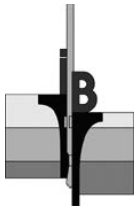
Tijd	aflezing binnenring voor bijvullen [mm]	aflezing binnenring na bijvullen [mm]	$\Sigma \Delta t$ [min.]	$\Sigma \Delta h$ [mm]	Doorlatendheid [mm/min.]	Doorlatendheid [m/dag]
0	1584					
5	1604		5	20	4,00	5,76
10	1611		10	27	2,70	0,39
15	1620		15	36	2,40	0,35
20	1634	1584	20	50	2,50	0,36
25		1613	5	29	5,80	0,84
30		1627	10	43	4,30	0,62
35		1634	15	50	3,33	0,48
40		1609	5	25	5,00	0,72
45		1624	10	40	4,00	0,58
50		1634	15	50	3,33	0,48





**INPIJN-BLOKPOEL**  
**ingenieursbureau**

**Geotechniek - Milieutechniek**



## Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

**Betreft** Resultaten geotechnisch onderzoek

**Opdrachtnummer** 02P008712

**Documentnummer** 02P008712-RG-01

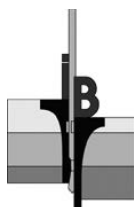
**Opdrachtgever** ARCADIS Nederland B.V.  
Postbus 161  
6800 AD ARNHEM

*Opgesteld door* : Ing. H.A.M. Bardoel  
*Status* : Definitief  
*Codering* : RG

*Datum rapport* : 5 april 2017

Paraaf :





Opdracht : 02P008712  
Document : 02P008712-RG-01  
Project : Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

---

## INHOUDSOPGAVE

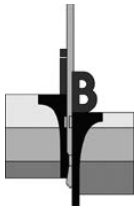
<b>1. INLEIDING .....</b>	<b>1</b>
<b>2. UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN .....</b>	<b>1</b>
<b>2.1 AANBRENGEN PEILBUIZEN .....</b>	<b>1</b>
<b>2.2 ONLINE MEETSYSTEEM.....</b>	<b>1</b>
<b>2.3 DOORLATENDHEIDSMETINGEN.....</b>	<b>1</b>

### BIJLAGEN:

- A) Situatietekeningen
- B) Fotobijlage
- C) Waterpasstaat
- D) Boorstaten
- E) Revisie peilbuizen
- F) Resultaten doorlatendheidsmetingen
- G) Resultaten online metingen
- H) Verklaring codering

### VERZENDLIJST

Per mail in pdf-formaat aan ARCADIS Nederland B.V. te ARNHEM t.a.v. Dhr. W. Janssen  
([wiebe.janssen@arcadis.com](mailto:wiebe.janssen@arcadis.com))



Opdracht : 02P008712  
Document : 02P008712-RG-01  
Project : Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

---

## 1. INLEIDING

Ten behoeve van het project "POV leem en grind" zijn door ons bureau op verzoek van Arcadis Nedeland BV een 3-tal peilbuizen geplaatst waarin een online monitoringssysteem is geïnstalleerd en zijn een 9-tal doorlatendheidsmetingen uitgevoerd.

## 2. UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN

### 2.1 Aanbrengen peilbuizen

Op 1 en 2 februari 2017 zijn door ons bureau in totaal 3 boringen tot 15 m -mv uitgevoerd die zijn afgewerkt met een peilbuis. De peilbuizen (inclusief de filterstelling) zijn geplaatst in overleg met de opdrachtgever. Voor de boorprofielen wordt verwezen naar bijlage D; de locatie van de boringen is aangegeven op de situatietekeningen, toegevoegd onder bijlage A. Voor een verklaring van de op de tekening en de boorprofielen gebruikte tekens wordt verwezen naar de "Verklaring Codering" die onder bijlage H aan dit rapport is toegevoegd. Onder bijlage E zijn de revisie gegevens van de peilbuizen opgenomen.

### 2.2 Online meetsysteem

De peilbuisdrukopnemers zijn verbonden met een 3-tal dataloggers met GPRS modem. De dataloggers voorzien de sensoren van stroom en dragen zorg voor automatische uitvoering en verzending van de metingen. De dataloggers zijn zo ingesteld dat 1 maal per uur een meting wordt uitgevoerd en waarbij de meetdata geheel automatisch dagelijks worden doorgestuurd en gepresenteerd via een web portaal van Inpijn-Blokpoel\*. Onder bijlage G zijn de grafieken opgenomen van 22 februari t/m 5 april 2017.

De meetdata kunnen worden bekeken of indien gewenst geëxporteerd naar csv of Excel formaat via:

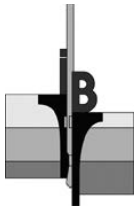
Web-adres: [www.avision.me](http://www.avision.me)  
Gebruikersnaam: wjanssen  
Inlogcode: ff6633

\*Opgemerkt wordt dat interpretatie van de meetdata buiten de scope van Inpijn-Blokpoel valt.

### 2.3 Doorlatendheidsmetingen

Om de doorlatendheid van de bodem te bepalen, zijn ter plaatse van de dijktrajecten 60, 75 en 79 in totaal 9 doorlatendheidsmetingen uitgevoerd. De doorlatendheid is gemeten van het onverzadigde niet-verstoorde profiel. De infiltratieproeven van de onverzadigde bodemlaag zijn uitgevoerd ter plaatse van het traject 0,5 tot 1,5 m- maaiveld. Twee boringen zijn uitgevoerd tot 1,0 m -mv omdat vanwege de aanwezigheid van grof grind niet dieper geboord kon worden. Voor de boorprofielen wordt verwezen naar bijlage D.

Er wordt als volgt te werk gegaan. Allereerst wordt een gat geboord tot in de te beproeven laag. Vervolgens wordt in het boorgat de apparatuur geplaatst voor de bepaling van de waterdoorlatendheid. Daarna wordt er water in het boorgat gepompt en gemeten hoe snel het water wegstroomt.



Opdracht : 02P008712  
Document : 02P008712-RG-01  
Project : Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

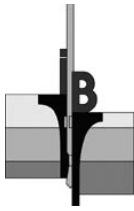
Bij deze zogenaamde omgekeerde boorgatenmethode (de Porchet-methode) wordt onder gestandaardiseerde omstandigheden de daling van het waterpeil gemeten per tijdsinterval van 30 seconde. Een meting wordt gestaakt nadat het waterpeil 75 cm is gezakt. Indien één meting tot 10 minuten duurt worden 3 metingen uitgevoerd, bij maximaal 20 minuten per meting worden 2 metingen uitgevoerd; indien één meting meer dan 20 minuten duurt wordt 1 meting uitgevoerd. Op basis van de verkregen veldgegevens kan de doorlatendheid van de laag worden berekend. De resultaten zijn gepresenteerd in de bijlage F.

De doorlatendheid van de bodem is afhankelijk van het bodemmateriaal, de structuur en de bodemopbouw.

Op grond van de infiltratieproeven zijn de doorlatendheden van de beproefde lagen berekend. De uitkomsten van de berekeningen van de doorlatendheid zijn in de tabel 1 weergegeven. Het betreft de range van de gemeten doorlatendheden.

Tabel 1. Gemeten doorlatendheden in situ

Boring	Traject (m- maaiveld)	Grondsoort	Doorlatendheid (m/d)
<i>Well</i>			
B-60-Poch-1	0,5 – 1,5	Zand; matig fijn, kleiig	0,13
B-60-Poch-2	0,5 – 1,5	Zand; matig fijn, kleiig	0,46
B-60-Poch-3	0,5 – 1,5	Zand; matig fijn, kleiig	0,51
<i>Buggenum</i>			
B-73-Poch-1	0,5 – 1,5	Klei, zwak siltig	0,28
B-73-Poch-2	0,5 – 1,5	Klei; matig zandig	2,28 – 3,26
B-73-Poch-3	0,5 – 1,5	Klei, zwak siltig	0,43
<i>Thorn</i>			
B-79-Poch-01	0,0 – 1,0	Klei, sterk zandig	0,77
B-79-Poch-02	0,5 – 1,5	Klei, matig zandig	0,85 – 3,82
B-79-Poch-03	0,5 – 1,5	Klei, sterk zandig	1,14-1,90



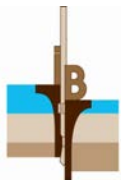
Opdracht : 02P008712  
Document : 02P008712-RG-01  
Project : Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

---

## Bijlage A



B-60-POCH-3  
 B-60-POCH-2  
 B-60  
 B-60-POCH-1



**INPIJN-BLOKPOEL**  
 ingenieursbureau

**Omschrijving project:**  
 Aanvullend onderzoek POV  
 Peel en Maas

**Titel tekening:**  
 Locatie Well

**Projectnummer:**  
 02P008712

**Opgesteld door:**  
 MSS

**Gecontroleerd door:**  
 HBL

**Bijlagenummer:**  
 SIT-01

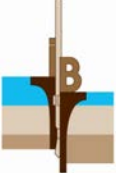
**Datum:**  
 04-04-2017

**Tekeningnummer:**  
 02P008712-SIT01-A4

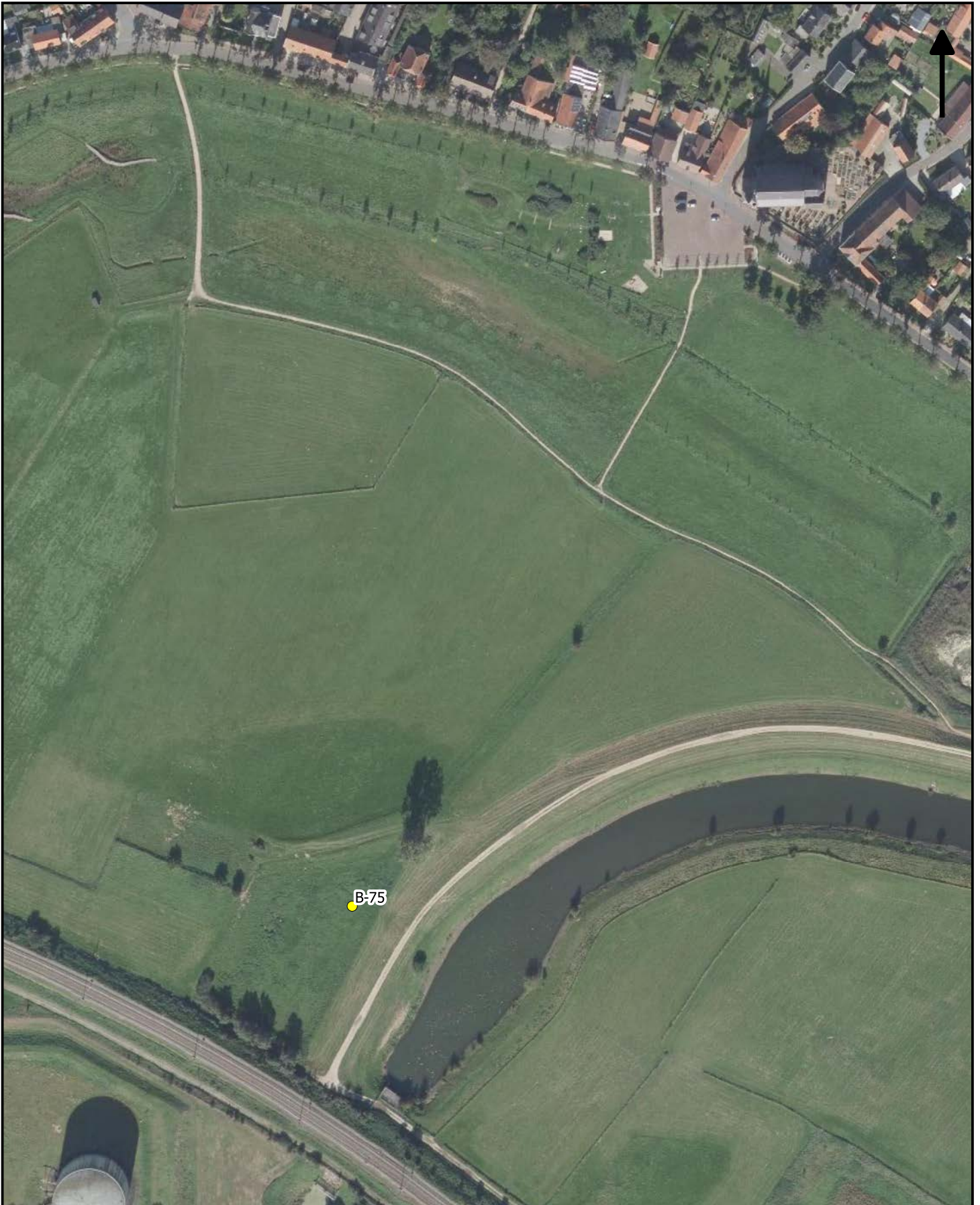
**Schaal:**  
 1:2.500

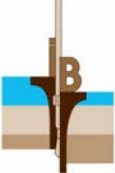




 <b>INPIJN-BLOKPOEL</b> ingenieursbureau	<b>Omschrijving project:</b> Aanvullend onderzoek POV Peel en Maas	<b>Projectnummer:</b> 02P008712	<b>Bijlagenummer:</b> SIT-02	
	<b>Titel tekening:</b> Locatie Beesel	<b>Opgesteld door:</b> MSS	<b>Datum:</b> 04-04-2017	<b>Schaal:</b> 1:2.500
		<b>Gecontroleerd door:</b> HBL	<b>Tekeningnummer:</b> 02P008712-SIT02-A4	

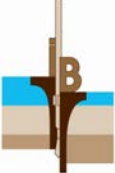


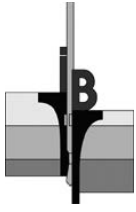


 <p><b>INPIJN-BLOKPOEL</b> ingenieursbureau</p>	<p><b>Omschrijving project:</b> Aanvullend onderzoek POV Peel en Maas</p>	<p><b>Projectnummer:</b> 02P008712</p>	<p><b>Bijlagenummer:</b> SIT-03</p>	
	<p><b>Titel tekening:</b> Locatie Buggenum</p>	<p><b>Opgesteld door:</b> MSS</p>	<p><b>Datum:</b> 04-04-2017</p>	<p><b>Schaal:</b> 1:2.500</p>
		<p><b>Gecontroleerd door:</b> HBL</p>	<p><b>Tekeningnummer:</b> 02P008712-SIT03-A4</p>	





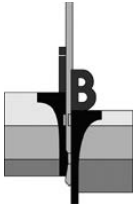
 <p><b>INPIJN-BLOKPOEL</b> ingenieursbureau</p>	<p><b>Omschrijving project:</b> Aanvullend onderzoek POV Peel en Maas</p>	<p><b>Projectnummer:</b> 02P008712</p>	<p><b>Bijlagenummer:</b> SIT-04</p>		
	<p><b>Titel tekening:</b> Locatie Thom</p>	<p><b>Opgesteld door:</b> MSS</p>	<p><b>Datum:</b> 04-04-2017</p>	<p><b>Schaal:</b> 1:2.500</p>	
		<p><b>Gecontroleerd door:</b> HBL</p>	<p><b>Tekeningnummer:</b> 02P008712-SIT04-A4</p>		



Opdracht : 02P008712  
Document : 02P008712-RG-01  
Project : Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

---

## Bijlage B



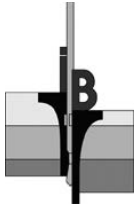
1. 60-PB



2. 75-PB



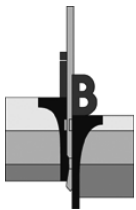
3. 79-PB



Opdracht : 02P008712  
Document : 02P008712-RG-01  
Project : Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

---

## Bijlage C



Opdracht : 02P008712  
Project : Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

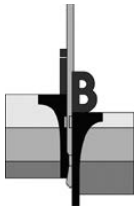
### WATERPASSTAAT

Meetmethode : Uitgezet en gewaterpast middels dGPS  
Datum meting : 1 – 2 februari 2017 / 28 – 29 maart 2017  
Hoogte (Z) t.o.v. : NAP

<i>Meetpunten</i>	<i>x-coördinaat [m]</i>	<i>y-coördinaat [m]</i>	<i>z-coördinaat (hoogte) [m t.o.v. NAP]</i>
B-60	202.512	396.493	13,67
B-75	196.254	360.069	16,58
B-79	186.973	352.007	23,57
B-60-POCH-1	202.497	396.480	13,88
B-60-POCH-2	202.491	396.485	13,88
B-60-POCH-3	202.484	396.491	13,89
B-73-POCH-1	199.893	364.594	17,79
B-73-POCH-2	199.892	364.604	17,85
B-73-POCH-3	199.891	364.614	17,70
B-79-POCH-1	186.972	351.961	23,14
B-79-POCH-2	186.982	351.965	23,06
B-79-POCH-3	186.990	351.969	23,08
Grondwaterstand B-60	(02-02-2017)		11,97
Grondwaterstand B-75	(01-02-2017)		14,88
Grondwaterstand B-79	(01-02-2017)		21,07
Peilbuis B-60: maaiveld	202.512	396.493	13,67
bovenkant stijgbuis 1			14,15
Peilbuis B-75: maaiveld	196.254	360.069	16,58
bovenkant stijgbuis 1			17,08
Peilbuis B-79: maaiveld	186.973	352.007	23,57
bovenkant stijgbuis 1			24,11

**Let op:**

Deze waterpasstaat dient om inzicht te geven in de hoogteligging en locaties van de meet- en onderzoekspunten ten opzichte van een referentiepunt. De resultaten dienen niet voor andere doeleinden te worden gebruikt.

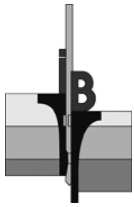


Opdracht : 02P008712  
Document : 02P008712-RG-01  
Project : Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

---

## Bijlage D





Opdracht: 02P008712

Project: Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

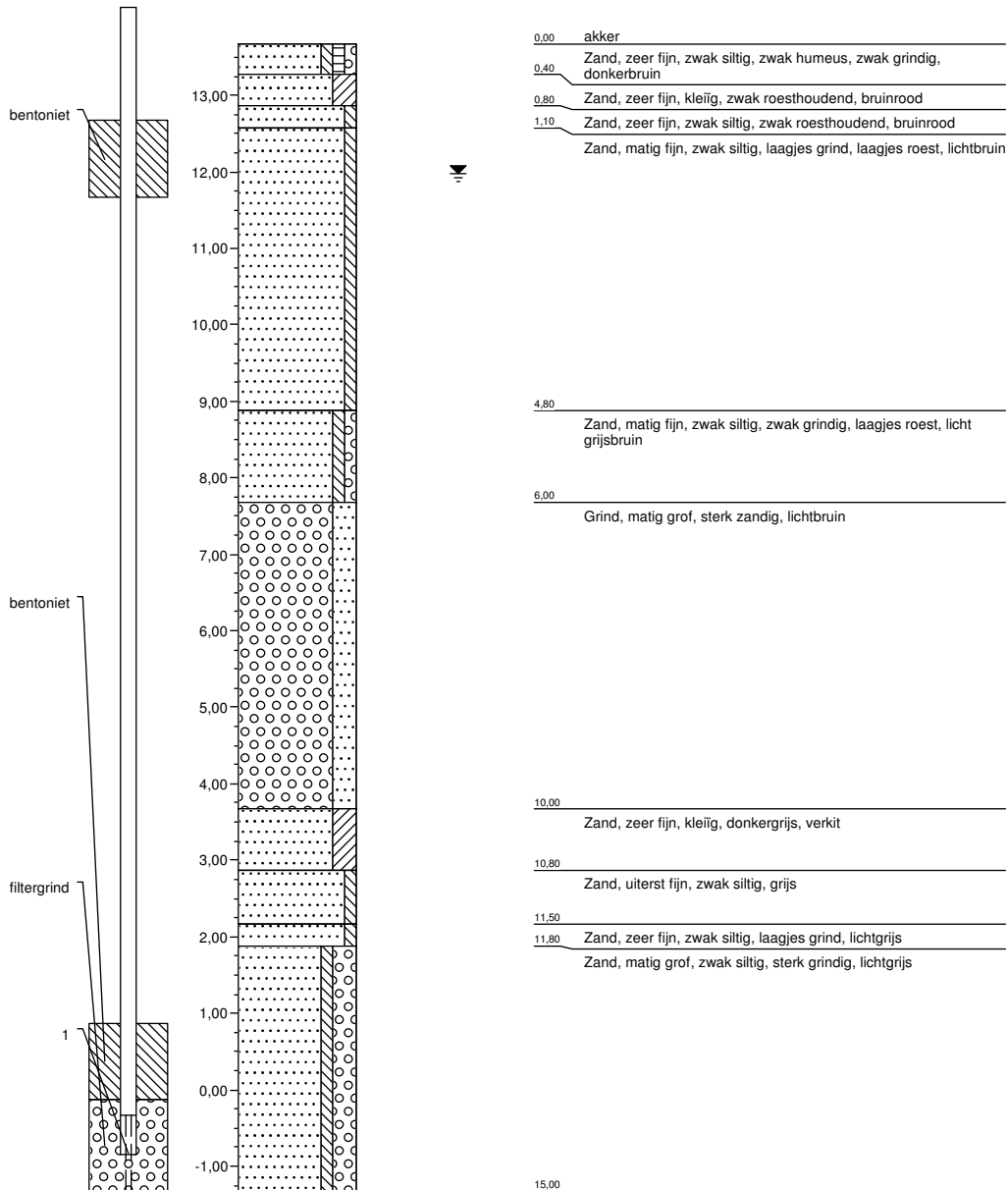
**Boring:** B-60  
Uitvoering op: 02-02-2017

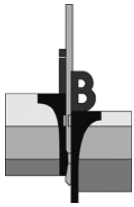
**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

Maaiveldhoogte [m]: 13.67 N.A.P.  
Grondwaterstand [cm-mv]: 170

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 202511.98  
y-coördinaat [m RD]: 396492.88





Opdracht: 02P008712

Project: Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

**Boring:**

**B-75**

Uitvoering op:

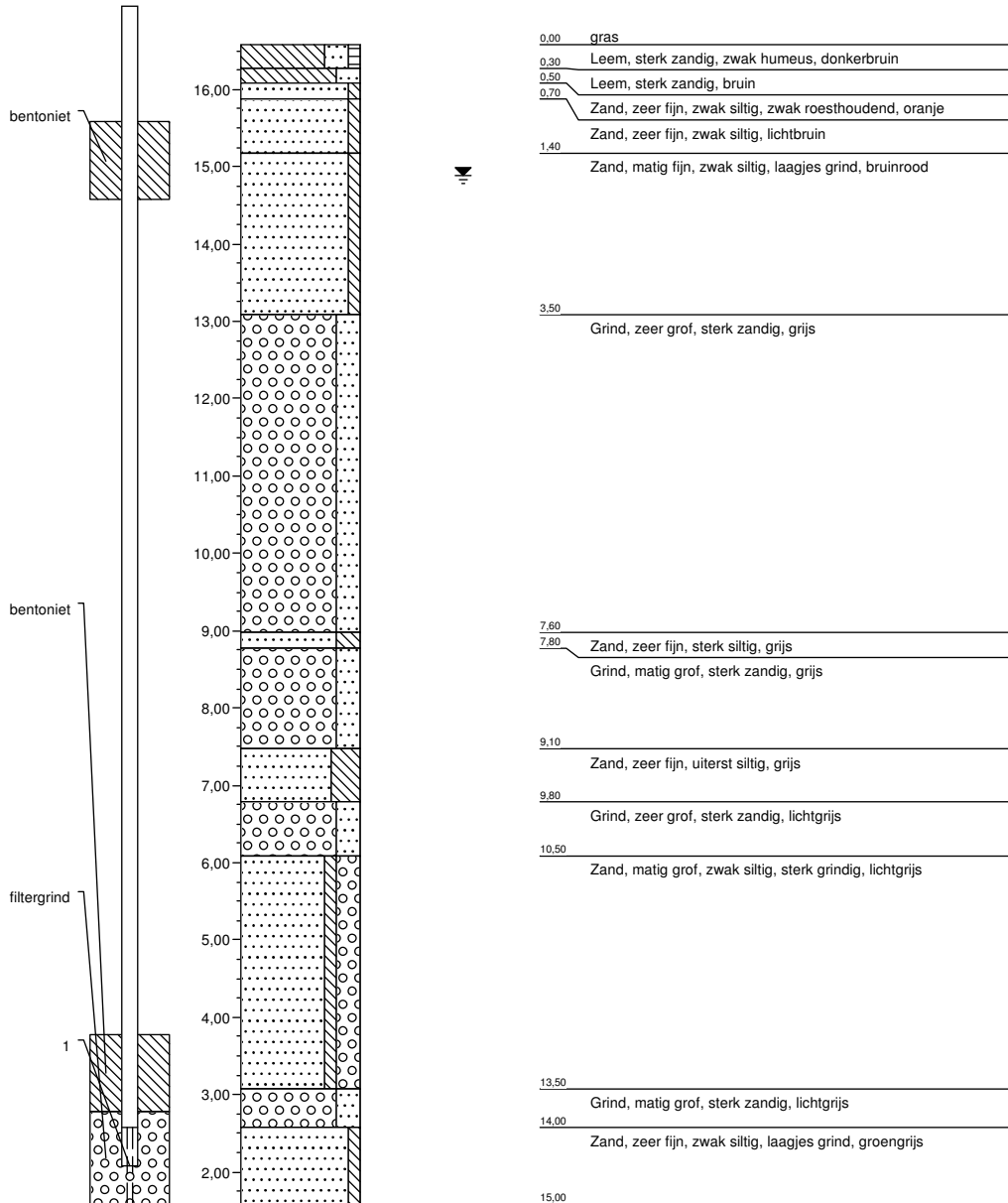
01-02-2017

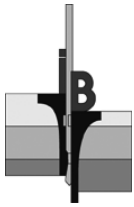
**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

Maaiveldhoogte [m]: 16.58 N.A.P.  
Grondwaterstand [cm-mv]: 170

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 196253.55  
y-coördinaat [m RD]: 360068.72





Opdracht: 02P008712

Project: Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

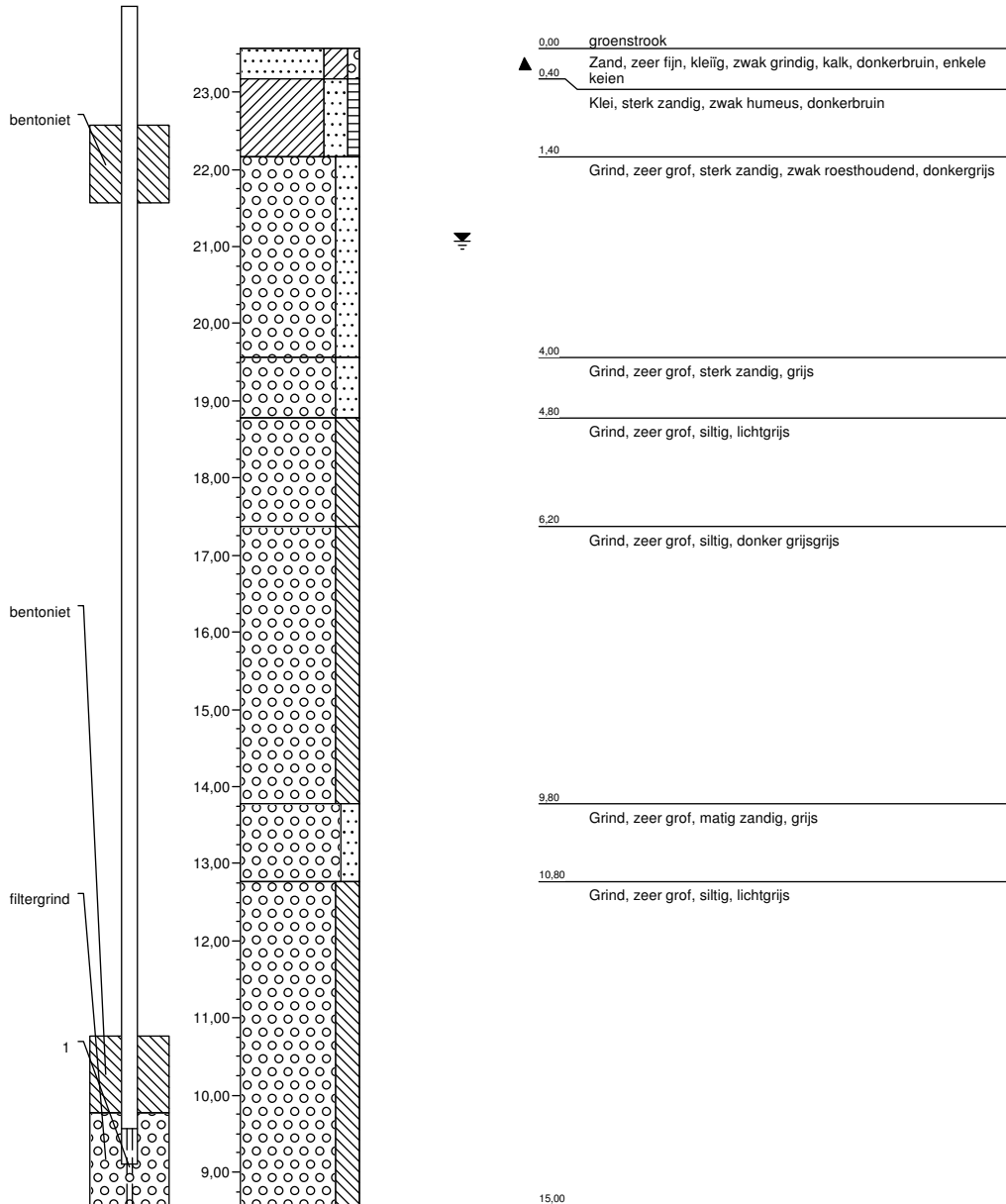
**Boring:** B-79  
Uitvoering op: 01-02-2017

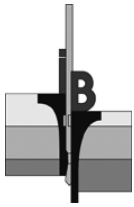
**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

Maaiveldhoogte [m]: 23.57 N.A.P.  
Grondwaterstand [cm-mv]: 250

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 186972.11  
y-coördinaat [m RD]: 352006.54





Opdracht: 02P008712  
Project: Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

**Boring: B-60-POCH-1**

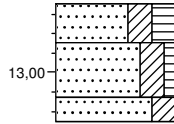
Uitvoering op: 28-03-2017  
Uitvoering door: HBN

**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

Maaiveldhoogte [m]: 13,88 N.A.P.

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 202496,95  
y-coördinaat [m RD]: 396479,46



0,00	
	Zand, matig fijn, kleiig, sterk humeus, zwartbruin
0,50	
	Zand, matig fijn, kleiig, zwak humeus, geelbruin
1,20	
1,50	Zand, matig fijn, kleiig, geelgrijs

**Boring: B-60-POCH-2**

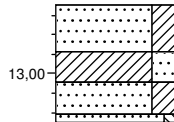
Uitvoering op: 28-03-2017  
Uitvoering door: HBN

**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

Maaiveldhoogte [m]: 13,88 N.A.P.

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 202491,32  
y-coördinaat [m RD]: 396484,64



0,00	
	Zand, matig fijn, kleiig, bruinzwart
0,60	
	Klei, sterk zandig, zwak roesthoudend, bruinzwart
1,00	
	Zand, matig fijn, kleiig, bruinzwart
1,40	
1,50	Zand, matig grof, zwak siltig, lichtbruin

**Boring: B-60-POCH-3**

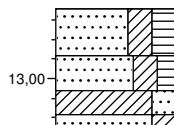
Uitvoering op: 28-03-2017  
Uitvoering door: HBN

**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

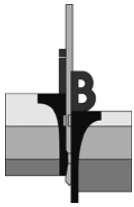
Maaiveldhoogte [m]: 13,89 N.A.P.

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 202484,05  
y-coördinaat [m RD]: 396491,42



0,00	
	Zand, matig fijn, kleiig, sterk humeus, zwartbruin
0,60	
	Zand, zeer fijn, kleiig, matig humeus, geelbruin
1,05	
	Klei, sterk zandig, geelbruin
1,35	
1,50	Zand, matig fijn, kleiig, geelgrijs



Opdracht: 02P008712  
Project: Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

**Boring: B-73-POCH-1**

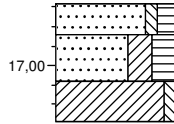
Uitvoering op: 28-03-2017  
Uitvoering door: DWZ

**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

Maaiveldhoogte [m]: 17,79 N.A.P.

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 199893,01  
y-coördinaat [m RD]: 364593,71



0,00	
0,40	Zand, zeer fijn, zwak siltig, matig humeus, zwartbruin
	Zand, zeer fijn, kleiïg, sterk humeus, zwartbruin
1,00	
	Klei, zwak siltig, grijs
1,50	

**Boring: B-73-POCH-2**

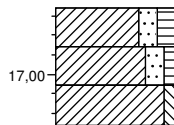
Uitvoering op: 28-03-2017  
Uitvoering door: DWZ

**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

Maaiveldhoogte [m]: 17,85 N.A.P.

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 199891,85  
y-coördinaat [m RD]: 364603,69



0,00	
	Klei, matig zandig, matig humeus, zwartbruin
0,50	
	Klei, matig zandig, zwak humeus, zwartbruin
1,00	
	Klei, zwak siltig, grijs
1,50	

**Boring: B-73-POCH-3**

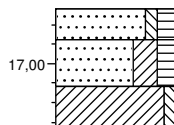
Uitvoering op: 28-03-2017  
Uitvoering door: DWZ

**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

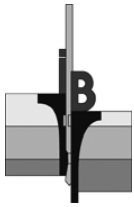
Maaiveldhoogte [m]: 17,7 N.A.P.

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 199890,76  
y-coördinaat [m RD]: 364613,83



0,00	
	Zand, zeer fijn, zwak siltig, matig humeus, zwartbruin
0,40	
	Zand, zeer fijn, kleiïg, matig humeus, bruin
1,00	
	Klei, zwak siltig, grijs
1,50	



Opdracht: 02P008712

Project: Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

**Boring:**

Uitvoering op:  
Uitvoering door:

**B-79-POCH-1**

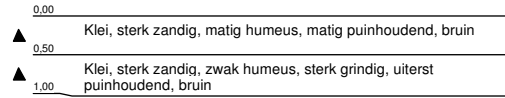
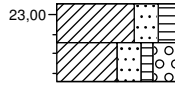
29-03-2017  
HBN

**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

Maaiveldhoogte [m]: 23,14 N.A.P.

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 186971,77  
y-coördinaat [m RD]: 351960,66



Gestaakt vanwege grof grind > 1 m -mv

**Boring:**

Uitvoering op:  
Uitvoering door:

**B-79-POCH-2**

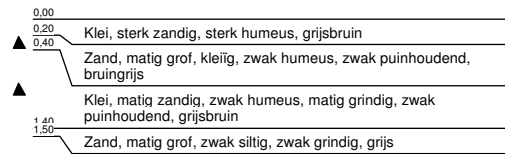
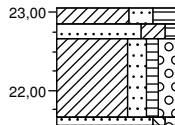
29-03-2017  
HBN

**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

Maaiveldhoogte [m]: 23,06 N.A.P.

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 186981,87  
y-coördinaat [m RD]: 351964,73



**Boring:**

Uitvoering op:  
Uitvoering door:

**B-79-POCH-3**

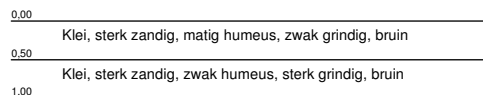
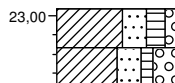
29-03-2017  
HBN

**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

Maaiveldhoogte [m]: 23,08 N.A.P.

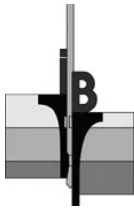
**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 186990,12  
y-coördinaat [m RD]: 351969,00



Gestaakt vanwege grof grind > 1 m -mv





Opdracht : 02P008712  
Document : 02P008712-RG-01  
Project : Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

---

## Bijlage E

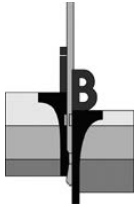
Project:

Aanvullend onderzoek POV Peel en Maas

Projectnummer:

02P008712

	dijkkring	Boring id	node nummer	aantal filters	pb id	x	y	kophoogte pb nap	mv [m nap]	diepte [m-kpb]	kabel lengte [m]	koker / straatpot	datum	tijd	gws [m -kpb]	gws [m + nap]	opmerkingen
1	60	60-PB	47021	1	1	202512,18	396492,98	14,15	13,67	15,45	10,00	koker	22-2-2017	13:20	2,12	12,03	
2	75	75-PB	47022	1	1	196253,49	360068,83	17,08	16,58	15,45	10,00	koker	15-2-2017	13:12	2,18	14,90	
3	79	79-PB	47024	1	1	186973,07	352006,56	24,11	23,57	15,45	10,00	koker	22-2-2017	8:30	2,99	21,12	



Opdracht : 02P008712  
Document : 02P008712-RG-01  
Project : Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

---

## Bijlage F

Formule om de doorlatendheid volgens Porchet te bepalen :

$$k_f = 1,15 \cdot r \cdot (\log(h_0+r/2) - \log(h_1+r/2)) / dt \text{ [cm/s]}$$

Hierbij is :

$h_0$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_0$

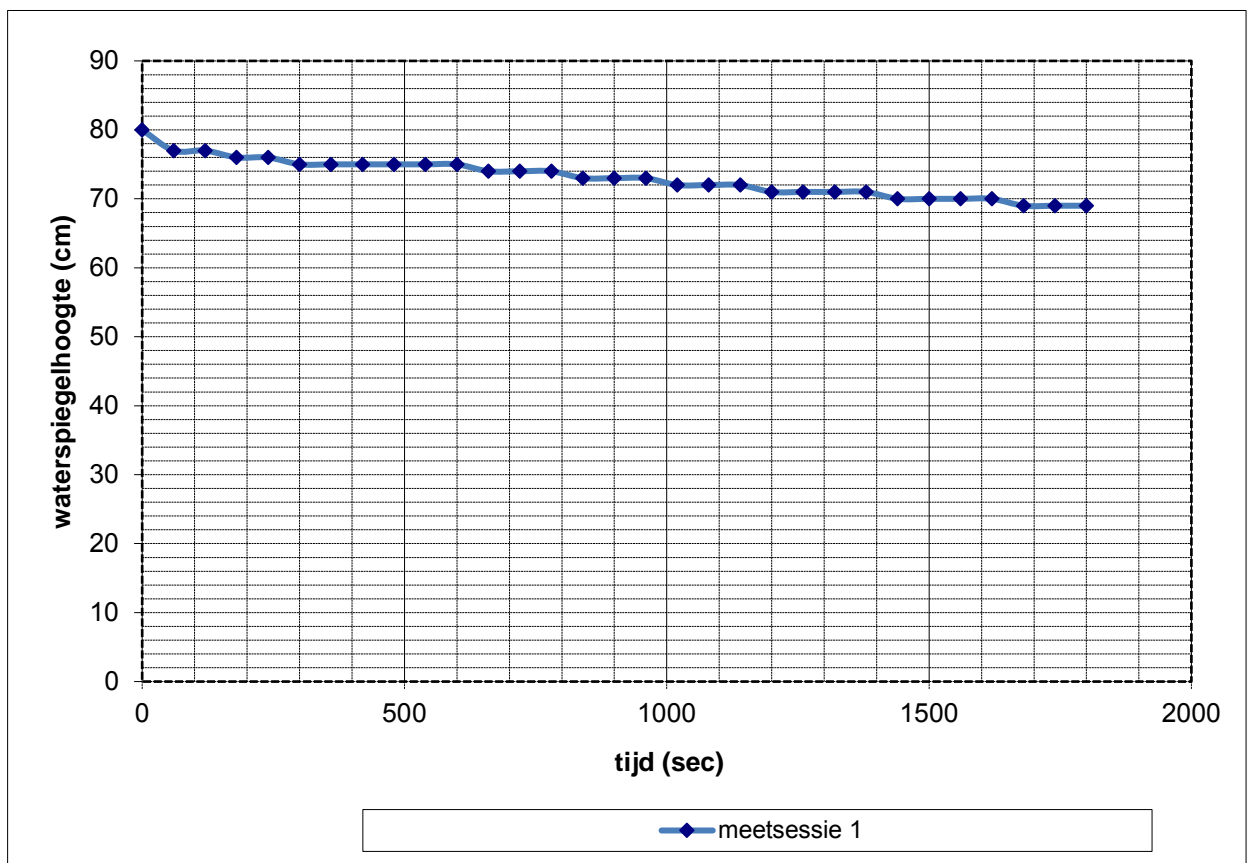
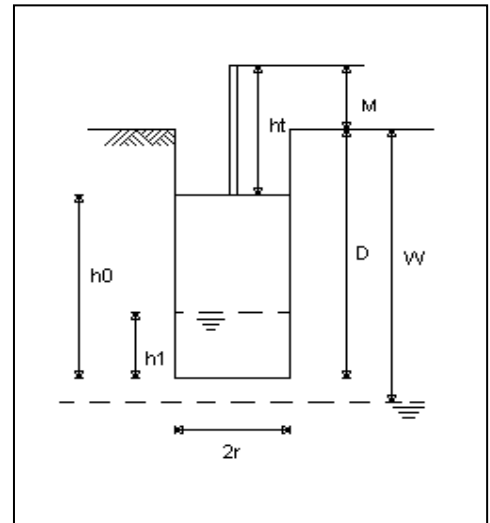
$h_1$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_1$

$r$  = boogtradius

$dt$  = verlopen tijd van  $t = t_0$  tot  $t = t_1$

Onderzoekswaarden

Diepte boorgat	D :	150	cm
Standaardhoogte	M :	40	cm
Radiusboorgat	r :	5	cm
Grondwater	W :	180	cm



Meetsessie 1

$k_f = 0,13 \text{ m/dag}$

Formule om de doorlatendheid volgens Porchet te bepalen :

$$k_f = 1,15 \cdot r \cdot (\log(h_0+r/2) - \log(h_1+r/2)) / dt \text{ [cm/s]}$$

Hierbij is :

$h_0$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_0$

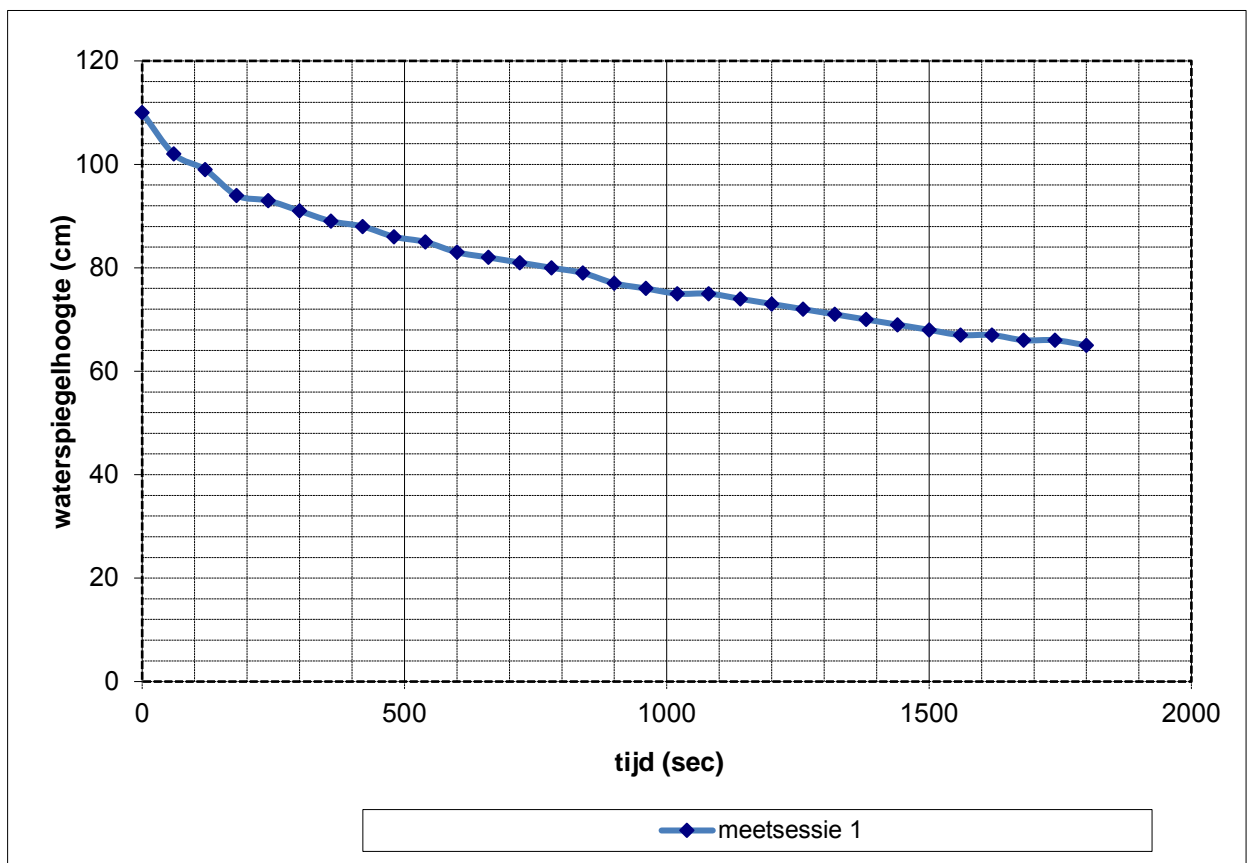
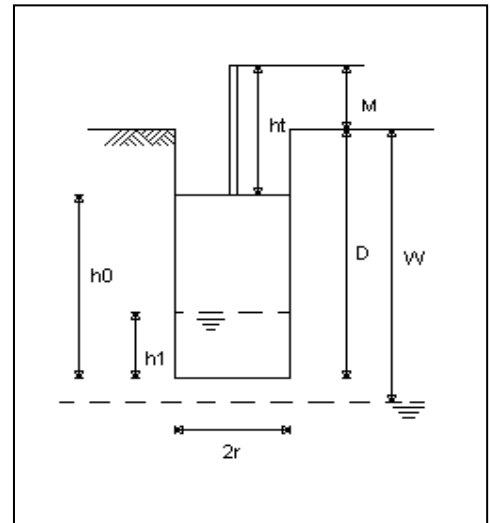
$h_1$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_1$

$r$  = boogtradius

$dt$  = verlopen tijd van  $t = t_0$  tot  $t = t_1$

Onderzoekswaarden

Diepte boorgat	D :	150	cm
Standaardhoogte	M :	80	cm
Radiusboorgat	r :	4	cm
Grondwater	W :	190	cm



Meetsessie 1

$k_f = 0,46$  m/dag



Formule om de doorlatendheid volgens Porchet te bepalen :

$$k_f = 1,15 \cdot r \cdot (\log(h_0+r/2) - \log(h_1+r/2)) / dt \text{ [cm/s]}$$

Hierbij is :

