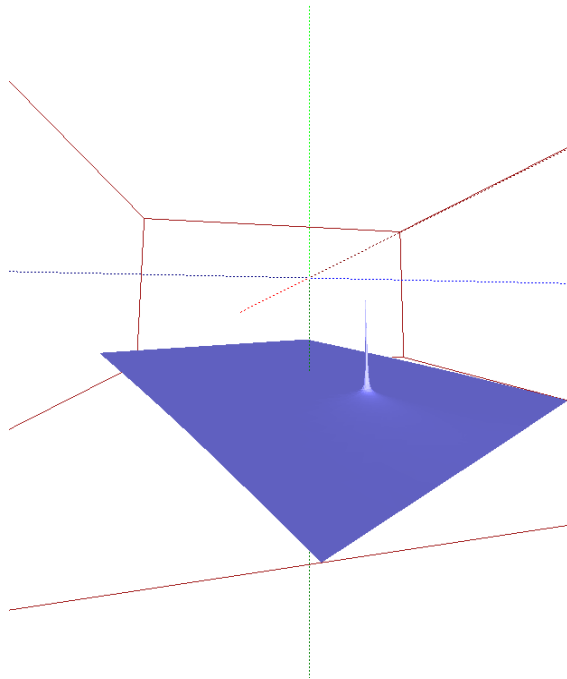


Afstudeerscriptie

Studie naar het functioneren van verticale hemelwaterinfiltratie en de wisselwerking tussen theorie en praktijk in Kanaleneiland-Zuid



Datum: 27 mei 2019

Versie: Definitief

Naam: Kristian van der Lek

Trefwoorden:

Stedelijk waterbeheer – verticale infiltratie – hemelwaterafvoer – grondwatermodellen – veldonderzoek

Aantal woorden: 5.982

Colofon

Organisatie

Stadsbedrijven
Beheer Openbare Ruimte en Gebouwen (BORG)
Gemeente Utrecht

Document

Afstudeerscriptie
Utrecht, 27 mei 2019
Definitief

Auteur

Kristian van der Lek
Studentnummer: 1682322
Kristian.vanderlek@student.hu.nl

Opleiding

Hogeschool Utrecht
Opleiding Built Environment
Specialisatie Circulaire stad (code: TBBE-VAFOCIST-18)

Begeleiding

Johan van der Woude
Gemeente Utrecht – Adviseur grondwater
J.van.der.woude@utrecht.nl

Judith Slood
Hogeschool Utrecht – Docent
Judith.slood@hu.nl

Voorwoord

Het document dat voor u ligt is het eindproduct van mijn afstudeerstage bij de gemeente Utrecht. De afstudeerstage is verricht vanuit de opleiding Built Environment aan de Hogeschool Utrecht. Tijdens de afstudeerstage heb ik een onderzoek uitgevoerd in opdracht van de afdeling Beheer Openbare Ruimte en Gebouwen en in samenwerking met de afdeling Stadsingenieurs.

De oorsprong van dit onderzoek

Gedurende mijn opleiding heb ik in opdracht van de gemeente Utrecht onderzocht op welke wijze hemelwater geborgen en afgevoerd kan worden in een deel van de toekomstige woonwijk Merwedekanaalzone. Hieruit bleek verticale infiltratie een ingreep te zijn die aansluit op de beoogde inrichting en mogelijkheden van de wijk. Aanbeveling was om het functioneren en de invloed van verticale infiltratie op het grondwater meer te onderzoeken. Deze aanbeveling gaf voor mij aanleiding om dit afstudeeronderzoek tot stand te brengen. Medewerkers van de gemeente Utrecht gaven bij de presentatie van mijn afstudeervoorstel aan dat zij veel baat hebben bij meer kennis van verticale infiltratie.

Onderzoek gekoppeld aan herinrichting Alexander de Grotelaan

De openbare ruimte in de Alexander de Grotelaan in Utrecht is tijdens mijn onderzoek heringericht. Verticale infiltratie behoorde tot een van de ingrepen in de straat. Aansluitend op de herinrichting is in samenwerking met de afdeling Stadsingenieurs een onderzoekstraject opgestart met betrekking tot de regenwaterafvoer naar de bodem. De onderzoeksvragen die op korte termijn konden worden beantwoord binnen dit traject zijn meegenomen in deze scriptie.

Samenvatting

In dit onderzoek is een verticale infiltratiebuis tot in het diepere eerste watervoerende pakket in de verzadigde zone in spanningswater onderzocht met behulp van theoretische en praktische methoden. Het doel was om te achterhalen welk theoretisch grondwatermodel voor het ontwerp van verticale infiltratie het meest is aan te bevelen op het gebied van benodigde tijd en middelen, complexiteit en overeenkomsten met de praktijk.

De onderzochte infiltratiebuis heeft als doel het verticaal afvoeren van regenwater uit de zandige ophooglaag onder een parkeerterrein in Kanaleneiland-Zuid. De infiltratiebuis is geplaatst omdat enkele meters onder maaiveld een waterscheidende laag is gelegen die natuurlijke bodeminfiltratie belemmert. Kanaleneiland-Zuid is niet het enige gebied in Utrecht waar verticale infiltratie is ingezet voor het afvoeren van overtollig water naar de bodem. Er zijn in Utrecht circa 400 infiltratieputten die variëren in diepte en diameter. Ongeveer de helft van de bestaande infiltratieputten reikt tot in het diepe eerste watervoerend pakket. De komende jaren zal vanwege de grote woonopgave in Utrecht meer worden gebouwd en verdicht. In het ontwerp van de nieuwe woongebieden schenkt de gemeente aandacht aan hemelwaterafvoer vanwege de ambitie om een duurzame en toekomstbestendige stad te realiseren. De gemeente Utrecht wilt het materiaal voor regenwaterafvoer effectiever en duurzamer inzetten. Voor verticale infiltratie geldt dat de gemeente behoefte heeft aan meer kennis over de wisselwerking tussen theorie en praktijk.

Enkele dagen na het plaatsen van de infiltratiebuis in de Alexander de Grotelaan is het functioneren proefondervindelijk onderzocht door middel van twee 'constant-flowproeven'. De proeven zijn uitgevoerd in twee varianten: de pompproef en de infiltratieproef. De proeven zijn gecombineerd met een opstelling van vier meetpeilbuizen tot een afstand van 20 meter van de put. Naast de veldproeven zijn rekenmodellen gemaakt, die zich onderscheiden door de mate waarin zij rekening houden met de werkelijke situatie en omgevingsfactoren. Voor het simuleren van de grondwaterstroming is gebruik gemaakt van twee computerprogramma's en een verscheidenheid aan wiskundige vergelijkingen uit de literatuur.

Uit dit onderzoek blijkt dat de infiltratieput in Kanaleneiland-Zuid water afvoert naar het diepere zandpakket met een infiltratiecapaciteit van $12,5 \text{ m}^3/\text{uur}$. De bevindingen uit dit onderzoek geven aan dat het ontwerpen van verticale infiltratie veel specifieke kennis vereist over grondwaterstroming. Dit komt doordat in alle methoden inschattingen moeten worden gemaakt van diverse bodemparameters. Ook moet de ontwerper weten welke omgevingsfactoren gelden en hoe die het functioneren van diepinfiltratie beïnvloeden. De resultaten uit de veldproeven laten zien dat het hanteren van algemeen erkende schattingsmethoden voor de geohydrologische parameters leiden tot goede overeenkomsten met de praktijk.

De meeste onderzochte theoretische rekenmethoden leiden tot resultaten die goed overeenkomen met de veldmetingen. Belangrijke kanttekeningen zijn:

- Alle rekenmodellen zijn onafhankelijk van tijd. Rekenen met tijdsafhankelijke methoden heeft weinig effect op het resultaat;
- Het rekenen met wiskundige vergelijkingen die uitgaan van infiltratieputten in het gehele watervoerend pakket (volkomen filters) leidt tot grote overschattingen van de infiltratiecapaciteit;
- De dikte van het watervoerend pakket heeft in wiskundige vergelijkingen veel invloed op het resultaat. In de gehanteerde computermethoden is de totale pakketdikte minder van belang;
- De doorlatendheid in horizontale en verticale richting is de parameter waar de ontwerper de meeste aandacht aan moet besteden.

Uit dit onderzoek volgt het advies om de infiltratiecapaciteit van een zelfstandige infiltratieput uit te rekenen met de wiskundige vergelijking van Dupuit. Dit is een tijdsafhankelijke berekening. Om te corrigeren voor een infiltratieput die in een gedeelte van het diepere zandpakket is gelegen wordt de Huisman correctiemethode aanbevolen. Belangrijke opmerking is dat in dit onderzoek een van de parameters in de Huisman correctiemethode is aangepast. Deze aanpassing is cruciaal om te komen tot een goed resultaat.

Voor het berekenen van de infiltratiecapaciteit van meerdere infiltratieputten in een gebied verdient het computerprogramma MicroFEM de voorkeur boven het programma MWell. In MicroFEM zijn omgevingsfactoren en heterogeniteit in de bodem nauwkeuriger mee te nemen. De resultaten uit MicroFEM laten zien dat de verticale doorlatendheid van groot belang is wanneer men de spreiding van geïnfiltreerd regenwater wilt onderzoeken, bijvoorbeeld voor milieukundige doeleinden.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek zijn:

1. Het functioneren van het gehele ontwateringssysteem in de Alexander de Grotelaan onderzoeken (verticale infiltratie is een component binnen een groter systeem);
2. De daling van de infiltratiecapaciteit van verticale infiltratieputten kwantificeren en koppelen aan omgevingsfactoren om risico-gestuurd ontwerp en beheer mogelijk te maken;
3. Kosten- en batenanalyse uitvoeren voor ingrepen die bedoeld zijn om de infiltratiecapaciteit van diepinfiltratie in stand te houden;
4. De effecten van diepinfiltratie op het functioneren van warmte- en koudeopslagsystemen kwantificeren.