$h_0$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_0$

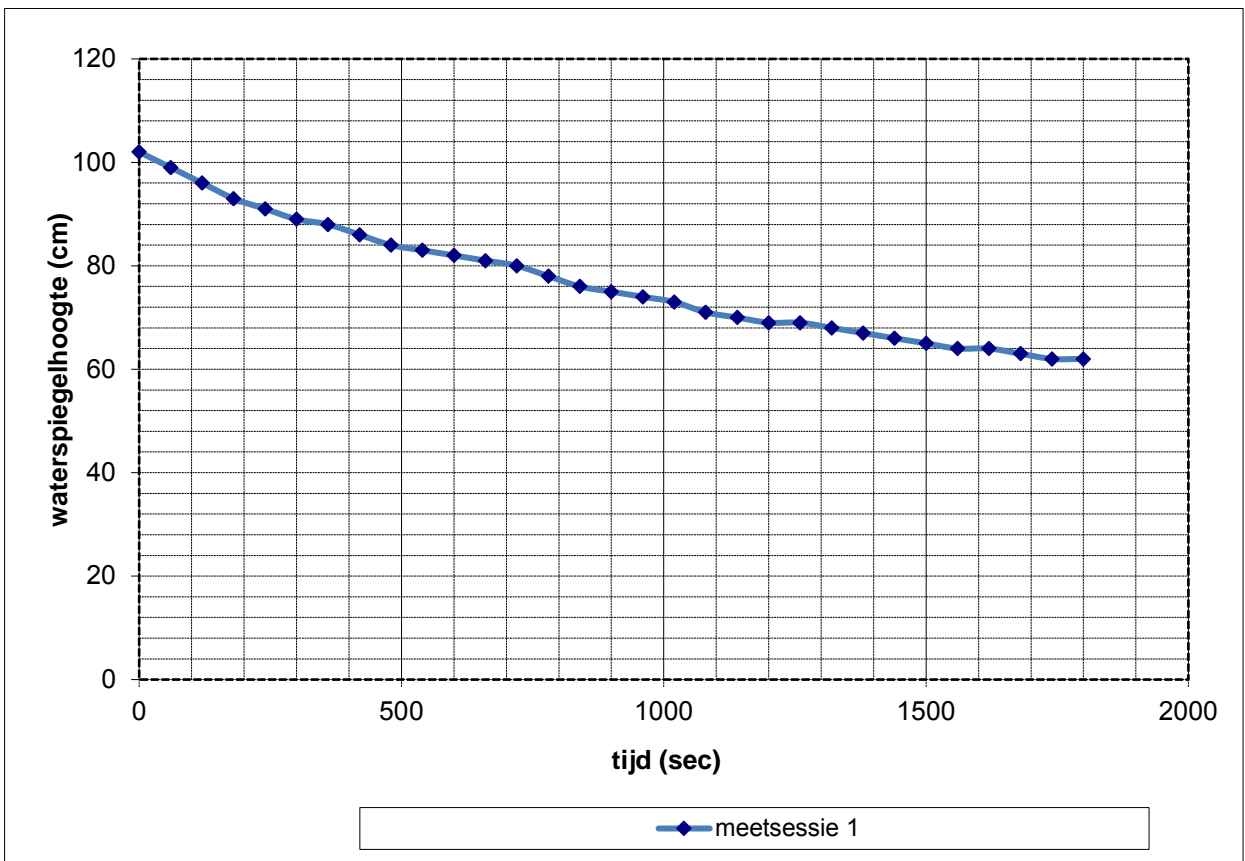
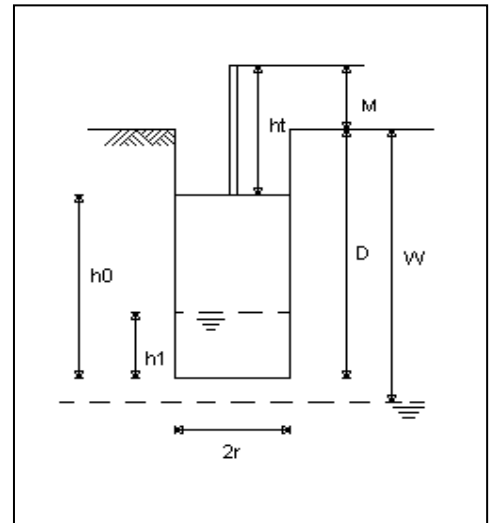
$h_1$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_1$

$r$  = boogtradius

$dt$  = verlopen tijd van  $t = t_0$  tot  $t = t_1$

Onderzoekswaarden

Diepte boorgat	D :	150	cm
Standaardhoogte	M :	100	cm
Radiusboorgat	r :	4	cm
Grondwater	W :	190	cm



Meetsessie 1

$k_f = 0,51 \text{ m/dag}$

Formule om de doorlatendheid volgens Porchet te bepalen :

$$k_f = 1,15 * r * (\log(h_0+r/2) - \log(h_1+r/2)) / dt \text{ [cm/s]}$$

Hierbij is :

$h_0$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_0$

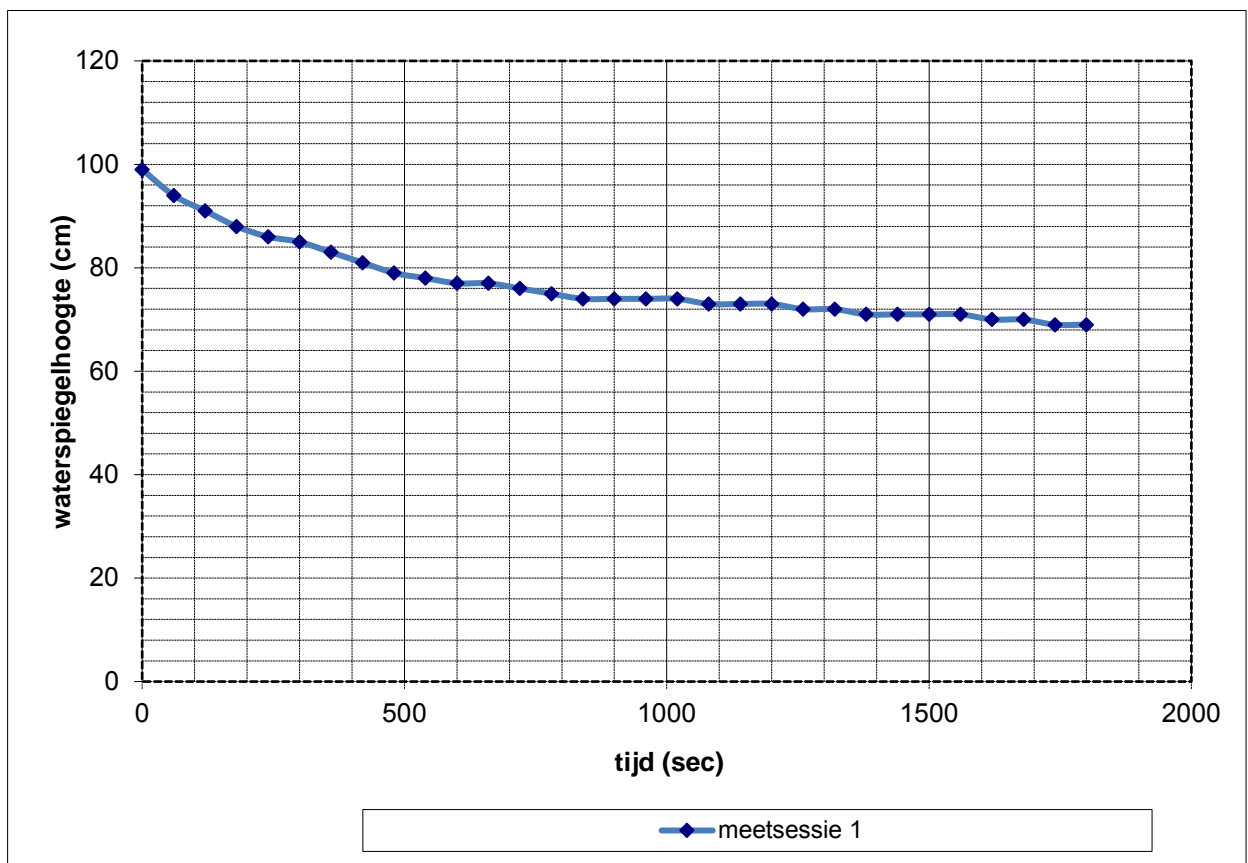
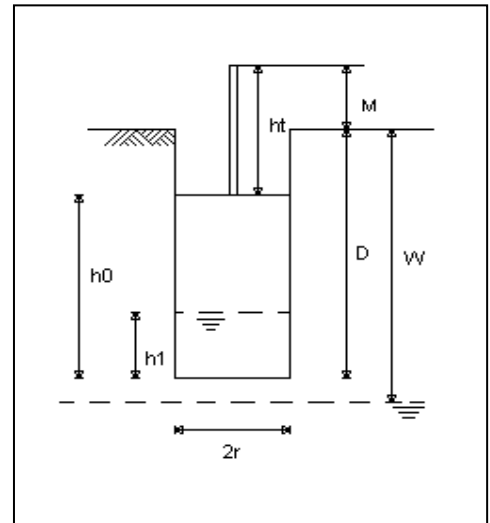
$h_1$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_1$

$r$  = boogtradius

$dt$  = verlopen tijd van  $t = t_0$  tot  $t = t_1$

Onderzoekswaarden

Diepte boorgat	D :	150	cm
Standaardhoogte	M :	45	cm
Radiusboorgat	r :	4	cm
Grondwater	W :	280	cm



Meetsessie 1

$k_f = 0,28$  m/dag

Formule om de doorlatendheid volgens Porchet te bepalen :

$$k_f = 1,15 * r * (\log(h_0+r/2) - \log(h_1+r/2)) / dt \text{ [cm/s]}$$

Hierbij is :

$h_0$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_0$

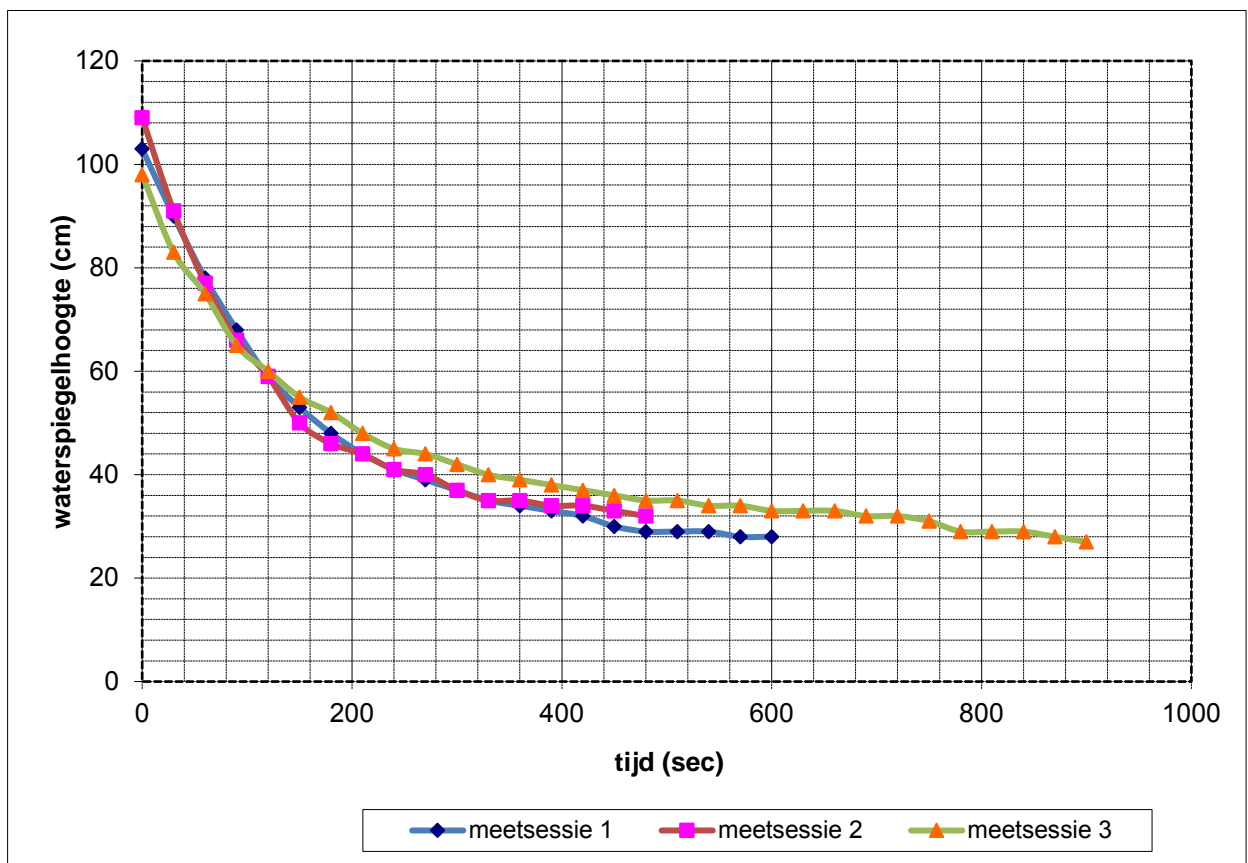
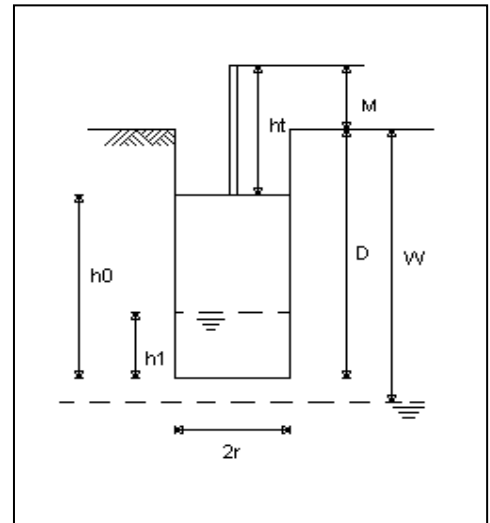
$h_1$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_1$

$r$  = boogtradius

$dt$  = verlopen tijd van  $t = t_0$  tot  $t = t_1$

Onderzoekswaarden

Diepte boorgat	D :	150	cm
Standaardhoogte	M :	98	cm
Radiusboorgat	r :	4	cm
Grondwater	W :	280	cm



Meetsessie 1

Meetsessie 2

Meetsessie 3

$k_f = 3,12$  m/dag

$k_f = 3,26$  m/dag

$k_f = 2,28$  m/dag

Formule om de doorlatendheid volgens Porchet te bepalen :

$$k_f = 1,15 \cdot r \cdot (\log(h_0+r/2) - \log(h_1+r/2)) / dt \text{ [cm/s]}$$

Hierbij is :

$h_0$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_0$

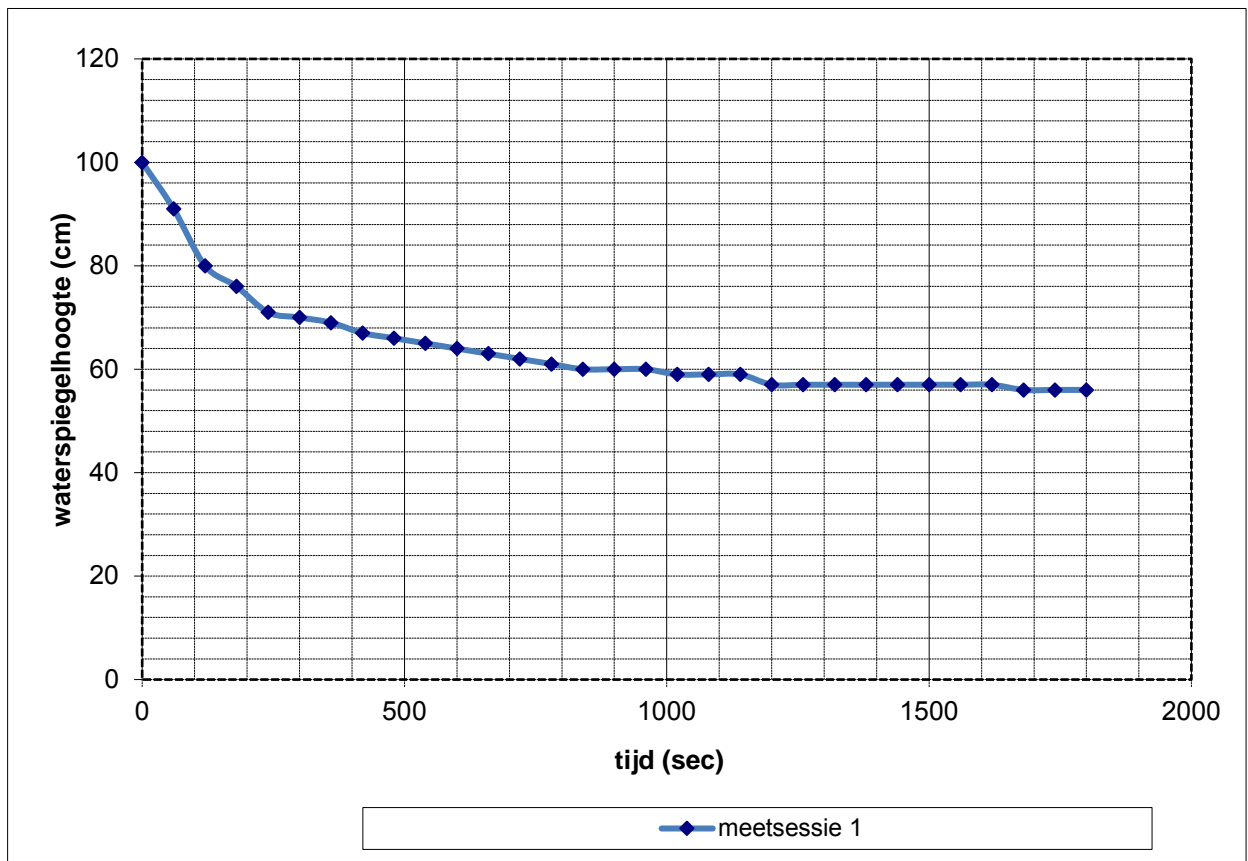
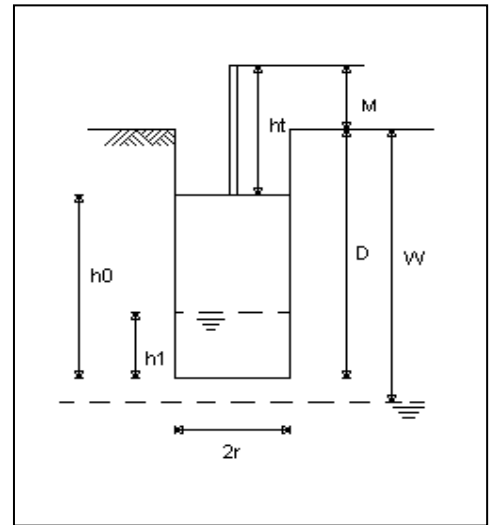
$h_1$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_1$

$r$  = boogtradius

$dt$  = verlopen tijd van  $t = t_0$  tot  $t = t_1$

Onderzoekswaarden

Diepte boorgat	D :	150	cm
Standaardhoogte	M :	80	cm
Radiusboorgat	r :	4	cm
Grondwater	W :	288	cm



Meetsessie 1

$k_f = 0,43$  m/dag

Formule om de doorlatendheid volgens Porchet te bepalen :

$$k_f = 1,15 * r * (\log(h_0+r/2) - \log(h_1+r/2)) / dt \text{ [cm/s]}$$

Hierbij is :

$h_0$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_0$

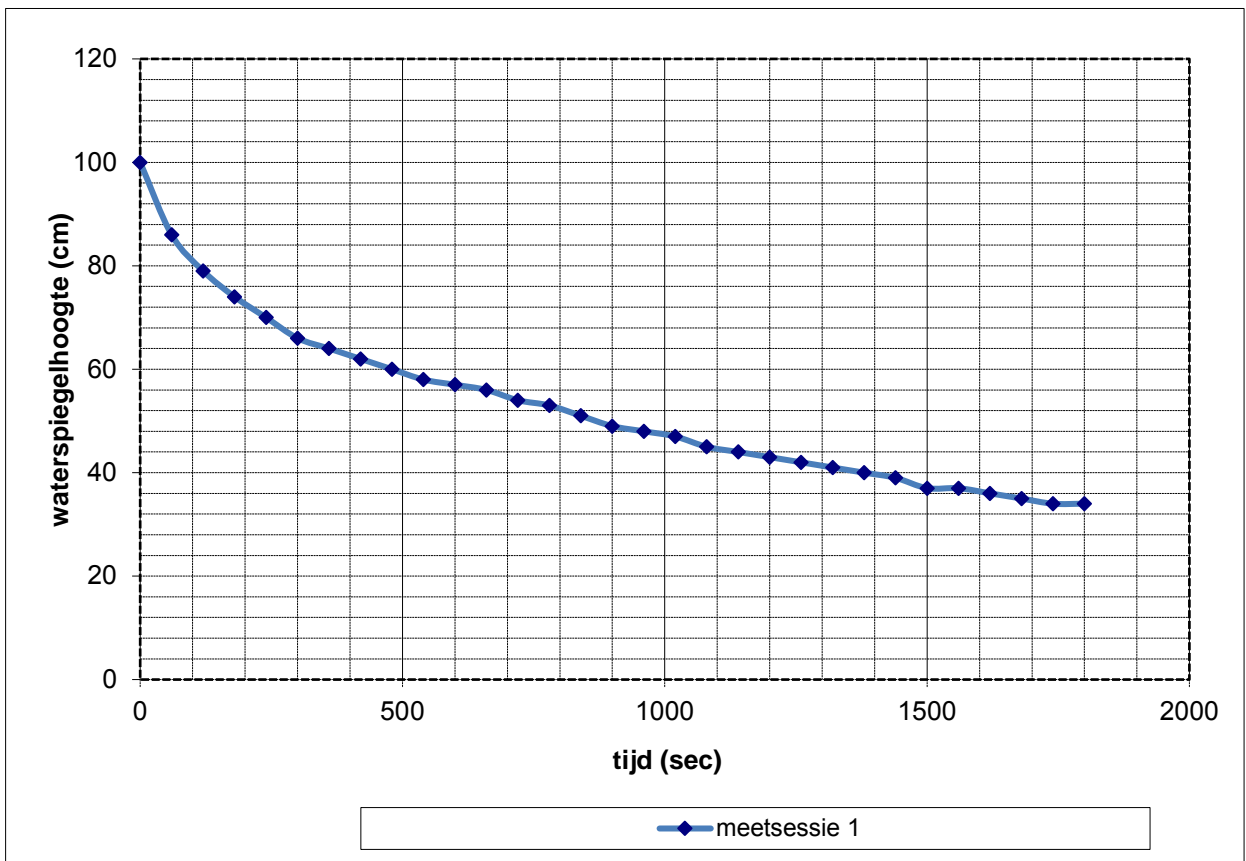
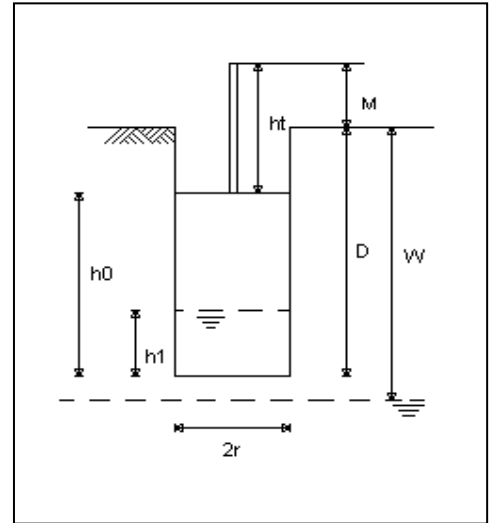
$h_1$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_1$

$r$  = boogtradius

$dt$  = verlopen tijd van  $t = t_0$  tot  $t = t_1$

Onderzoekswaarden

Diepte boorgat	D :	100	cm
Standaardhoogte	M :	50	cm
Radiusboorgat	r :	4	cm
Grondwater	W :	200	cm



Meetsessie 1

$k_f = 0,77 \text{ m/dag}$



Formule om de doorlatendheid volgens Porchet te bepalen :

$$k_f = 1,15 * r * (\log(h_0+r/2) - \log(h_1+r/2)) / dt \text{ [cm/s]}$$

Hierbij is :

$h_0$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_0$

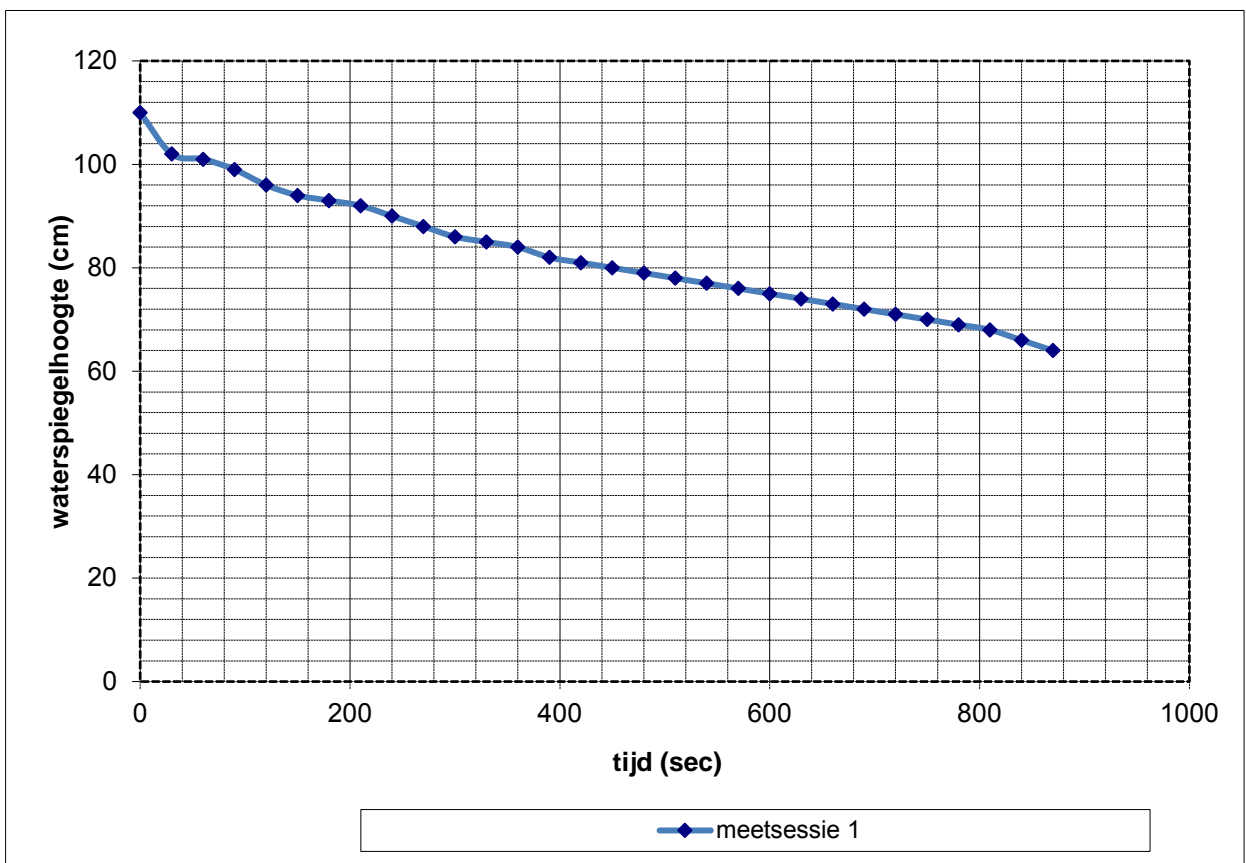
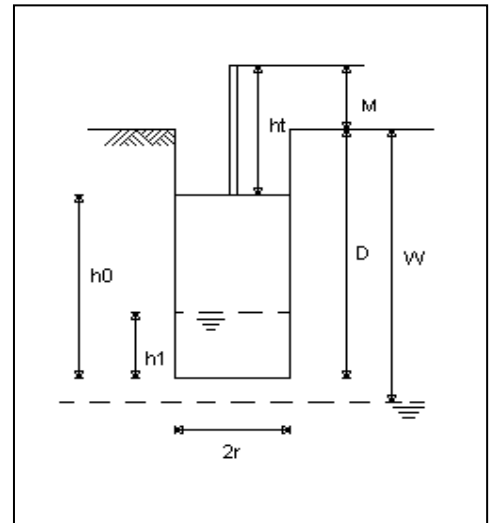
$h_1$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_1$

$r$  = boogtradius

$dt$  = verlopen tijd van  $t = t_0$  tot  $t = t_1$

Onderzoekswaarden

Diepte boorgat	D :	<input type="text" value="150"/>	cm
Standaardhoogte	M :	<input type="text" value="100"/>	cm
Radiusboorgat	r :	<input type="text" value="4"/>	cm
Grondwater	W :	<input type="text" value="200"/>	cm



Meetsessie 1

$k_f =$    $m/dag$

Formule om de doorlatendheid volgens Porchet te bepalen :

$$k_f = 1,15 \cdot r \cdot (\log(h_0+r/2) - \log(h_1+r/2)) / dt \text{ [cm/s]}$$

Hierbij is :

$h_0$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_0$

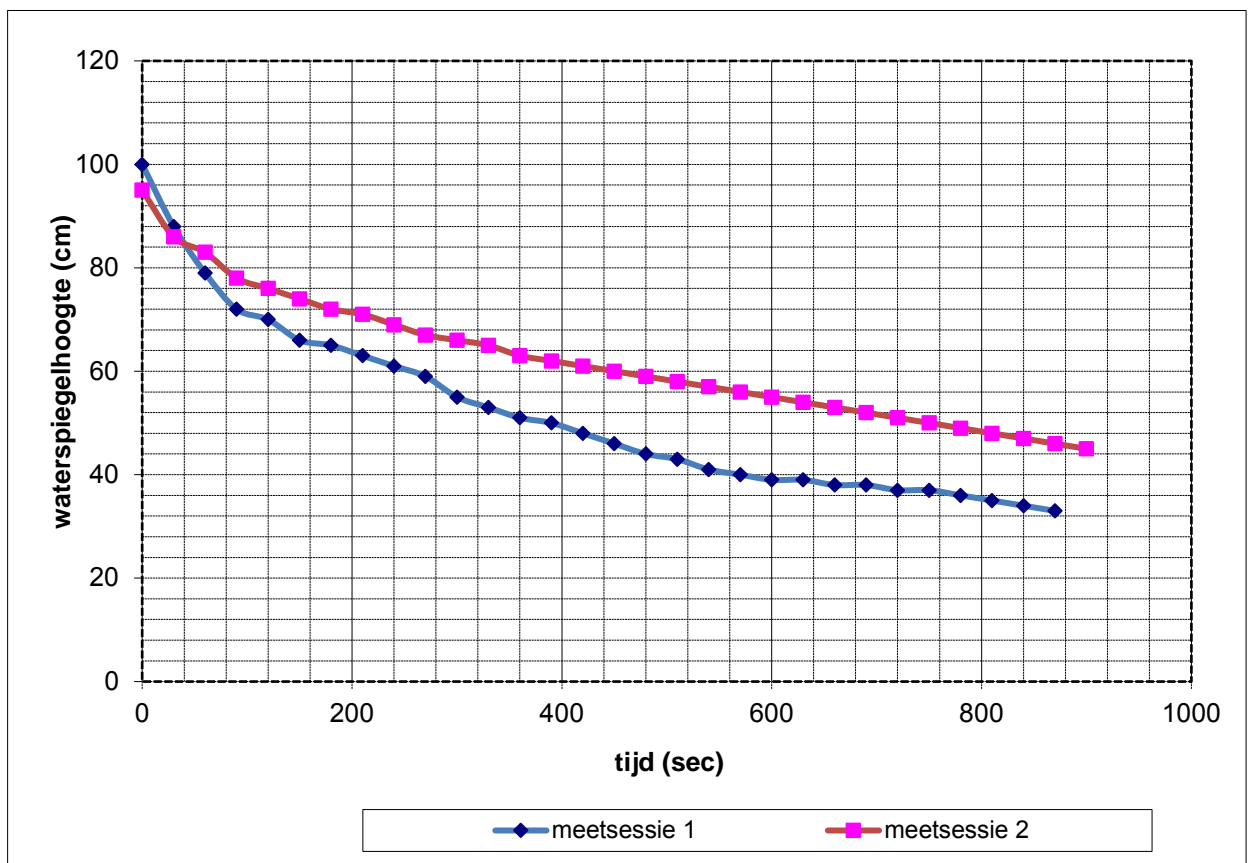
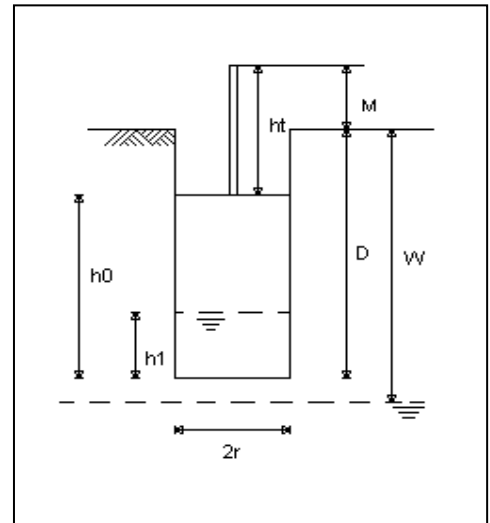
$h_1$  = waterhoogte in boorgat op tijdstip  $t = t_1$

$r$  = boogtradius

$dt$  = verlopen tijd van  $t = t_0$  tot  $t = t_1$

Onderzoekswaarden

Diepte boorgat	D :	100	cm
Standaardhoogte	M :	50	cm
Radiusboorgat	r :	4	cm
Grondwater	W :	200	cm

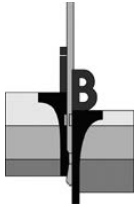


Meetsessie 1

Meetsessie 2

$k_f = 1,90$  m/dag

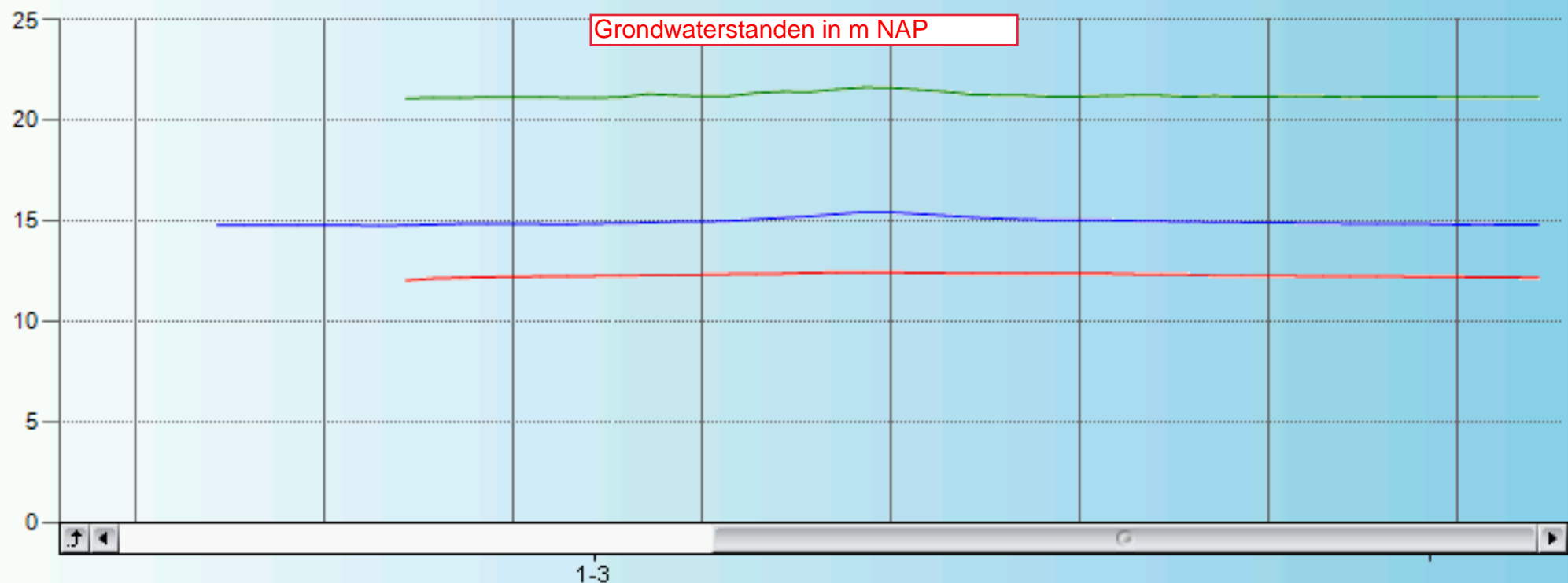
$k_f = 1,14$  m/dag



Opdracht : 02P008712  
Document : 02P008712-RG-01  
Project : Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

---

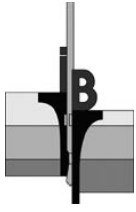
## Bijlage G



60-PB (berekend) - POV Peel en Maas (Analoog)

75-PB (berekend) - POV Peel en Maas (Analoog)

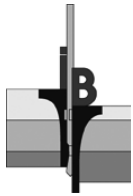
79-PB (berekend) - POV Peel en Maas (Analoog)



Opdracht : 02P008712  
Document : 02P008712-RG-01  
Project : Aanvullend onderzoek POV te Peel en Maas

---

## Bijlage H



## VERKLARING CODERING BORINGEN (conform NEN 5104)

### GRIND

	grind, siltig
	grind, zwak zandig
	grind, matig zandig
	grind, sterk zandig
	grind, uiterst zandig

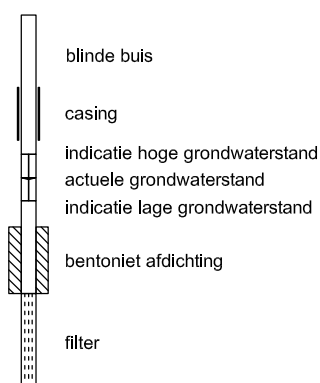
### VEEN

	veen, mineraalarm
	veen, zwak kleiig
	veen, sterk kleiig
	veen, zwak zandig
	veen, sterk zandig

### KLEI

	klei, zwak siltig
	klei, matig siltig
	klei, sterk siltig
	klei, uiterst siltig
	klei, zwak zandig
	klei, matig zandig
	klei, sterk zandig

### PEILBUIS



### ZAND

	zand, kleiig
	zand, zwak siltig
	zand, matig siltig
	zand, sterk siltig
	zand, uiterst siltig

### LEEM

	leem, zwak zandig
	leem, sterk zandig

### SLIB

	slib
--	------

### TOEVOEGINGEN

	zwak humeus
	matig humeus
	sterk humeus
	zwak grindig
	matig grindig
	sterk grindig

### GRONDMONSTERS

	geroerd monster
	ongeroerd monster

### OVERIG

	bijzonder bestanddeel
	indicatie hoge grondwaterstand
	actuele grondwaterstand
	indicatie lage grondwaterstand

## LEGENDA TEKENINGEN

### SONDERINGEN

	Sondering met meting conusweerstand
	Diepsondering met plaatselijke kleeft
	Sondering met waterspanning
	Seismische sondering
	Sondering met bolconus
	Handsondering
	Slagsondering
	Niet uitgevoerde sonderingen

### BORINGEN en PEILBUIZEN

	Boring
	Boring met peilbuis
	Niet uitgevoerde boring
	Boring eerdere fase

### MONITORING

	Scheurmeter
	Deformatiebout
	Trillingsmeter
	Plaatdrukproef
	Zakbaak
	Waterspanningsmeter
	Hellingmeter

### ANDERE SYMBOLEN

	Positie en richting foto
	Meetpunt
	0-punt lokaal assenstelsel

### KLEUR CODERING ONDERZOEKSFASE

	Sondering Fase 02
	Sondering Fase 03
	Sondering Fase 04



## ADVISERING GEOTECHNIEK

Paalfundering  
Fundering op staal

Bouwputontwerp  
Bemaling  
Grondkerende constructie  
Taludstabiliteit

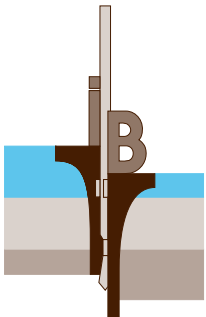
Bouwrijp maken terrein  
Grondbalans  
Drainage  
Afkoppelen en infiltreren  
Geo-hydrologische studie

Toezicht heiwerk

Funderingsrenovatie  
Schade expertise

Pijpleidingen  
Gestuurde boringen

Trillingsanalyse  
Geluidsanalyse



**INPIJN-BLOKPOEL**  
ingenieursbureau



**Ingenieursbureau Inpijn-Blokpoel Son B.V.**

Ekkersrijt 2058  
postbus 94 - 5690 AB Son  
telefoon (0499) 47 17 92

e-mail [post@inpijn-blokpoel.com](mailto:post@inpijn-blokpoel.com)

## VELDWERK

Sonderen  
Boren  
Pompproeven  
Peilbuizen

Landmeetkundig werk  
Nauwkeurigheidswaterpassing  
DGPS-metingen  
Inmeten palenplan

Trillingsmeting  
Geluidsmeting  
Akoestische paalcontrole  
Geo-monitoring

Heibegeleiding  
Toezicht bouwputten

## LABORATORIUM

Classificatie proeven  
Mechanische eigenschappen  
Chemische analyse

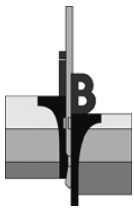
## MILIEU-ONDERZOEK

Verkennd-, nader- en  
saneringsonderzoek  
Adviesing  
Projectbegeleiding  
Akoestisch onderzoek  
Partijkeuringen besluit bodemkwaliteit (Bbk)

[www.inpijn-blokpoel.com](http://www.inpijn-blokpoel.com)



## BIJLAGE C BOORSTATEN + LABRESULTATEN



Opdracht: 02P005360  
 Project: POV piping grind- en leemlagen

**Boring: HB-60.062+50B**

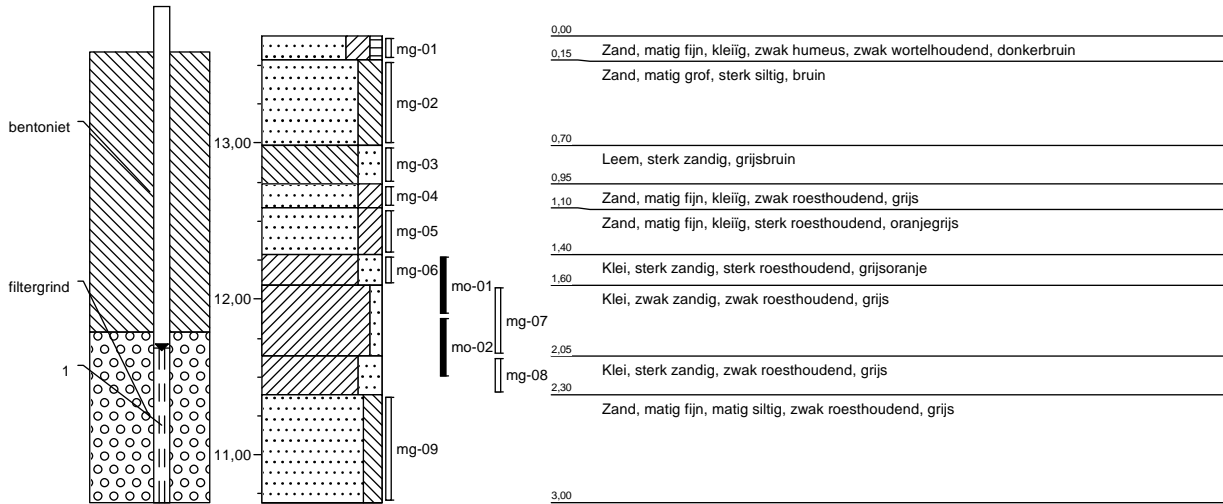
Uitvoering op: 26-11-2014  
 Uitvoering door: HSS  
 Uitgevoerd nabij: Zie situatietekening

**Boring volgens NEN 5119**

Maaiveldhoogte: 13,69m t.o.v. N.A.P.  
 Grondwaterstand: cm - maaiveld

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat: 202487,01 m (in RD)  
 y-coördinaat: 396469,34 m (in RD)



**Boring: HB-60.062+50D**

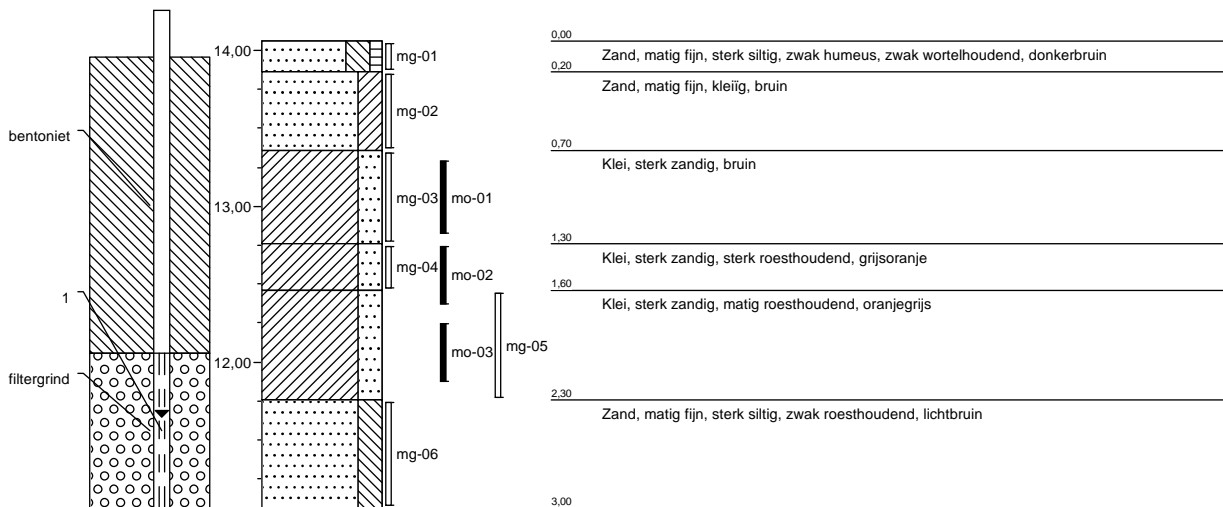
Uitvoering op: 26-11-2014  
 Uitvoering door: PSS  
 Uitgevoerd nabij: Zie situatietekening

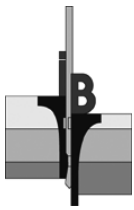
**Boring volgens NEN 5119**

Maaiveldhoogte: 14,06m t.o.v. N.A.P.  
 Grondwaterstand: cm - maaiveld

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat: 202496,79 m (in RD)  
 y-coördinaat: 396478,61 m (in RD)





Opdracht: 02P005360  
 Project: POV piping grind- en lemlagen

**Boring: HB-75.030+50B**

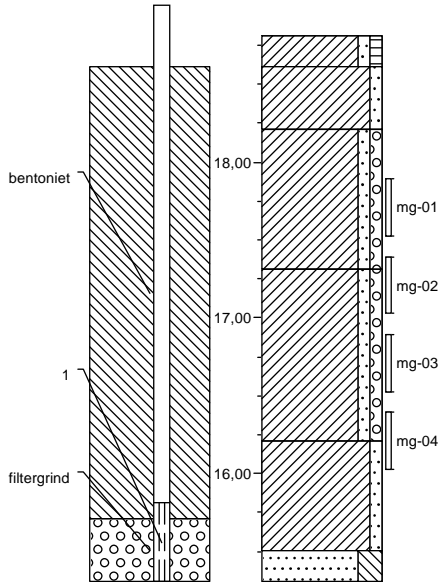
Uitvoering op: 18-11-2014  
 Uitvoering door: HSS  
 Uitgevoerd nabij: Zie situatietekening