Begrippenlijst

Begrip	Omschrijving
Diepinfiltratie	Verticale infiltratie naar het eerste watervoerend pakket (of diepere pakketten).
Doorlaatcapaciteit	Het product van de doorlatendheid en de dikte van een bodemlaag. Dit wordt de kD -waarde genoemd, uitgedrukt in m^2/dag .
Doorlatendheid	De snelheid van grondwater in horizontale richting door een watervoerend pakket wordt uitgedrukt in de doorlatendheid (m/dag). Ook wel de k -waarde genoemd.
Drainage	Het onttrekken van grondwater uit de bodem voor het in standhouden van een goede ontwateringsdiepte.
Filter	Het gedeelte van een peilbuis of verticale infiltratieput waar uitwisseling van water met de bodem mogelijk is.
Freatisch vlak	De bovenbegrenzing van het grondwater in de verzadigde zone vormt het freatisch vlak, ook wel de grondwaterstand genoemd (TNO, 1998).
Freatisch water	Indien een aquifer aan de bovenkant niet afgesloten wordt door een slecht-ondoorlatende laag, wordt het grondwater in die aquifer freatisch water genoemd (TNO, 1998).
Infiltratie	Het inbrengen van water (of gassen) in de bodem.
Infiltratiecapaciteit	De maximale hoeveelheid infiltrerend water per tijdseenheid in een verticale drainagebuis (m^3/uur).
k -waarde	Doorlatendheid (m/dag).
kD -waarde	Doorlaatcapaciteit (m^2/dag).
Meetlogger	Meetapparatuur die druk (luchtdruk/waterdruk, of de som van beiden) meet (STOWA, 2012).
Ontwatering	De afvoer van water uit de grond en eventueel door drainagebuizen en greppels naar oppervlaktewater (Leidraad Riolering module C2500, 2010).
Ontwateringsdiepte	De afstand tussen het maaiveld en de hoogste grondwaterstand (Leidraad Riolering module C2500, 2010).
Peilbuis	Verticale buis met een kleine diameter ter monsternamming van het grondwater en waarin de grondwaterstand wordt gemeten (Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit, 2010).
Stationair	Toestand waarin de stijghoogte constant is.
Stijghoogte	Is de hoogte ten opzichte van een referentieveld, tot waar het water opstijgt in een buis die in open verbinding staat met de atmosfeer aan de ene zijde en met het grondwater in een watervoerend pakket aan de andere zijde (TNO, 1998).
Verticale infiltratieput	Gedeeltelijk geperforeerde buis die freatisch grondwater afvoert naar een dieper gelegen watervoerend pakket.
Watervoerend pakket	Bodempakket bestaand uit goed doorlatende afzettingen, zoals grove zanden. Wordt ook wel aquifer genoemd (TNO, 1998).

Inhoudsopgave

1	Inleiding	9
1.1	Wateroverlast en klimaatadaptatie in de stad	9
1.2	Gemeentelijke zorgplichten	9
1.3	Theoretische context	10
1.4	Aanleiding	11
1.5	Projectgebied	13
1.6	Onderzoeksopzet	14
2	Methode	15
2.1	Modelleren	16
2.2	Veldproeven	20
2.3	Kalibratie en validatie	22
3	Resultaten	23
3.1	Modellen	23
3.2	Pompproef	27
3.3	Infiltratieproef	28
3.4	Infiltratiecapaciteit	29
4	Terugkoppeling veldproeven naar theoretische modellen	30
4.1	Modelkalibratie	30
4.2	Ledigingstijd	31
5	Conclusie en aanbevelingen	32
5.1	Conclusie	32
5.2	Discussie	34
5.3	Aanbevelingen	35
	Geciteerde werken	37

Tabellen en figuren	38
Tabellenlijst	38
Figurenlijst	38

Bijlagen 39

Bijlage I:	Theorie en bepaling geohydrologische parameters
Bijlage II:	Modeluitgangspunten
Bijlage III:	Achtergronden veldproeven

1 Inleiding

1.1 Wateroverlast en klimaatadaptatie in de stad

In Nederland worden de gevolgen van klimaatverandering langzamerhand merkbaar. In april 2018 werden delen van Limburg in twaalf uur tijd geteisterd door een maandelijkse hoeveelheid neerslag. Later dat jaar constateerde het KNMI dat in 2018 de droogste zomer heeft plaatsgevonden sinds de metingen in 1906. Als men uitgaat van de vier klimaatscenario's die het KNMI in 2014 heeft uitgebracht, zullen de extreme weersomstandigheden uit 2018 in de loop van deze eeuw vaker en in meer extremere vorm plaatsvinden.

Voor Utrecht betekenen de klimaatscenario's dat de stad meer te maken gaat krijgen met extreme neerslaghoeveelheden en periodes met aanhoudende droogte. Utrecht heeft de komende jaren te maken met de grootste woonopgave van Nederland waardoor meer verdichting optreedt. Hierdoor neemt het risico op wateroverlast en grondwateroverlast toe. Wateroverlast ontstaat doordat een hevige regenbui niet verwerkt kan worden door het riool en er te weinig ruimte is in de openbare ruimte om water op te slaan. Het overtollige water blijft dan staan op straat wat hinder veroorzaakt, en bedreigt onder extreme omstandigheden zelfs gebouwen. Grondwateroverlast kan optreden door een overschot of tekort aan grondwater. Een overschot ontstaat in Utrecht onder andere door veranderingen in de waterhuishouding, bijvoorbeeld wanneer er na aanleg van een nieuw riool minder grondwater wordt onttrokken (oude lekkende riolen zijn vervangen). In perioden met weinig neerslag ontstaat in de stad verdroging doordat het regenwater niet wordt vastgehouden of te snel wordt afgevoerd via riolen en oppervlaktewater. Verdroging leidt op sommige plaatsen in Utrecht tot bodemdaling, met schade aan gebouwen als gevolg.

Voor Utrecht ligt de opgave om de sponswerking van de bodem beter in te zetten om weersextremen op te vangen. Dit betekent meer balans vinden tussen het voorkomen van verdroging door water beschikbaar te houden en anderzijds meer te anticiperen op vernatting door ontwateringsmiddelen in te zetten. Hittestress moet tegengegaan worden door onder andere gebruik te maken van de verkoelende effecten van planten en bomen, die tegelijkertijd ook water nodig hebben.

Vanuit het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie is de gemeente Utrecht bezig met een stresstest waarin de gevolgen van klimaatverandering worden voorspeld. Uit de voorlopige resultaten blijkt dat de stad in de huidige staat niet toekomstbestendig is voor extreme weersomstandigheden.

1.2 Gemeentelijke zorgplichten

Vanwege de gemeentelijke zorgplichten heeft Utrecht als taak om hemelwater in te zamelen en te verwerken zonder dat er wateroverlast optreedt en het voorkomen en verminderen van structurele grondwateroverlast (gemeente Utrecht, 2015). In de praktijk neemt de gemeente pas maatregelen bij meldingen van wateroverlast en wanneer uit onderzoek blijkt dat de ontwatering in de openbare ruimte niet voldoet aan het criterium.

Middels de stresstesten (vanuit het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie) wordt door Utrecht in de aankomende twee jaar een klimaatadaptatiestrategie opgesteld. In de strategie worden maatregelen voorgesteld voor locaties waar door extreme regenbuien schade is te verwachten. Verticale infiltratie zal voor een deel van de locaties beschouwd worden als oplossing.

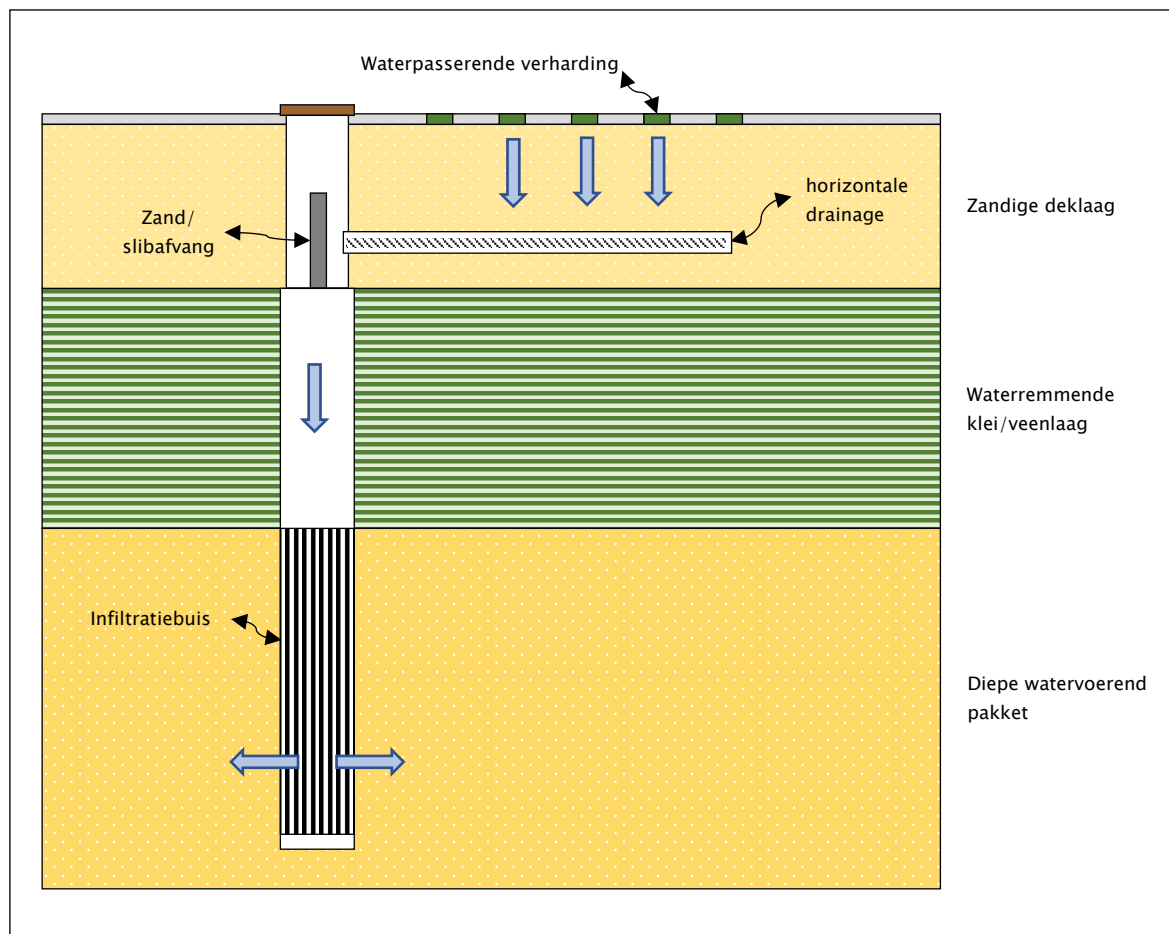
1.3 Theoretische context

Verticale infiltratieputten zijn bedoeld om overtollig grondwater (door langdurige regenval) in het freatisch pakket af te voeren naar het dieper gelegen eerste watervoerend pakket (van der Steen, 2014). Verticale infiltratie (VI) is relevant in een bodempakket met een waterwerende laag dicht onder het maaiveld. In Utrecht komt dit type bodempakket veelvuldig voor doordat de in het verleden afgezette kleilagen tijdens het bouwrijp maken zijn opgehoogd met zand. Het voordeel van VI is dat er relatief weinig ruimte nodig is waardoor de impact op de inrichting van de openbare ruimte beperkt blijft (dit in tegenstelling tot wadi's, infiltratiekragen en rioolvergroting).