**Boring volgens NEN 5119**

Maaiveldhoogte: 18,81m t.o.v. N.A.P.  
 Grondwaterstand: cm - maaiveld

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat: 196272,97 m (in RD)  
 y-coördinaat: 360025,26 m (in RD)



0.00	Klei, zwak zandig, zwak humeus, zwak wortelhoudend, donkerbruin
0.20	Klei, zwak zandig, lichtbruin
0.60	Klei, zwak zandig, zwak grindig, matig roesthoudend, bruin, steekbus mislukt ivm aanwezigheid grind
1.50	Klei, zwak zandig, zwak grindig, matig roesthoudend, bruin, steekbus mislukt ivm aanwezigheid grind
2.60	Klei, zwak zandig, matig roesthoudend, bruin, steekbus mislukt ivm aanwezigheid grind
3.30	Zand, matig fijn, sterk siltig, matig roesthoudend, bruin
3.50	

**Boring: HB-75.030+50D**

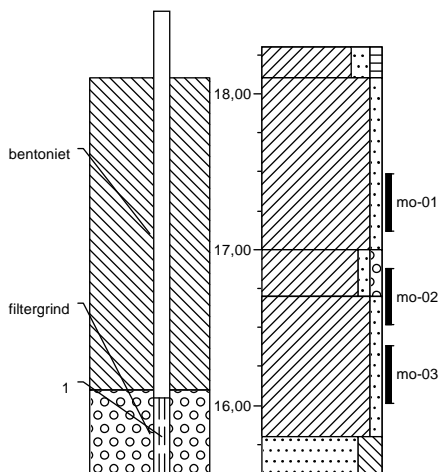
Uitvoering op: 18-11-2014  
 Uitvoering door: HSS  
 Uitgevoerd nabij: Zie situatietekening

**Boring volgens NEN 5119**

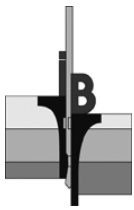
Maaiveldhoogte: 18,3 m t.o.v. N.A.P.  
 Grondwaterstand: cm - maaiveld

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat: 196257,06 m (in RD)  
 y-coördinaat: 360033,03 m (in RD)



0.00	Klei, matig zandig, zwak humeus, zwak wortelhoudend, donkerbruin
0.20	Klei, zwak zandig, matig roesthoudend, bruin
1.30	Klei, zwak zandig, zwak grindig, zwak roesthoudend, bruin
1.60	Klei, zwak zandig, zwak roesthoudend, bruin
2.50	Zand, matig fijn, sterk siltig, zwak roesthoudend, bruin
2.75	



Opdracht: 02P005360  
 Project: POV piping grind- en leemlagen

**Boring: HB-75.030+85B**

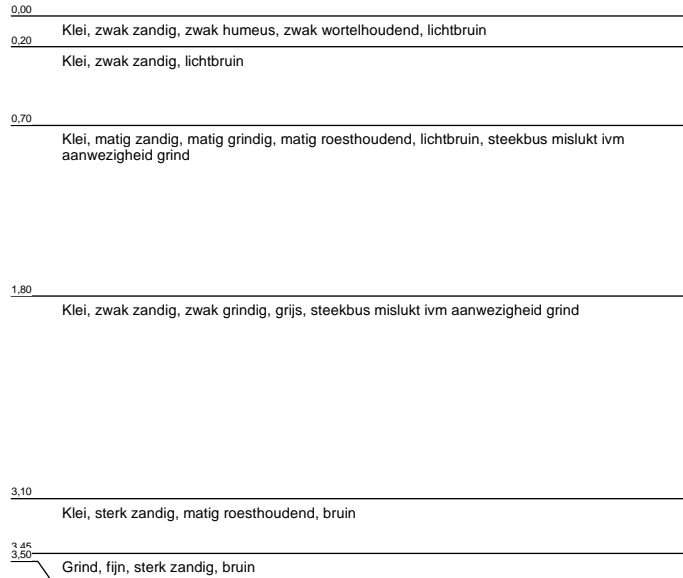
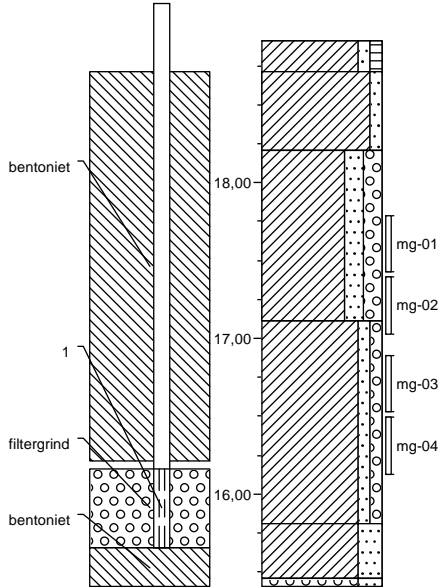
Uitvoering op: 18-11-2014  
 Uitvoering door: HSS  
 Uitgevoerd nabij: Zie situatietekening

**Boring volgens NEN 5119**

Maaiveldhoogte: 18,91m t.o.v. N.A.P.  
 Grondwaterstand: cm - maaiveld

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat: 196287,57 m (in RD)  
 y-coördinaat: 360051,55 m (in RD)



**Boring: HB-75.030+85D**

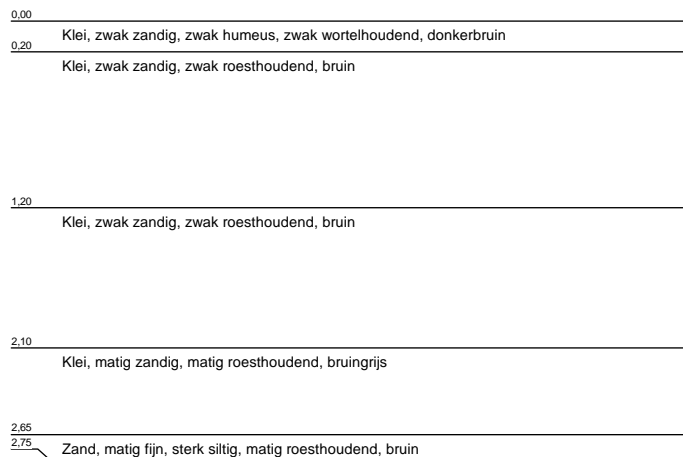
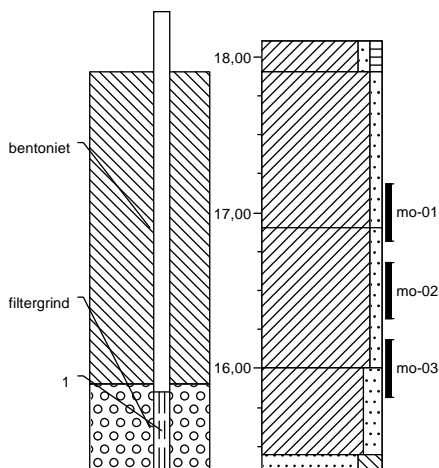
Uitvoering op: 18-11-2014  
 Uitvoering door: HSS  
 Uitgevoerd nabij: Zie situatietekening

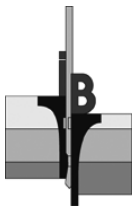
**Boring volgens NEN 5119**

Maaiveldhoogte: 18,1 m t.o.v. N.A.P.  
 Grondwaterstand: cm - maaiveld

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat: 196271,66 m (in RD)  
 y-coördinaat: 360059,67 m (in RD)





Opdracht: 02P005360  
 Project: POV piping grind- en leemlagen

**Boring: HB-79.037+50B**

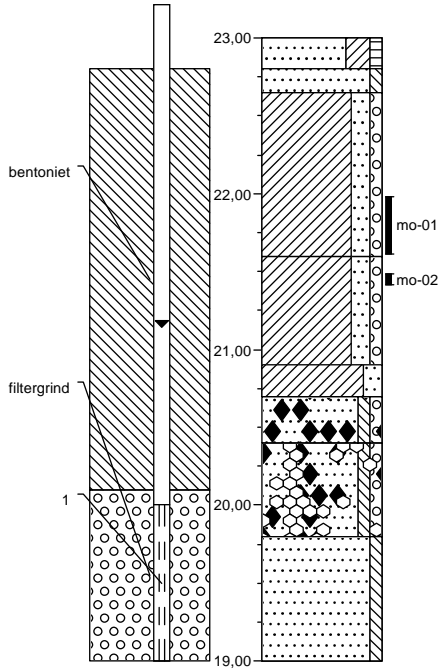
Uitvoering op: 20-11-2014  
 Uitvoering door: HSS  
 Uitgevoerd nabij: Zie situatietekening

**Boring volgens NEN 5119**

Maaiveldhoogte: 23 m t.o.v. N.A.P.  
 Grondwaterstand: cm - maaiveld

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat: 186997 m (in RD)  
 y-coördinaat: 351957,5 m (in RD)



0.00	Zand, matig fijn, kleiig, zwak humeus, zwak wortelhoudend, donker zwartbruin
0.20	Zand, matig grof, zwak siltig, grijs
0.35	Klei, matig zandig, zwak grindig, matig roesthoudend, bruin
1.40	Klei, matig zandig, zwak grindig, zwak roesthoudend, bruin
2.10	Klei, matig zandig, matig roesthoudend, bruingrijs
2.30	Zand, matig grof, zwak siltig, zwak grindig, zwak houthoudend, grijs
2.60	Zand, matig grof, zwak siltig, zwak grindig, zwak houthoudend, zwak steenhoudend, grijs
3.20	Zand, matig grof, zwak siltig, brokken klei, grijs
4.00	

**Boring: HB-79.037+50D**

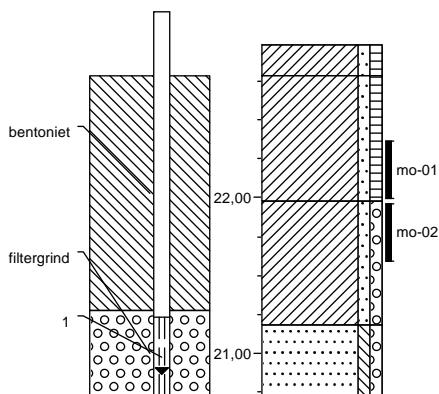
Uitvoering op: 20-11-2014  
 Uitvoering door: HSS  
 Uitgevoerd nabij: Zie situatietekening

**Boring volgens NEN 5119**

Maaiveldhoogte: 22,98m t.o.v. N.A.P.  
 Grondwaterstand: cm - maaiveld

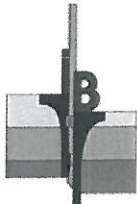
**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat: 186994 m (in RD)  
 y-coördinaat: 351970,6 m (in RD)



0.00	Klei, zwak zandig, zwak humeus, zwak wortelhoudend, donkerbruin
0.20	Klei, zwak zandig, zwak humeus, zwak roesthoudend, bruin
1.00	Klei, zwak zandig, zwak grindig, zwak roesthoudend, lichtbruin
1.80	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak grindig, grijs
2.25	





Opdracht : 02P005360  
Document : 02P005360-LO2016-mjn  
Project : POV piping grind- en leemlagen

---

## Certificaat geotechnisch laboratoriumonderzoek

Opdrachtgever : Waterschap Peel en Maasvallei  
Projectleider : F. van Heerebeek  
Datum ontvangst : April 2016  
Aantal bladen : 1  
Aantal bijlagen : 76

### Uitgevoerde werkzaamheden:

Uitgevoerde werkzaamheden:		Certificaat bijlage:
15x Volumegewicht incl. watergehalte	NEN-5110 en NEN-5112	Resultatenoverzicht
15x Korrelverdeling 3x 63mu – 2mm 12x 2 mu – 2mm	RAW2015	15x KVD-grafieken 15xKVB-Driehoeken
15x Triaxiaalproef CU ééntraps	NEN-5117	15x3 Bladzijden
15x Bepaling Atterbergse grenzen	RAW2015	Resultatenoverzicht

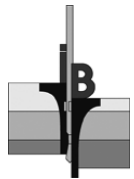
De in deze rapportage vermelde resultaten zijn alleen van toepassing op de onderzochte monsters, tenzij anders is vermeld. Certificaat met bijlagen vormen een onlosmakelijk deel van de gehele rapportage betreffende het in hoofde genoemde project.

Onderzoekslider : M.G. Jansen  
Hoofd laboratorium : Ing. H.M. Geurtjens  
Status : Definitief  
Codering : LO

Datum rapport : 6 juni 2016

Paraaf :

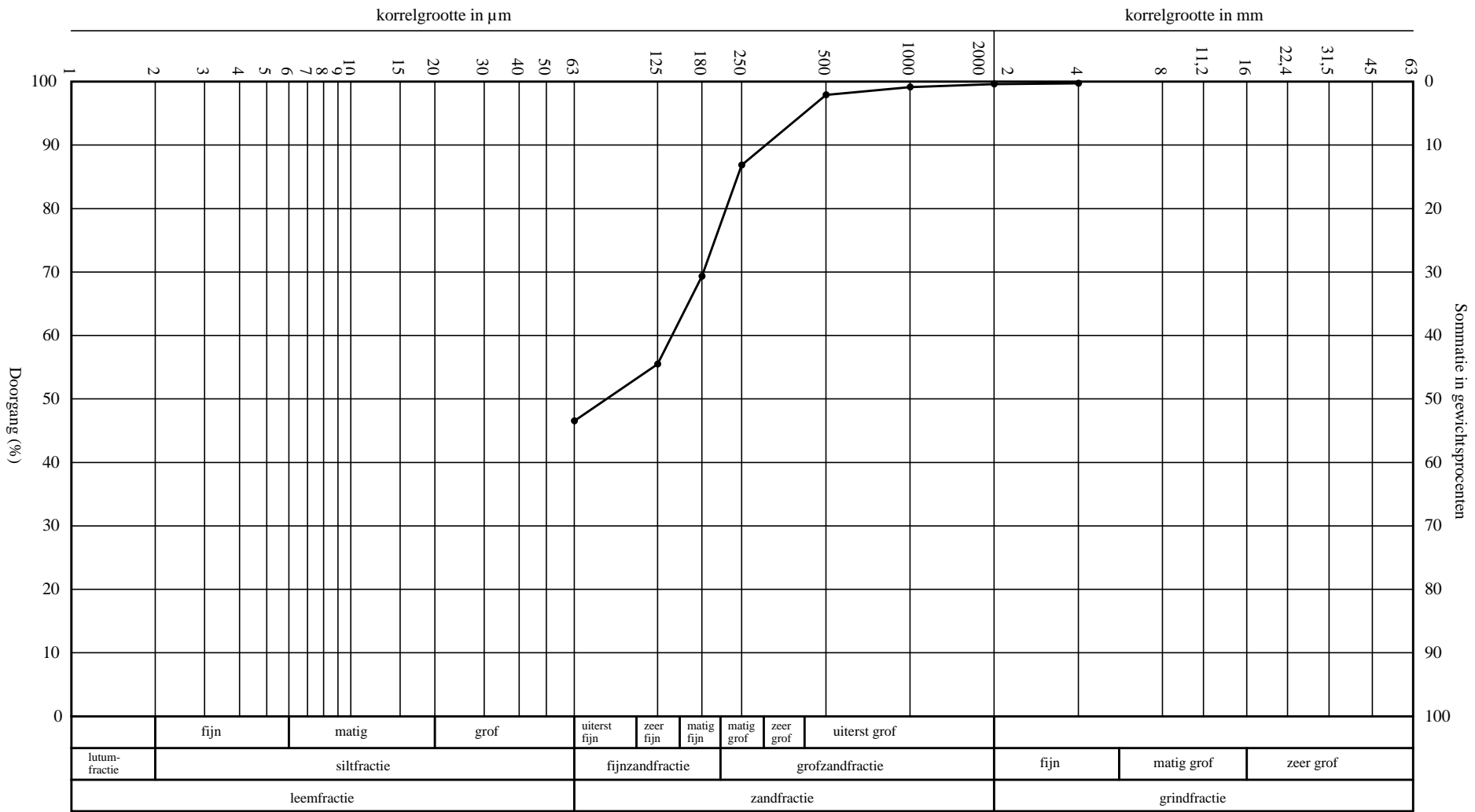
Paraaf :



02P005360

POV piping grind- en leemlagen

boring	monster	van	tot	van	tot	63µm - 2mm	2µm - 2mm	Triaxiaal proef	W <sub>i</sub>	W <sub>r</sub>	I <sub>p</sub>	γ <sub>nat</sub>	γ <sub>droog</sub>	W	σ <sub>v</sub> <sup>i</sup>	Klassificatie	Opmerking
[-]	[-]	[cm - mv]		[m tov NAP]		[-]	[-]	[-]	[m%]	[m%]	[m%]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[m%]	[kPa]	[NEN-5104]	
HB-60.062+50B	mo-01	140	180	12,29	11,89	KVD-01									15	Zand, matig fijn, uiterst siltig	T01. bezweken, verplaatst naar HB-60.062+50D_mo-03
HB-60.062+50B	mo-02	180	220	11,89	11,49			T02	14,5	12,4	2,1	20,8	17,4	19,5	19	Leem, sterk zandig, zwak roesthoudend	T02
HB-60.062+50D	mo-01	75	125	13,31	12,81			KVD-02	14,1	10,4	3,7	20,5	17,6	16,5	10	Zand, matig grof, sterk siltig	T03
HB-60.062+50D	mo-02	130	170	12,76	12,36			KVD-03	14,8	11,5	3,3	19,9	16,7	19,2	12,5	Klei, matig zandig	T04
HB-60.062+50D	mo-03	180	220	12,26	11,86			KVD-04	14,2	10,1	4,1	20,7	17,4	19,0	19	Zand, matig grof, sterk siltig	vervanger voor HB-60.062+50B_mo-01
HB-75.030+50B	mo-01	90	130	17,91	17,51										9	Klei, sterk zandig	monster ongeschikt voor triax, gescheurd in steekbus
HB-75.030+50B	mo-02	140	180	17,41	17,01										13	Klei, sterk zandig	monster ongeschikt voor triax, gescheurd in steekbus
HB-75.030+50B	mo-03	190	230	16,91	16,51										16	Klei, sterk zandig	ongeschikt, gescheurd in steekbus, verplaatst naar mo-04
HB-75.030+50B	mo-04	240	280	16,41	16,01			KVD-05	27,5	11,6	15,9	19,6	15,5	26,5	21	Klei, uiterst siltig	vervanger voor monster mo-03
HB-75.030+50D	mo-01	80	120	17,50	17,10			KVD-06	31,2	21,1	10,1	19,3	15,8	22,2	8	Klei, sterk siltig	
HB-75.030+50D	mo-02	140	180	16,90	16,50			KVD-07	30,4	18,6	11,8	19,4	15,4	26,0	13	Klei, sterk siltig	
HB-75.030+50D	mo-03	190	230	16,40	16,00			KVD-08	16,6	13,9	2,7	20,5	17,4	17,8	17	Klei, sterk zandig	
HB-75.030+85B	mo-01	110	150	17,81	17,41										11	Klei, sterk zandig	monster ongeschikt, gescheurd in steekbus
HB-75.030+85B	mo-02	150	190	17,41	17,01			KVD-09	32,4	25,3	7,1	18,8	16,6	13,3	14	Klei, sterk siltig	
HB-75.030+85B	mo-03	200	240	16,91	16,51			KVD-10	Non Cohesief			19,5	15,7	24,2	17,5	Zand, matig fijn, matig siltig	
HB-75.030+85B	mo-04	240	280	16,51	16,11	KVD-11									21	Zand, matig grof, zwak siltig	ongeschikt. Is zand.
HB-75.030+85D	mo-01	90	130	17,20	16,80			T11	38,9	23,2	15,7	19,7	15,4	27,9	9	Klei, sterk siltig, zwak humeus	
HB-75.030+85D	mo-02	140	180	16,70	16,30			KVD-12	32,5	18,7	13,8	19,7	15,7	25,5	13	Leem, zwak zandig	
HB-75.030+85D	mo-03	190	230	16,20	15,80			KVD-13	34,6	19,6	15	19,5	15,5	25,8	17	Klei, sterk siltig	
HB-79.037+50B	mo-01	100	140	22,00	21,60	KVD-14										Zand, matig grof, zwak siltig	ongeschikt. Is zand.
HB-79.037+50B	mo-02	150	160	21,50	21,40										13	Zand, matig grof, zwak siltig	ongeschikt is zand.
HB-79.037+50D	mo-01	60	100	22,38	21,98			KVD-15	28,3	14,6	13,7	20,3	16,9	20,1	6,5	Klei, uiterst siltig, zwak grindig	
HB-79.037+50D	mo-02	100	140	21,98	21,58			T16	19,4	14,9	4,5	19,9	17,0	17,1	10	Klei, zwak zandig, zwak humeus, matig grindig, zwak puin/en planthoudend	



Monstergegevens		Gelijkmatigheidscoëfficiënt zandfractie (NEN5104)	
Boring	: HB-60.062+50B	D <sub>60</sub>	: 216 µm
Monster	: mo-01	D <sub>90</sub>	: 419 µm
Diepte	: 1,40 - 1,80 m - mv	D <sub>10</sub>	: 100 µm
Klassificatie	: Matig fijn uiterst siltig zand		D <sub>70</sub>
NEN5104			: 237 µm
			D <sub>50</sub>
		D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	: 2,2 (spreiding: matig klein)
		Zandmediaan	Mediaan
Methode	: nat gezeefd	M <sub>Z</sub>	: 195 µm
		M <sub>50</sub>	: 87 µm

INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau  
 151118  
 datum: 4-6-2016  
 uiv.: MIN  
 KVD\_HB-60,062+50B\_mo-01  
 acc.:  
 opdracht: 02P005360-02

POV piping grind- en leemlagen  
 korrelverdeling volgens  
 ETC5-C4.97

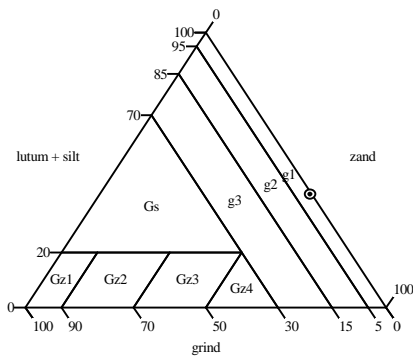
### Opdrachtgegevens:

Opdracht : 02P005360-02  
Boring : HB-60.062+50B  
Monster : mo-01  
Diepte : 1,40 - 1,80 m - mv

### Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:

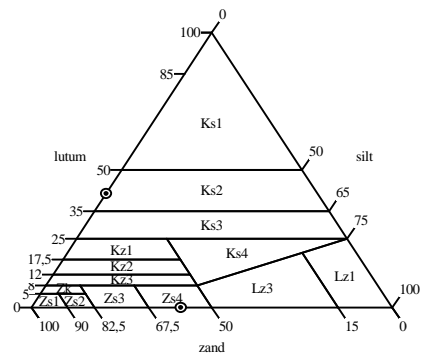
Min. delen < 4,0 mm : 99,71  
Min. delen < 2,0 mm : 99,62  
Min. delen < 1,0 mm : 99,14  
Min. delen < 0,5 mm : 97,90  
Min. delen < 250 µm : 86,85  
Min. delen < 180 µm : 69,31  
Min. delen < 125 µm : 55,49  
Min. delen < 63 µm : 46,54

### Omschrijvingen volgens driehoeken:



(NEN 5104)

Toevoeging : geen grind



(NEN 5104)

uiterst siltig zand (Zs4)  
matig siltige klei (Ks2)

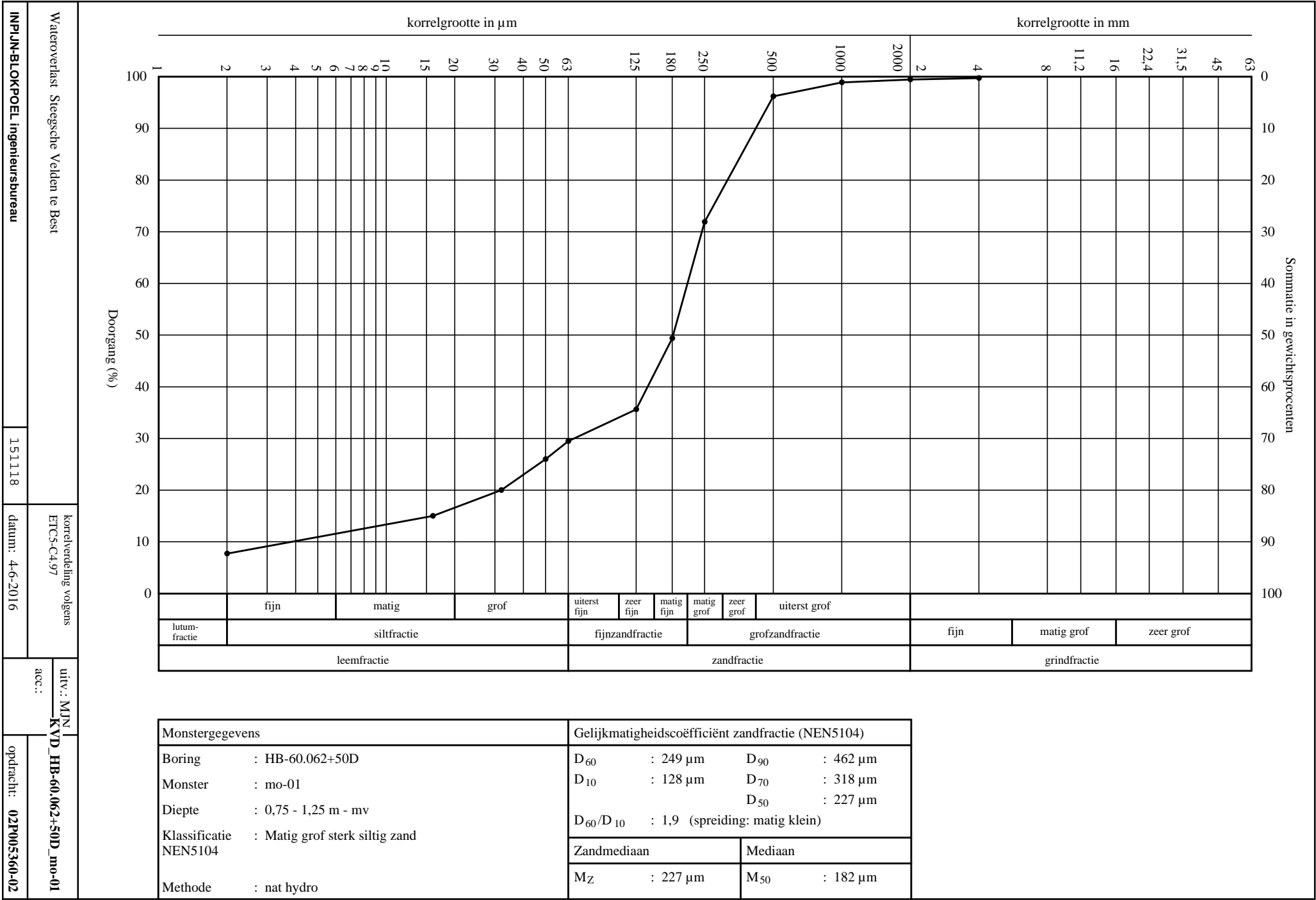
De lutumfractie is niet bepaald.

De eerste omschrijving gaat uit van 0% lutumfractie,  
de tweede van 0% siltfractie.

### Fractieverdeling in % van de vaste stof:

Lutumfractie : 9,0  
Siltfractie : 37,5  
Zandfractie : 53,1  
Grindfractie : 0,4  
Organische stof : 0,0

POV piping grind- en leemlagen	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD01 datum: 4-6-2016	uitv.: MJN	KVB_HB-60.062+50B_mo-01
			acc.:	



<b>Monstergegevens</b>		<b>Gelijkmatigheidscoëfficiënt zandfractie (NEN5104)</b>			
Boring	: HB-60.062+50D	D <sub>60</sub>	: 249 $\mu\text{m}$	D <sub>90</sub>	: 462 $\mu\text{m}$
Monster	: mo-01	D <sub>10</sub>	: 128 $\mu\text{m}$	D <sub>70</sub>	: 318 $\mu\text{m}$
Diepte	: 0,75 - 1,25 m - mv			D <sub>50</sub>	: 227 $\mu\text{m}$
Klassificatie	: Matig grof sterk siltig zand	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	: 1,9 (spreiding: matig klein)		
NEN5104		Zandmediaan		Mediaan	
Methode	: nat hydro	M <sub>Z</sub>	: 227 $\mu\text{m}$	M <sub>50</sub>	: 182 $\mu\text{m}$

INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau

Wateroverlast Steegsche Velden te Best

151118

datum: 4-6-2016

korrelverdeling volgens ETC5-C4.97

acc: uiv.: MIN

KVD\_HB-60.062+50D\_mo-01

opdracht: 02P005360-02

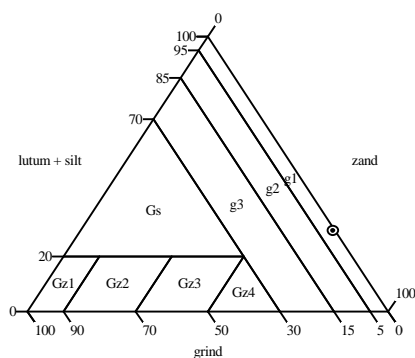
### Opdrachtgegevens:

Opdracht : 02P005360-02  
Boring : HB-60.062+50D  
Monster : mo-01  
Diepte : 0,75 - 1,25 m - mv

### Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:

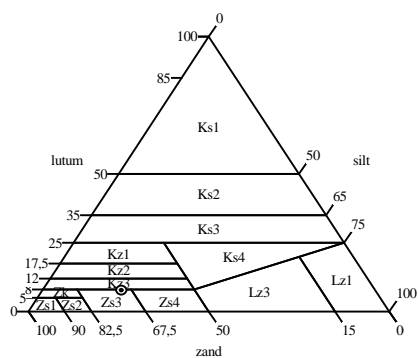
Min. delen < 4,0 mm : 99,73  
Min. delen < 2,0 mm : 99,45  
Min. delen < 1,0 mm : 98,91  
Min. delen < 0,5 mm : 96,18  
Min. delen < 250 µm : 71,90  
Min. delen < 180 µm : 49,39  
Min. delen < 125 µm : 35,62  
Min. delen < 63 µm : 29,48  
Min. delen < 50 µm : 26,00  
Min. delen < 32 µm : 20,00  
Min. delen < 16 µm : 15,00  
Min. delen < 2 µm : 7,70

### Omschrijvingen volgens driehoeken:



(NEN 5104)

Toevoeging : geen grind



(NEN 5104)

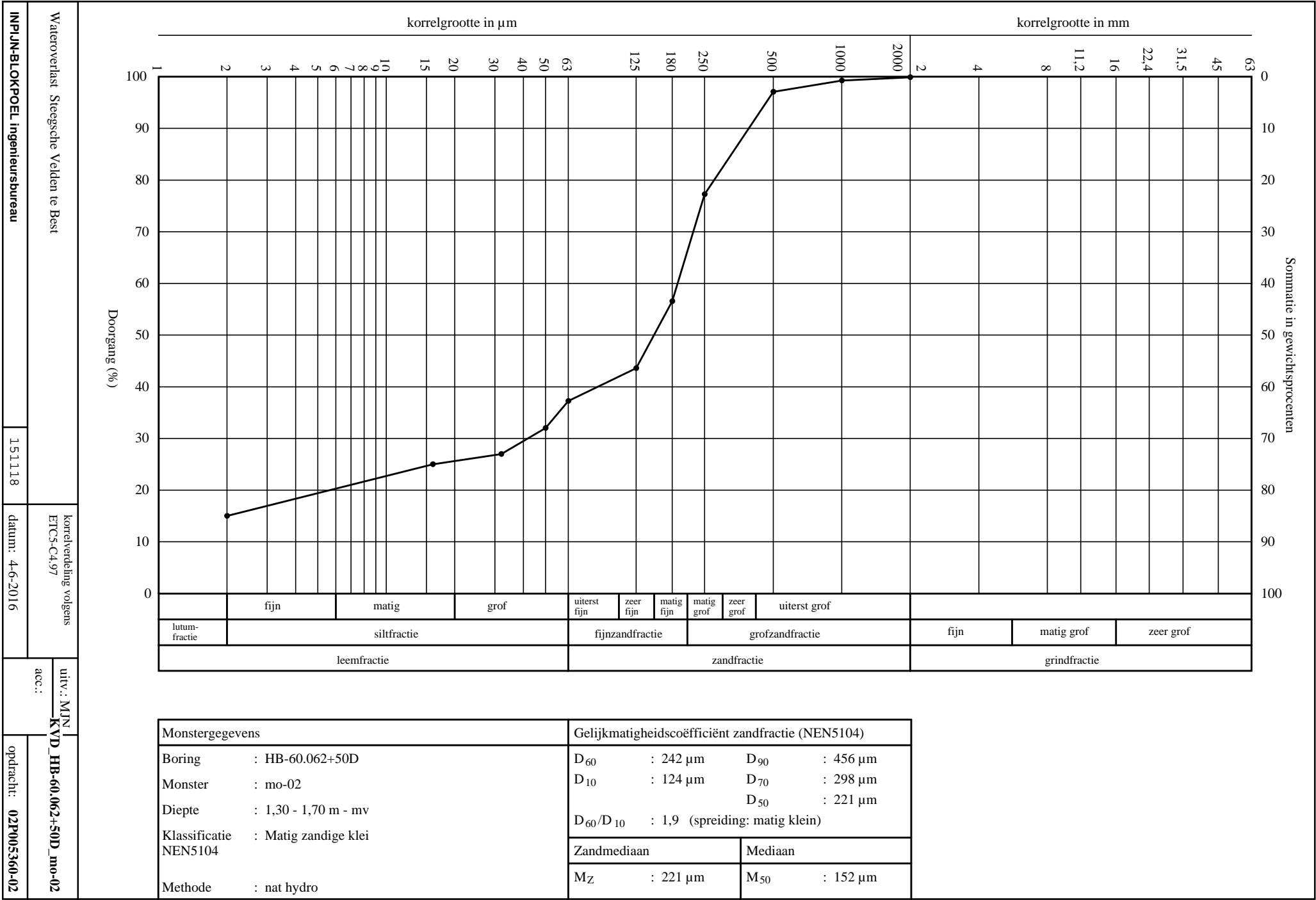
sterk siltig zand (Zs3)

### Fractieverdeling in % van de vaste stof:

Lutumfractie : 7,7  
Siltfractie : 21,8  
Zandfractie : 70,0  
Grindfractie : 0,5  
Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD02 datum: 4-6-2016	uitv.: MJN	KVB_HB-60.062+50D_mo-01
			acc.:	
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau			opdracht: 02P005360-02	





<b>Monstergegevens</b>		<b>Gelijkmatigheidscoëfficiënt zandfractie (NEN5104)</b>			
Boring	: HB-60.062+50D	D <sub>60</sub>	: 242 $\mu\text{m}$	D <sub>90</sub>	: 456 $\mu\text{m}$
Monster	: mo-02	D <sub>10</sub>	: 124 $\mu\text{m}$	D <sub>70</sub>	: 298 $\mu\text{m}$
Diepte	: 1,30 - 1,70 m - mv			D <sub>50</sub>	: 221 $\mu\text{m}$
Klassificatie	: Matig zandige klei	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	: 1,9 (spreiding: matig klein)		
NEN5104		Zandmediaan		Mediaan	
Methode	: nat hydro	M <sub>Z</sub>	: 221 $\mu\text{m}$	M <sub>50</sub>	: 152 $\mu\text{m}$

INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau

151118

datum: 4-6-2016

Wateroverlast Steegsche Velden te Best

korrelverdeling volgens ETC5-C4.97

uiv.: MIN

acc.:

KVD\_HB-60.062+50D\_mo-02

opdracht: 02P005360-02

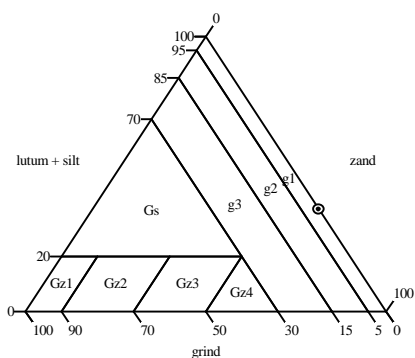
### Opdrachtgegevens:

Opdracht : 02P005360-02  
Boring : HB-60.062+50D  
Monster : mo-02  
Diepte : 1,30 - 1,70 m - mv

### Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:

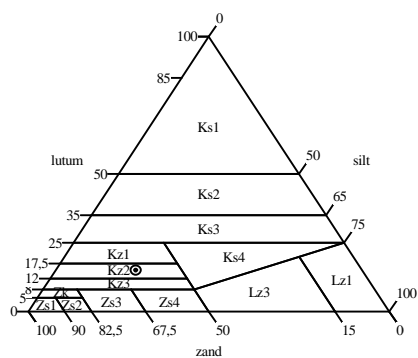
Min. delen < 2,0 mm : 99,87  
Min. delen < 1,0 mm : 99,24  
Min. delen < 0,5 mm : 97,08  
Min. delen < 250 µm : 77,26  
Min. delen < 180 µm : 56,54  
Min. delen < 125 µm : 43,58  
Min. delen < 63 µm : 37,23  
Min. delen < 50 µm : 32,00  
Min. delen < 32 µm : 27,00  
Min. delen < 16 µm : 25,00  
Min. delen < 2 µm : 15,00

### Omschrijvingen volgens driehoeken:



(NEN 5104)

Toevoeging : geen grind



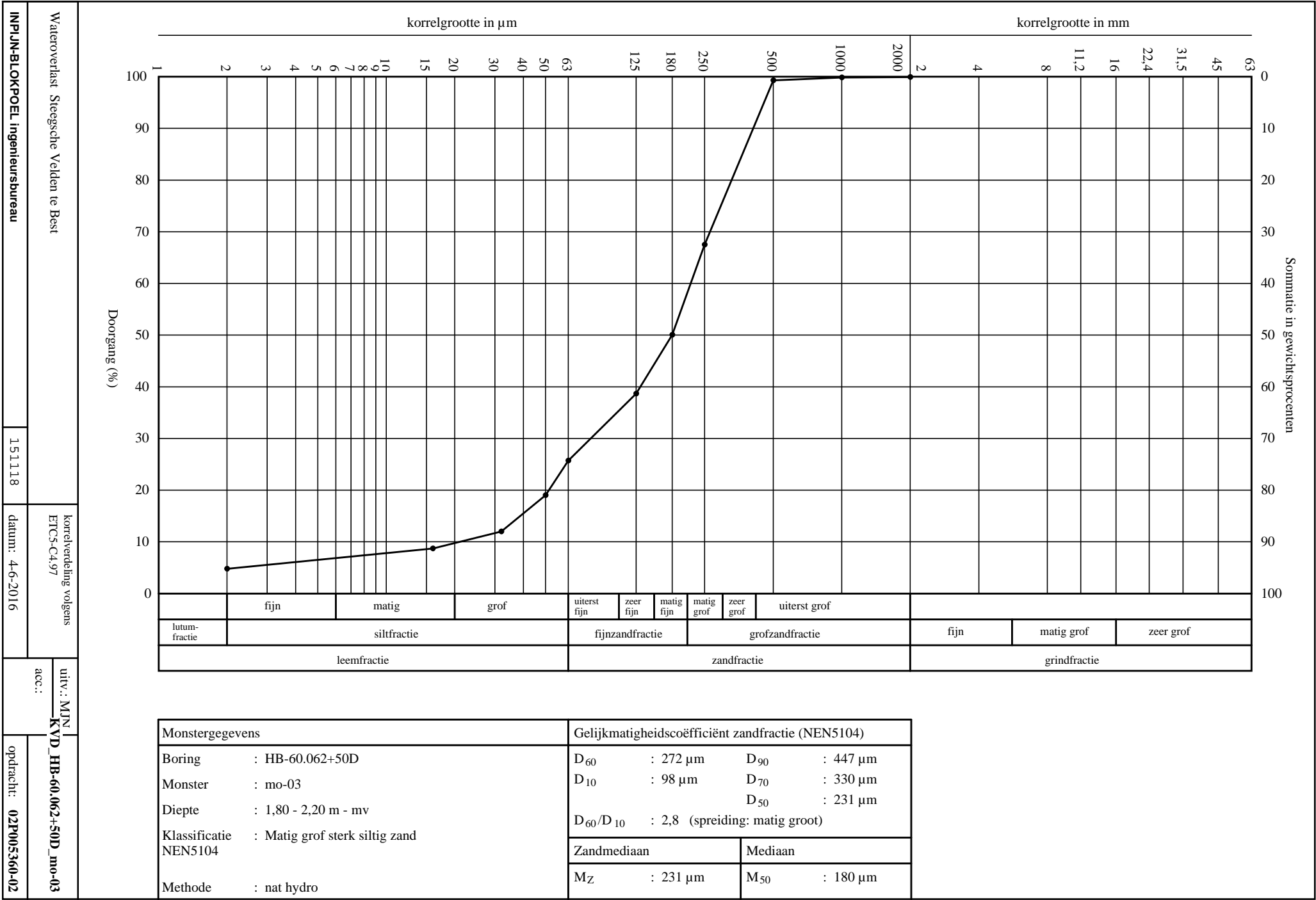
(NEN 5104)

matig zandige klei (Kz2)

### Fractieverdeling in % van de vaste stof:

Lutumfractie : 15,0  
Siltfractie : 22,2  
Zandfractie : 62,6  
Grindfractie : 0,1  
Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD03 datum: 4-6-2016	uitv.: MJN	KVB_HB-60.062+50D_mo-02
			acc.:	
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau				opdracht: 02P005360-02



<b>Monstergegevens</b>	<b>Gelijkmatigheidscoëfficiënt zandfractie (NEN5104)</b>	
Boring : HB-60.062+50D	D <sub>60</sub> : 272 $\mu\text{m}$	D <sub>90</sub> : 447 $\mu\text{m}$
Monster : mo-03	D <sub>10</sub> : 98 $\mu\text{m}$	D <sub>70</sub> : 330 $\mu\text{m}$
Diepte : 1,80 - 2,20 m - mv		D <sub>50</sub> : 231 $\mu\text{m}$
Klassificatie : Matig grof sterk siltig zand	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> : 2,8 (spreiding: matig groot)	
NEN5104	Zandmediaan	Mediaan
Methode : nat hydro	M <sub>Z</sub> : 231 $\mu\text{m}$	M <sub>50</sub> : 180 $\mu\text{m}$

**INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau**  
 Wateroverlast Steegsche Velden te Best  
 151118  
 datum: 4-6-2016  
 correctie: acc:  
 uiv.: MIN  
 KVD\_HB-60.062+50D\_mo-03  
 opdracht: 02P005360-02

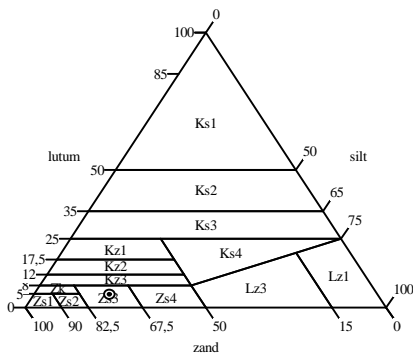
korrelverdeling volgens ETC5-C4.97  
 Door gang (%)  
 Sommatie in gewichtsprocenten

**Opdrachtgegevens:**

Opdracht : 02P005360-02  
 Boring : HB-60.062+50D  
 Monster : mo-03  
 Diepte : 1,80 - 2,20 m - mv

**Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:**

Min. delen < 2,0 mm : 99,92  
 Min. delen < 1,0 mm : 99,85  
 Min. delen < 0,5 mm : 99,31  
 Min. delen < 250 µm : 67,49  
 Min. delen < 180 µm : 50,04  
 Min. delen < 125 µm : 38,69  
 Min. delen < 63 µm : 25,71  
 Min. delen < 50 µm : 19,00  
 Min. delen < 32 µm : 12,00  
 Min. delen < 16 µm : 8,70  
 Min. delen < 2 µm : 4,80

**Omschrijvingen volgens driehoeken:**

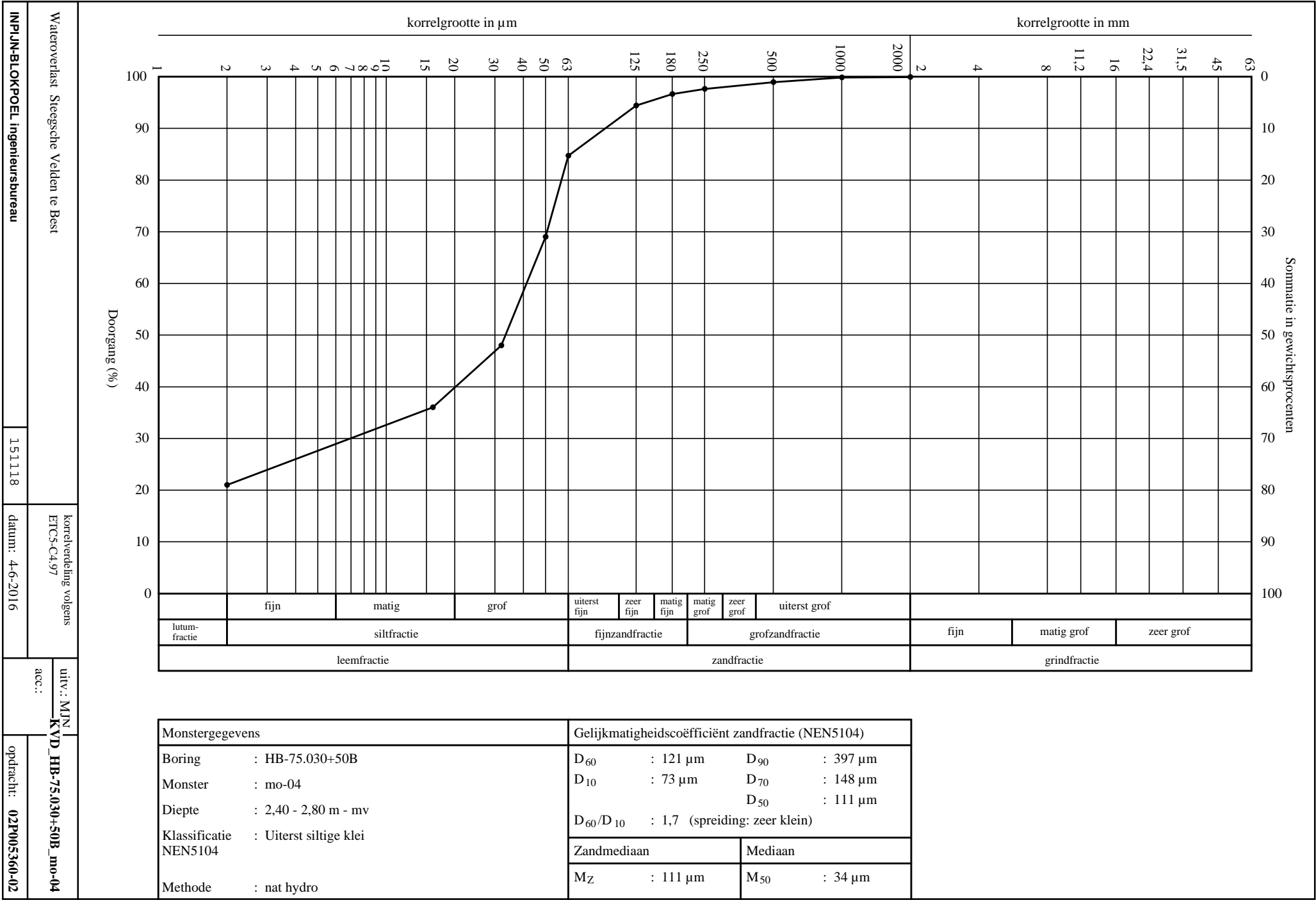
(NEN 5104)

sterk siltig zand (Zs3)