Dit onderzoek beperkt zich tot verticale infiltratie in de verzadigde zone, omdat de bodem onder de scheidende kleilaag in Utrecht altijd beneden de grondwaterstand ligt. Infiltratieputten naar de verzadigde zone zijn daardoor altijd gevuld met water. Met water gevulde putten voeren regenwater sneller af dan putten boven de grondwaterstand. Dit komt doordat de poriën in de onverzadigde zone deels zijn gevuld met lucht, dat minder snel wijkt voor water. In de verzadigde zone is alleen water aanwezig, dat sneller wijkt voor geïnfiltreerd water (van der Heide, 2009). In diepere infiltratiebuizen tot onder de kleilaag wordt ook meer druk opgebouwd dan in ondiepe putten, in verband met het lagere waterpeil (stijghoogte).

In Utrecht is VI toegepast in combinatie met horizontale drainage, maar ook als separaat systeem. Vanwege het risico op bodemvervuiling wordt regenwater nooit direct aangesloten op een verticale infiltratiebuis met een kolkaansluiting. In figuur 1 is een afwateringssysteem met VI op een vereenvoudigde manier weergegeven. Verticale infiltratie wordt alleen ingezet wanneer dit voldoende effect heeft en de bestaande bebouwing in het gebied dit toelaat, omdat het permanent verlagen van de grondwaterstand ook nadelige effecten kan veroorzaken, zoals zetting van de bodem (gemeente Utrecht, 2013). In figuur 2 zijn alle verticale infiltratieputten in Utrecht weergegeven. In het najaar van 2018 waren er in Utrecht in totaal circa 400 verticale infiltratieputten.

De maximale snelheid waarmee water infiltreert in de bodem wordt uitgedrukt met de infiltratiecapaciteit. De infiltratiecapaciteit is onder andere afhankelijk van de doorlatendheid en de stijghoogte. De stijghoogte verandert door het jaar vanwege neerslag. Dit maakt dat de infiltratiecapaciteit geen constante waarde is. De doorlatendheid is afhankelijk van zeer veel factoren, waaronder de hoeveelheid fijne deeltjes, de sortering, de gemiddelde korrelgrootte, de hoeveelheid grind, de pakking, de hoeveelheid organische delen, de gelaagdheid en de porositeit (Bouma & Schuurman, 2015). De k-waarde (doorlatendheid) wordt in de praktijk vaak vastgesteld op basis van boorbeschrijvingen of met behulp van korrelgrootte-analyses (laboratorium). De doorlaatcapaciteit is het product van de doorlatendheid en de dikte van de laag.



Figuur 1: Vereenvoudigde weergave afwateringssysteem met verticale infiltratieput

Wet van Darcy

Stroming van grondwater wordt altijd theoretisch benaderd vanuit de basisprincipes van de wet van Darcy. In het kort gaat de wet uit van een lineair verband tussen de doorlatendheid, het verhang en de stroomsnelheid. Indien twee van de factoren bekend zijn kan de onbekende worden achterhaald. In bijlage I is meer toelichting gegeven.

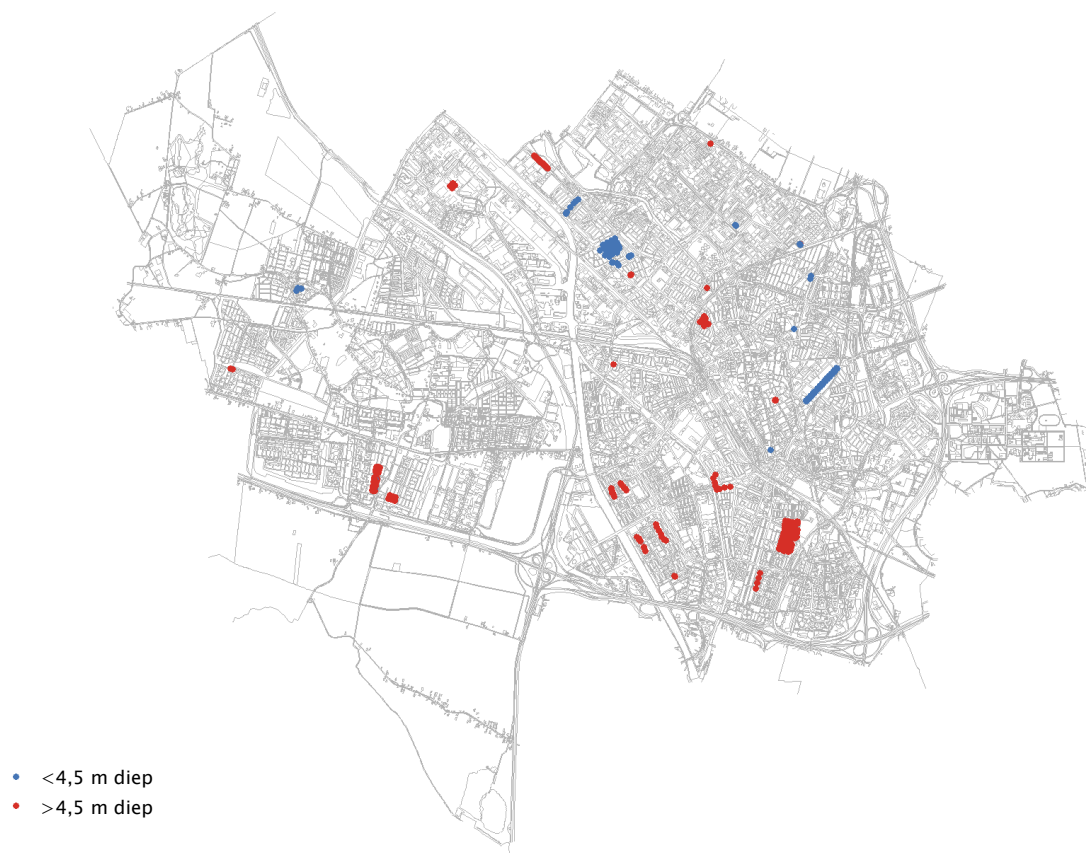
1.4 Aanleiding

In de stad is kennis over het functioneren van verticale infiltratie (VI) verwaarloosd. Een van de redenen hiervoor is dat in de stad gebieden veelal zijn opgehoogd met zand, waardoor de benodigde ontwateringsdiepte eenvoudiger is te bewerkstelligen.

Door de doorlatendheid en de gemiddelde stijghoogte in beschouwing te nemen wordt de diepte en diameter van VI-putten vastgesteld. Dit is een proces dat berust op het 'gevoel' van de ontwerper en niet gepaard gaat met een op-maat-gemaakte rekenmethode. In de praktijk vindt over- of onderdimensionering van verticale infiltratie plaats. Bij overdimensionering zijn meer putten geplaatst

dan nodig of zijn te grote diameters of dieptes gehanteerd. In het geval van onderdimensionering is er te weinig infiltrerend oppervlak aangelegd en kan wateroverlast ontstaan.

Er is vanuit adviseurs en beleidsmakers binnen de gemeente Utrecht vraag naar meer kennis over het functioneren van verticale infiltratie in de praktijk. Concreter is er vraag naar de werkelijke infiltratiecapaciteit van VI en de effecten op de grondwaterstand in droge en natte perioden. Het principe van diepinfiltratie is vrij eenvoudig, maar er zijn veel factoren die de doorlatendheid van de bodem bepalen en die zijn niet allemaal (nauwkeurig) vast te stellen met standaard bodemonderzoeken zoals boringen, sonderingen en korrelgrootte-analyses. Daarnaast is de aard van het sediment in de diepere zandlaag sterk heterogeen. Dit maakt dat de theoretische benaderingen, die sterk zijn gestandaardiseerd voor de bodem in Nederland, in meer of mindere mate afwijken van de praktijk.



Figuur 2: Overzicht verticale drainage in Utrecht (situatie 2018)

Naast de hiervoor beschreven aanleiding zijn er ook andere achtergronden die meer onderzoek naar verticale infiltratie aanmoedigen:

- De effecten van diepinfiltratie op warmte- en koude opslagsystemen.
De verwachting is dat in bestaande woongebieden in de toekomst warmte- en koude opslagsystemen (wko) zullen worden toegepast om woningen af te koppelen van aardgas. Als gevolg van diepinfiltratie komt zuurstofrijk water terecht in de omgeving van de wko-systemen. Diepinfiltratie leidt tot redoxreacties waarbij ijzer neerslaat en een mogelijk gevolg

hiervan is dat wko-systemen langzaam verstopt raken. De gemeente Utrecht wilt daarom achterhalen welke afstand tussen diepinfiltratie en wko-systemen moet worden gehanteerd.

- Het afnemen van de infiltratiecapaciteit van verticale infiltratieputten.

In de huidige situatie zijn er gevallen waarin beheerders in Utrecht veel ijzerafzettingen aantreffen in verticale infiltratieputten. Het intreden van slib en zand is ook een probleem dat beheerders constateren. Afzettingen van ijzer, zand en slib zorgt voor een afname van de infiltratiecapaciteit en de levensduur van infiltratiebuizen.

1.5 Projectgebied

Dit onderzoek beperkt zich tot een parkeerterrein in de Alexander de Grotelaan in Kanaleneiland. De straat is ten tijde van dit onderzoek heringericht. De asfaltverharding van het parkeerterrein is tijdens de herinrichting vervangen door waterpasserende verharding. Het hemelwater is afgekoppeld van het gemengde rioolstelsel. Hemelwater komt na de herinrichting via de doorlatende verharding terecht in een zandcunet, waarna het afstroomt richting een horizontaal infiltratieriool. Via een aansluiting op een verticale infiltratiebuis wordt het regenwater afgevoerd naar het eerste watervoerend pakket. De verticale infiltratiebuis onder het parkeerterrein is in dit onderzoek bestudeerd. Het projectgebied is in figuur 3 weergegeven.



Figuur 3: Locatie projectgebied

1.6 Onderzoeksopzet

In deze paragraaf zijn het probleem, doel en de onderzoeksvragen beschreven.