**Fractieverdeling in % van de vaste stof:**

Lutumfractie : 4,8  
 Siltfractie : 20,9  
 Zandfractie : 74,2  
 Grindfractie : 0,0  
 Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD04 datum: 4-6-2016	uitv.: MJN	KVB_HB-60.062+50D_mo-03
			acc.:	
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau				opdracht: 02P005360-02



<b>Monstergegevens</b>		<b>Gelijkmatigheidscoëfficiënt zandfractie (NEN5104)</b>			
Boring	: HB-75.030+50B	D <sub>60</sub>	: 121 µm	D <sub>90</sub>	: 397 µm
Monster	: mo-04	D <sub>10</sub>	: 73 µm	D <sub>70</sub>	: 148 µm
Diepte	: 2,40 - 2,80 m - mv			D <sub>50</sub>	: 111 µm
Klassificatie	: Uiterst siltige klei	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	: 1,7 (spreiding: zeer klein)		
NEN5104		Zandmediaan		Mediaan	
Methode	: nat hydro	M <sub>Z</sub>	: 111 µm	M <sub>50</sub>	: 34 µm

Wateroverlast Steegsche Velden te Best

INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau

151118

datum: 4-6-2016

korrelverdeling volgens ETC5-C4.97

uitv.: M.J.N. K.V.D. HB-75.030+50B\_mo-04

acc.:

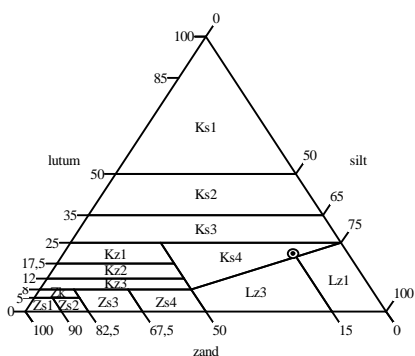
opdracht: 02P005360-02

**Opdrachtgegevens:**

Opdracht : 02P005360-02  
 Boring : HB-75.030+50B  
 Monster : mo-04  
 Diepte : 2,40 - 2,80 m - mv

**Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:**

Min. delen < 2,0 mm : 99,91  
 Min. delen < 1,0 mm : 99,82  
 Min. delen < 0,5 mm : 98,94  
 Min. delen < 250 µm : 97,61  
 Min. delen < 180 µm : 96,64  
 Min. delen < 125 µm : 94,42  
 Min. delen < 63 µm : 84,69  
 Min. delen < 50 µm : 69,00  
 Min. delen < 32 µm : 48,00  
 Min. delen < 16 µm : 36,00  
 Min. delen < 2 µm : 21,00

**Omschrijvingen volgens driehoeken:**

(NEN 5104)

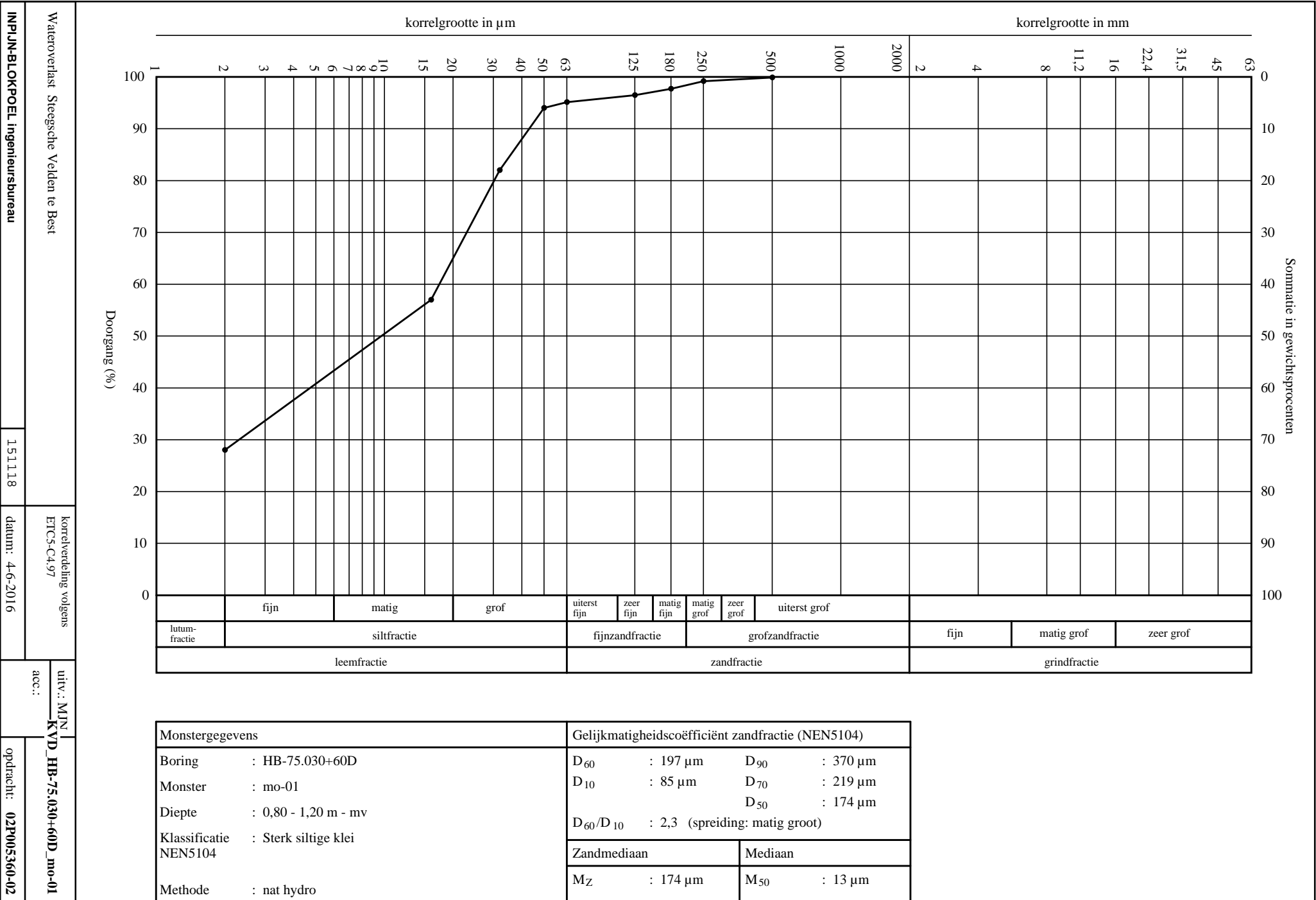
uiterst siltige klei (Ks4)

**Fractieverdeling in % van de vaste stof:**

Lutumfractie : 21,0  
 Siltfractie : 63,7  
 Zandfractie : 15,2  
 Grindfractie : 0,0  
 Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD05	uitv.: MJN	KVB_HB-75.030+50B_mo-04
		acc.:		
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau		datum: 4-6-2016		opdracht: 02P005360-02





<b>Monstergegevens</b>		<b>Gelijkmatigheidscoëfficiënt zandfractie (NEN5104)</b>			
Boring	: HB-75.030+60D	D <sub>60</sub>	: 197 µm	D <sub>90</sub>	: 370 µm
Monster	: mo-01	D <sub>10</sub>	: 85 µm	D <sub>70</sub>	: 219 µm
Diepte	: 0,80 - 1,20 m - mv			D <sub>50</sub>	: 174 µm
Klassificatie	: Sterk siltige klei	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	: 2,3 (spreiding: matig groot)		
NEN5104		Zandmediaan		Mediaan	
Methode	: nat hydro	M <sub>Z</sub>	: 174 µm	M <sub>50</sub>	: 13 µm

Wateroverlast Steegsche Velden te Best

INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau

151118

datum: 4-6-2016

korrelverdeling volgens ETC5-C4.97

uitv.: MIN

acc.:

KVD\_HB-75.030+60D\_mo-01

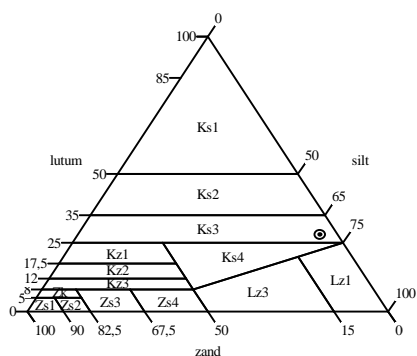
opdracht: 02P005360-02

**Opdrachtgegevens:**

Opdracht : 02P005360-02  
 Boring : HB-75.030+60D  
 Monster : mo-01  
 Diepte : 0,80 - 1,20 m - mv

**Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:**

Min. delen < 0,5 mm : 99,86  
 Min. delen < 250 µm : 99,19  
 Min. delen < 180 µm : 97,69  
 Min. delen < 125 µm : 96,47  
 Min. delen < 63 µm : 95,11  
 Min. delen < 50 µm : 94,00  
 Min. delen < 32 µm : 82,00  
 Min. delen < 16 µm : 57,00  
 Min. delen < 2 µm : 28,00

**Omschrijvingen volgens driehoeken:**

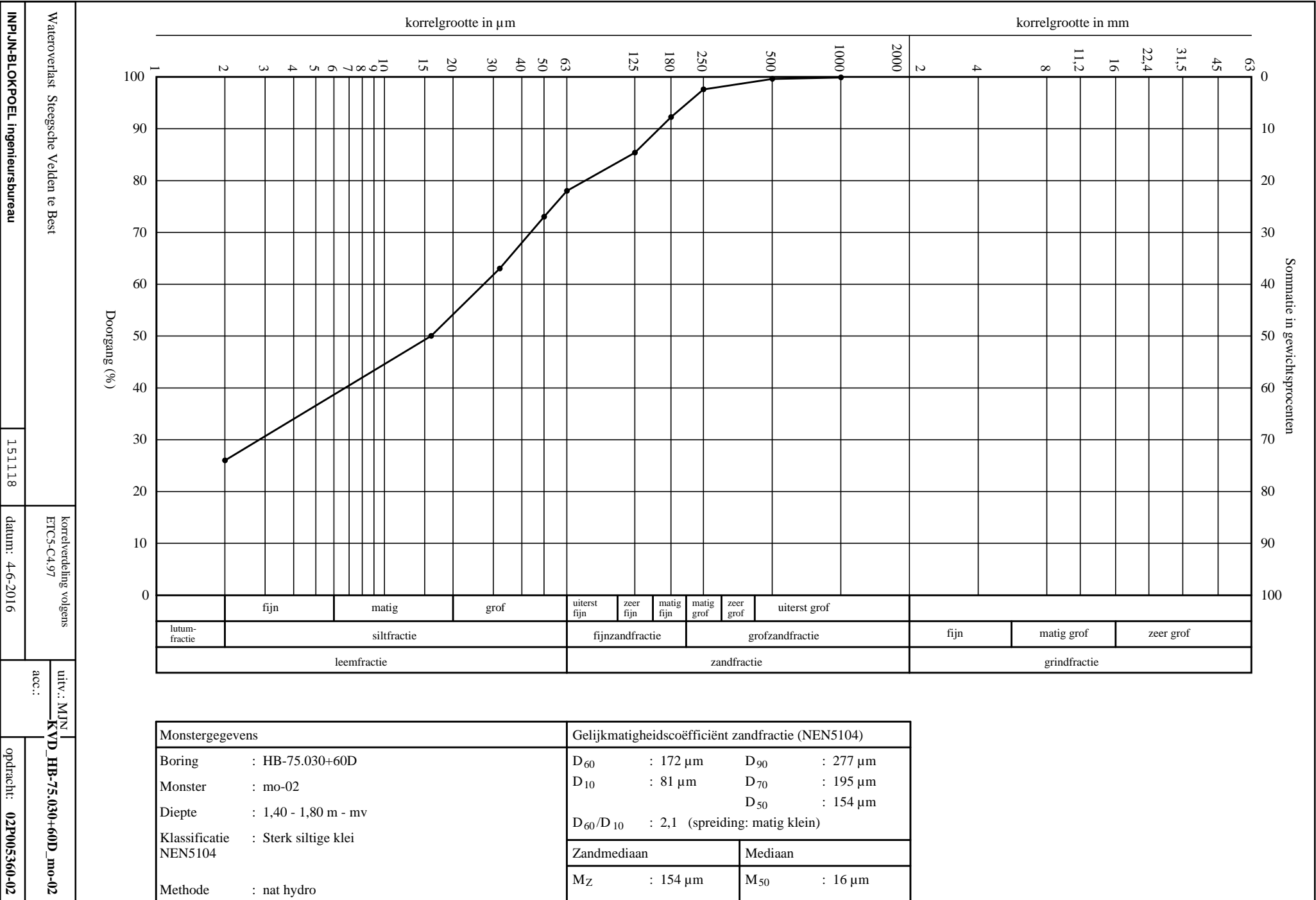
(NEN 5104)

sterk siltige klei (Ks3)

**Fractieverdeling in % van de vaste stof:**

Lutumfractie : 28,0  
 Siltfractie : 67,1  
 Zandfractie : 4,9  
 Grindfractie : 0,0  
 Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD06 datum: 4-6-2016	uitv.: MJN	KVB_HB-75.030+60D_mo-01
			acc.:	
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau				opdracht: 02P005360-02



<b>Monstergegevens</b>		<b>Gelijkmatigheidscoëfficiënt zandfractie (NEN5104)</b>			
Boring	: HB-75.030+60D	D <sub>60</sub>	: 172 $\mu\text{m}$	D <sub>90</sub>	: 277 $\mu\text{m}$
Monster	: mo-02	D <sub>10</sub>	: 81 $\mu\text{m}$	D <sub>70</sub>	: 195 $\mu\text{m}$
Diepte	: 1,40 - 1,80 m - mv			D <sub>50</sub>	: 154 $\mu\text{m}$
Klassificatie	: Sterk siltige klei	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	: 2,1 (spreiding: matig klein)		
NEN5104		Zandmediaan		Mediaan	
Methode	: nat hydro	M <sub>Z</sub>	: 154 $\mu\text{m}$	M <sub>50</sub>	: 16 $\mu\text{m}$

INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau

151118

datum: 4-6-2016

Wateroverlast Steegsche Velden te Best

korrelverdeling volgens ETC5-C4.97

uitv.: MIN

acc.:

KVD\_HB-75.030+60D\_mo-02

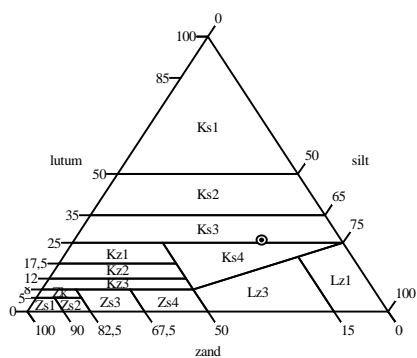
opdracht: 02P005360-02

**Opdrachtgegevens:**

Opdracht : 02P005360-02  
 Boring : HB-75.030+60D  
 Monster : mo-02  
 Diepte : 1,40 - 1,80 m - mv

**Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:**

Min. delen < 1,0 mm : 99,87  
 Min. delen < 0,5 mm : 99,62  
 Min. delen < 250 µm : 97,58  
 Min. delen < 180 µm : 92,24  
 Min. delen < 125 µm : 85,38  
 Min. delen < 63 µm : 78,00  
 Min. delen < 50 µm : 73,00  
 Min. delen < 32 µm : 63,00  
 Min. delen < 16 µm : 50,00  
 Min. delen < 2 µm : 26,00

**Omschrijvingen volgens driehoeken:**

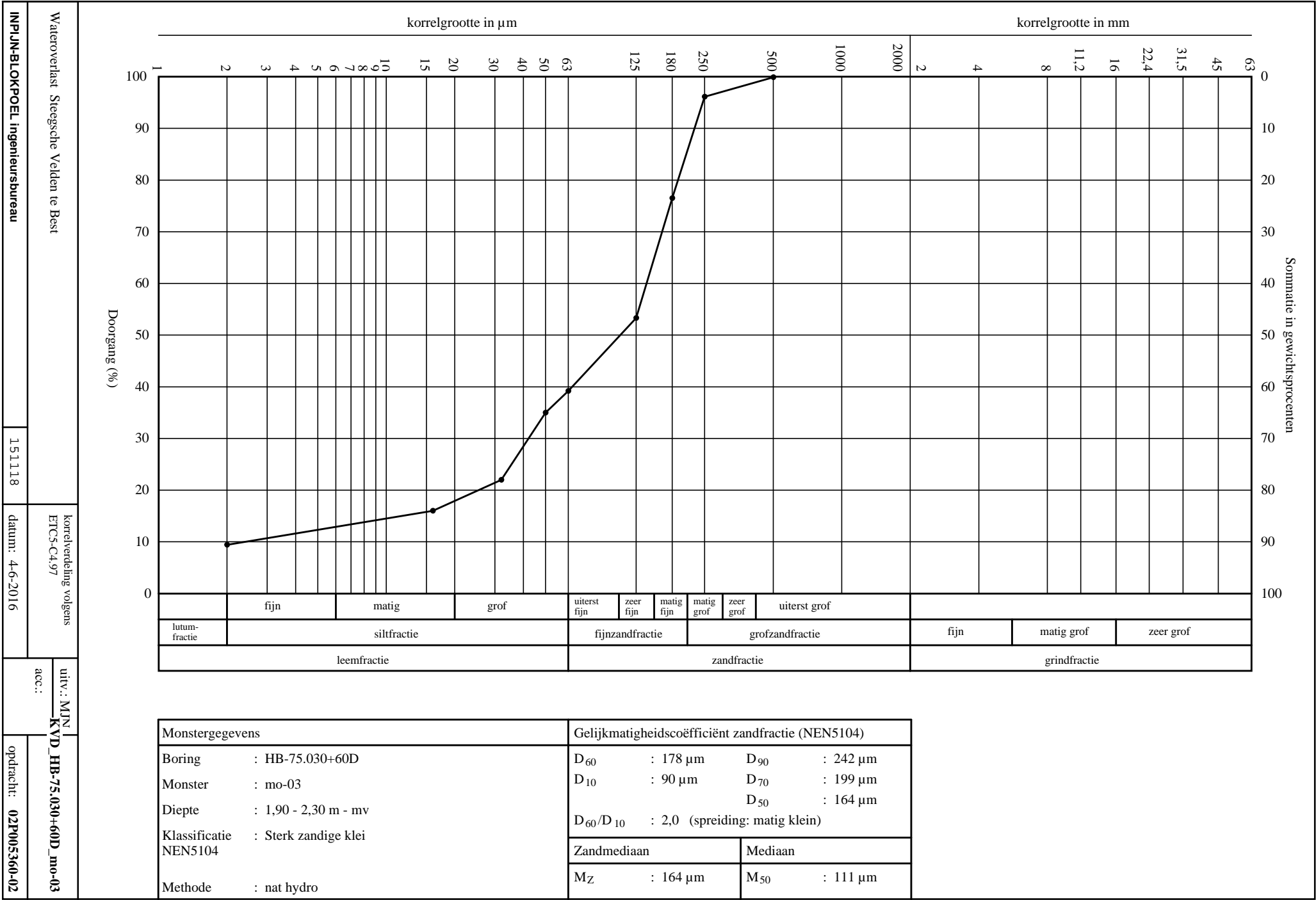
(NEN 5104)

sterk siltige klei (Ks3)

**Fractieverdeling in % van de vaste stof:**

Lutumfractie : 26,0  
 Siltfractie : 52,0  
 Zandfractie : 22,0  
 Grindfractie : 0,0  
 Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD07 datum: 4-6-2016	uitv.: MJN	KVB_HB-75.030+60D_mo-02
			acc.:	
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau			opdracht: 02P005360-02	



<b>Monstergegevens</b>		<b>Gelijkmatigheidscoëfficiënt zandfractie (NEN5104)</b>			
Boring	: HB-75.030+60D	D <sub>60</sub>	: 178 $\mu\text{m}$	D <sub>90</sub>	: 242 $\mu\text{m}$
Monster	: mo-03	D <sub>10</sub>	: 90 $\mu\text{m}$	D <sub>70</sub>	: 199 $\mu\text{m}$
Diepte	: 1,90 - 2,30 m - mv			D <sub>50</sub>	: 164 $\mu\text{m}$
Klassificatie	: Sterk zandige klei	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	: 2,0 (spreiding: matig klein)		
NEN5104		Zandmediaan		Mediaan	
Methode	: nat hydro	M <sub>Z</sub>	: 164 $\mu\text{m}$	M <sub>50</sub>	: 111 $\mu\text{m}$

INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau

Wateroverlast Steegsche Velden te Best

151118

datum: 4-6-2016

korrelverdeling volgens ETC5-C4.97

uitv.: MIN

acc.:

KVD\_HB-75.030+60D\_mo-03

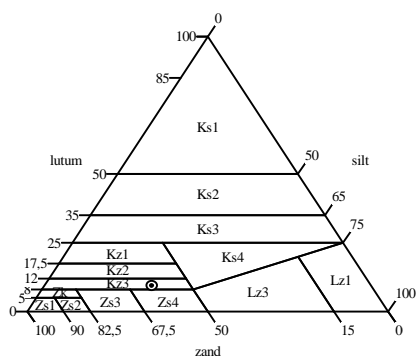
opdracht: 02P005360-02

**Opdrachtgegevens:**

Opdracht : 02P005360-02  
 Boring : HB-75.030+60D  
 Monster : mo-03  
 Diepte : 1,90 - 2,30 m - mv

**Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:**

Min. delen < 0,5 mm : 99,89  
 Min. delen < 250 µm : 96,10  
 Min. delen < 180 µm : 76,48  
 Min. delen < 125 µm : 53,28  
 Min. delen < 63 µm : 39,19  
 Min. delen < 50 µm : 35,00  
 Min. delen < 32 µm : 22,00  
 Min. delen < 16 µm : 16,00  
 Min. delen < 2 µm : 9,40

**Omschrijvingen volgens driehoeken:**

(NEN 5104)

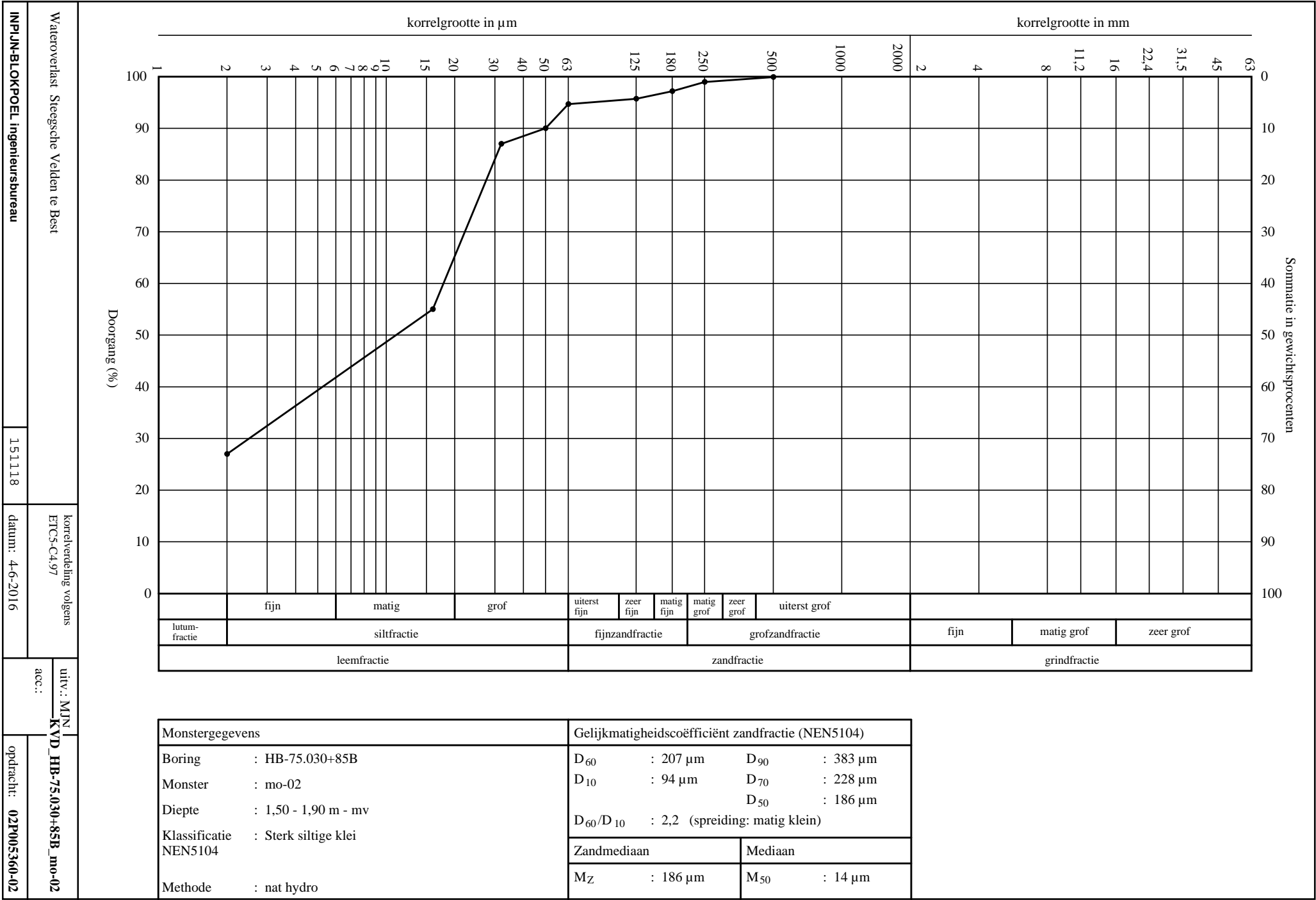
sterk zandige klei (Kz3)

**Fractieverdeling in % van de vaste stof:**

Lutumfractie : 9,4  
 Siltfractie : 29,8  
 Zandfractie : 60,8  
 Grindfractie : 0,0  
 Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD08 datum: 4-6-2016	uitv.: MJN	KVB_HB-75.030+60D_mo-03
			acc.:	
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau				opdracht: 02P005360-02





<b>Monstergegevens</b>		<b>Gelijkmatigheidscoëfficiënt zandfractie (NEN5104)</b>			
Boring	: HB-75.030+85B	D <sub>60</sub>	: 207 µm	D <sub>90</sub>	: 383 µm
Monster	: mo-02	D <sub>10</sub>	: 94 µm	D <sub>70</sub>	: 228 µm
Diepte	: 1,50 - 1,90 m - mv			D <sub>50</sub>	: 186 µm
Klassificatie	: Sterk siltige klei	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	: 2,2 (spreiding: matig klein)		
NEN5104		Zandmediaan		Mediaan	
Methode	: nat hydro	M <sub>Z</sub>	: 186 µm	M <sub>50</sub>	: 14 µm

INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau

Wateroverlast Steegsche Velden te Best

151118

korrelverdeling volgens ETC5-C4.97

datum: 4-6-2016

uiv.: MIN

acc.:

KVD\_HB-75.030+85B\_mo-02

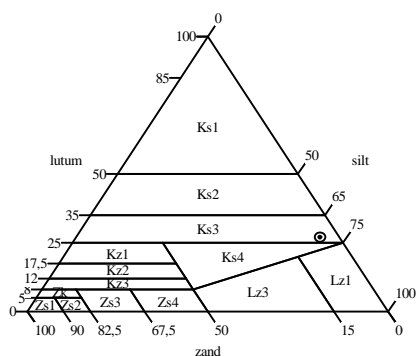
opdracht: 02P005360-02

**Opdrachtgegevens:**

Opdracht : 02P005360-02  
 Boring : HB-75.030+85B  
 Monster : mo-02  
 Diepte : 1,50 - 1,90 m - mv

**Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:**

Min. delen < 0,5 mm : 99,92  
 Min. delen < 250 µm : 98,95  
 Min. delen < 180 µm : 97,17  
 Min. delen < 125 µm : 95,72  
 Min. delen < 63 µm : 94,67  
 Min. delen < 50 µm : 90,00  
 Min. delen < 32 µm : 87,00  
 Min. delen < 16 µm : 55,00  
 Min. delen < 2 µm : 27,00

**Omschrijvingen volgens driehoeken:**

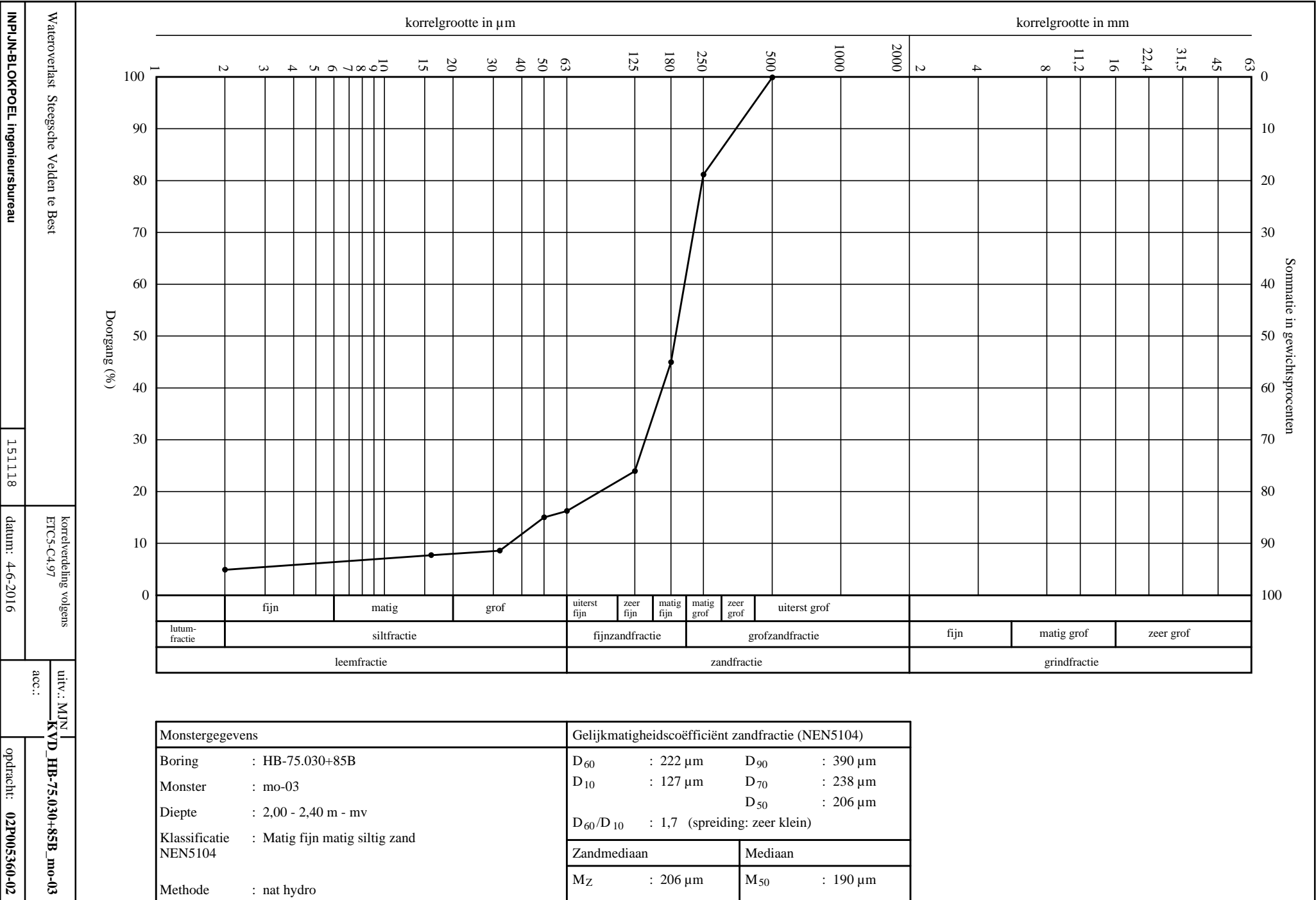
(NEN 5104)

sterk siltige klei (Ks3)

**Fractieverdeling in % van de vaste stof:**

Lutumfractie : 27,0  
 Siltfractie : 67,7  
 Zandfractie : 5,3  
 Grindfractie : 0,0  
 Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD09 datum: 4-6-2016	uitv.: MJN	KVB_HB-75.030+85B_mo-02
			acc.:	
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau				opdracht: 02P005360-02



<b>Monstergegevens</b>		<b>Gelijkmatigheidscoëfficiënt zandfractie (NEN5104)</b>			
Boring	: HB-75.030+85B	D <sub>60</sub>	: 222 µm	D <sub>90</sub>	: 390 µm
Monster	: mo-03	D <sub>10</sub>	: 127 µm	D <sub>70</sub>	: 238 µm
Diepte	: 2,00 - 2,40 m - mv			D <sub>50</sub>	: 206 µm
Klassificatie	: Matig fijn matig siltig zand	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	: 1,7 (spreiding: zeer klein)		
NEN5104		Zandmediaan		Mediaan	
Methode	: nat hydro	M <sub>Z</sub>	: 206 µm	M <sub>50</sub>	: 190 µm

INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau

Wateroverlast Steegsche Velden te Best

151118

datum: 4-6-2016

korrelverdeling volgens ETC5-C4.97

uitv.: MIN

acc.:

KVD\_HB-75.030+85B\_mo-03

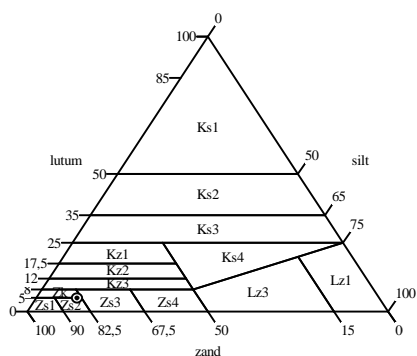
opdracht: 02P005360-02

**Opdrachtgegevens:**

Opdracht : 02P005360-02  
 Boring : HB-75.030+85B  
 Monster : mo-03  
 Diepte : 2,00 - 2,40 m - mv

**Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:**

Min. delen < 0,5 mm : 99,87  
 Min. delen < 250 µm : 81,15  
 Min. delen < 180 µm : 44,93  
 Min. delen < 125 µm : 23,93  
 Min. delen < 63 µm : 16,25  
 Min. delen < 50 µm : 15,00  
 Min. delen < 32 µm : 8,60  
 Min. delen < 16 µm : 7,70  
 Min. delen < 2 µm : 4,90

**Omschrijvingen volgens driehoeken:**

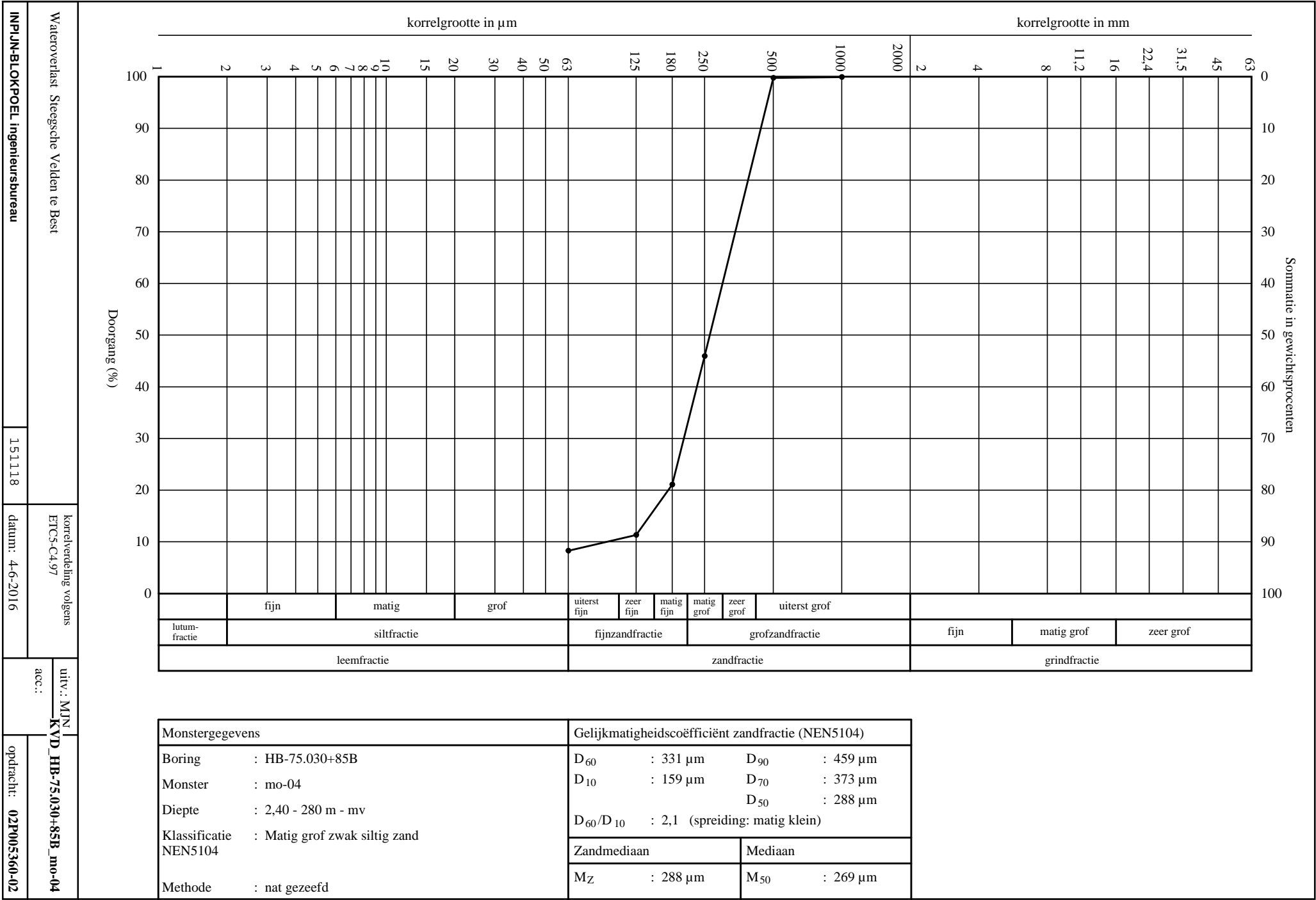
(NEN 5104)

matig siltig zand (Zs2)

**Fractieverdeling in % van de vaste stof:**

Lutumfractie : 4,9  
 Siltfractie : 11,4  
 Zandfractie : 83,7  
 Grindfractie : 0,0  
 Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD10	uitv.: MJN	KVB_HB-75.030+85B_mo-03
			acc.:	
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau		datum: 4-6-2016		opdracht: 02P005360-02



Wateroverlast Steegsche Velden te Best  
 INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau

151118  
 datum: 4-6-2016  
 correctie volgens ETC5-C4.97

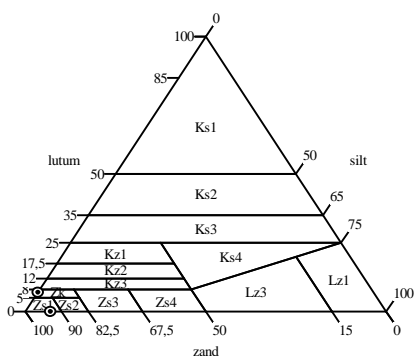
uitv.: MIN  
 acc.: KVD\_HB-75.030+85B\_mo-04  
 opdracht: 02P005360-02

**Opdrachtgegevens:**

Opdracht : 02P005360-02  
 Boring : HB-75.030+85B  
 Monster : mo-04  
 Diepte : 2,40 - 280 m - mv

**Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:**

Min. delen < 1,0 mm : 99,92  
 Min. delen < 0,5 mm : 99,75  
 Min. delen < 250 µm : 45,93  
 Min. delen < 180 µm : 21,06  
 Min. delen < 125 µm : 11,33  
 Min. delen < 63 µm : 8,25

**Omschrijvingen volgens driehoeken:**

(NEN 5104)

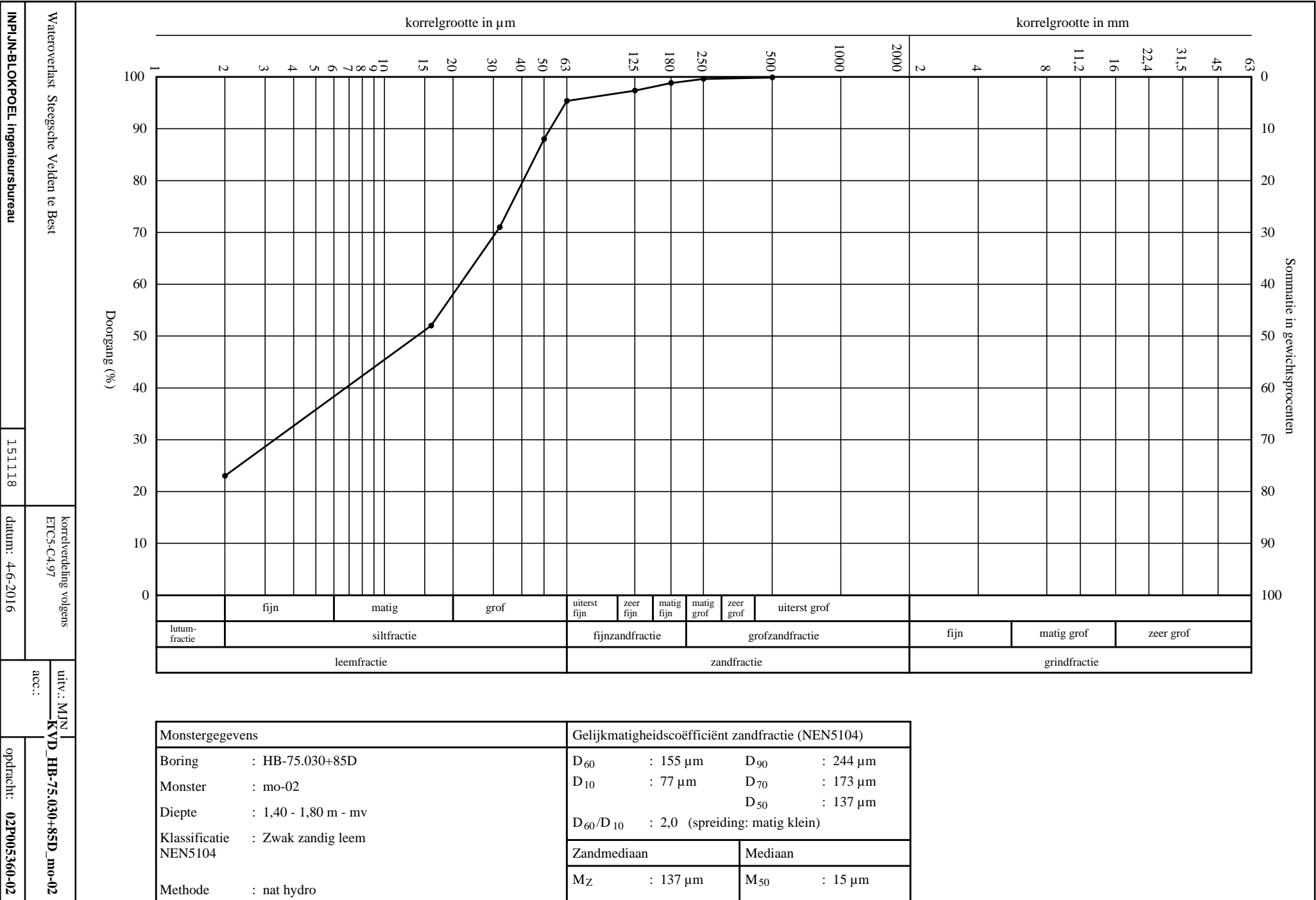
zwak siltig zand (Zs1)  
 kleilig zand (Zk)

De lutumfractie is niet bepaald.  
 De eerste omschrijving gaat uit van 0% lutumfractie,  
 de tweede van 0% siltfractie.

**Fractieverdeling in % van de vaste stof:**

Lutumfractie : 1,4  
 Siltfractie : 6,9  
 Zandfractie : 91,7  
 Grindfractie : 0,0  
 Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD11	uitv.: MJN	KVB_HB-75.030+85B_mo-04
		datum: 4-6-2016	acc.:	
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau				opdracht: 02P005360-02



INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau  
 Wateroverlast Steegsche Velden te Best

151118  
 datum: 4-6-2016  
 correctie volgens ETC5-C4.97

uitv.: MIN  
 acc.: KVD  
 opdracht: 02P005360-02  
 HB-75.030+85D\_mo-02

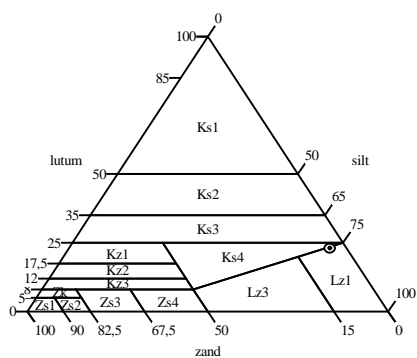


**Opdrachtgegevens:**

Opdracht : 02P005360-02  
 Boring : HB-75.030+85D  
 Monster : mo-02  
 Diepte : 1,40 - 1,80 m - mv

**Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:**

Min. delen < 0,5 mm : 99,87  
 Min. delen < 250 µm : 99,60  
 Min. delen < 180 µm : 98,81  
 Min. delen < 125 µm : 97,36  
 Min. delen < 63 µm : 95,37  
 Min. delen < 50 µm : 88,00  
 Min. delen < 32 µm : 71,00  
 Min. delen < 16 µm : 52,00  
 Min. delen < 2 µm : 23,00

**Omschrijvingen volgens driehoeken:**

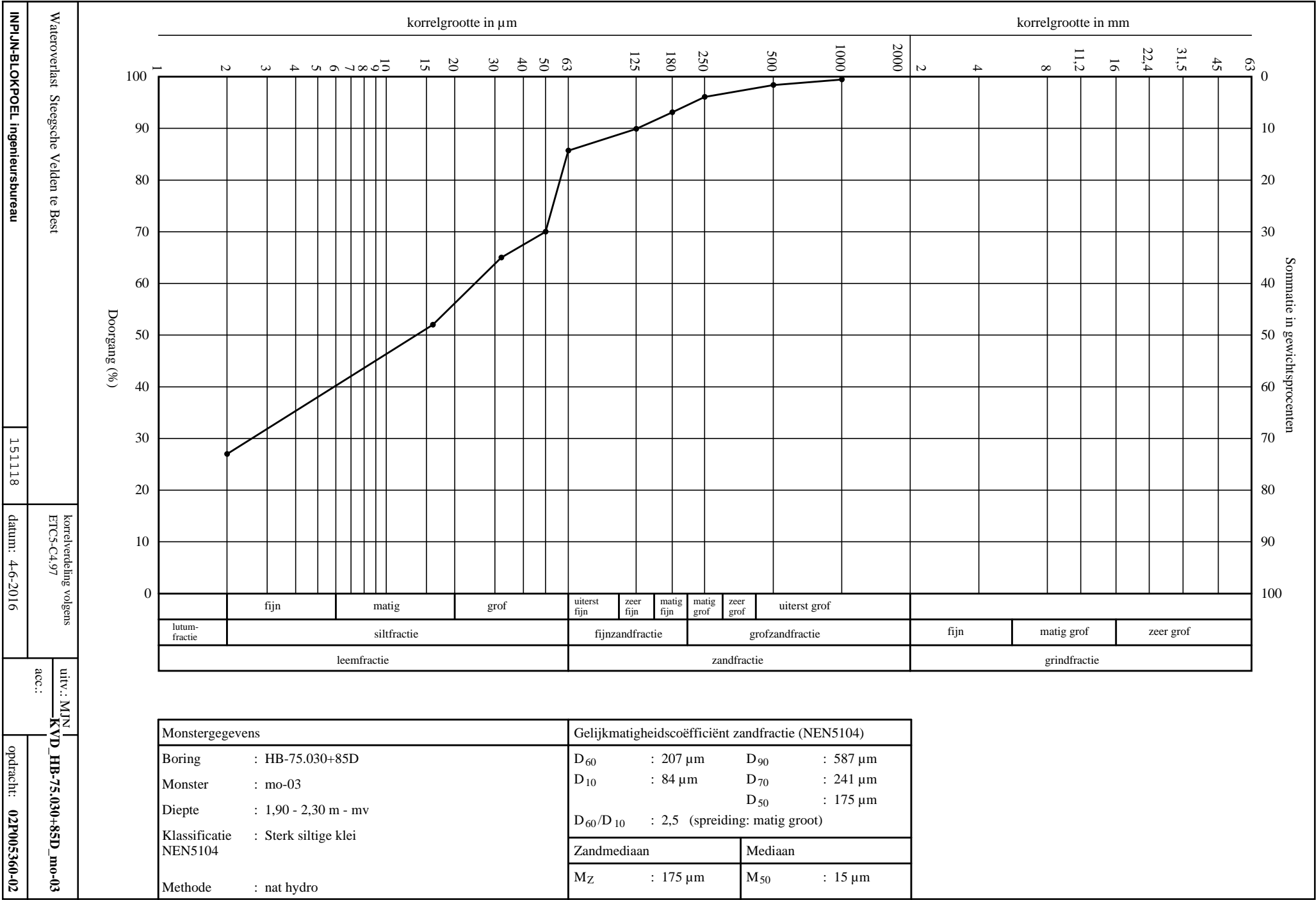
(NEN 5104)

zwak zandig leem (Lz1)

**Fractieverdeling in % van de vaste stof:**

Lutumfractie : 23,0  
 Siltfractie : 72,4  
 Zandfractie : 4,6  
 Grindfractie : 0,0  
 Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD12 datum: 4-6-2016	uitv.: MJN	KVB_HB-75.030+85D_mo-02
			acc.:	
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau				opdracht: 02P005360-02



Monstergegevens		Gelijkmatigheidscoëfficiënt zandfractie (NEN5104)			
Boring	: HB-75.030+85D	D <sub>60</sub>	: 207 µm	D <sub>90</sub>	: 587 µm
Monster	: mo-03	D <sub>10</sub>	: 84 µm	D <sub>70</sub>	: 241 µm
Diepte	: 1,90 - 2,30 m - mv			D <sub>50</sub>	: 175 µm
Klassificatie	: Sterk siltige klei	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	: 2,5 (spreiding: matig groot)		
NEN5104		Zandmediaan		Mediaan	
Methode	: nat hydro	M <sub>Z</sub>	: 175 µm	M <sub>50</sub>	: 15 µm

**INPIJN-BLOKPOEL** ingenieursbureau  
 Wateroverlast Steegsche Velden te Best  
 151118  
 datum: 4-6-2016  
 uiv.: MIN  
 KVD\_HB-75.030+85D\_mo-03  
 acc.:  
 opdracht: 02P005360-02

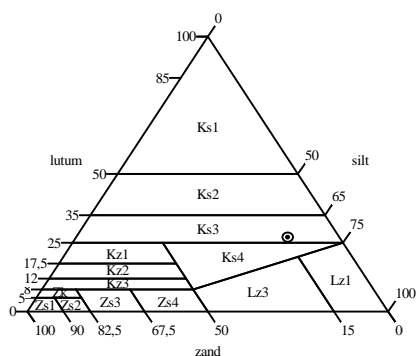
korrelverdeling volgens  
 ETC5-C4.97

**Opdrachtgegevens:**

Opdracht : 02P005360-02  
 Boring : HB-75.030+85D  
 Monster : mo-03  
 Diepte : 1,90 - 2,30 m - mv

**Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:**

Min. delen < 1,0 mm : 99,46  
 Min. delen < 0,5 mm : 98,38  
 Min. delen < 250 µm : 96,09  
 Min. delen < 180 µm : 93,12  
 Min. delen < 125 µm : 89,88  
 Min. delen < 63 µm : 85,69  
 Min. delen < 50 µm : 70,00  
 Min. delen < 32 µm : 65,00  
 Min. delen < 16 µm : 52,00  
 Min. delen < 2 µm : 27,00

**Omschrijvingen volgens driehoeken:**

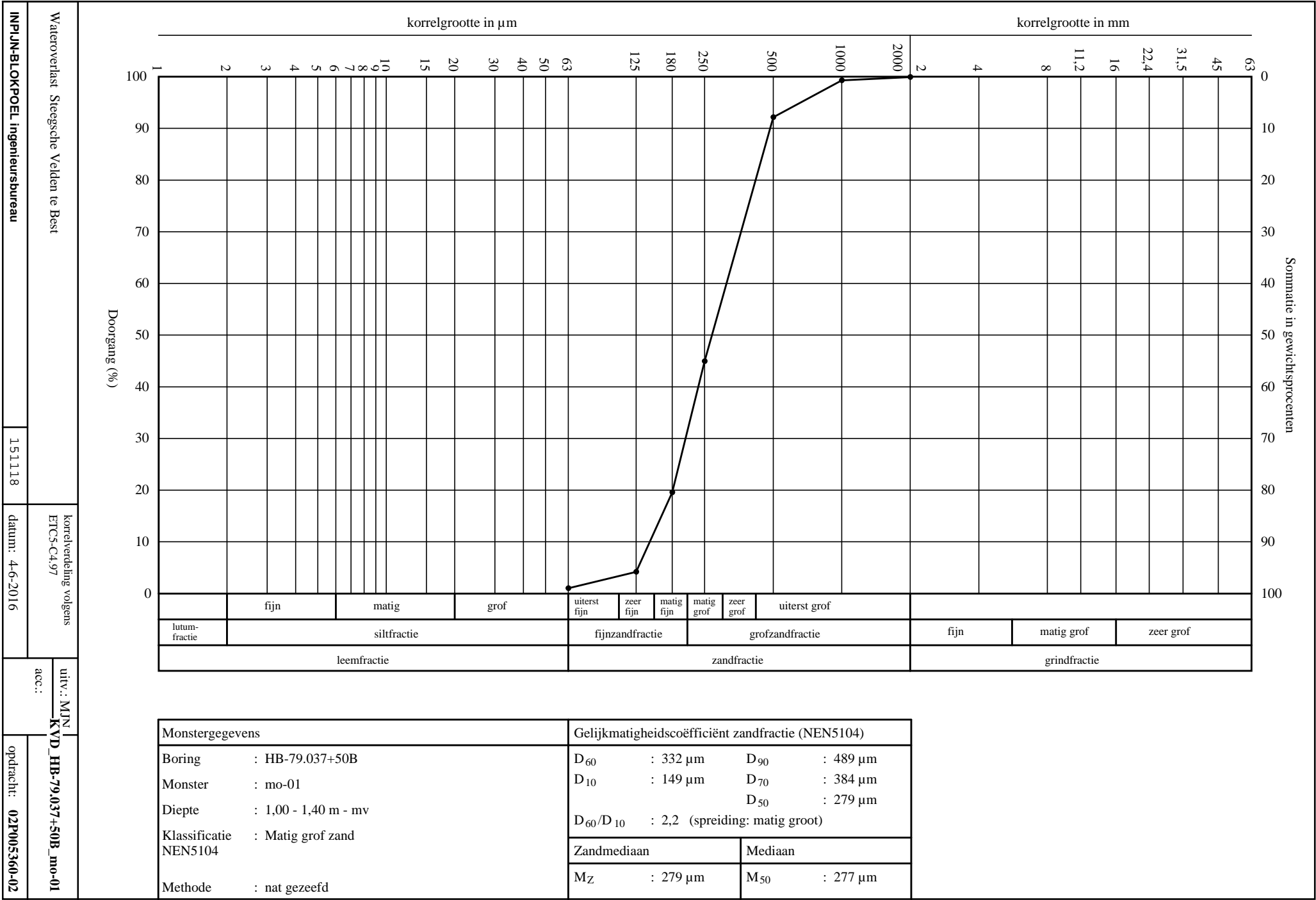
(NEN 5104)

sterk siltige klei (Ks3)

**Fractieverdeling in % van de vaste stof:**

Lutumfractie : 27,0  
 Siltfractie : 58,7  
 Zandfractie : 14,3  
 Grindfractie : 0,0  
 Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD13	uitv.: MJN	KVB_HB-75.030+85D_mo-03
		acc.:		
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau	151118	datum: 4-6-2016		opdracht: 02P005360-02



Wateroverlast Steegsche Velden te Best  
 INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau

151118  
 datum: 4-6-2016  
 korrelverdeling volgens  
 ETC5-C4.97

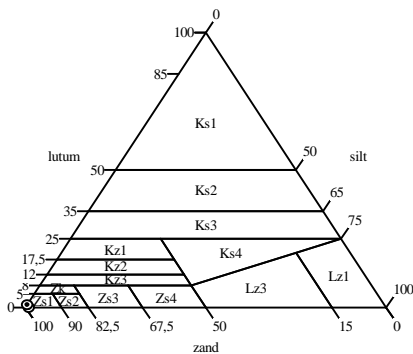
uiv.: MIN  
 acc.: KVD\_HB-79.037+50B\_mo-01  
 opdracht: 02P005360-02

**Opdrachtgegevens:**

Opdracht : 02P005360-02  
 Boring : HB-79.037+50B  
 Monster : mo-01  
 Diepte : 1,00 - 1,40 m - mv

**Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:**

Min. delen < 2,0 mm : 99,91  
 Min. delen < 1,0 mm : 99,29  
 Min. delen < 0,5 mm : 92,13  
 Min. delen < 250 µm : 44,93  
 Min. delen < 180 µm : 19,56  
 Min. delen < 125 µm : 4,18  
 Min. delen < 63 µm : 1,00

**Omschrijvingen volgens driehoeken:**

(NEN 5104)

zand (Z)

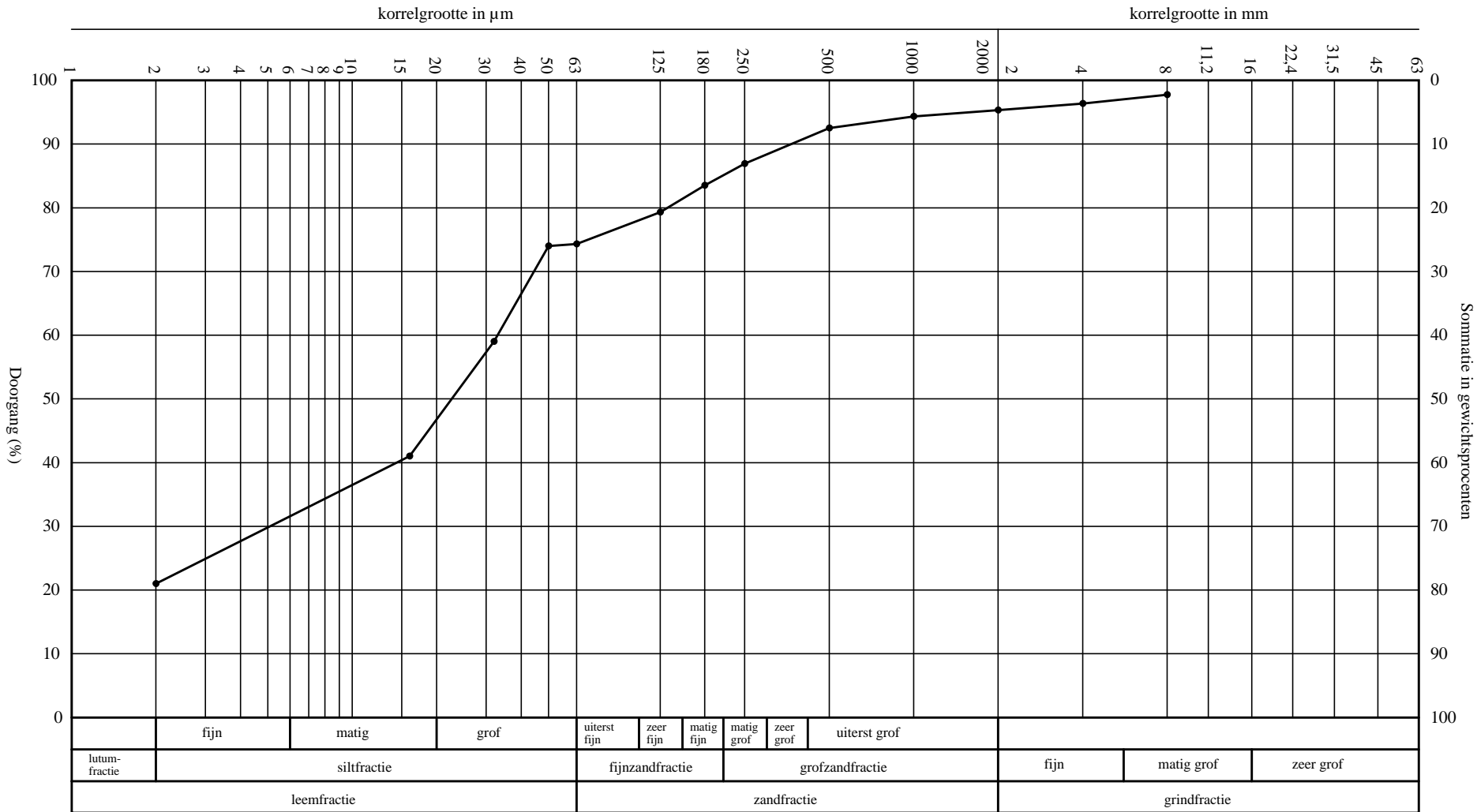
zwak siltig zand (Zs1)

De lutumfractie is niet bepaald.

De eerste omschrijving gaat uit van 0% lutumfractie,  
de tweede van 0% siltfractie.**Fractieverdeling in % van de vaste stof:**

Lutumfractie : 0,0  
 Siltfractie : 1,0  
 Zandfractie : 98,9  
 Grindfractie : 0,0  
 Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD14 datum: 4-6-2016	uitv.: MJN	KVB_HB-79.037+50B_mo-01
			acc.:	
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau			opdracht: 02P005360-02	



Monstergegevens	Gelijkmatigheidscoëfficiënt zandfractie (NEN5104)	
Boring : HB-79.037+50D	D <sub>60</sub> : 250 $\mu\text{m}$	D <sub>90</sub> : 703 $\mu\text{m}$
Monster : mo-01	D <sub>10</sub> : 89 $\mu\text{m}$	D <sub>70</sub> : 344 $\mu\text{m}$
Diepte : 0,60 - 1,00 m - mv		D <sub>50</sub> : 207 $\mu\text{m}$
Klassificatie : Uiterst siltige klei, zwak grindig NEN5104	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> : 2,8 (spreiding: matig groot)	
Methode : nat hydro	Zandmediaan	Mediaan
	M <sub>Z</sub> : 207 $\mu\text{m}$	M <sub>50</sub> : 24 $\mu\text{m}$

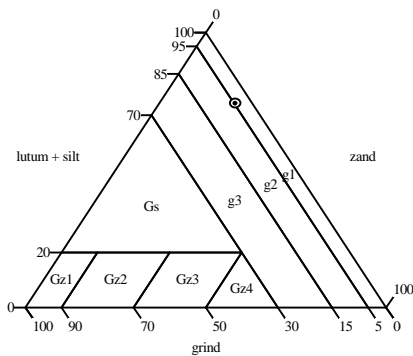
**Opdrachtgegevens:**

Opdracht : 02P005360-02  
 Boring : HB-79.037+50D  
 Monster : mo-01  
 Diepte : 0,60 - 1,00 m - mv

**Korrelgrootteverdeling in % van de vaste stof:**

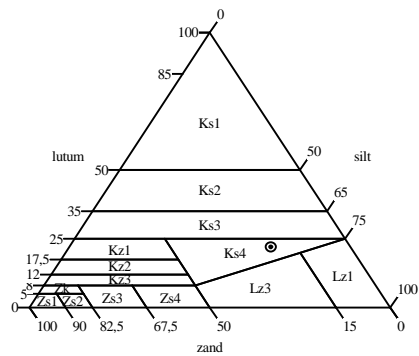
Min. delen < 8,0 mm : 97,73  
 Min. delen < 4,0 mm : 96,36  
 Min. delen < 2,0 mm : 95,34  
 Min. delen < 1,0 mm : 94,32  
 Min. delen < 0,5 mm : 92,50  
 Min. delen < 250 µm : 86,93  
 Min. delen < 180 µm : 83,53  
 Min. delen < 125 µm : 79,32  
 Min. delen < 63 µm : 74,32  
 Min. delen < 50 µm : 74,00  
 Min. delen < 32 µm : 59,00  
 Min. delen < 16 µm : 41,00  
 Min. delen < 2 µm : 21,00

**Omschrijvingen volgens driehoeken:**



(NEN 5104)

Toevoeging : zwak grindig (g1)



(NEN 5104)

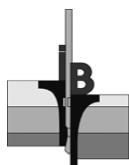
uiterst siltige klei (Ks4)

**Fractieverdeling in % van de vaste stof:**

Lutumfractie : 21,0  
 Siltfractie : 53,3  
 Zandfractie : 21,0  
 Grindfractie : 4,7  
 Organische stof : 0,0

Wateroverlast Steegsche Velden te Best	151118	bijlage bij korrelverdeling KVD15	uitv.: MJN acc.: <b>KVB_HB-79.037+50D_mo-01</b>
		datum: 4-6-2016	opdracht: <b>02P005360-02</b>
INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau			





Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T01 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-60.062+50D	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-03	Testmethode	CiaU
Diepte	1,95 [m-mv]		
	12,11 [m tov NAP]		

**Klassificatie:** Zand, matig grof, sterk siltig, matig roesthoudend [conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,7	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	17,4	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	19,0	%

<u>Verzadigingsfase:</u>			
Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,99	-

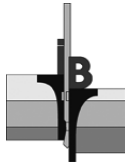
<u>Consolidatiefase:</u>		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	9,0	9,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	9,0	18,9	kPa
	$K_0$	1,00	0,48	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	134,0	132,8	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	35,3	35,6	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	473,5	473,0	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,7	20,7	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	17,4	17,4	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	19,2	19,1	%
t100	t100	2,4		min

<u>Belastingsfase:</u>			
Axiale reksnelheid	$v$	0,90	%/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)	133,0	kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$	22,6	%
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$	66,5	kPa
	$s'$	113,1	kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'_1$	179,6	kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'_3$	46,6	kPa

<u>Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:</u>			
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$	1,6	MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$	3,96	%

<u>Eindresultaat beproeving:</u>			
Monstervolume	$V_b$	473,0	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,7	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	17,4	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$	19,1	%

<u>Bij percentage rek:</u>	0	2	5	15	22,6	<b>26,2</b>	%
$s'$	13,9	38,8	63,3	105,4	113,1	<b>113,8</b>	kPa
$t$	4,9	25,0	40,4	63,6	66,5	<b>65,8</b>	kPa
$\sigma'_3$	9,0	13,8	22,9	41,8	46,6	<b>48,0</b>	kPa
$\sigma'_1$	18,9	63,9	103,7	169,0	179,6	<b>179,5</b>	kPa
$E_{undr}$	[-]	2,01	1,42	0,78	0,54	<b>0,46</b>	MPa



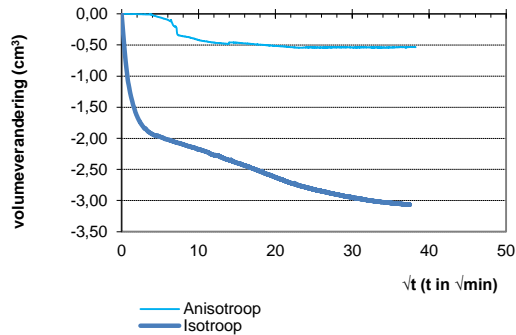
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T01 blz2

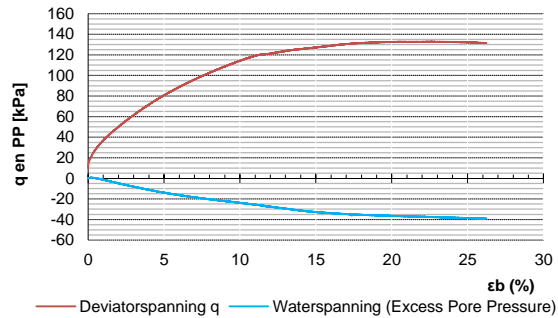
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-60.062+50D Monster mo-03 Diepte 1,95 [m-mv]

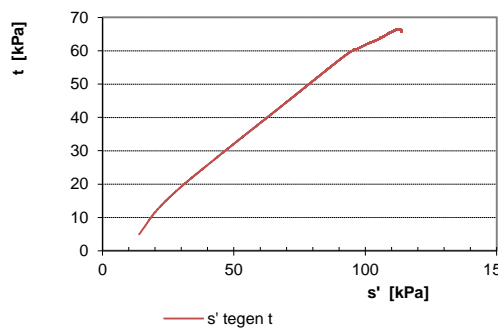
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



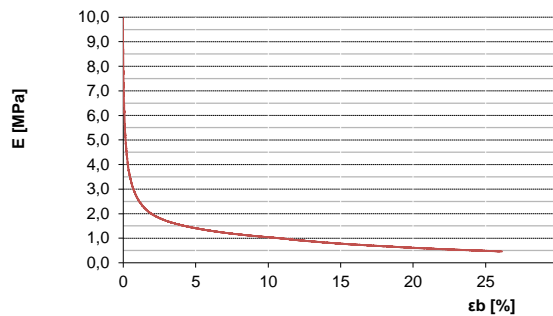
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad s' - t:



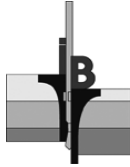
### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 9,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 9,0 kPa en 18,9 kPa bij een K0 van 0,48

In eerste instantie is uitgegaan dat dit materiaal klei of leem zou zijn. Uit proefresultaten blijkt dat het materiaal sterk siltig zand is.



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T01 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring HB-60.062+50D Monster mo-03 Diepte 1,95 [m-mv]

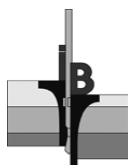
---

**Vorm na bezwijken:**



**Opmerkingen:**

---



Opdracht 02P005360  
 Project POV piping grind- en leemlagen

T02 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-60.062+50B	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-02	Testmethode	CiaU
Diepte	1,90 [m-mv]		
	11,79 [m tov NAP]		

**Klassificatie:** Leem, sterk zandig, zwak roesthoudend [conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,8	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	17,4	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	19,0	%

<u>Verzadigingsfase:</u>			
Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	1,01	-

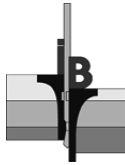
<u>Consolidatiefase:</u>		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	9,0	9,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	9,0	19,4	kPa
	$K_0$	1,00	0,46	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	134,0	133,8	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	33,8	33,8	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	453,4	451,9	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	21,2	21,3	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	18,2	18,2	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	16,7	16,5	%
t100	t100	129,07		min

<u>Belastingsfase:</u>			
Axiale reksnelheid	$v$		0,89 %/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)		86,7 kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$		17,6 %
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$		43,3 kPa
	$s'$		67,8 kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'_1$		111,2 kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'_3$		24,5 kPa

<u>Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:</u>			
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$		1,8 MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$		2,09 %

<u>Eindresultaat beproeving:</u>			
Monstervolume	$V_b$		451,9 cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$		21,3 kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$		18,2 kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$		16,5 %

<u>Bij percentage rek:</u>	0	2	5	15	17,6	25,3	%
$s'$	14,2	36,2	53,4	67,4	67,8	66,6	kPa
$t$	5,3	23,8	34,5	42,9	43,3	42,2	kPa
$\sigma'_3$	8,9	12,4	18,9	24,5	24,5	24,4	kPa
$\sigma'_1$	19,4	60,0	88,0	110,3	111,2	108,8	kPa
$E_{undr}$	[-]	1,85	1,17	0,50	0,43	0,29	MPa



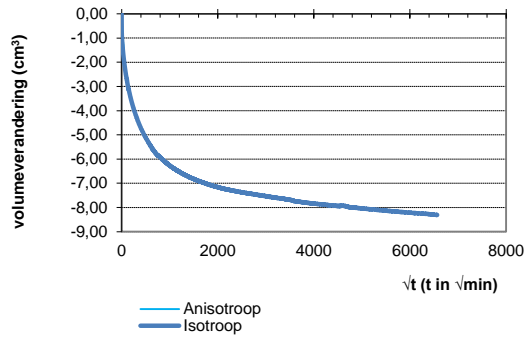
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T02 blz2

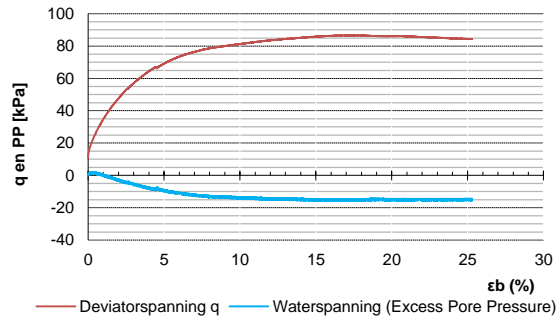
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-60.062+50B Monster mo-02 Diepte 1,90 [m-mv]

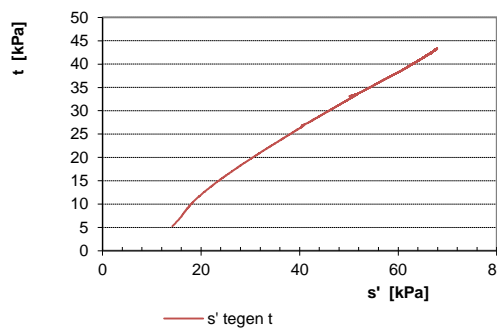
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



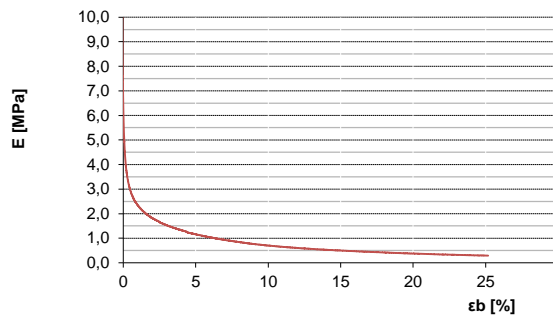
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad s' - t:

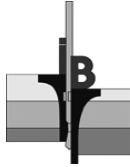


### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 9,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 9,0 kPa en 19,4 kPa bij een  $K_0$  van 0,46



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T02 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring	HB-60.062+50B	Monster	mo-02	Diepte	1,90	[m-mv]
--------	---------------	---------	-------	--------	------	--------

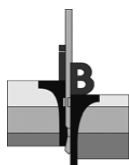
---

#### Vorm na bezwijken:



#### Opmerkingen:

---



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T03 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-60.062+50D	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-01	Testmethode	CiaU
Diepte	1,00 [m-mv]		
	13,06 [m tov NAP]		

**Klassificatie:** Zand, matig grof, sterk siltig, matig roesthoudend [conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,5	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	17,6	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	16,4	%

#### Verzadigingsfase:

Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,95	-

#### Consolidatiefase:

		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	4,5	5,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	4,5	10,9	kPa
	$K_0$	1,00	0,46	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	133,9	133,9	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	36,1	36,1	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	483,8	483,5	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,3	20,3	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	17,2	17,2	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	17,7	17,7	%
t100	t100	6,67		min

#### Belastingsfase:

Axiale reksnelheid	$v$	0,88	%/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)	104,6	kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$	25,9	%
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$	52,3	kPa
	$s'$	89,7	kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'^1$	142,0	kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'^3$	37,4	kPa

#### Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:

Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$	0,9	MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$	5,22	%

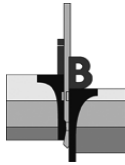
#### Eindresultaat beproeving:

Monstervolume	$V_b$	483,6	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,3	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	17,2	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$	17,7	%

#### Bij percentage rek:

	0	2	5	15	25,9	26,0	%
$s'$	7,9	26,5	43,9	77,9	89,7	<b>89,8</b>	kPa
$t$	2,9	16,1	26,9	46,4	52,3	<b>52,3</b>	kPa
$\sigma'^3$	5,0	10,4	17,0	31,5	37,4	<b>37,5</b>	kPa
$\sigma'^1$	10,9	42,6	70,9	124,2	142,0	<b>142,1</b>	kPa
$E_{undr}$	[-]	1,32	0,96	0,58	0,38	<b>0,38</b>	MPa





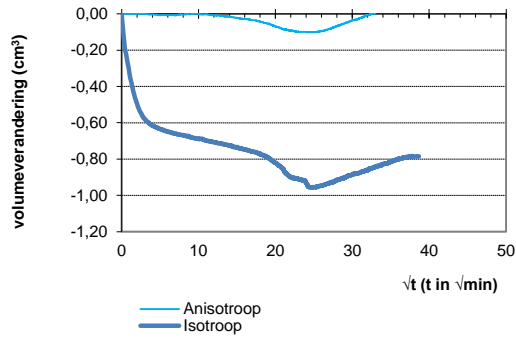
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T03 blz2

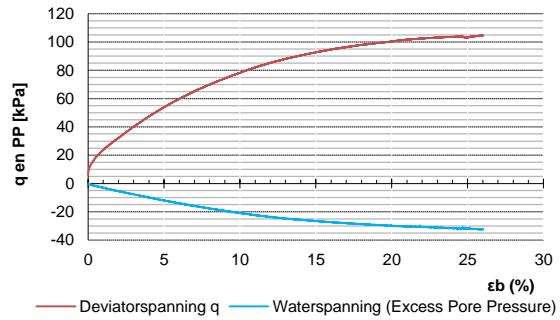
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-60.062+50D Monster mo-01 Diepte 1,00 [m-mv]

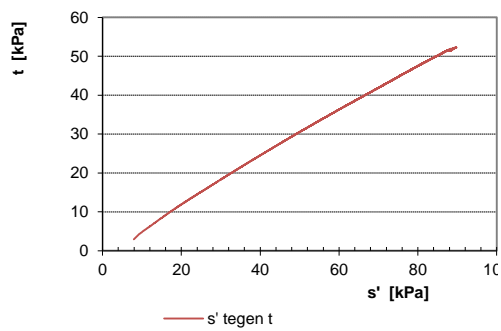
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



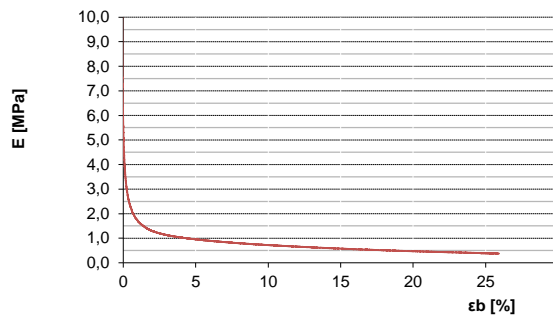
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad s' - t:

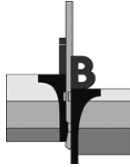


### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 4,5 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 5,0 kPa en 10,9 kPa bij een  $K_0$  van 0,46



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T03 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring	HB-60.062+50D	Monster	mo-01	Diepte	1,00	[m-mv]
--------	---------------	---------	-------	--------	------	--------

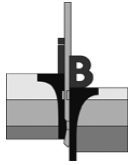
---

#### Vorm na bezwijken:



#### Opmerkingen:

---



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T04 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-60.062+50D	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-02	Testmethode	CiaU
Diepte	1,40 [m-mv]		
	12,66 [m tov NAP]		
<b>Klassificatie:</b>	Klei, matig zandig, zwak humeus, matig roesthoudend		[conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,9	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	16,7	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	19,0	%

<u>Verzadigingsfase:</u>			
Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	1,03	-

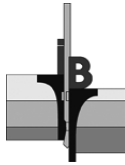
<u>Consolidatiefase:</u>		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	6,0	6,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	6,0	13,0	kPa
	$K_0$	1,00	0,46	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	134,0	133,9	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	35,2	35,2	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	471,7	471,1	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,9	19,9	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	16,7	16,8	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	18,9	18,8	%
t100	t100	64		min

<u>Belastingsfase:</u>			
Axiale reksnelheid	$v$	0,90	%/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)	46,8	kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$	23,0	%
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$	23,4	kPa
	$s'$	34,9	kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'^1$	58,3	kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'^3$	11,5	kPa

<u>Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:</u>			
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$	1,0	MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$	2,08	%

<u>Eindresultaat beproeving:</u>			
Monstervolume	$V_b$	471,1	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,9	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	16,8	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$	18,8	%

<u>Bij percentage rek:</u>	0	2	5	15	23,0	25,1	%
$s'$	9,5	19,9	25,7	32,9	34,9	35,0	kPa
$t$	3,5	13,3	17,0	21,9	23,4	23,3	kPa
$\sigma'^3$	6,0	6,6	8,7	11,0	11,5	11,7	kPa
$\sigma'^1$	13,0	33,2	42,6	54,8	58,3	58,2	kPa
$E_{undr}$	[-]	0,98	0,54	0,24	0,17	0,16	MPa



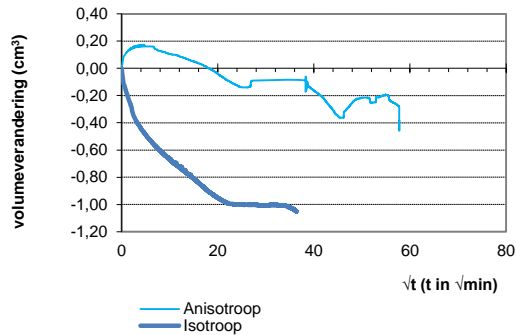
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T04 blz2

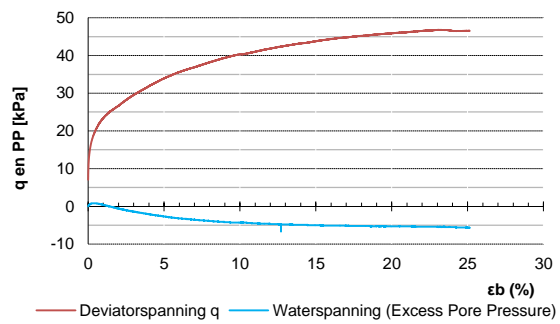
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-60.062+50D Monster mo-02 Diepte 1,40 [m-mv]

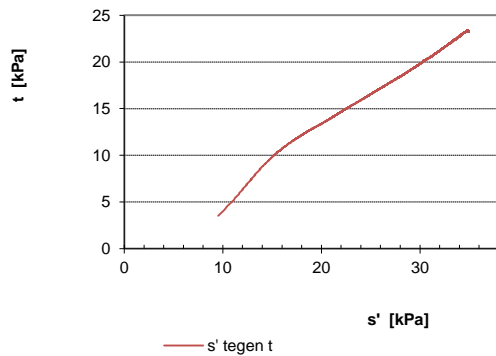
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



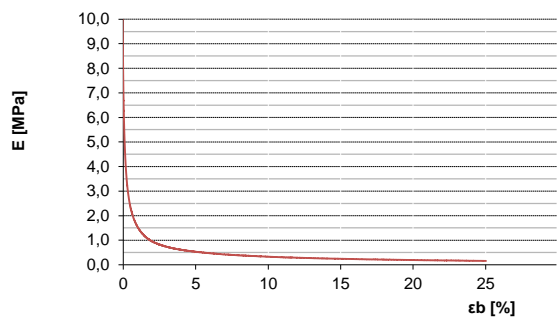
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad $s' - t$ :

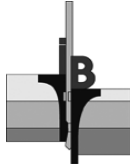


### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 6,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 6,0 kPa en 13,0 kPa bij een  $K_0$  van 0,46



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T04 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring HB-60.062+50D Monster mo-02 Diepte 1,40 [m-mv]

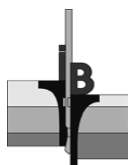
---

**Vorm na bezwijken:**



**Opmerkingen:**

---



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T05 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-75.030+50B	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-04	Testmethode	CiaU
Diepte	2,50 [m-mv]		
	16,31 [m tov NAP]		

**Klassificatie:** Klei, uiterst siltig, zwak humeus, zwak roesthoudend [conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,6	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,5	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	26,3	%

<u>Verzadigingsfase:</u>			
Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,99	-

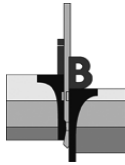
<u>Consolidatiefase:</u>		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	9,0	9,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	9,0	21,3	kPa
	$K_0$	1,00	0,42	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	134,0	134,0	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	34,4	34,3	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	460,8	459,6	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,8	19,8	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,9	15,9	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	24,8	24,6	%
t100	t100	570,42		min

<u>Belastingsfase:</u>			
Axiale reksnelheid	$v$		0,22 %/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)		82,7 kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$		16,8 %
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$		41,3 kPa
	$s'$		64,8 kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'1$		106,2 kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'3$		23,5 kPa

<u>Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:</u>			
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$		1,2 MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$		2,90 %

<u>Eindresultaat beproeving:</u>			
Monstervolume	$V_b$		459,6 cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$		19,8 kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$		15,9 kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$		24,6 %

<u>Bij percentage rek:</u>	0	2	5	15	16,8	26,0	%
$s'$	15,2	28,5	43,6	63,5	64,8	61,8	kPa
$t$	6,2	20,1	29,8	40,8	41,3	37,8	kPa
$\sigma'3$	9,0	8,4	13,8	22,7	23,5	24,0	kPa
$\sigma'1$	21,3	48,6	73,3	104,3	106,2	99,5	kPa
$E_{undr}$	[-]	1,39	0,94	0,46	0,42	0,24	MPa



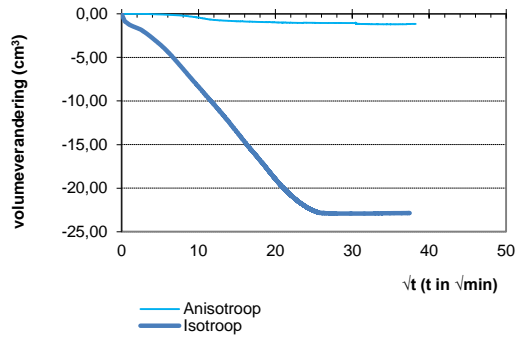
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T05 blz2

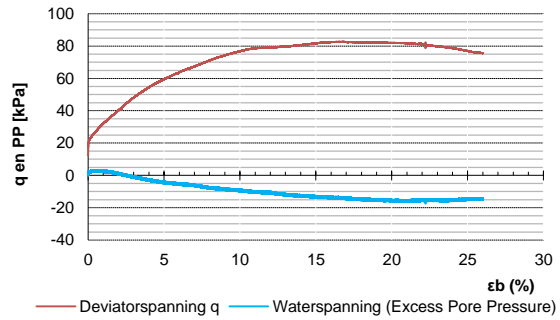
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-75.030+50B Monster mo-04 Diepte 2,50 [m-mv]

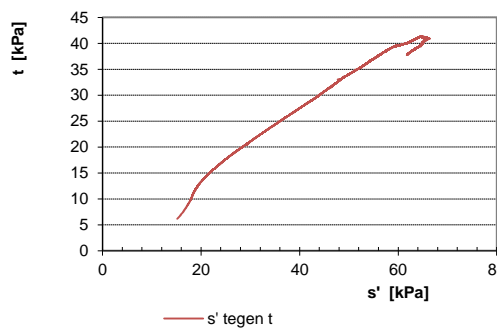
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



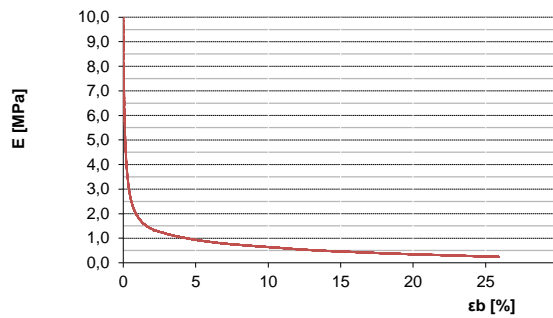
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad $s' - t$ :



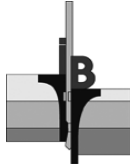
### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 9,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 9,0 kPa en 21,3 kPa bij een  $K_0$  van 0,42





Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T05 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring HB-75.030+50B Monster mo-04 Diepte 2,50 [m-mv]

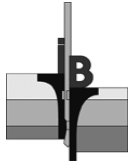
---

#### Vorm na bezwijken:



#### Opmerkingen:

---



Opdracht 02P005360  
 Project POV piping grind- en leemlagen

T06 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-75.030+50D	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-01	Testmethode	CiaU
Diepte	0,85 [m-mv]		
	17,45 [m tov NAP]		

**Klassificatie:** Klei, sterk siltig, zwak humeus, sterk roesthoudend [conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,3	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,8	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	22,7	%

<u>Verzadigingsfase:</u>			
Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,95	-

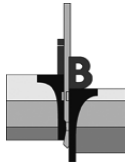
<u>Consolidatiefase:</u>		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	4,0	3,5	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	4,0	7,9	kPa
	$K_0$	1,00	0,44	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	134,0	133,9	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	36,4	36,3	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	488,0	486,0	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,0	19,1	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,3	15,3	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	24,8	24,7	%
t100	t100	3,27		min

<u>Belastingsfase:</u>			
Axiale reksnelheid	$v$	0,89	%/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)	69,3	kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$	25,0	%
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$	34,7	kPa
	$s'$	59,4	kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'_1$	94,0	kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'_3$	24,7	kPa

<u>Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:</u>			
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$	1,3	MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$	2,56	%

<u>Eindresultaat beproeving:</u>			
Monstervolume	$V_b$	487,1	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,1	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,3	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$	24,7	%

<u>Bij percentage rek:</u>	0	2	5	15	25,0	<b>25,0</b>	%
$s'$	5,7	24,4	34,0	50,4	59,4	<b>59,4</b>	kPa
$t$	2,2	17,2	21,8	30,0	34,7	<b>34,7</b>	kPa
$\sigma'_3$	3,5	7,2	12,2	20,4	24,7	<b>24,7</b>	kPa
$\sigma'_1$	7,9	41,5	55,9	80,4	94,0	<b>94,0</b>	kPa
$E_{undr}$	[-]	1,50	0,79	0,37	0,26	<b>0,26</b>	MPa



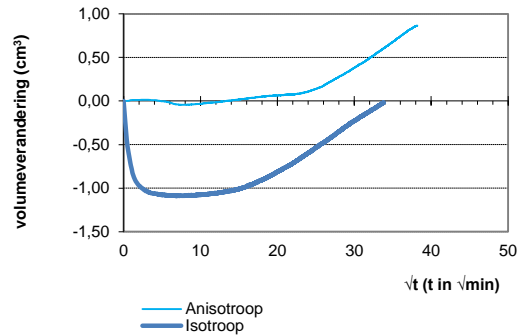
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T06 blz2

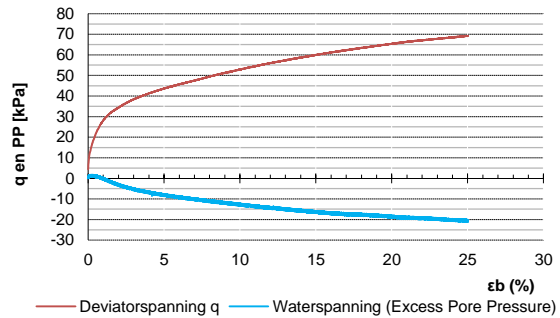
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-75.030+50D Monster mo-01 Diepte 0,85 [m-mv]

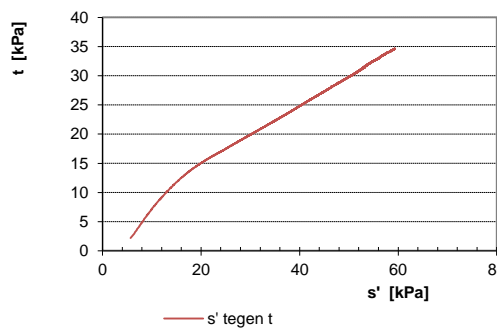
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



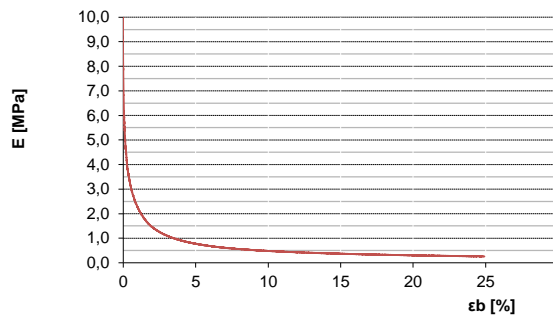
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad s' - t:

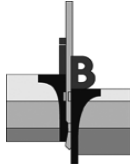


### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 4,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 3,5 kPa en 7,9 kPa bij een K0 van 0,44



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring HB-75.030+50D Monster mo-01 Diepte 0,85 [m-mv]

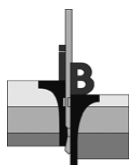
---

**Vorm na bezwijken:**



**Opmerkingen:**

---



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T07 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-75.030+50D	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-02	Testmethode	CiaU
Diepte	1,40 [m-mv]		
	16,90 [m tov NAP]		

**Klassificatie:** Klei, sterk siltig, zwak humeus, zwak roesthoudend [conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,4	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,4	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	25,6	%

#### Verzadigingsfase:

Verzadigingsspanning	$U_0$	300	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,97	-

#### Consolidatiefase:

		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	6,0	6,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	6,0	12,8	kPa
	$K_0$	1,00	0,47	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	133,9	133,6	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	36,3	36,3	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	486,5	485,2	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,1	19,1	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,0	15,0	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	27,5	27,4	%
t100	t100	7,35		min