1.6.1 Probleemstelling

Er is binnen de afdelingen BORG en Stadsingenieurs te weinig kennis over het te verwachten en de werkelijke infiltratiecapaciteit van verticale diepinfiltratie voor de afvoer van hemelwater. Dit gebrek aan kennis heeft in de praktijk als gevolg dat in het ontwerp een onzekere mate van onder- of overdimensionering plaatsvindt. Overdimensionering leidt tot te hoge investeringen voor aanleg en er zijn ook meer kosten voor beheer en onderhoud. Door onderdimensionering kan wateroverlast ontstaan, wat leidt tot aanvullende maatregelen en extra kosten.

1.6.2 Doelstelling

Het doel is om de representativiteit van veelgebruikte theoretische methoden voor het voorspellen van de werking van verticale infiltratie te achterhalen met behulp van metingen uit veld.

1.6.3 Kennisvraag

Welke rol kan het afvoeren van hemelwater door middel van verticale infiltratie naar het eerste watervoerend pakket spelen in Utrecht ten tijde van extreem droge en natte perioden?

1.6.4 Praktijkvraag

Welke uitgangspunten met betrekking tot de ontwerpmethodiek van verticale hemelwaterinfiltratie kunnen worden opgesteld op basis van metingen aan verticale infiltratie in de Alexander de Grotelaan?

1.6.5 Deelvragen

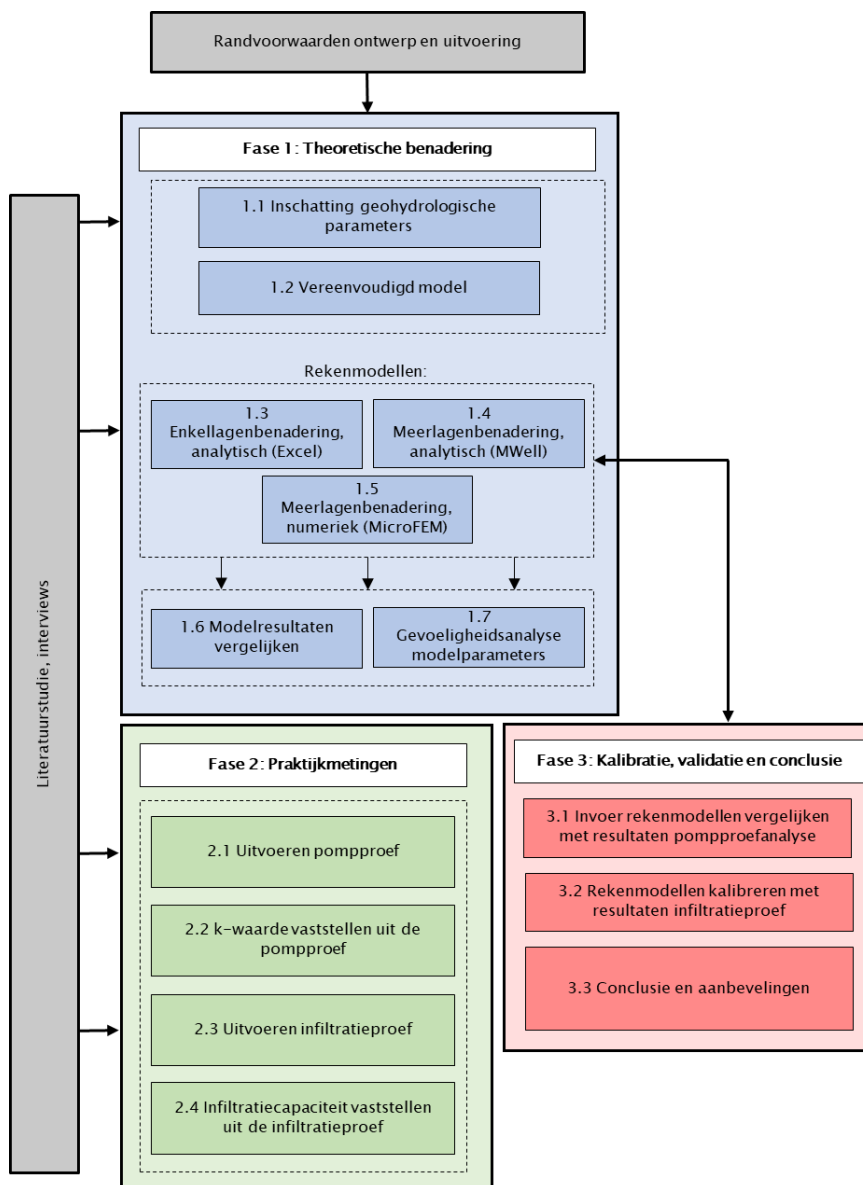
1. Wat is er nodig om de theoretische infiltratiecapaciteit en het stijghoogteverloop in het watervoerend pakket te voorspellen?
2. Wat is de horizontale doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket ter hoogte van de verticale infiltratiebuis in de Alexander de Grotelaan?
3. Wat is de infiltratiecapaciteit van de verticale infiltratiebuis in de Alexander de Grotelaan?

2 Methode

Om antwoord te geven op de praktijkvraag is dit onderzoek uitgevoerd in drie fasen:

1. Theoretische benadering;
2. Veldproeven;
3. Kalibratie, validatie en conclusie.

De fasen zijn gepresenteerd in figuur 4. In de volgende paragrafen is de methode verder toegelicht.



Figuur 4: Fasen in methode

2.1 Modelleren

In deze paragraaf zijn de belangrijkste uitgangspunten en methoden beschreven voor het simuleren van de grondwaterstroming bij infiltratie.