#### Belastingsfase:

Axiale reksnelheid	$v$	0,89	%/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)	78,5	kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$	26,1	%
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$	39,3	kPa
	$s'$	68,8	kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'^1$	108,0	kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'^3$	29,5	kPa

#### Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:

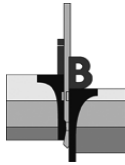
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$	0,6	MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$	5,66	%

#### Eindresultaat beproeving:

Monstervolume	$V_b$	485,9	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,1	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,0	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$	27,4	%

#### Bij percentage rek:

	0	2	5	15	26,1	26,1	%
$s'$	9,4	19,1	29,0	55,5	68,8	<b>68,8</b>	kPa
$t$	3,4	14,2	20,2	33,6	39,3	<b>39,3</b>	kPa
$\sigma'^3$	6,0	4,9	8,8	21,9	29,5	<b>29,5</b>	kPa
$\sigma'^1$	12,8	33,3	49,1	89,1	108,0	<b>108,0</b>	kPa
$E_{undr}$	[-]	1,08	0,67	0,40	0,28	<b>0,28</b>	MPa



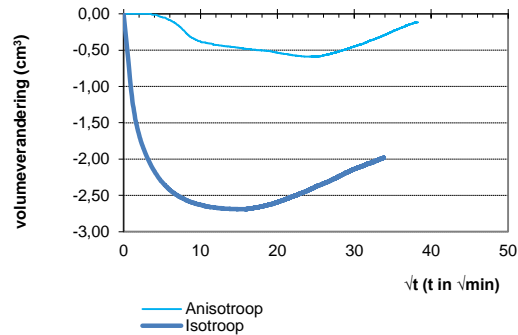
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T07 blz2

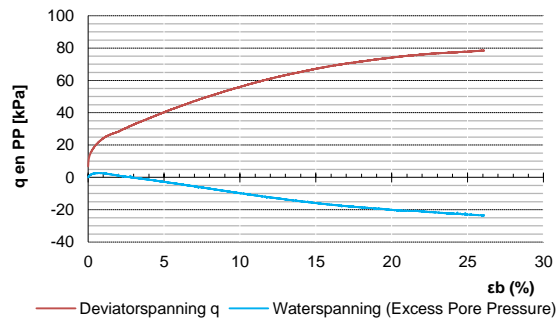
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-75.030+50D Monster mo-02 Diepte 1,40 [m-mv]

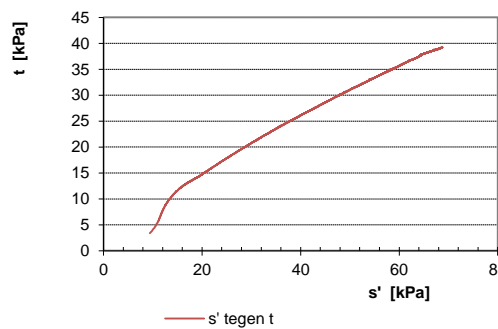
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



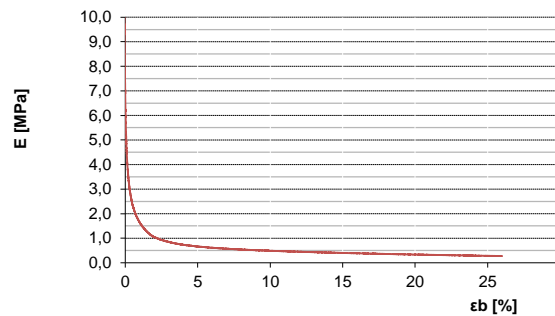
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad s' - t:



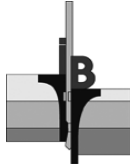
### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 6,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 6,0 kPa en 12,8 kPa bij een  $K_0$  van 0,47





Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T07 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring	HB-75.030+50D	Monster	mo-02	Diepte	1,40	[m-mv]
--------	---------------	---------	-------	--------	------	--------

---

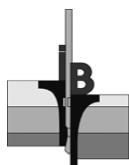
#### Vorm na bezwijken:



#### Opmerkingen:

---





Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T08 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-75.030+50D	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-03	Testmethode	CiaU
Diepte	1,90 [m-mv]		
	16,40 [m tov NAP]		

**Klassificatie:** Klei, sterk zandig, zwak humeus, zwak roesthoudend [conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,5	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	17,4	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	18,0	%

#### Verzadigingsfase:

Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,95	-

#### Consolidatiefase:

		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	8,0	7,5	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	8,0	16,8	kPa
	$K_0$	1,00	0,45	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	134,0	133,9	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	36,3	36,2	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	485,9	484,4	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,2	20,2	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	16,9	16,9	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	19,6	19,5	%
t100	t100	3,27		min

#### Belastingsfase:

Axiale reksnelheid	$v$	0,90	%/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)	252,4	kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$	7,7	%
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$	126,2	kPa
	$s'$	214,3	kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'^1$	340,5	kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'^3$	88,1	kPa

#### Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:

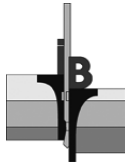
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$	4,3	MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$	2,83	%

#### Eindresultaat beproeving:

Monstervolume	$V_b$	485,2	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,2	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	16,9	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$	19,5	%

#### Bij percentage rek:

	0	2	5	15	7,7	7,7	%
$s'$	12,2	81,1	160,4	214,3	214,3	<b>214,3</b>	kPa
$t$	4,6	51,1	96,6	126,2	126,2	<b>126,2</b>	kPa
$\sigma'^3$	7,6	30,0	63,8	88,1	88,1	<b>88,1</b>	kPa
$\sigma'^1$	16,8	132,1	257,1	340,5	340,5	<b>340,5</b>	kPa
$E_{undr}$	[-]	4,65	3,68	3,14	3,14	<b>3,14</b>	MPa

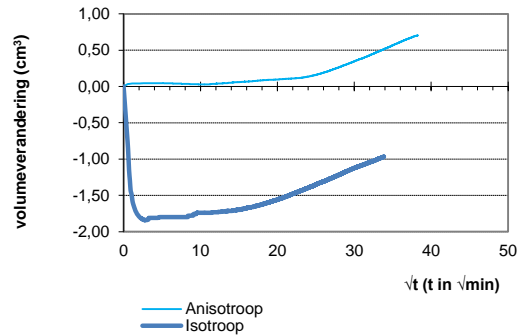


Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

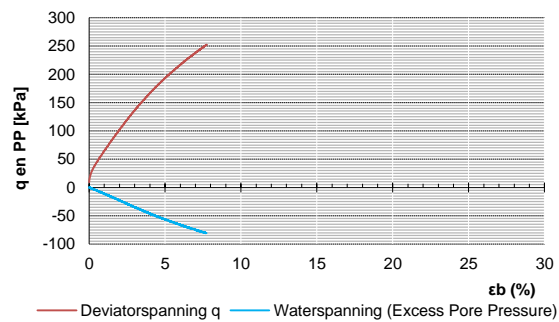
### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-75.030+50D      Monster mo-03      Diepte 1,90      [m-mv]

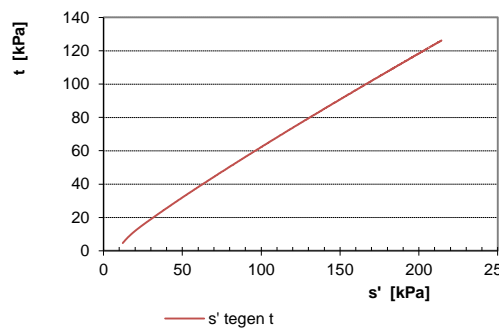
#### Consolidatie isotroop en anisotroop:



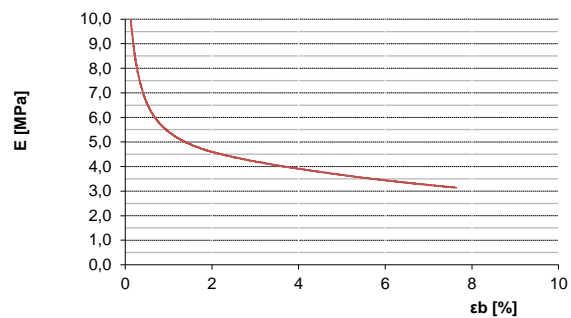
#### Deviatorspanning en Waterspanning:



#### Spanningspad $s' - t$ :



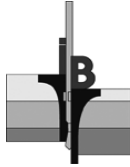
#### E-modulus:



#### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 8,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 7,5 kPa en 16,8 kPa bij een  $K_0$  van 0,45

Vanwege de lage spanningen en de vereiste nauwkeurigheid is een loadcell van 1 kN gebruikt. Bij 7,7% rek is echter onverwacht de maximale verticale kracht van 1 kN bereikt. Proef kon hierdoor niet verder worden doorgezet. Monstermateriaal vertoont sterk gedraineerd gedrag.



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T08 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring HB-75.030+50D Monster mo-03 Diepte 1,90 [m-mv]

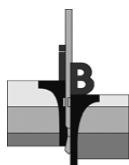
---

**Vorm na bezwijken:**



**Opmerkingen:**

---



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T09 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-75.030+85B	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-03	Testmethode	CiaU
Diepte	2,05 [m-mv]		
	16,86 [m tov NAP]		

**Klassificatie:** Zand, matig fijn, matig siltig, zwak humeus, matig roesthoudend [conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	18,8	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	16,6	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	12,8	%

#### Verzadigingsfase:

Verzadigingsspanning	$U_0$	300	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,90	-

#### Consolidatiefase:

		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	8,0	8,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	8,0	17,3	kPa
	$K_0$	1,00	0,46	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	134,0	133,5	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	38,0	37,8	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	509,3	504,6	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	18,1	18,1	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,4	15,5	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	17,4	17,2	%
t100	t100	0,267		min

#### Belastingsfase:

Axiale reksnelheid	$v$	0,88	%/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)	251,5	kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$	4,1	%
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$	125,8	kPa
	$s'$	205,8	kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'1$	331,5	kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'3$	80,0	kPa

#### Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:

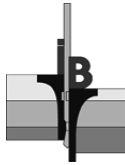
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$	6,9	MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$	1,76	%

#### Eindresultaat beproeving:

Monstervolume	$V_b$	507,7	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	18,1	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,5	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$	17,2	%

#### Bij percentage rek:

	0	2	5	15	4,1	4,1	%
$s'$	12,7	113,9	205,8	205,8	205,8	<b>205,8</b>	kPa
$t$	4,7	73,7	125,8	125,8	125,8	<b>125,8</b>	kPa
$\sigma'3$	8,0	40,2	80,0	80,0	80,0	<b>80,0</b>	kPa
$\sigma'1$	17,3	187,7	331,5	331,5	331,5	<b>331,5</b>	kPa
$E_{undr}$	[-]	6,91	5,91	5,91	5,91	<b>5,91</b>	MPa

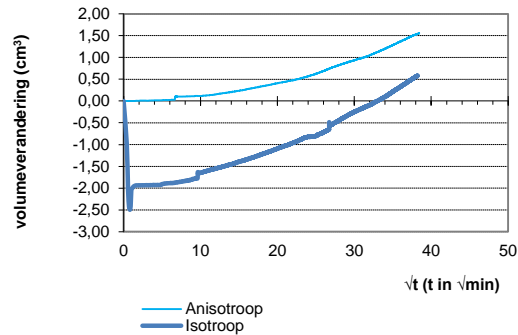


Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

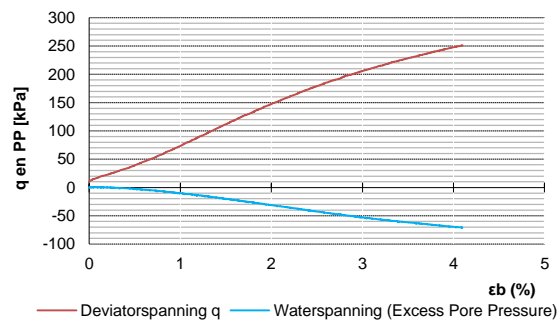
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-75.030+85B Monster mo-03 Diepte 2,05 [m-mv]

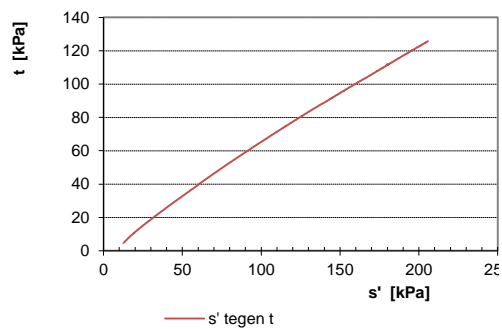
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



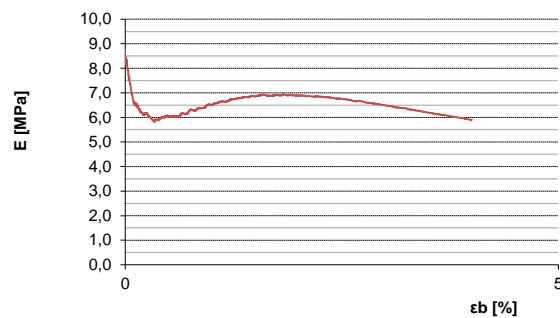
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad s' - t:



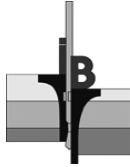
### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 8,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 8,0 kPa en 17,3 kPa bij een  $K_0$  van 0,46

Hoofdbestanddeel van het monster is matig fijn zand. Materiaal vertoont sterk gedraineerd gedrag. Bij 4,1% rek is de maximale verticale kracht op het monster bereikt en de proef gestopt om schade aan apparatuur te voorkomen.



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T09 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring	HB-75.030+85B	Monster	mo-03	Diepte	2,05	[m-mv]
--------	---------------	---------	-------	--------	------	--------

---

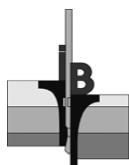
**Vorm na bezwijken:**



**Opmerkingen:**

---





Opdracht 02P005360  
 Project POV piping grind- en leemlagen

T10 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-75.030+85B	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-02	Testmethode	CiaU
Diepte	1,60 [m-mv]		
	17,31 [m tov NAP]		
<b>Klassificatie:</b>	Klei, sterk siltig, zwak humeus, matig roesthoudend		[conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,5	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,7	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	24,6	%

<u>Verzadigingsfase:</u>			
Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,98	-

<u>Consolidatiefase:</u>		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	6,0	6,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	6,0	13,9	kPa
	$K_0$	1,00	0,43	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	133,9	133,5	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	35,7	35,7	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	477,5	476,7	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,4	19,4	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,5	15,5	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	25,2	25,1	%
t100	t100	2,01		min

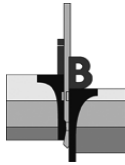
<u>Belastingsfase:</u>			
Axiale reksnelheid	$v$	0,90	%/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)	102,5	kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$	26,0	%
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$	51,2	kPa
	$s'$	87,2	kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'_1$	138,5	kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'_3$	36,0	kPa

<u>Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:</u>			
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$	1,2	MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$	3,96	%

<u>Eindresultaat beproeving:</u>			
Monstervolume	$V_b$	476,8	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,4	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,5	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$	25,1	%

<u>Bij percentage rek:</u>	0	2	5	15	26,0	<b>26,1</b>	%
$s'$	9,9	23,5	43,0	75,6	87,2	<b>87,2</b>	kPa
$t$	3,9	18,6	31,1	47,6	51,2	<b>51,2</b>	kPa
$\sigma'_3$	6,0	4,9	11,9	28,0	36,0	<b>36,0</b>	kPa
$\sigma'_1$	13,9	42,0	74,2	123,1	138,5	<b>138,3</b>	kPa
$E_{undr}$	[-]	1,46	1,09	0,58	0,36	<b>0,36</b>	MPa





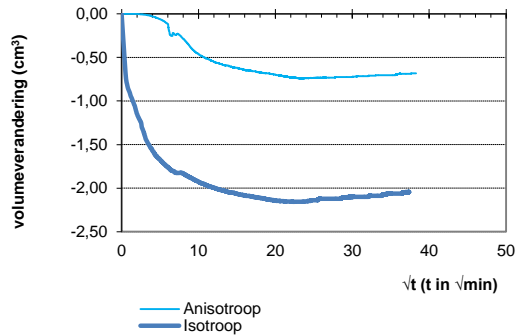
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T10 blz2

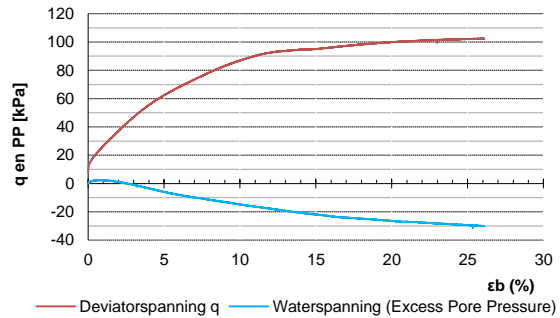
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-75.030+85B Monster mo-02 Diepte 1,60 [m-mv]

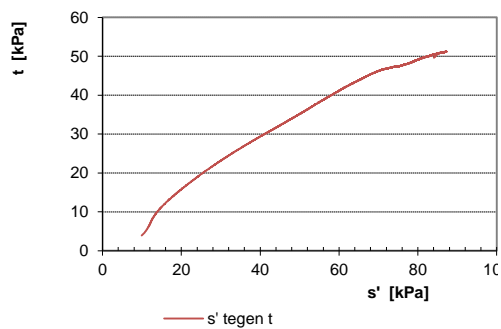
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



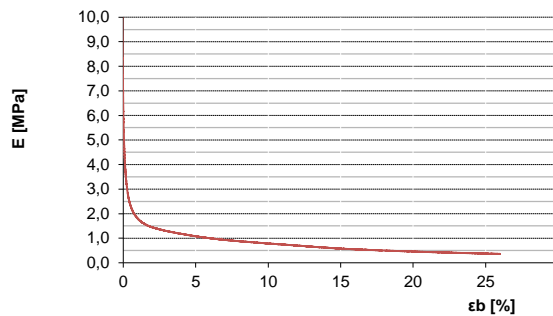
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad s' - t:

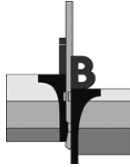


### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 6,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 6,0 kPa en 13,9 kPa bij een  $K_0$  van 0,43



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T10 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring	HB-75.030+85B	Monster	mo-02	Diepte	1,60	[m-mv]
--------	---------------	---------	-------	--------	------	--------

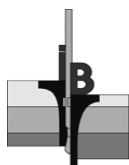
---

**Vorm na bezwijken:**



**Opmerkingen:**

---



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T11 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-75.030+85D	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-01	Testmethode	CiaU
Diepte	0,95 [m-mv]		
	17,15 [m tov NAP]		

**Klassificatie:** Klei sterk siltig zwak humeus [conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,7	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,4	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	28,3	%

#### Verzadigingsfase:

Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,97	-

#### Consolidatiefase:

		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	4,0	4,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	4,0	8,8	kPa
	$K_0$	1,00	0,45	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	134,0	133,9	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	36,5	36,5	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	489,2	488,8	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,4	19,4	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	14,8	14,9	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	30,6	30,5	%
t100	t100	0,81		min

#### Belastingsfase:

Axiale reksnelheid	$v$		0,88	%/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)		209,7	kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$		22,1	%
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$		104,8	kPa
	$s'$		178,1	kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'_1$		283,0	kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'_3$		73,3	kPa

#### Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:

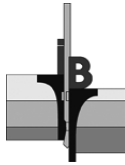
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$		2,5	MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$		4,02	%

#### Eindresultaat beproeving:

Monstervolume	$V_b$		488,8	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$		19,4	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$		14,9	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$		30,5	%

#### Bij percentage rek:

	0	2	5	15	22,1	<b>22,2</b>	%
$s'$	6,4	31,5	79,5	160,2	178,1	<b>178,2</b>	kPa
$t$	2,4	28,2	63,8	101,0	104,8	<b>104,8</b>	kPa
$\sigma'_3$	4,0	3,3	15,7	59,2	73,3	<b>73,4</b>	kPa
$\sigma'_1$	8,8	59,6	143,3	261,1	283,0	<b>283,0</b>	kPa
$E_{undr}$	[-]	2,58	2,46	1,31	0,93	<b>0,92</b>	MPa



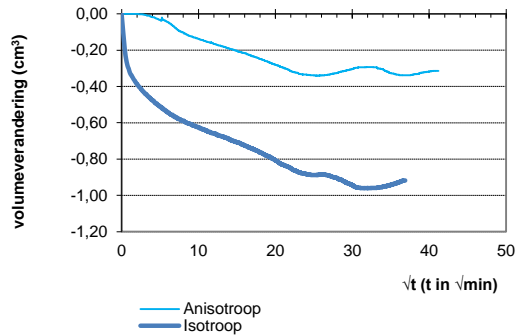
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T11 blz2

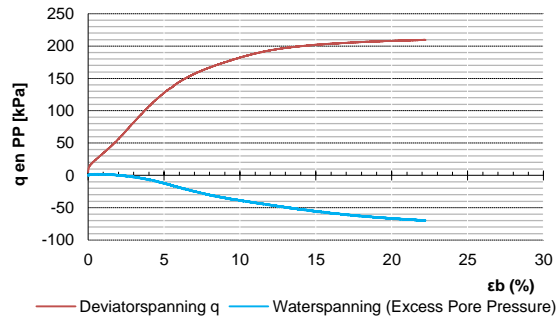
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-75.030+85D Monster mo-01 Diepte 0,95 [m-mv]

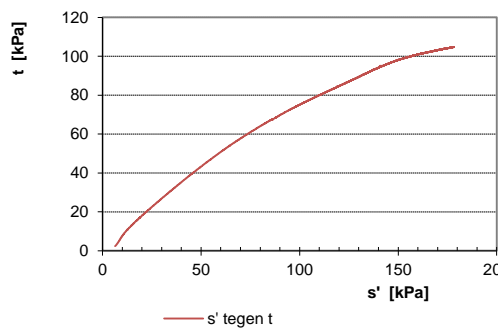
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



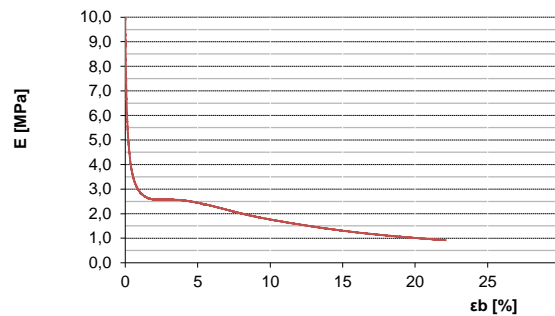
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad s' - t:

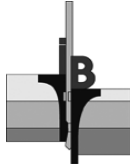


### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 4,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 4,0 kPa en 8,8 kPa bij een  $K_0$  van 0,45



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T11 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring	HB-75.030+85D	Monster	mo-01	Diepte	0,95	[m-mv]
--------	---------------	---------	-------	--------	------	--------

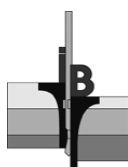
---

**Vorm na bezwijken:**



**Opmerkingen:**

---



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T12 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-75.030+85D	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-02	Testmethode	CiaU
Diepte	1,55 [m-mv]		
	16,55 [m tov NAP]		

**Klassificatie:** Leem, zwak zandig, zwak humeus, matig roesthoudend [conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,7	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,7	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	25,1	%

#### Verzadigingsfase:

Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,96	-

#### Consolidatiefase:

		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	6,1	6,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	6,1	12,9	kPa
	$K_0$	1,00	0,47	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	133,9	133,7	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	36,0	36,0	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	481,7	481,0	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,5	19,5	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,4	15,4	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	26,3	26,3	%
t100	t100	1,35		min

#### Belastingsfase:

Axiale reksnelheid	$v$	0,90	%/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)	101,3	kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$	26,0	%
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$	50,6	kPa
	$s'$	87,8	kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'_1$	138,5	kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'_3$	37,2	kPa

#### Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:

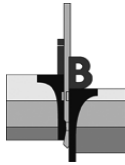
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$	1,1	MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$	4,21	%

#### Eindresultaat beproeving:

Monstervolume	$V_b$	481,3	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,5	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,4	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$	26,3	%

#### Bij percentage rek:

	0	2	5	15	26,0	26,1	%
$s'$	9,4	24,6	41,8	72,5	87,8	<b>87,9</b>	kPa
$t$	3,4	18,8	29,3	46,0	50,6	<b>50,6</b>	kPa
$\sigma'_3$	6,0	5,8	12,5	26,5	37,2	<b>37,3</b>	kPa
$\sigma'_1$	12,9	43,4	71,0	118,4	138,5	<b>138,5</b>	kPa
$E_{undr}$	[-]	1,54	1,03	0,57	0,36	<b>0,36</b>	MPa



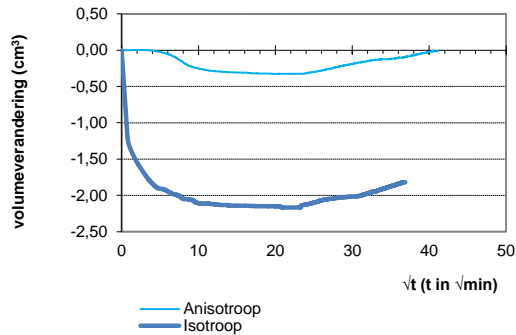
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T12 blz2

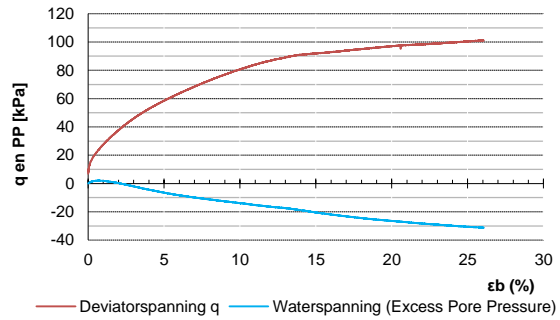
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-75.030+85D Monster mo-02 Diepte 1,55 [m-mv]

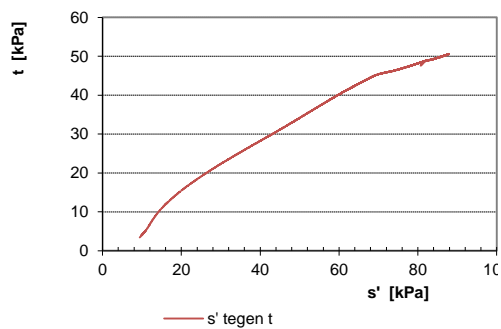
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



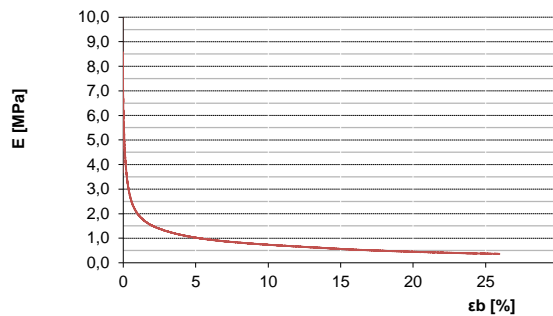
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad s' - t:



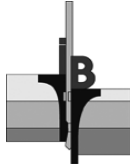
### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 6,1 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 6,0 kPa en 12,9 kPa bij een K0 van 0,47





Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T12 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring	HB-75.030+85D	Monster	mo-02	Diepte	1,55	[m-mv]
--------	---------------	---------	-------	--------	------	--------

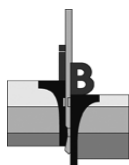
---

**Vorm na bezwijken:**



**Opmerkingen:**

---



Opdracht 02P005360  
 Project POV piping grind- en leemlagen

T13 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-75.030+85D	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-03	Testmethode	CiaU
Diepte	1,95 [m-mv]		
	16,15 [m tov NAP]		
<b>Klassificatie:</b>	Klei, sterk siltig, zwak humeus, matig roesthoudend		[conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,5	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,5	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	25,6	%

<u>Verzadigingsfase:</u>			
Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,97	-

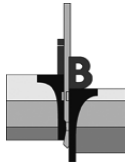
<u>Consolidatiefase:</u>		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	8,0	8,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	8,0	16,9	kPa
	$K_0$	1,00	0,47	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	133,8	133,4	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	35,5	35,6	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	475,4	474,5	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,4	19,4	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,4	15,4	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	26,0	25,9	%
t100	t100	0,94		min

<u>Belastingsfase:</u>			
Axiale reksnelheid	$v$	0,90	%/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)	101,7	kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$	26,0	%
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$	50,9	kPa
	$s'$	89,8	kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'^1$	140,6	kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'^3$	38,9	kPa

<u>Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:</u>			
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$	1,4	MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$	3,20	%

<u>Eindresultaat beproeving:</u>			
Monstervolume	$V_b$	474,5	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,4	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	15,4	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$	25,9	%

<u>Bij percentage rek:</u>	0	2	5	15	26,0	26,1	%
$s'$	12,4	27,8	47,7	77,4	89,8	<b>89,8</b>	kPa
$t$	4,4	22,1	34,1	49,2	50,9	<b>50,8</b>	kPa
$\sigma'^3$	8,0	5,7	13,6	28,2	38,9	<b>39,0</b>	kPa
$\sigma'^1$	16,9	49,9	81,7	126,6	140,6	<b>140,7</b>	kPa
$E_{undr}$	[-]	1,77	1,18	0,60	0,36	<b>0,36</b>	MPa



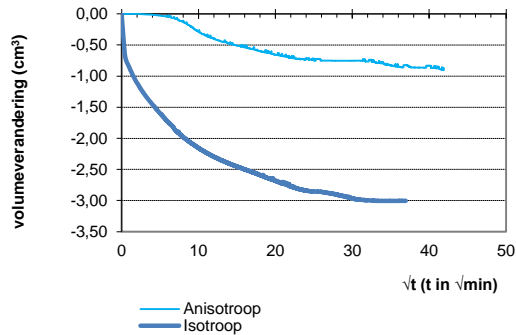
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T13 blz2

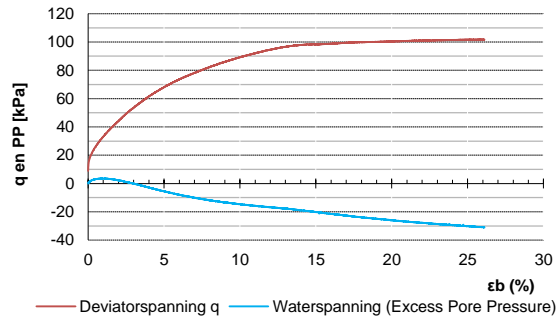
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-75.030+85D Monster mo-03 Diepte 1,95 [m-mv]

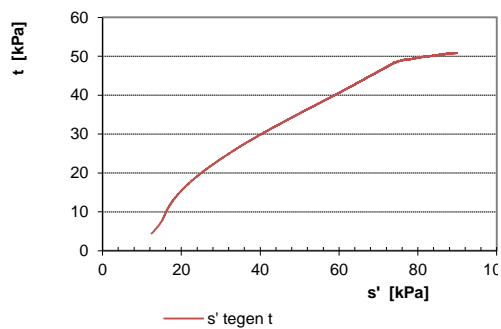
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



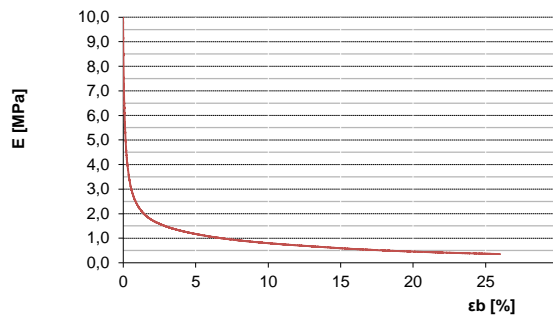
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad $s' - t$ :

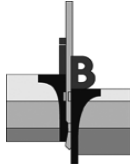


### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 8,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 8,0 kPa en 16,9 kPa bij een  $K_0$  van 0,47



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T13 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring	HB-75.030+85D	Monster	mo-03	Diepte	1,95	[m-mv]
--------	---------------	---------	-------	--------	------	--------

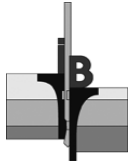
---

#### Vorm na bezwijken:



#### Opmerkingen:

---



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T15 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-79.037+50D	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-01	Testmethode	CiaU
Diepte	0,70 [m-mv]		
	22,28 [m tov NAP]		

**Klassificatie:** Klei, uiterst siltig, zwak grindig, zwak humeus, matig roest- en puinhoudend [conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,3	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	16,9	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	19,7	%

<u>Verzadigingsfase:</u>			
Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,97	-

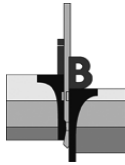
<u>Consolidatiefase:</u>		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	3,0	4,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	3,0	7,9	kPa
	$K_0$	1,00	0,51	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	133,9	133,8	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	36,1	36,0	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	483,3	482,4	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,0	20,0	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	16,5	16,6	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	21,0	20,9	%
t100	t100	2,02		min

<u>Belastingsfase:</u>			
Axiale reksnelheid	$v$		0,89 %/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)		84,3 kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$		26,0 %
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$		42,1 kPa
	$s'$		71,6 kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'^1$		113,8 kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'^3$		29,5 kPa

<u>Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:</u>			
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$		1,0 MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$		3,88 %

<u>Eindresultaat beproeving:</u>			
Monstervolume	$V_b$		482,5 cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$		20,0 kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$		16,6 kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$		20,9 %

<u>Bij percentage rek:</u>	0	2	5	15	26,0	26,0	%
$s'$	6,0	20,7	34,8	59,3	71,6	71,6	kPa
$t$	2,0	16,5	24,4	38,1	42,1	42,1	kPa
$\sigma'^3$	4,0	4,2	10,4	21,2	29,5	29,5	kPa
$\sigma'^1$	7,9	37,2	59,3	97,4	113,8	113,7	kPa
$E_{undr}$	[-]	1,45	0,90	0,48	0,31	0,31	MPa



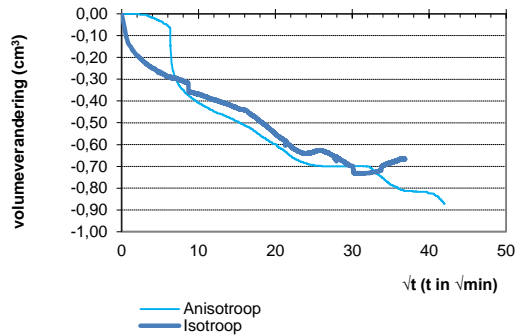
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T15 blz2

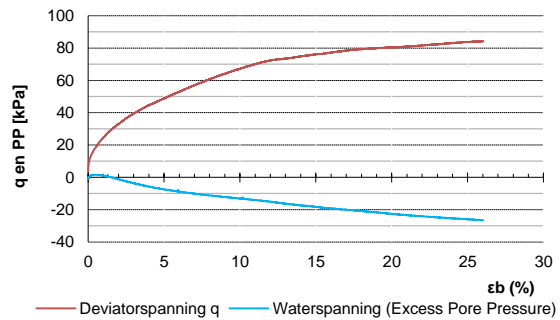
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-79.037+50D Monster mo-01 Diepte 0,70 [m-mv]

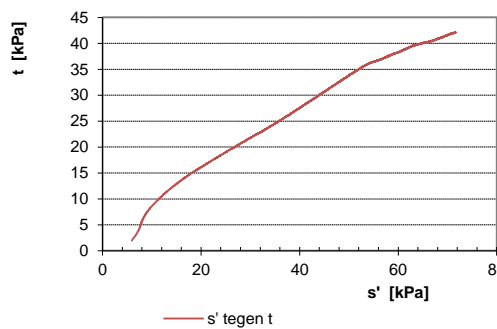
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



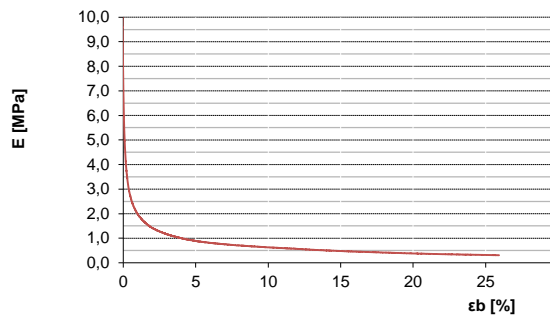
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad s' - t:



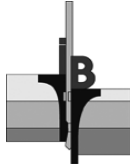
### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 3,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 4,0 kPa en 7,9 kPa bij een  $K_0$  van 0,51





Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T15 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring	HB-79.037+50D	Monster	mo-01	Diepte	0,70	[m-mv]
--------	---------------	---------	-------	--------	------	--------

---

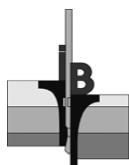
#### Vorm na bezwijken:



#### Opmerkingen:

---





Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T16 blz 1

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring	HB-8.037+50D	Soort proefstuk	ongeroerd uit steekbus
Monster	mo-02	Testmethode	CiaU
Diepte	1,15 [m-mv]		
	21,83 [m tov NAP]		

**Klassificatie:** Klei, zwak zandig, zwak humeus, matig grindig, zwak puin/en planhoudend [conform NEN-5104]

<u>Initiële eigenschappen:</u>	symbool		eenheid
Hoogte	$h_i$	134	mm
Diameter	$D_i$	67	mm
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	19,9	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	17,0	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_i$	17,4	%

<u>Verzadigingsfase:</u>			
Verzadigingsspanning	$U_0$	299	kPa
Verzadigingsfactor	$B_i$	0,97	-

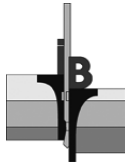
<u>Consolidatiefase:</u>		Isotroop	Anisotroop	
Effectieve celdruk	$\sigma'_c$	5,0	5,0	kPa
Effectieve axiale druk	$\sigma'_c$	5,0	10,0	kPa
	$K_0$	1,00	0,50	[-]
Monsterhoogte	$h_c$	133,9	133,8	mm
Monsteroppervlak	$A_c$	34,9	34,9	cm <sup>2</sup>
Monstervolume	$V_c$	468,1	467,3	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,0	20,0	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	17,1	17,1	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_c$	16,9	16,8	%
t100	t100	2,02		min

<u>Belastingsfase:</u>			
Axiale reksnelheid	$v$	0,90	%/uur
Deviatorspanning	$q_u$ (max)	38,6	kPa
Axiale rek bij maximale deviatorspanning	$\epsilon_{qu(max)}$	15,8	%
Ongedraineerde schuifsterkte	$f_{undr}$	19,3	kPa
	$s'$	26,5	kPa
Effectieve spanning Axiaal	$\sigma'1$	45,8	kPa
Effectieve spanning Radiaal	$\sigma'3$	7,2	kPa

<u>Bij 50% max. bezwijkdeviatorspanning:</u>			
Ongedraineerde elasticiteitsmodulus	$E_{undr,50}$	0,9	MPa
Axiale rek	$\epsilon_{b,50}$	1,91	%

<u>Eindresultaat beproeving:</u>			
Monstervolume	$V_b$	467,3	cm <sup>3</sup>
Nat volumegewicht	$\gamma_n$	20,0	kN/m <sup>3</sup>
Droog volumegewicht	$\gamma_{dr}$	17,1	kN/m <sup>3</sup>
Watergehalte	$W_e$	16,8	%

<u>Bij percentage rek:</u>	0	2	5	15	15,8	26,0	%
$s'$	7,5	14,8	19,6	26,3	26,5	27,3	kPa
$t$	2,5	11,0	14,4	19,2	19,3	17,5	kPa
$\sigma'3$	5,0	3,8	5,2	7,1	7,2	9,8	kPa
$\sigma'1$	10,0	25,8	33,9	45,5	45,8	44,8	kPa
$E_{undr}$	[-]	0,85	0,47	0,22	0,21	0,12	MPa



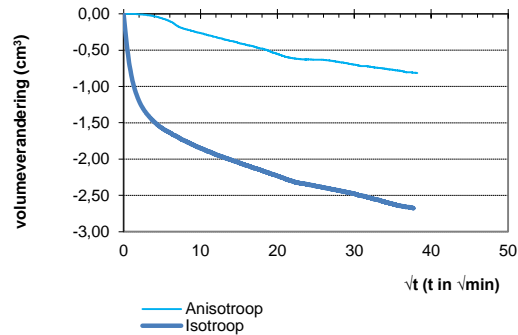
Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T16 blz2

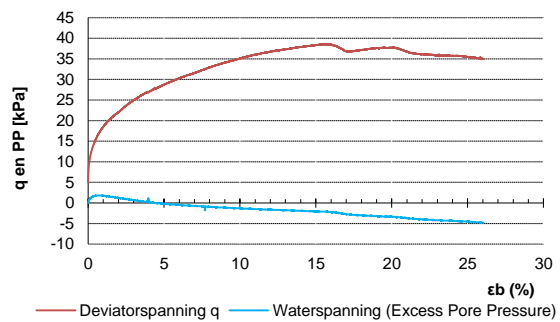
## Triaxiaalproef conform NEN-5117

Boring HB-8.037+50D Monster mo-02 Diepte 1,15 [m-mv]

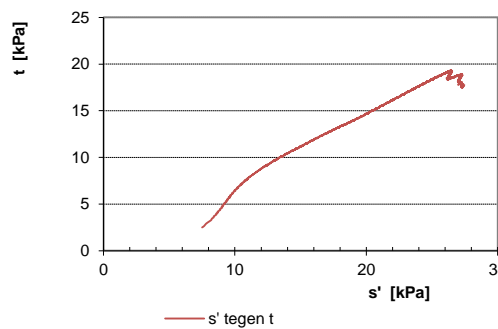
### Consolidatie isotroop en anisotroop:



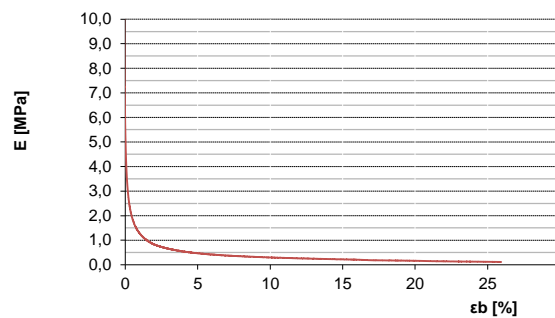
### Deviatorspanning en Waterspanning:



### Spanningspad s' - t:

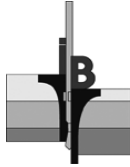


### E-modulus:



### Opmerkingen:

Monster is eerst isotroop geconsolideerd op 5,0 kPa, vervolgens anisotroop geconsolideerd op 5,0 kPa en 10,0 kPa bij een  $K_0$  van 0,5



Opdracht 02P005360  
Project POV piping grind- en leemlagen

T16 blz3

---

### Triaxiaalproef conform NEN-5117

---

Boring	HB-8.037+50D	Monster	mo-02	Diepte	1,15	[m-mv]
--------	--------------	---------	-------	--------	------	--------

---

Vorm na bezwijken:



Opmerkingen:

Helaas geen andere foto's beschikbaar.

## BIJLAGE D ANALYSES TRIAXIAALPROEVEN

## Analyse Triaxiaalproeven Single stage

### Algemeen

	basisverzameling	toevoegen verzameling
proevenverzameling naamgeving	POV_LEEM_tot 0,5%rek	
aantal proeven	12	0

### Opgeven parameters karakteristieke waarden en partiele materiaalfactoren effectieve schuifsterkteparameters

	phi (a2) [-]	cohesie (a1) [kPa]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,47)	(3,54)
gemiddelde waarden (handmatig snijpunt y-as opgeven)	0,468	3,54
karakteristieke ondergrenswaarden (eerste benadering)	(0,46)	(2,71)
karakteristieke ondergrenswaarden (handmatig)	0,45	2,65
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$	1,20	1,25
	$\alpha$ [-]	
type verzameling: lokaal = 1,0; regionaal = 0,75	0,75	

### Resultaten effectieve schuifsterkteparameters

sterkteparameters [-]	tan phi [-]	phi [°]	cohesie [kPa]
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,53	27,9	4,01
karakteristieke waarde	0,51	27,0	2,97
rekenwaarde	0,42	23,0	2,38
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt Prostab	-0,001 / 0	-0,05 / nvt	1,24 / 0,31
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt D-geostability	0 / 0	-0,03 / nvt	0,72 / nvt
Analyse resultaten			correlatiecoëfficiënt
regressie verwachtingswaarde			0,83
regressie verwachtingswaarde bij snijpunt y-as =3,54			0,83

### Opgeven parameters voor fitten S, macht o.b.v. voorkennis uit OED of CRS en partiele materiaalfactoren

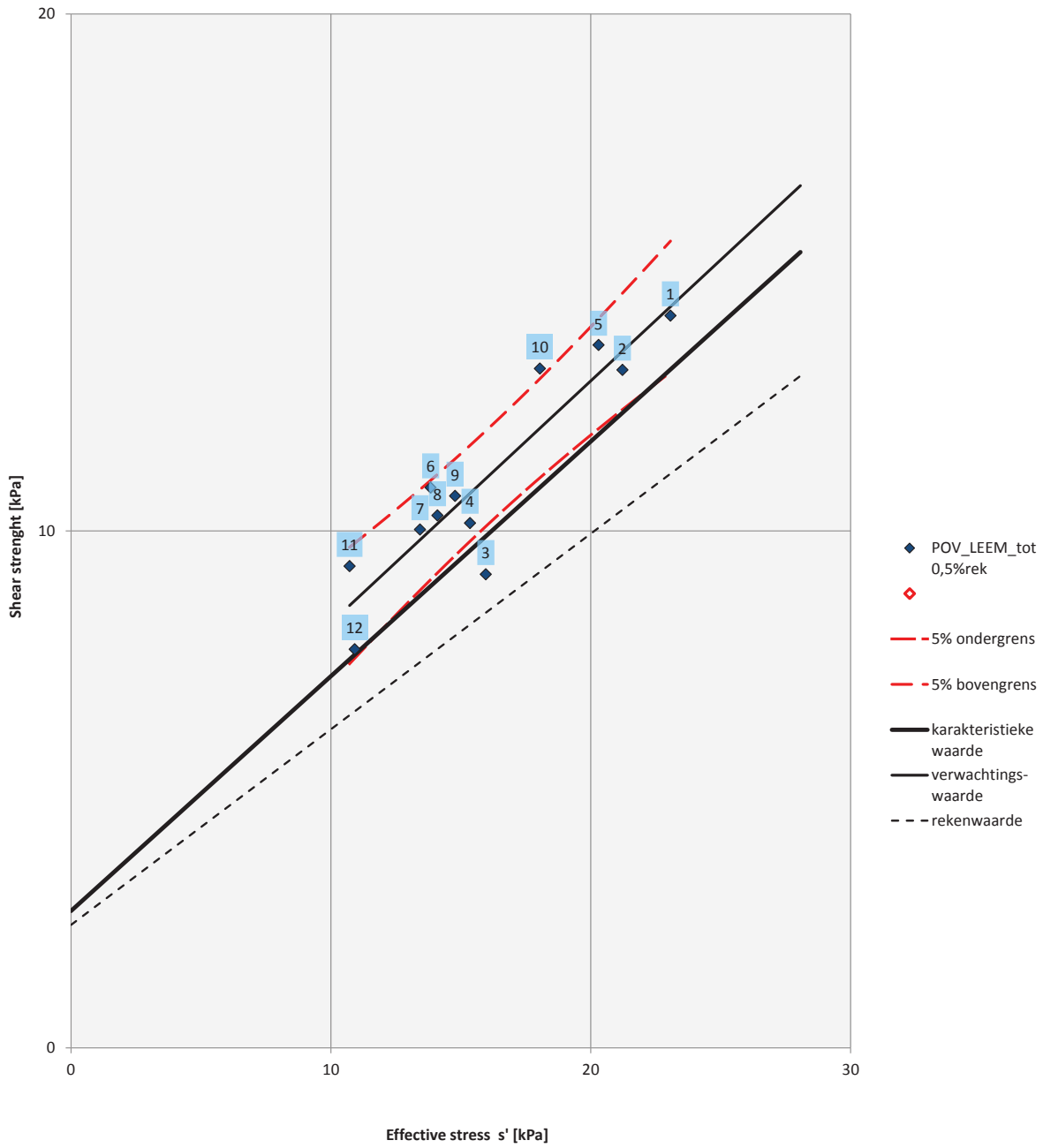
parameters [-]	ln schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	sterkte toename exponent = m [-]
gemiddelde waarden (automatisch)	#WAARDE!	#WAARDE!	(m >0,6 a 0,7 en <1,0)
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,00	1,00	0,00
standaarddeviatie	0,00	nvt	0,00
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$		1,05	1,05

### Resultaten ongedraineerde schuifsterkteparameters bij eindsterkte

sterkteparameters [-]	Ongedr. schuifsterkeratio S [-]	sterkte toename exponent = m in relatie: $S_u/\alpha_{vc}^m = S \text{ OCR}^m$
verwachtingswaarde bij OCR=1-4 (op basis van regressie)	#WAARDE!	#WAARDE!
karakteristieke waarden met voorkennis	#WAARDE!	#WAARDE!
rekenwaarden met voorkennis	#WAARDE!	#WAARDE!
verwachtingswaarde S uit proeven met OCR=1	0,00	
standaarddeviatie uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	nvt
karakteristieke waarde uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	

### Kenmerkende eigenschappen

	volumegewicht nat [kN/m <sup>3</sup> ]	volumegewicht droog [kN/m <sup>3</sup> ]	watergehalte [%]
gemiddelde waarde	19,92	16,39	21,70
standaarddeviatie	0,52	0,87	3,63
variatiecoëfficiënt	0,03	0,05	0,17
	plasticiteitsindex [%]	terreinspanning [kPa]	Nkt [-]
gemiddelde waarde	8,17	14	0,00
standaarddeviatie	5,74	5	-
variatiecoëfficiënt	0,70	0,34	0,00



## Analyse Triaxiaalproeven Single stage

### Algemeen

	basisverzameling	toevoegen verzameling
proevenverzameling naamgeving	POV_LEEM_tot 0,5%rek	POV_LEEM_uitschieter_tot 0,5%rek
aantal proeven	12	3

### Opgeven parameters karakteristieke waarden en partiele materiaalfactoren effectieve schuifsterkteparameters

	phi (a2) [-]	cohesie (a1) [kPa]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,54)	(2,64)
gemiddelde waarden (handmatig snijpunt y-as opgeven)	0,540	2,64
karakteristieke ondergrenswaarden (eerste benadering)	(0,52)	(1,85)
karakteristieke ondergrenswaarden (handmatig)	0,52	1,80
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$	1,20	1,25
	$\alpha$ [-]	
type verzameling: lokaal = 1,0; regionaal = 0,75	0,75	

### Resultaten effectieve schuifsterkteparameters

sterkteparameters [-]	tan phi [-]	phi [°]	cohesie [kPa]
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,64	32,7	3,14
karakteristieke waarde	0,60	31,0	2,10
rekenwaarde	0,50	26,6	1,68
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt Prostab	0,024 / 0,04	1,35 / nvt	1,29 / 0,41
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt D-geostability	0,013 / 0,02	0,76 / nvt	0,72 / nvt
Analyse resultaten			correlatiecoëfficiënt
regressie verwachtingswaarde			0,93
regressie verwachtingswaarde bij snijpunt y-as =2,64			0,93

### Opgeven parameters voor fitten S, macht o.b.v. voorkennis uit OED of CRS en partiele materiaalfactoren

parameters [-]	ln schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	sterkte toename exponent = m [-]
gemiddelde waarden (automatisch)	#WAARDE!	#WAARDE!	(m >0,6 a 0,7 en <1,0)
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,00	1,00	0,00
standaarddeviatie	0,00	nvt	0,00
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$		1,05	1,05

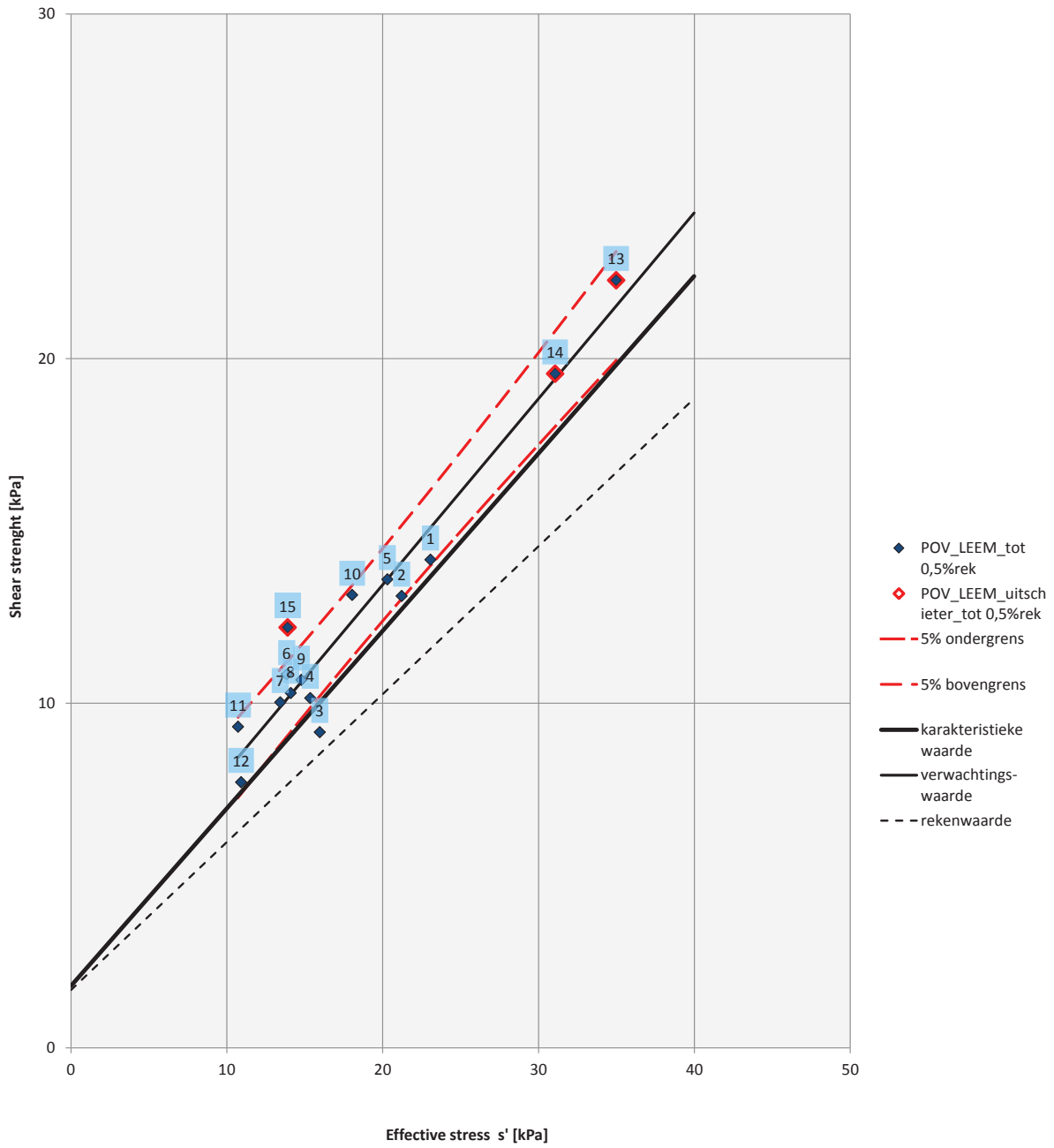
### Resultaten ongedraineerde schuifsterkteparameters bij eindsterkte

sterkteparameters [-]	Ongedr. schuifsterkeratio S [-]	sterkte toename exponent = m in relatie: $S_u/\alpha_{vc} = S OCR^m$
verwachtingswaarde bij OCR=1-4 (op basis van regressie)	#WAARDE!	#WAARDE!
karakteristieke waarden met voorkennis	#WAARDE!	#WAARDE!
rekenwaarden met voorkennis	#WAARDE!	#WAARDE!
verwachtingswaarde S uit proeven met OCR=1	0,00	
standaarddeviatie uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	nvt
karakteristieke waarde uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	

### Kenmerkende eigenschappen

	volumegewicht nat [kN/m <sup>3</sup> ]	volumegewicht droog [kN/m <sup>3</sup> ]	watergehalte [%]
gemiddelde waarde	19,87	16,40	21,30
standaarddeviatie	0,58	0,86	4,47
variatiecoëfficiënt	0,03	0,05	0,21
	plasticiteitsindex [%]	terreinspanning [kPa]	Nkt [-]
gemiddelde waarde	8,23	14	0,00
standaarddeviatie	5,67	4	-
variatiecoëfficiënt	0,69	0,33	0,00





## Analyse Triaxiaalproeven Single stage

### Algemeen

	basisverzameling	toevoegen verzameling
proevenverzameling naamgeving	POV_LEEM	
aantal proeven	12	0

### Opgeven parameters karakteristieke waarden en partiele materiaalfactoren effectieve schuifsterkteparameters

	phi (a2) [-]	cohesie (a1) [kPa]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,58)	(3,44)
gemiddelde waarden (handmatig snijpunt y-as opgeven)	0,573	3,50
karakteristieke ondergrenswaarden (eerste benadering)	(0,56)	(1,94)
karakteristieke ondergrenswaarden (handmatig)	0,55	2,00
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$	1,20	1,25
	$\alpha$ [-]	
type verzameling: lokaal = 1,0; regionaal = 0,75	0,75	

### Resultaten effectieve schuifsterkteparameters

sterkteparameters [-]	tan phi [-]	phi [°]	cohesie [kPa]
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,70	35,0	4,27
karakteristieke waarde	0,66	33,4	2,39
rekenwaarde	0,55	28,8	1,92
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt Prostab	0,008 / 0,01	0,45 / nvt	2,23 / 0,52
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt D-geostability	0,005 / 0,01	0,26 / nvt	1,29 / nvt
Analyse resultaten			correlatiecoëfficiënt
regressie verwachtingswaarde			0,88
regressie verwachtingswaarde bij snijpunt y-as =3,5			0,88

### Opgeven parameters voor fitten S, macht o.b.v. voorkennis uit OED of CRS en partiele materiaalfactoren

parameters [-]	ln schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	sterkte toename exponent = m [-]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,03)	(1,03)	(m >0,6 a 0,7 en <1,0)
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,01	1,01	0,80
standaarddeviatie	0,01	nvt	0,10
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$		1,05	1,05

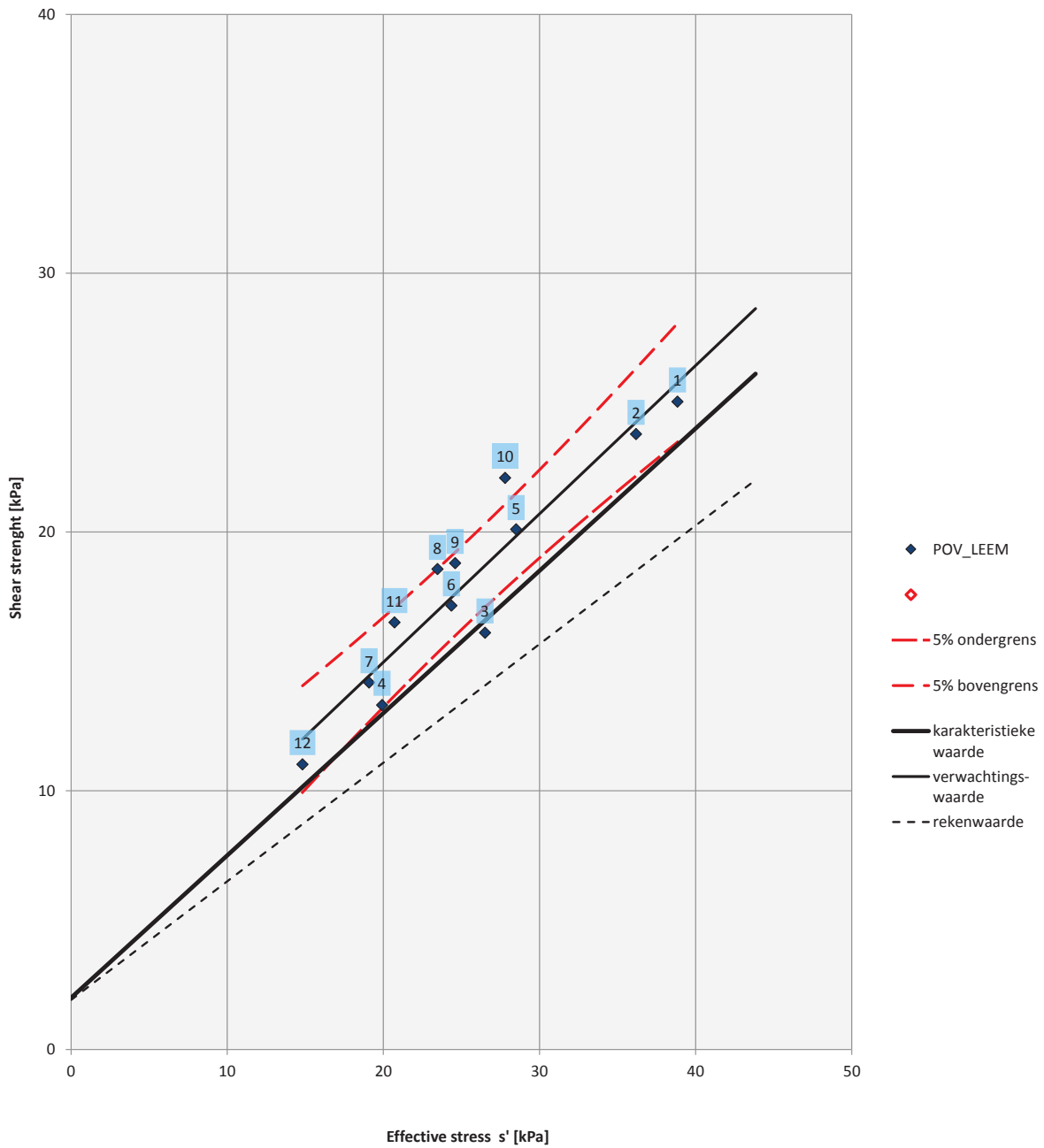
### Resultaten ongedraineerde schuifsterkteparameters bij eindsterkte

sterkteparameters [-]	Ongedr. schuifsterkeratio S [-]	sterkte toename exponent = m in relatie: $S_u/\alpha_{vc}' = S OCR^m$
verwachtingswaarde bij OCR=1-4 (op basis van regressie)	1,03	0,97
<b>karakteristieke waarden met voorkennis</b>	<b>0,72</b>	<b>0,78</b>
rekenwaarden met voorkennis	0,69	0,74
verwachtingswaarde S uit proeven met OCR=1	0,61	
standaarddeviatie uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	nvt
karakteristieke waarde uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	

### Kenmerkende eigenschappen

	volumegewicht nat [kN/m <sup>3</sup> ]	volumegewicht droog [kN/m <sup>3</sup> ]	watergehalte [%]
gemiddelde waarde	19,92	16,39	21,70
standaarddeviatie	0,52	0,87	3,63
variatiecoëfficiënt	0,03	0,05	0,17
	plasticiteitsindex [%]	terreinspanning [kPa]	Nkt [-]
gemiddelde waarde	8,17	14	0,00
standaarddeviatie	5,74	5	-
variatiecoëfficiënt	0,70	0,34	0,00

C:\workspace\checkout\Proevenverzameling\_tool\_v4.2g\_POV Leem en grind\_078985657\_3\Proevenverzameling\_tool\_v4.2g\_POV Leem en grind.xlsx|TXT\_proeven\_SS 6-30-16



## Analyse Triaxiaalproeven Single stage

### Algemeen

	basisverzameling	toevoegen verzameling
proevenverzameling naamgeving	POV_LEEM	POV_LEEM_uitschieter
aantal proeven	12	3

### Opgeven parameters karakteristieke waarden en partiele materiaalfactoren effectieve schuifsterkteparameters

	phi (a2) [-]	cohesie (a1) [kPa]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,61)	(2,88)
gemiddelde waarden (handmatig snijpunt y-as opgeven)	0,612	3,00
karakteristieke ondergrenswaarden (eerste benadering)	(0,6)	(1,27)
karakteristieke ondergrenswaarden (handmatig)	0,60	1,00
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$	1,20	1,25
	$\alpha$ [-]	
type verzameling: lokaal = 1,0; regionaal = 0,75	0,75	

### Resultaten effectieve schuifsterkteparameters

sterkteparameters [-]	tan phi [-]	phi [°]	cohesie [kPa]
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,77	37,8	3,79
karakteristieke waarde	0,75	36,9	1,25
rekenwaarde	0,63	32,0	1,00
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt Prostab	0,014 / 0,02	0,78 / nvt	2,54 / 0,67
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt D-geostability	0,008 / 0,01	0,44 / nvt	1,43 / nvt
Analyse resultaten			correlatiecoëfficiënt
regressie verwachtingswaarde			0,98
regressie verwachtingswaarde bij snijpunt y-as =3			0,98

### Opgeven parameters voor fitten S, macht o.b.v. voorkennis uit OED of CRS en partiele materiaalfactoren

parameters [-]	ln schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	sterkte toename exponent = m [-]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,15)	(1,16)	(m >0,6 a 0,7 en <1,0)
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,01	1,01	0,80
standaarddeviatie	0,01	nvt	0,10
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$		1,05	1,05

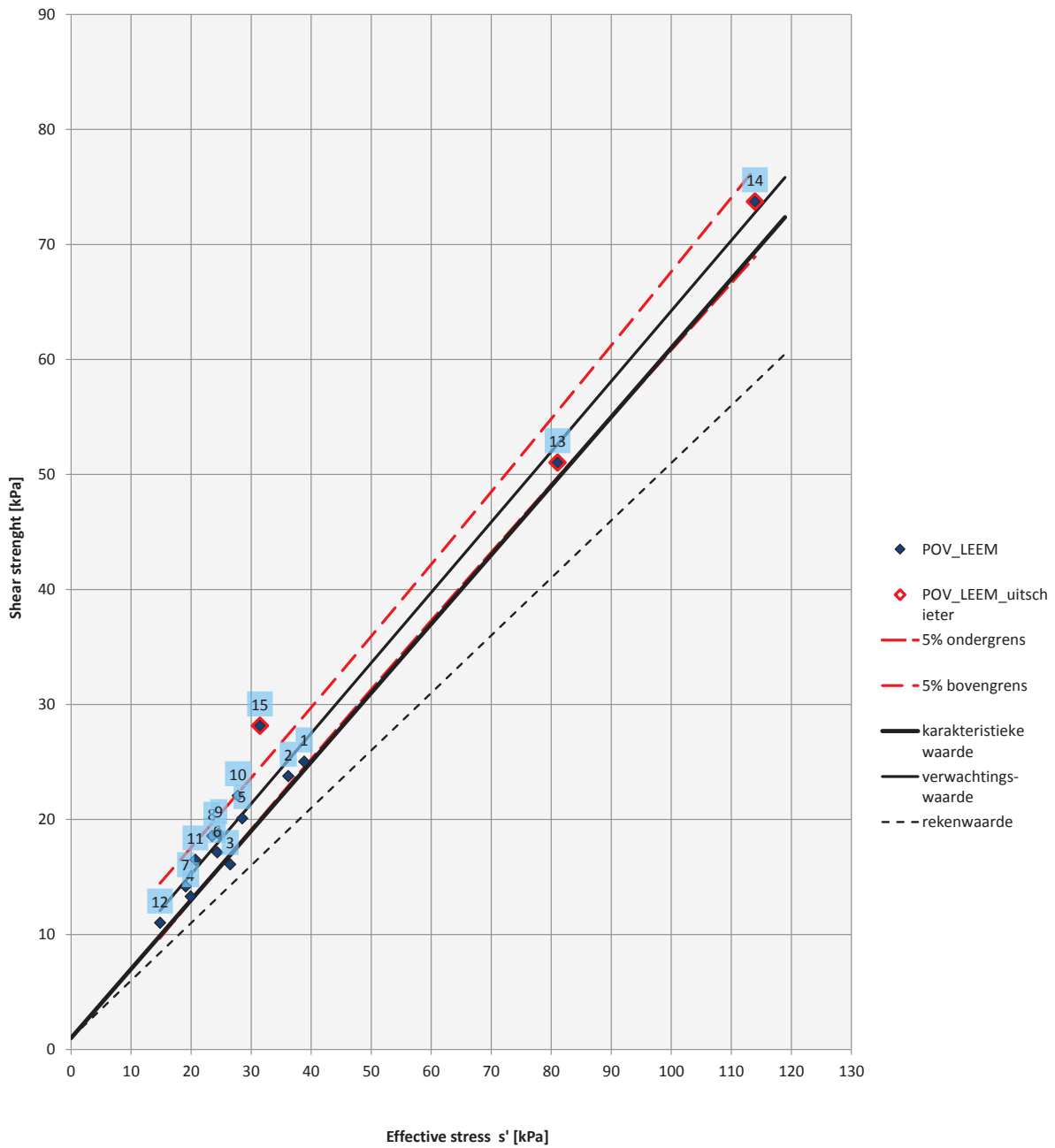
### Resultaten ongedraineerde schuifsterkteparameters bij eindsterkte

sterkteparameters [-]	Ongedr. schuifsterkeratio S [-]	sterkte toename exponent = m in relatie: $S_u/\sigma_{vc}' = S OCR^m$
verwachtingswaarde bij OCR=1-4 (op basis van regressie)	1,16	1,29
<b>karakteristieke waarden met voorkennis</b>	<b>0,63</b>	<b>0,78</b>
rekenwaarden met voorkennis	0,60	0,75
verwachtingswaarde S uit proeven met OCR=1	0,61	
standaarddeviatie uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	nvt
karakteristieke waarde uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	

### Kenmerkende eigenschappen

	volumegewicht nat [kN/m <sup>3</sup> ]	volumegewicht droog [kN/m <sup>3</sup> ]	watergehalte [%]
gemiddelde waarde	19,87	16,40	21,30
standaarddeviatie	0,58	0,86	4,47
variatiecoëfficiënt	0,03	0,05	0,21
	plasticiteitsindex [%]	terreinspanning [kPa]	Nkt [-]
gemiddelde waarde	8,23	14	0,00
standaarddeviatie	5,67	4	-
variatiecoëfficiënt	0,69	0,33	0,00

Analyse Triaxiaalproeven single stage (TXT) resultaten - Sigma - Tau diagram



## Analyse Triaxiaalproeven Single stage

### Algemeen

	basisverzameling	toevoegen verzameling
proevenverzameling naamgeving	POV_LEEM	
aantal proeven	12	0

### Opgeven parameters karakteristieke waarden en partiele materiaalfactoren effectieve schuifsterkteparameters

	phi (a2) [-]	cohesie (a1) [kPa]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,62)	(2,09)
gemiddelde waarden (handmatig snijpunt y-as opgeven)	0,625	2,00
karakteristieke ondergrenswaarden (eerste benadering)	(0,62)	(0,27)
karakteristieke ondergrenswaarden (handmatig)	0,62	0,50
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$	1,20	1,25
	$\alpha$ [-]	
type verzameling: lokaal = 1,0; regionaal = 0,75	0,75	

### Resultaten effectieve schuifsterkteparameters

sterkteparameters [-]	tan phi [-]	phi [°]	cohesie [kPa]
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,80	38,7	2,56
karakteristieke waarde	0,79	38,3	0,64
rekenwaarde	0,66	33,4	0,51
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt Prostab	-0,015 / -0,02	-0,83 / nvt	2,19 / 0,85
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt D-geostability	-0,008 / -0,01	-0,48 / nvt	1,26 / nvt
Analyse resultaten			correlatiecoëfficiënt
regressie verwachtingswaarde			0,96
regressie verwachtingswaarde bij snijpunt y-as =2			0,96

### Opgeven parameters voor fitten S, macht o.b.v. voorkennis uit OED of CRS en partiele materiaalfactoren

parameters [-]	ln schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	sterkte toename exponent = m [-]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,03)	(1,03)	(m >0,6 a 0,7 en <1,0)
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,01	1,01	0,80
standaarddeviatie	0,01	nvt	0,10
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$		1,05	1,05

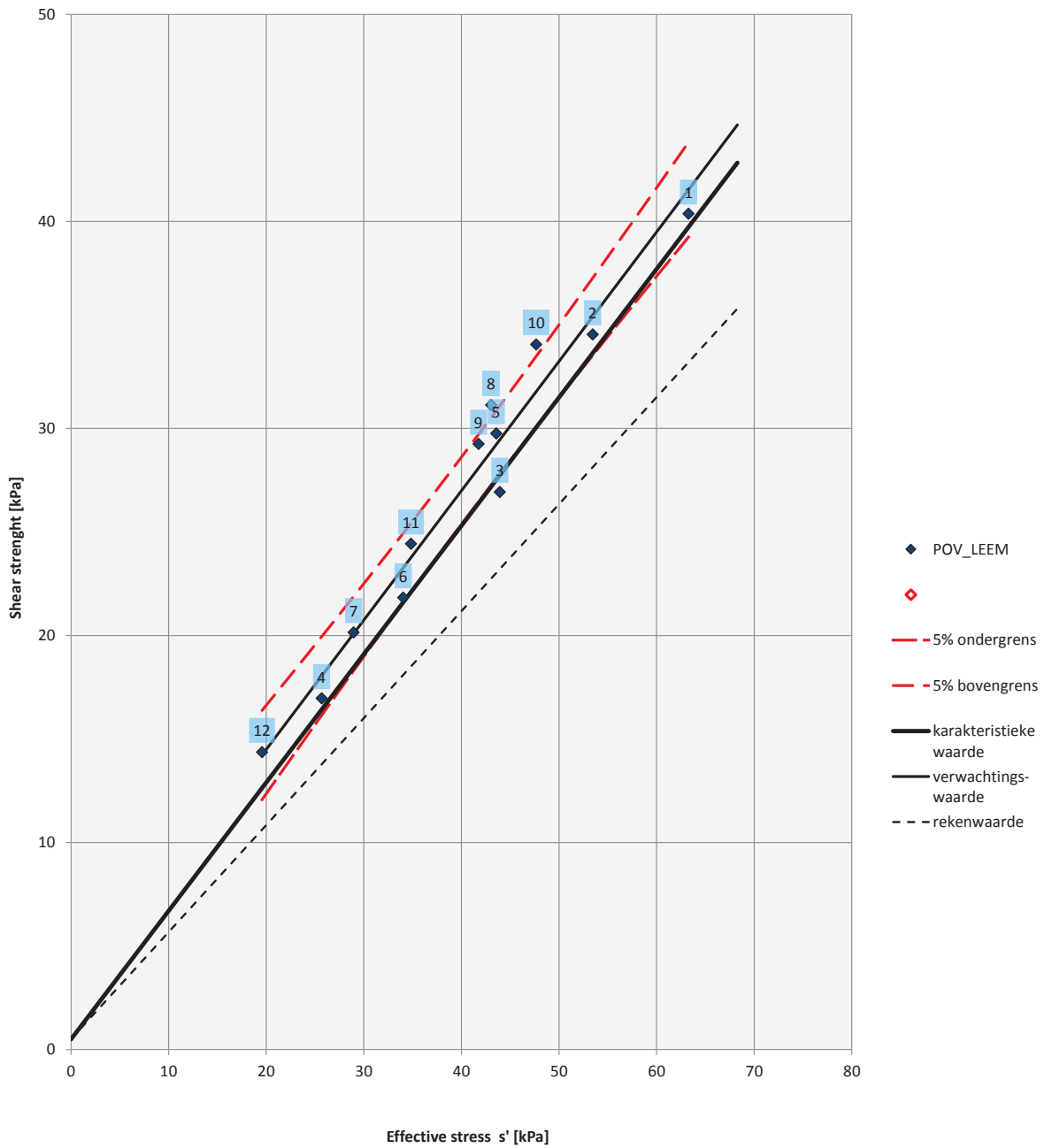
### Resultaten ongedraineerde schuifsterkteparameters bij eindsterkte

sterkteparameters [-]	Ongedr. schuifsterkeratio S [-]	sterkte toename exponent = m in relatie: $S_u/\sigma_{vc}' = S OCR^m$
verwachtingswaarde bij OCR=1-4 (op basis van regressie)	1,03	0,97
<b>karakteristieke waarden met voorkennis</b>	<b>0,72</b>	<b>0,78</b>
rekenwaarden met voorkennis	0,69	0,74
verwachtingswaarde S uit proeven met OCR=1	0,61	
standaarddeviatie uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	nvt
karakteristieke waarde uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	

### Kenmerkende eigenschappen

	volumegewicht nat [kN/m <sup>3</sup> ]	volumegewicht droog [kN/m <sup>3</sup> ]	watergehalte [%]
gemiddelde waarde	19,92	16,39	21,70
standaarddeviatie	0,52	0,87	3,63
variatiecoëfficiënt	0,03	0,05	0,17
	plasticiteitsindex [%]	terreinspanning [kPa]	Nkt [-]
gemiddelde waarde	8,17	14	0,00
standaarddeviatie	5,74	5	-
variatiecoëfficiënt	0,70	0,34	0,00

C:\workspace\checkout\Proevenverzameling\_tool\_v4.2g\_POV Leem en grind\_078985657\_3\Proevenverzameling\_tool\_v4.2g\_POV Leem en grind.xlsx|TXT\_proeven\_SS 6-30-16





## Analyse Triaxiaalproeven Single stage

### Algemeen

	basisverzameling	toevoegen verzameling
proevenverzameling naamgeving	POV_LEEM	POV_LEEM_uitschieter
aantal proeven	12	3

### Opgeven parameters karakteristieke waarden en partiele materiaalfactoren effectieve schuifsterkteparameters

	phi (a2) [-]	cohesie (a1) [kPa]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,6)	(3,8)
gemiddelde waarden (handmatig snijpunt y-as opgeven)	0,598	3,75
karakteristieke ondergrenswaarden (eerste benadering)	(0,59)	(0,53)
karakteristieke ondergrenswaarden (handmatig)	0,59	0,25
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$	1,20	1,25
	$\alpha$ [-]	
type verzameling: lokaal = 1,0; regionaal = 0,75	0,75	

### Resultaten effectieve schuifsterkteparameters

sterkteparameters [-]	tan phi [-]	phi [°]	cohesie [kPa]
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,75	36,7	4,68
karakteristieke waarde	0,73	36,2	0,31
rekenwaarde	0,61	31,3	0,25
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt Prostab	0,009 / 0,01	0,52 / nvt	4,16 / 0,89
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt D-geostability	0,005 / 0,01	0,29 / nvt	2,34 / nvt
Analyse resultaten			correlatiecoëfficiënt
regressie verwachtingswaarde			0,99
regressie verwachtingswaarde bij snijpunt y-as =3,75			0,99

### Opgeven parameters voor fitten S, macht o.b.v. voorkennis uit OED of CRS en partiele materiaalfactoren

parameters [-]	ln schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	sterkte toename exponent = m [-]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,15)	(1,16)	(m >0,6 a 0,7 en <1,0)
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,01	1,01	0,80
standaarddeviatie	0,01	nvt	0,10
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$		1,05	1,05

### Resultaten ongedraineerde schuifsterkteparameters bij eindsterkte

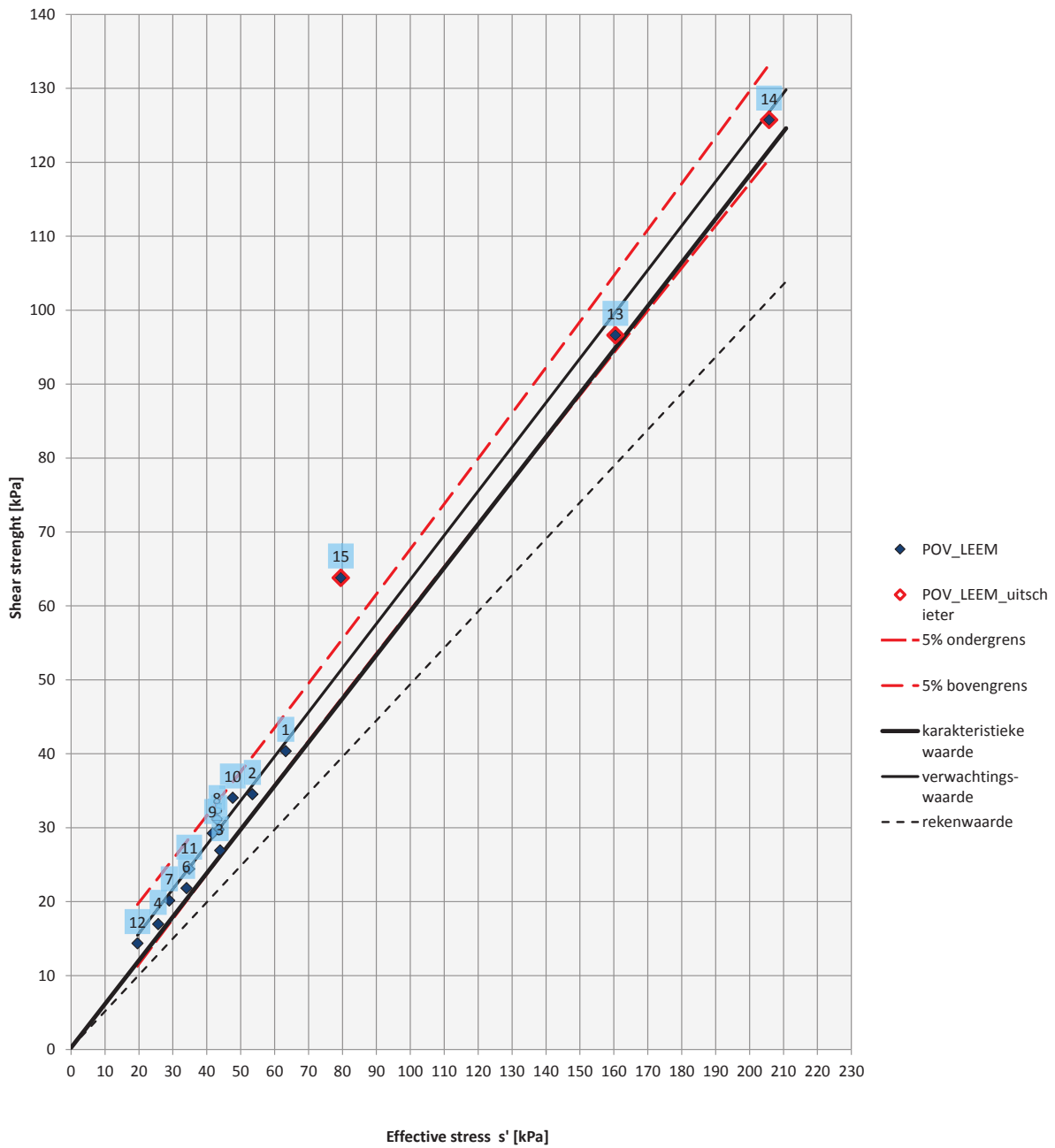
sterkteparameters [-]	Ongedr. schuifsterkeratio S [-]	sterkte toename exponent = m in relatie: $S_u/\sigma_{vc}' = S OCR^m$
verwachtingswaarde bij OCR=1-4 (op basis van regressie)	1,16	1,29
<b>karakteristieke waarden met voorkennis</b>	<b>0,63</b>	<b>0,78</b>
rekenwaarden met voorkennis	0,60	0,75
verwachtingswaarde S uit proeven met OCR=1	0,61	
standaarddeviatie uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	nvt
karakteristieke waarde uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	

### Kenmerkende eigenschappen

	volumegewicht nat [kN/m <sup>3</sup> ]	volumegewicht droog [kN/m <sup>3</sup> ]	watergehalte [%]
gemiddelde waarde	19,87	16,40	21,30
standaarddeviatie	0,58	0,86	4,47
variatiecoëfficiënt	0,03	0,05	0,21
	plasticiteitsindex [%]	terreinspanning [kPa]	N <sub>kt</sub> [-]
gemiddelde waarde	8,23	14	0,00
standaarddeviatie	5,67	4	-
variatiecoëfficiënt	0,69	0,33	0,00

C:\workspace\checkout\Proevenverzameling\_tool\_v4.2g\_POV Leem en grind\_078985657\_3\Proevenverzameling\_tool\_v4.2g\_POV Leem en grind.xlsm|TXT\_proeven\_SS 6-30-16

Analyse Triaxiaalproeven single stage (TXT) resultaten - Sigma - Tau diagram



## Analyse Triaxiaalproeven Single stage

### Algemeen

	basisverzameling	toevoegen verzameling
proevenverzameling naamgeving	POV_LEEM	
aantal proeven	12	0

### Opgeven parameters karakteristieke waarden en partiele materiaalfactoren effectieve schuifsterkteparameters

	phi (a2) [-]	cohesie (a1) [kPa]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,53)	(4,73)
gemiddelde waarden (handmatig snijpunt y-as opgeven)	0,532	4,75
karakteristieke ondergrenswaarden (eerste benadering)	(0,53)	(2,79)
karakteristieke ondergrenswaarden (handmatig)	0,53	2,75
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$	1,20	1,25
	$\alpha$ [-]	
type verzameling: lokaal = 1,0; regionaal = 0,75	0,75	

### Resultaten effectieve schuifsterkteparameters

sterkteparameters [-]	tan phi [-]	phi [°]	cohesie [kPa]
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,63	32,1	5,61
karakteristieke waarde	0,63	32,0	3,24
rekenwaarde	0,52	27,5	2,59
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt Prostab	-0,012 / -0,02	-0,66 / nvt	2,7 / 0,48
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt D-geostability	-0,007 / -0,01	-0,38 / nvt	1,56 / nvt
Analyse resultaten			correlatiecoëfficiënt
regressie verwachtingswaarde			0,99
regressie verwachtingswaarde bij snijpunt y-as =4,75			0,99

### Opgeven parameters voor fitten S, macht o.b.v. voorkennis uit OED of CRS en partiele materiaalfactoren

parameters [-]	ln schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	sterkte toename exponent = m [-]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,03)	(1,03)	(m >0,6 a 0,7 en <1,0)
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,01	1,01	0,80
standaarddeviatie	0,01	nvt	0,10
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$		1,05	1,05

### Resultaten ongedraineerde schuifsterkteparameters bij eindsterkte

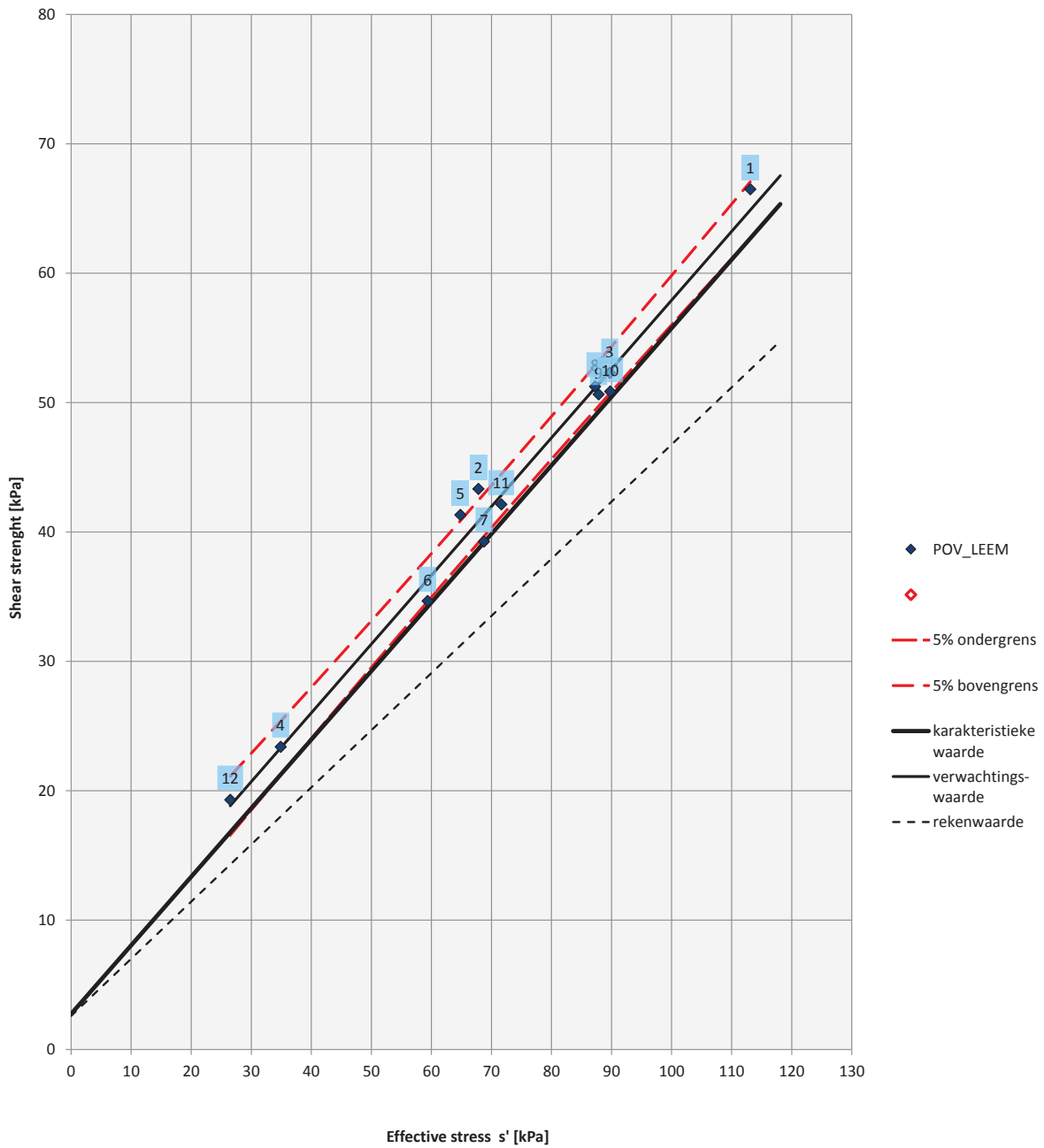
sterkteparameters [-]	Ongedr. schuifsterkeratio S [-]	sterkte toename exponent = m in relatie: $S_u/\alpha_{vc} = S \text{ OCR}^m$
verwachtingswaarde bij OCR=1-4 (op basis van regressie)	1,03	0,97
<b>karakteristieke waarden met voorkennis</b>	<b>0,72</b>	<b>0,78</b>
rekenwaarden met voorkennis	0,69	0,74
verwachtingswaarde S uit proeven met OCR=1	0,61	
standaarddeviatie uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	nvt
karakteristieke waarde uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	

### Kenmerkende eigenschappen

	volumegewicht nat [kN/m <sup>3</sup> ]	volumegewicht droog [kN/m <sup>3</sup> ]	watergehalte [%]
gemiddelde waarde	19,92	16,39	21,70
standaarddeviatie	0,52	0,87	3,63
variatiecoëfficiënt	0,03	0,05	0,17
	plasticiteitsindex [%]	terreinspanning [kPa]	N <sub>kt</sub> [-]
gemiddelde waarde	8,17	14	0,00
standaarddeviatie	5,74	5	-
variatiecoëfficiënt	0,70	0,34	0,00

C:\workspace\checkout\Proevenverzameling\_tool\_v4.2g\_POV Leem en grind\_078985657\_3\Proevenverzameling\_tool\_v4.2g\_POV Leem en grind.xlsx|TXT\_proeven\_SS 6-30-16

Analyse Triaxiaalproeven single stage (TXT) resultaten - Sigma - Tau diagram



## Analyse Triaxiaalproeven Single stage

### Algemeen

	basisverzameling	toevoegen verzameling
proevenverzameling naamgeving	POV_LEEM	POV_LEEM_uitschieter
aantal proeven	12	3

### Opgeven parameters karakteristieke waarden en partiele materiaalfactoren effectieve schuifsterkteparameters

	phi (a2) [-]	cohesie (a1) [kPa]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,59)	(0,97)
gemiddelde waarden (handmatig snijpunt y-as opgeven)	0,587	0,97
karakteristieke ondergrenswaarden (eerste benadering)	(0,58)	(-1,11)
karakteristieke ondergrenswaarden (handmatig)	0,58	-0,50
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$	1,20	1,25
	$\alpha$ [-]	
type verzameling: lokaal = 1,0; regionaal = 0,75	0,75	

### Resultaten effectieve schuifsterkteparameters

sterkteparameters [-]	tan phi [-]	phi [°]	cohesie [kPa]
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,73	36,0	1,20
karakteristieke waarde	0,70	35,1	-0,61
rekenwaarde	0,59	30,4	-0,49
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt Prostab	0,013 / 0,02	0,76 / nvt	2,31 / 1,93
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt D-geostability	0,007 / 0,01	0,43 / nvt	1,3 / nvt
Analyse resultaten			correlatiecoëfficiënt
regressie verwachtingswaarde			1,00
regressie verwachtingswaarde bij snijpunt y-as =0,97			1,00

### Opgeven parameters voor fitten S, macht o.b.v. voorkennis uit OED of CRS en partiele materiaalfactoren

parameters [-]	ln schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	sterkte toename exponent = m [-]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,15)	(1,16)	(m >0,6 a 0,7 en <1,0)
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,00	1,00	0,00
standaarddeviatie	0,00	nvt	0,00
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$		1,05	1,05

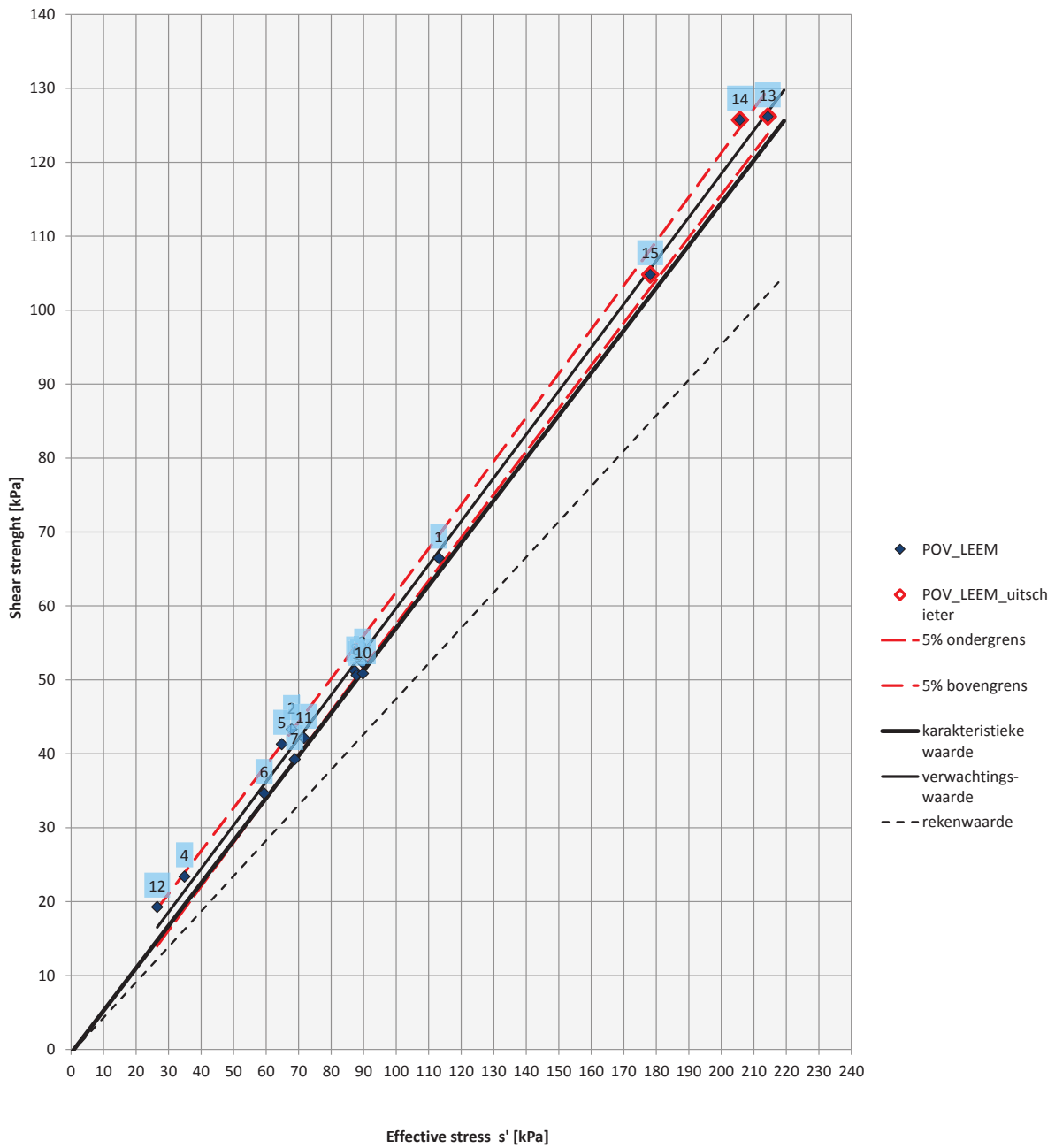
### Resultaten ongedraineerde schuifsterkteparameters bij eindsterkte

sterkteparameters [-]	Ongedr. schuifsterkeratio S [-]	sterkte toename exponent = m in relatie: $S_u/\sigma_{vc}' = S OCR^m$
verwachtingswaarde bij OCR=1-4 (op basis van regressie)	1,16	1,29
<b>karakteristieke waarden met voorkennis</b>	<b>0,62</b>	<b>0,00</b>
rekenwaarden met voorkennis	0,59	0,00
verwachtingswaarde S uit proeven met OCR=1	0,61	
standaarddeviatie uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	nvt
karakteristieke waarde uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	

### Kenmerkende eigenschappen

	volumegewicht nat [kN/m <sup>3</sup> ]	volumegewicht droog [kN/m <sup>3</sup> ]	watergehalte [%]
gemiddelde waarde	19,87	16,40	21,30
standaarddeviatie	0,58	0,86	4,47
variatiecoëfficiënt	0,03	0,05	0,21
	plasticiteitsindex [%]	terreinspanning [kPa]	Nkt [-]
gemiddelde waarde	8,23	14	0,00
standaarddeviatie	5,67	4	-
variatiecoëfficiënt	0,69	0,33	0,00

Analyse Triaxiaalproeven single stage (TXT) resultaten - Sigma - Tau diagram



## Analyse Triaxiaalproeven Single stage

### Algemeen

	basisverzameling	toevoegen verzameling
proevenverzameling naamgeving	POV_LEEM	
aantal proeven	12	0

### Opgeven parameters karakteristieke waarden en partiële materiaalfactoren effectieve schuifsterkteparameters

	phi (a2) [-]	cohesie (a1) [kPa]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,54)	(3,47)
gemiddelde waarden (handmatig snijpunt y-as opgeven)	0,564	1,75
karakteristieke ondergrenswaarden (eerste benadering)	(0,56)	(0,09)
karakteristieke ondergrenswaarden (handmatig)	0,56	0,00
partiële materiaalfactoren $\gamma_n$	1,05	1,00
	$\alpha$ [-]	
type verzameling: lokaal = 1,0; regionaal = 0,75	0,75	

### Resultaten effectieve schuifsterkteparameters

sterkteparameters [-]	tan phi [-]	phi [°]	cohesie [kPa]
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,68	34,3	2,12
karakteristieke waarde	0,68	34,1	0,00
rekenwaarde	0,64	32,8	0,00
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt Prostab	0,003 / 0	0,18 / nvt	1,94 / 0,91
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt D-geostability	0,002 / 0	0,11 / nvt	1,12 / nvt
Analyse resultaten			correlatiecoëfficiënt
regressie verwachtingswaarde			0,99
regressie verwachtingswaarde bij snijpunt y-as =1,75			0,99

### Opgeven parameters voor fitten S, macht o.b.v. voorkennis uit OED of CRS en partiële materiaalfactoren

parameters [-]	ln schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	sterkte toename exponent = m [-]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,03)	(1,03)	(m >0,6 a 0,7 en <1,0)
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,01	1,01	0,80
standaarddeviatie	0,01	nvt	0,10
partiële materiaalfactoren $\gamma_n$		1,05	1,05

### Resultaten ongedraineerde schuifsterkteparameters bij eindsterkte

sterkteparameters [-]	Ongedr. schuifsterkeratio S [-]	sterkte toename exponent = m in relatie: $S_u/\sigma_{vc}' = S OCR^m$
verwachtingswaarde bij OCR=1-4 (op basis van regressie)	1,03	0,97
<b>karakteristieke waarden met voorkennis</b>	<b>0,72</b>	<b>0,78</b>
rekenwaarden met voorkennis	0,69	0,74
verwachtingswaarde S uit proeven met OCR=1	0,61	
standaarddeviatie uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	nvt
karakteristieke waarde uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	

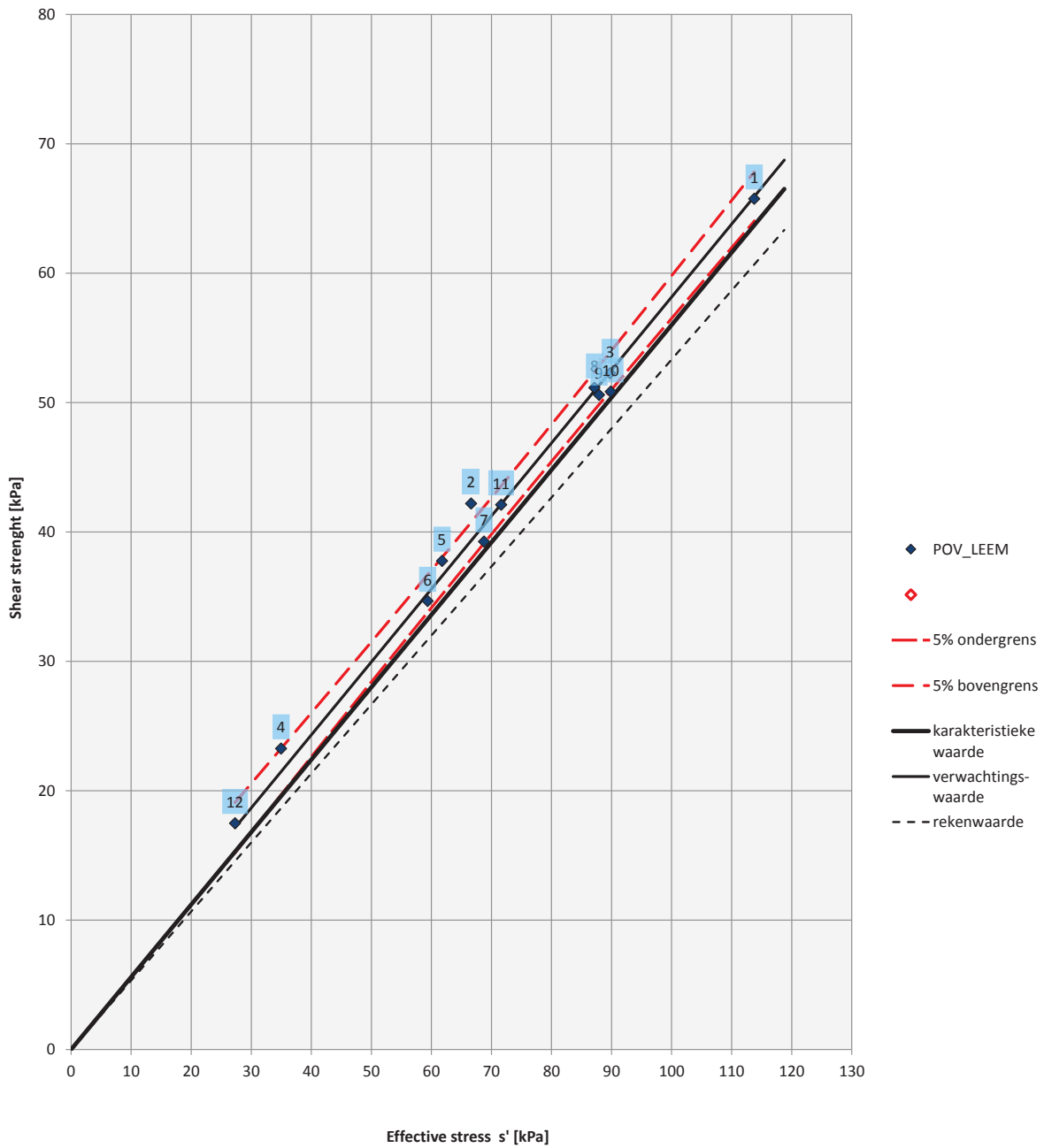
### Kenmerkende eigenschappen

	volumegewicht nat [kN/m <sup>3</sup> ]	volumegewicht droog [kN/m <sup>3</sup> ]	watergehalte [%]
gemiddelde waarde	19,92	16,39	21,70
standaarddeviatie	0,52	0,87	3,63
variatiecoëfficiënt	0,03	0,05	0,17
	plasticiteitsindex [%]	terreinspanning [kPa]	N <sub>kt</sub> [-]
gemiddelde waarde	8,17	14	0,00
standaarddeviatie	5,74	5	-
variatiecoëfficiënt	0,70	0,34	0,00

C:\workspace\checkout\Proevenverzameling\_tool\_v4.2g\_POV Leem en grind\_078985657\_3\Proevenverzameling\_tool\_v4.2g\_POV Leem en grind.xlsx|TXT\_proeven\_SS 6-30-16



Analyse Triaxiaalproeven single stage (TXT) resultaten - Sigma - Tau diagram



## Analyse Triaxiaalproeven Single stage

### Algemeen

	basisverzameling	toevoegen verzameling
proevenverzameling naamgeving	POV_LEEM	POV_LEEM_uitschieter
aantal proeven	12	3

### Opgeven parameters karakteristieke waarden en partiele materiaalfactoren effectieve schuifsterkteparameters

	phi (a2) [-]	cohesie (a1) [kPa]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,59)	(0,12)
gemiddelde waarden (handmatig snijpunt y-as opgeven)	0,577	2,00
karakteristieke ondergrenswaarden (eerste benadering)	(0,57)	(-0,05)
karakteristieke ondergrenswaarden (handmatig)	0,57	0,00
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$	1,05	1,00
	$\alpha$ [-]	
type verzameling: lokaal = 1,0; regionaal = 0,75	0,75	

### Resultaten effectieve schuifsterkteparameters

sterkteparameters [-]	tan phi [-]	phi [°]	cohesie [kPa]
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,71	35,3	2,45
karakteristieke waarde	0,69	34,8	0,00
rekenwaarde	0,66	33,5	0,00
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt Prostab	0,009 / 0,01	0,49 / nvt	2,51 / 1,02
standaarddeviatie / variatiecoëfficiënt D-geostability	0,005 / 0,01	0,28 / nvt	1,41 / nvt
Analyse resultaten			correlatiecoëfficiënt
regressie verwachtingswaarde			1,00
regressie verwachtingswaarde bij snijpunt y-as =2			1,00

### Opgeven parameters voor fitten S, macht o.b.v. voorkennis uit OED of CRS en partiele materiaalfactoren

parameters [-]	ln schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	schuifsterkeratio S <sub>eind</sub> [-]	sterkte toename exponent = m [-]
gemiddelde waarden (automatisch)	(0,15)	(1,16)	(m >0,6 a 0,7 en <1,0)
verwachtingswaarde (gemiddelde)	0,01	1,01	0,80
standaarddeviatie	0,01	nvt	0,10
partiele materiaalfactoren $\gamma_n$		1,05	1,05

### Resultaten ongedraineerde schuifsterkteparameters bij eindsterkte

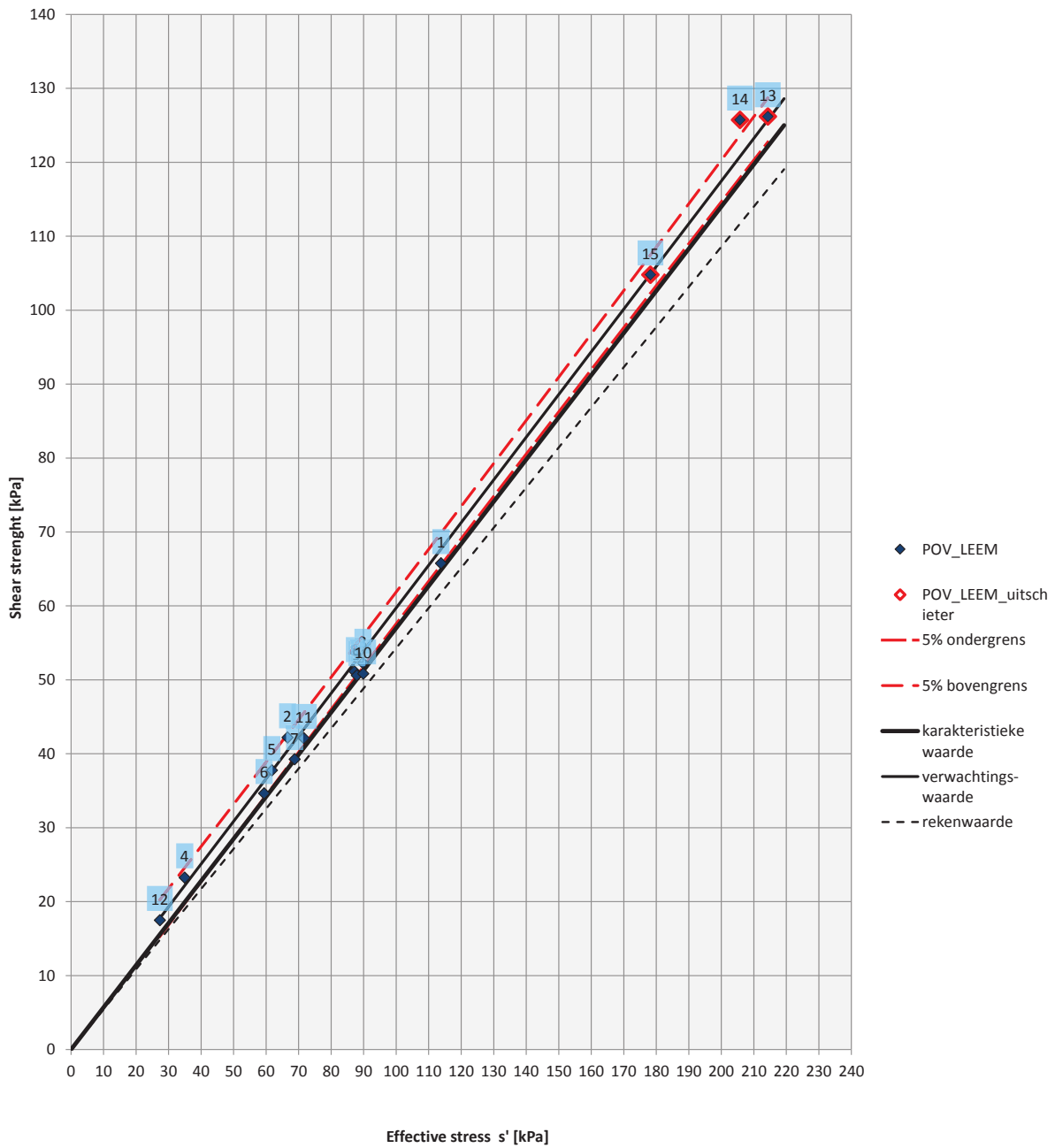
sterkteparameters [-]	Ongedr. schuifsterkeratio S [-]	sterkte toename exponent = m in relatie: $S_u/\sigma_{vc}' = S OCR^m$
verwachtingswaarde bij OCR=1-4 (op basis van regressie)	1,16	1,29
<b>karakteristieke waarden met voorkennis</b>	<b>0,63</b>	<b>0,78</b>
rekenwaarden met voorkennis	0,60	0,75
verwachtingswaarde S uit proeven met OCR=1	0,61	
standaarddeviatie uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	nvt
karakteristieke waarde uit proeven met OCR=1	#DEEL/0!	

### Kenmerkende eigenschappen

	volumegewicht nat [kN/m <sup>3</sup> ]	volumegewicht droog [kN/m <sup>3</sup> ]	watergehalte [%]
gemiddelde waarde	19,87	16,40	21,30
standaarddeviatie	0,58	0,86	4,47
variatiecoëfficiënt	0,03	0,05	0,21
	plasticiteitsindex [%]	terreinspanning [kPa]	N <sub>kt</sub> [-]
gemiddelde waarde	8,23	14	0,00
standaarddeviatie	5,67	4	-
variatiecoëfficiënt	0,69	0,33	0,00

C:\workspace\checkout\Proevenverzameling\_tool\_v4.2g\_POV Leem en grind\_078985657\_3\Proevenverzameling\_tool\_v4.2g\_POV Leem en grind.xlsx\TXT\_proeven\_SS 6-30-16

Analyse Triaxiaalproeven single stage (TXT) resultaten - Sigma - Tau diagram



## BIJLAGE E LITERATUUR IN BIBLIOTHEKEN

### Internet & google Scholar

De meest voor de hand liggende bron van informatie is het internet. Dit is dus ook de eerste plek waar gezocht is. Hoewel internet niet altijd de even betrouwbaar is qua informatie is het wel een goede indicatie van hoeveel informatie er vrij beschikbaar is.

Daarnaast is gezocht in Google Scholar. Google scholar is eigenlijk het google portaal om te zoeken in databases beschikbaar gesteld voor google, of waarin google mag zoeken van bepaalde database beheerders. Dit is dus een zoekmachine specifiek gemaakt om te zoeken naar volledige tekst van vrijgegeven gepubliceerde wetenschappelijke artikelen. Tevens zijn hier verschillende wetenschappelijke en studie-georiënteerde boeken te vinden.

De zoektermen waarop is gezocht: piping, piping in zand, piping in grind, piping in grindige laag, terugschrijdende erosie, erosie in grindlagen, piping in dikes, backwards erosion piping, piping in sandy gravels, piping in levee's.

De onderstaande reeds bekend publicaties zijn gevonden.

1. Gerritsen , F.H.G.A., Wit, T.J. de (2013). Piping in tweelagensysteem. Afstudeeronderzoek (RHDHV). Rapport
2. Zee, R.A. van der (2011). Influence of sand characteristics on the piping process. Afstudeeronderzoek (TUDelft). Rapport
3. Esch, J.M. van, Sellmeijer, J.B., Stolle, D. (2013). Modeling transient groundwater flow and piping under dikes and dams. - . Artikel

#### Titel 1

Er is in dit afstudeeronderzoek één onderwerp relevant, namelijk Deep seated piping. Dit is het eroderen van zand in verticale richting door de dominante verticale stroming in het uittreepunt. Het kan ontstaan door een onderliggend watervoerend pakket van goed doorlatend grindhoudend materiaal. De ontwikkeling van een horizontale pijp treedt hierbij niet op. Echter lijkt dit fenomeen alleen te kunnen ontstaan wanneer er een zandlaag tussen de watervoerende grindlaag en de deklaag zit. Of dit fenomeen ook ontstaat bij een zandlaag tussen grindlagen in is niet besproken.

Chinezen hebben naar dit fenomeen onderzoek gedaan, dit rapport is alleen in het Chinees terug gevonden: 14 Ding, L. et al.,(2007),(Chinese versie) Experimental studies on piping development in three-stratum dike foundations.

#### Titel 2

Dit is een afstudeerrapport over piping. Hierbij ligt de focus op de zandkorrels aan de bovenkant van de zandlaag. Dit betekent dus dat het fenomeen waarmee de pipe word gevormd, in het mechanisme piping, nader onderzocht is. In tegenstelling tot het meevoeren van granulaire deeltjes in/door grind. Er is diep ingegaan op het faalmechanisme zelf en er is een formule gemaakt om af te leiden bij welke stromingssnelheid en korreldiameter beweging van de korrels in de dijk wordt verwacht. Dit is echter gebaseerd op Sellmeijer 1986 en zal niet werken bij Sellmeijer 2011.

#### Titel 3

Dit artikel gaat in op numerieke analyse van het piping mechanisme en grondwaterstromingen door meer heterogene geotechnische structuren. De beperking van deze methode is dat de door te rekenen schematisatie nog steeds door een adviseur opgesteld moet worden. Vooralsnog kunnen de berekeningen alleen door Deltares worden gemaakt.

## Universitaire bibliotheek Delft

Er is gezocht in de digitale database van de Universiteitsbibliotheek van de TU Delft alsmede fysiek in de bibliotheek te Delft. De bibliotheek zelf heeft verder geen interessante publicaties met betrekking tot piping. Voornamelijk boeken over hydrologische aspecten en sedimentologie boeken waren aanwezig. Van piping zijn alleen bekende publicaties van de TAW terug vinden bij de TU Delft.

De keuze voor het verder bestuderen van de publicaties in de digitale database, zijn gebaseerd op abstract van de betreffende publicaties. De zoektermen waarop is gezocht: piping, piping in grindig zand, piping in grind, piping in grindige laag, terugschrijdende erosie, terugschrijdende erosie in grindlagen, piping in levee's, piping in dikes, backward erosion piping in dikes, backward erosion piping in levee, erosion of gravel in dikes, piping in sandy gravels, piping in coarse grains, piping in coarse sands, internal erosion.

1. Skempton, A.W., & Brogan, J.M. (1994). Experiments on piping in sandy gravels, *Geotechnique* 44, No.3, 449-460.
2. Skempton, A.W., & Brogan, J.M. (1994). Discussion on Experiments on piping in sandy gravels, *Geotechnique* 45, No.3, 565-567.
3. Boer, K. van den, Beek, V.M. van, Bezuijen, A. (2013). 3D FEM simulation of groundwater flow during backward erosion piping. doi: 10.3233/978-1-61499-297-4-301
4. Gibson, S., Abraham, D., Heath, R., Schoellhamer, D. (2009). Vertical gradational variability of fines deposited in a gravel framework. doi: 10.1111/j.1365-3091.2008.00991.x
5. To, H.D., Torres, S.A.G., Scheuermann, A. (2015). Primary fabric fraction analysis of granular soils. *Acta Geotechnica* 10:457-387. Doi: 10.1007/s11440-014-0353-9
6. Ross, J.A., Peakall, J. Keevil, G.M. (2011). An integrated model of extrusive sand injectities in cohesionless sediments. *Sedimentology* 58, 1693-1715. doi: 10.1111/j.1365-3091.2011.01230.x
7. Lowe, D.R. (1975). Water escape structures in coarse-grained sediments. *Sedimentology* 22, 157-204.
8. Sibille, L., Lominé, F., Poullain, P., Sail, Y., Marot, D. (2015). Internal erosion in granular media: direct numerical simulations and energy interpretation.
9. Vereecken et al. (2015). Soil hydrology: Recent methodological advances, challenges, and perspectives. AGU Publications. doi: 10.1002/2014WR016852

**Titel 1**

Test waarbij het kritieke gradiënt is bepaald over combinaties van heterogene bodemopbouw. Hierbij is grind met zand gemengd en zijn over dit mengsel de proeven gedaan. Hierbij is ook een proef uitgevoerd met een homogene opstelling, echter met grind op de bovenkant van de opstelling, maar dit is puur om ervoor te zorgen dat zandkorrels niet uit de proefopstelling zouden ontsnappen.

Mogelijk interessante proef om na te gaan met de kennis van nu.

**Titel 2**

Discussie over de gevonden waarden en bevindingen van het artikel bij Titel 1. Aangezien de relevantie van Titel 1, naar mijn mening, significant is, is dit artikel opgenomen als mogelijk interessant onderwerp. Aangezien deze discussie mogelijke voor meer inzicht kan zorgen.

**Titel 3**

Algemene beschrijving van de 2D en de 3D benadering (met Sellmeijer en grondwater stroming) van het faalmechanisme piping. Verder is er niet ingegaan op grondopbouw en is het artikel zeer beknopt.

**Titel 4**

Experimenten en omschrijvingen van het zelf ordenen van zand in een suspensie van water met zand. Zeer specialistische kijk op sedimentologie, waarbij het faalmechanisme piping niet aan bod komt.

**Titel 5**

Beschrijving van het verkrijgen van een optimaal samengedrukt pakket en wat ervoor nodig is om dit te kunnen bereiken. Het gaat hierbij om een situatie die vrijwel onmogelijk is om te bereiken tijdens het aanleggen van dijken.

**Titel 6**

Een observatie onderzoek naar kanaal vorming door zanden met verschillende korreldiameters. Hierin werken ze met verschillende kleuren waarin goed kan worden gezien hoe de kanaaltjes in de grond zich vormen. Dit zou mogelijk meer inzicht kunnen geven in hoe de pipe ontstaat in een meer heterogene grond.

**Titel 7**

Dit artikel wordt zeer diep op het vervoeren van sedimenten ingegaan in een open waterloop. Hierbij is veel gesproken over het loslaten en ophopen van sedimenten en hoe dit in detail in zijn werking gaat. Aangezien hier niet wordt gesproken over zandfracties die loskomen uit een ondergrond, maar alleen op de bodem van een waterloop is dit niet wat wij zoeken voor deze literatuurstudie.

**Titel 8**

Dit artikel focust op de analyse en de omschrijving van de eerste twee stappen van het losraken van een deeltje wat vervolgens vervoerd zal worden bij piping. De analyse is voornamelijk gebaseerd op numerieke simulaties gemaakt met de Boltzmann methode. Ik denk dat de Boltzmann methode gebaseerd is op het principe van sleepkracht doordat een vloeistof een deeltje in beweging brengt over andere deeltjes. Op basis van dit begrip kan dit misschien inzicht geven en dus voeg ik het toe aan de lijst.

**Titel 9**

Onderzoek artikel over hydrologische aspecten, waaronder erosie. Hierin komt geen vorm van waterbouw voor en is dus niet relevant voor dit literatuuronderzoek.

**Publicaties aangeleverd uit de Arcadis bibliotheek**

1. Beek, V.M. van, Koelewijn, A.R., Kruse, G.A.M., Sellmeijer, J.B. (2009). Piping in een heterogeen zandpakket – kijkproeven en simulaties. Deltares. Artikel
2. DVWK-Merkblätter 210/1986: Flussdeiche, Hochwasserschutz
3. Miesel, D: „Rückschreitende Erosion unter bindiger Deckschicht“, in: Vorträge der Baugrundtagung, DGEG, Berlin 1978
4. Sommer, H.: „Erosionsuntersuchungen bei Brüchen an unterströmten Rheindeichen“, in: Wasserwirtschaft 70 (1980)

**Titel 1**

Dit is een artikel waarbij kijkproeven zijn gedaan bij een simulatie van piping door een heterogeen zandpakket. De simulaties zijn opgebouwd met verschillende combinaties van fijn en grof zand waarover een constant verval wordt aangebracht. De waarden die worden geobserveerd worden vergeleken met de numeriek nagebootste waarden die uit het MSeep model komen. Wat opvalt, is dat bij een homogeen zandpakket MSeep vrij goed overeen komt met de observaties. Echter bij heterogene combinaties geeft MSeep een significant lager verval dan wordt geobserveerd.

**Titel 2**

In dit artikel is niet veel nuttigs te vinden voor meer inzicht in grindige/grind lagen. Dit is het Duitse rapport van de federale instelling voor waterbouw. Er wordt beschreven hoe de dijken moeten worden getoetst, maar er is niet ingegaan op een specifieke bodemopbouw of rekenregel voor grindige lagen.

**Titel 3**

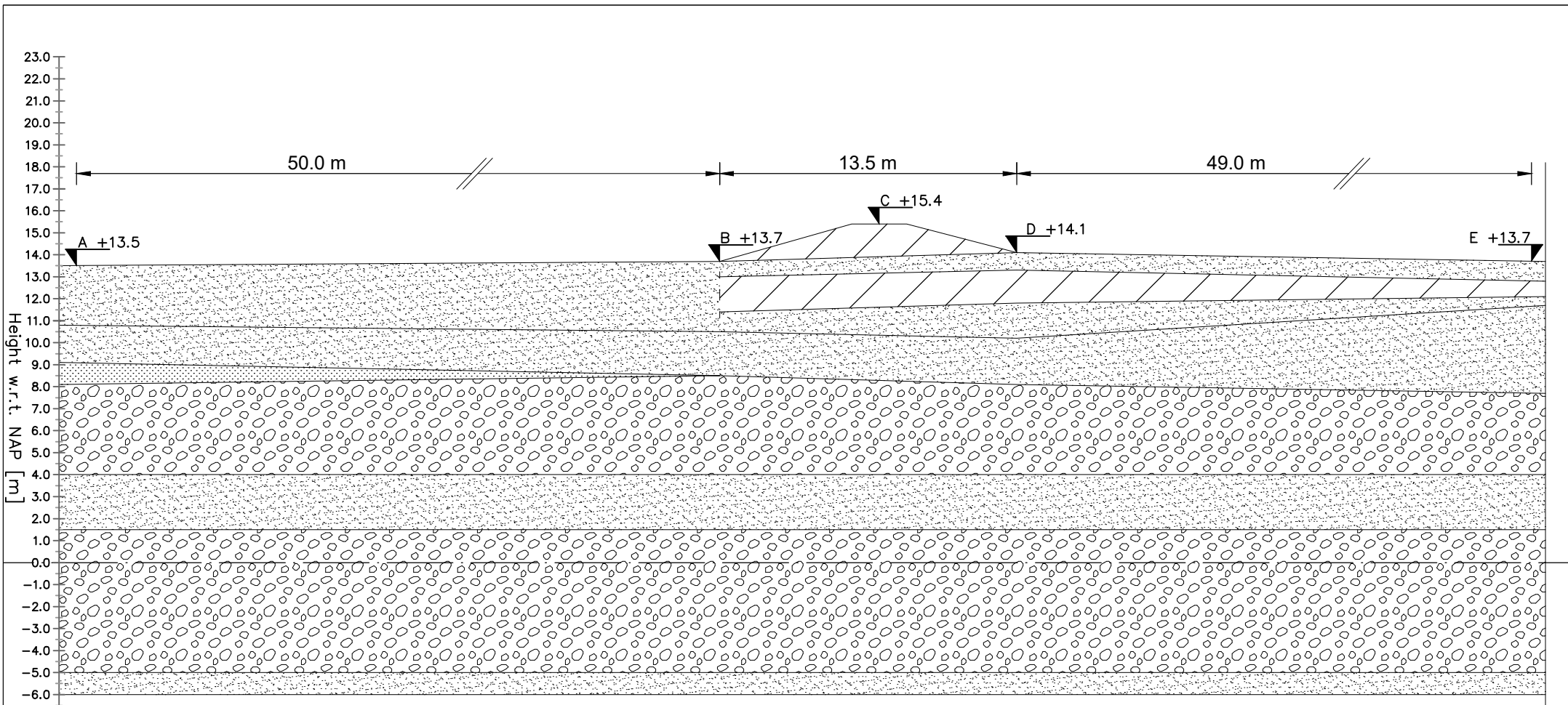
Dit is een rapport waarin in detail wordt beschreven wat er gebeurt bij terugschrijdende erosie. Stap voor stap is het faalmechanisme doorgelopen en beschreven, waarbij de focus ligt op kanaalontwikkeling bij piping. Ook zijn er experimentele onderzoeken verricht om meer inzicht te krijgen in het faalmechanisme piping. Dit zijn experimenten om piping te bepalen tussen een cohesieve deklaag met een homogeen watervoerend zandpakket. Hierbij is voornamelijk gekeken naar het vormen van de pipe zelf en welke waarden men observeerden.

**Titel 4**

In dit artikel worden naar aanleiding van observaties van piping bij Hessen de methoden Lane met Tschugajew vergeleken. Er is een probleemstelling geformuleerd en voorgesteld om uitgebreide tests uit te voeren om het verschil beter in kaart te brengen. Hierbij is niet verder ingegaan op welke grondsoorten er worden gebruikt en is dus helemaal niet relevant

## BIJLAGE F GEOTECHNISCHE DWARSPROFIELEN





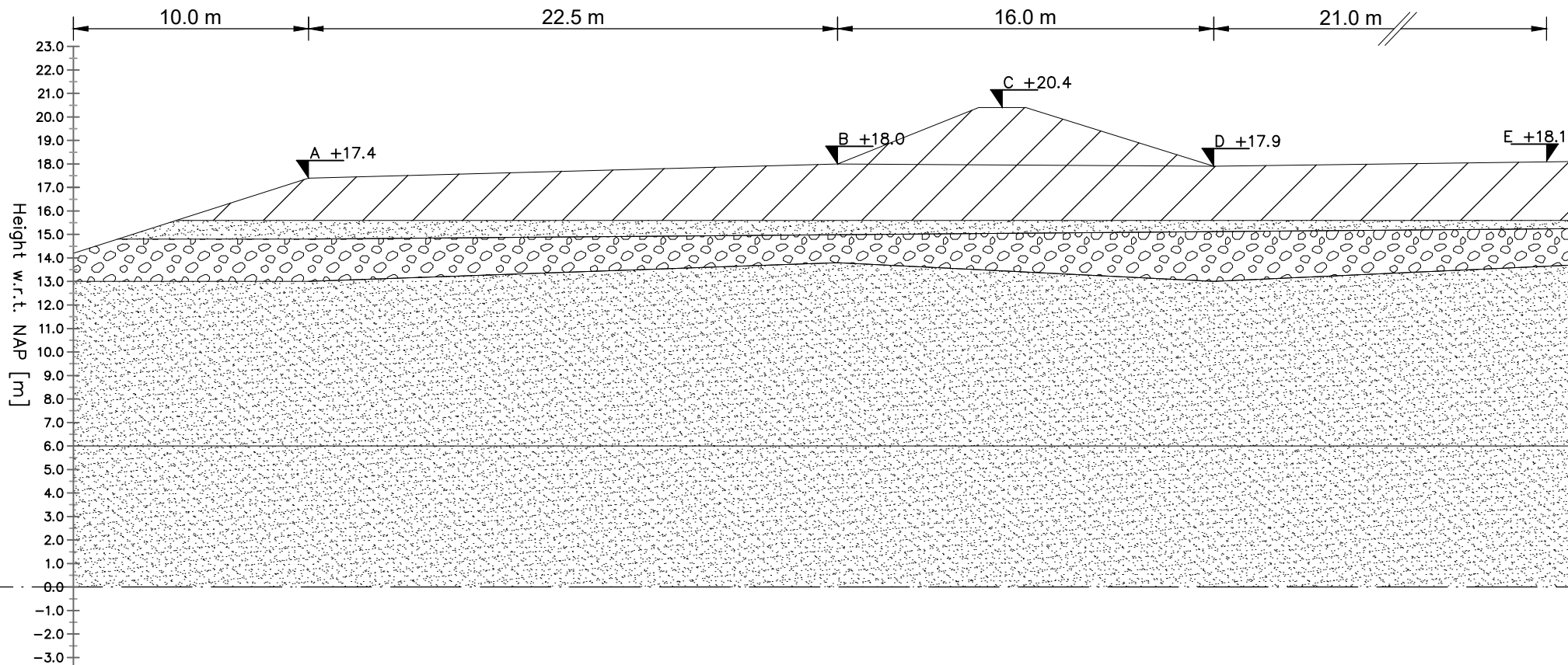
Design & Consultancy  
for natural and  
built assets

Piet Mondriaanlaan 26  
Postbus 220  
3800 AE Amersfoort

Tel 088 4261 261  
info@arcadis.com  
www.arcadis.com

Gecontroleerd	: P. van der Hulst	Vrijgegeven	: R. Koopmans
Opdrachtgever	: Waterschap Limburg		
Project	: POV piping verkenning Maasklei en grindlagen		
Onderwerp	: Doorsnede Well geotechnisch dwarsprofiel		
Divisie	: Water & Milieu	Fase	: verkenning
Status	: Definitief	Schaal	: 1:250
Projectnummer	: C03011.000336.0300	Tek.nr	: 4/4
		Formaat	: A4 LIGGEND
		Versie	: A

DocId:



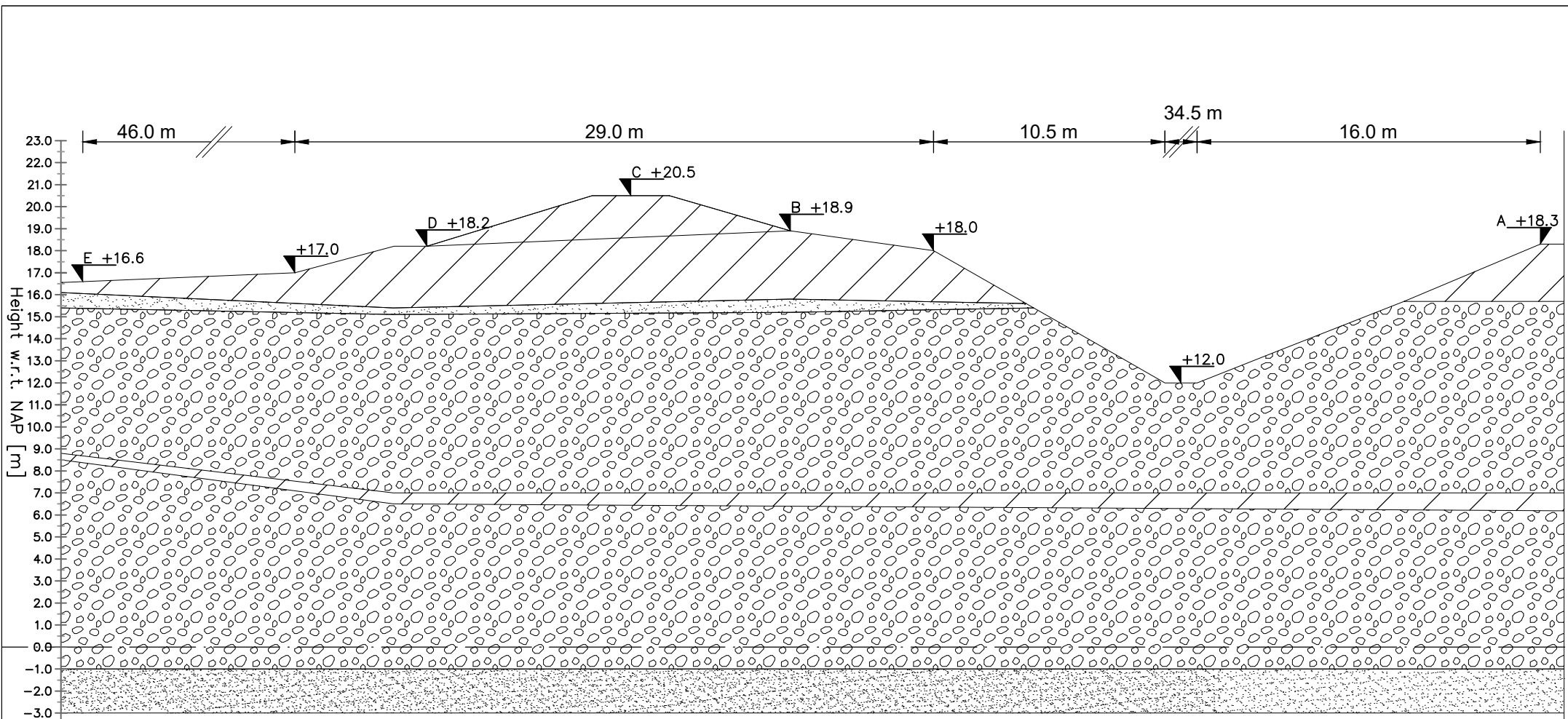
Design & Consultancy  
for natural and  
built assets

Piet Mondriaanlaan 26  
Postbus 220  
3800 AE Amersfoort

Tel 088 4261 261  
info@arcadis.com  
www.arcadis.com

Gecontroleerd	: P. van der Hulst	Vrijgegeven	: R. Koopmans
Opdrachtgever	: Waterschap Limburg		
Project	: POV piping verkenning Maasklei en grindlagen		
Onderwerp	: Doorsnede Beesel geotechnisch dwarsprofiel		
Divisie	: Water & Milieu	Fase	: verkenning
Status	: Definitief	Schaal	: 1:250
Projectnummer	: C03011.000336.0300	Tek.nr	: 1 / 4
		Formaat	: A4 LIGGEND
		Versie	: A

DocId:



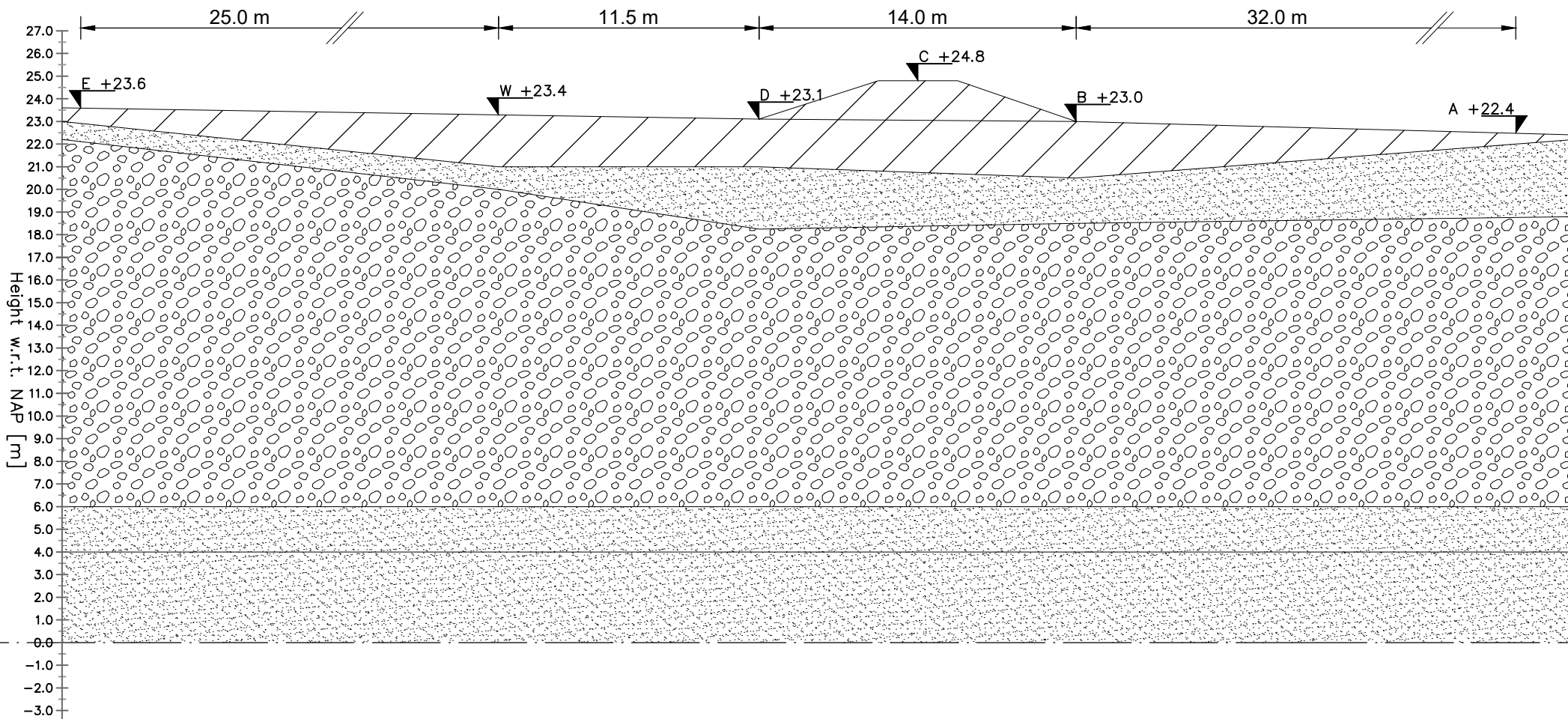
Design & Consultancy  
for natural and  
built assets

Piet Mondriaanlaan 26  
Postbus 220  
3800 AE Amersfoort

Tel 088 4261 261  
info@arcadis.com  
www.arcadis.com

Gecontroleerd	: P. van der Hulst	Vrijgegeven	: R. Koopmans
Opdrachtgever	: Waterschap Limburg		
Project	: POV piping verkenning Maasklei en grindlagen		
Onderwerp	: Doorsnede Buggenum geotechnisch dwarsprofiel		
Divisie	: Water & Milieu	Fase	: verkenning
Status	: Definitief	Schaal	: 1:250
Projectnummer	: C03011.000336.0300	Tek.nr	: 2/4
		Formaat	: A4 LIGGEND
		Versie	: A

DocId:



Design & Consultancy  
for natural and  
built assets

Piet Mondriaanlaan 26  
Postbus 220  
3800 AE Amersfoort

Tel 088 4261 261  
info@arcadis.com  
www.arcadis.com

Gecontroleerd	: P. van der Hulst	Vrijgegeven	: R. Koopmans
Opdrachtgever	: Waterschap Limburg		
Project	: POV piping verkenning Maasklei en grindlagen		
Onderwerp	: Doorsnede Thorn geotechnisch dwarsprofiel		
Divisie	: Water & Milieu	Fase	: verkenning
Status	: Definitief	Schaal	: 1:250
Projectnummer	: C03011.000336.0300	Tek.nr	: 3/4
		Formaat	: A4 LIGGEND
		Versie	: A

DocId:

## COLOFON

POV PIPING - INVLOED MAASKLEI EN GRINDLAGEN  
OPDRACHTGEVER: WATERSCHAP LIMBURG

### AUTEUR

Rimmer Koopmans

### PROJECTNUMMER

C03011.000336.0300

### ONZE REFERENTIE

078784894 B

### DATUM

9 juli 2018

### Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland  
+31 (0)88 4261 261

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