2.1.1 Inschatting geohydrologische parameters

De geohydrologische variabelen zijn ingeschat met behulp van bestaande methoden uit de literatuur. De doorlatendheid is op basis van boorbeschrijvingen bepaald met behulp van een publicatie uit 1996 van A.B. Pomper. De pakketdikte is bepaald met behulp van bestaande bodemonderzoeken in de buurt van het projectgebied. De bodemopbouw en doorlatendheden tot en met het eerste watervoerend pakket zijn in tabel 1 opgenomen.

In bijlage I zijn de gebruikte gegevens en toelichting op de schattingsmethode voor de doorlatendheden opgenomen. In bijlage I is tevens de inschatting van de bergingscoëfficiënt en weerstand boven het pakket toegelicht.

Tabel 1: Geohydrologische bodemopbouw

Van (m–mv)	Tot (m–mv)	Dikte (m)	Geohydrologische eenheid	k (m/dag)	kD (m ² /dag)	Grondsoort
0	2	2	Deklaag	15	30	Zand, matig fijn tot matig grof, zwak siltig
2	4,5	2,5	Eerste scheidende laag	0,001	–	Klei
4,5	5,5	1		0,002	–	Veen
5,5	6,5	1	Eerste watervoerend pakket (1 ^e wvp)	1	1	Zand, zeer fijn, kleilig, uiterst veenhoudend
6,5	19,6	13,1		9	117,9	Zand, matig fijn, zwak siltig
19,6	41,6	22		37,5	825	Zand, matig grof, zwak siltig, matig grindig
Totaal 1 ^e wvp:		36,1		–	943,9	

Eenvoudige methode in het ‘handboek bronbemalingen’

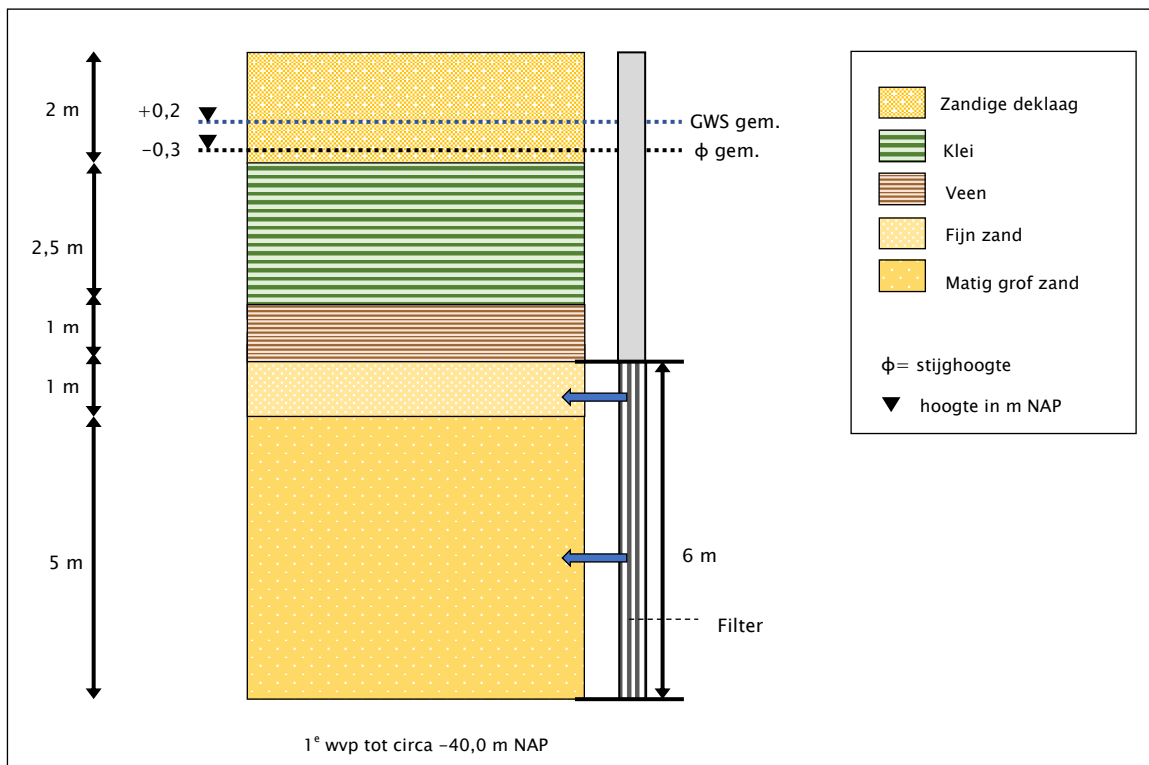
De gemeente Utrecht heeft ten behoeve van bronbemalingen in het verleden eenvoudige vuistregels opgesteld voor het bepalen van de doorlaatcapaciteit en de dikte van het watervoerend pakket. Uit de vuistregels volgde een kD-waarde van 950 m²/dag (komt overeen met de methode van Pomper) en een dikte van 27,7 m. De dikte wijkt behoorlijk af van de aangenomen waarde op basis van lokaal bodemonderzoek (36,1 m). Daarom is het effect van de pakketdikte onderzocht in de gevoeligheidsanalyse.

2.1.2 Ontwerprandvoorwaarden

Hieronder zijn de ontwerprandvoorwaarden vermeld:

- De diepte van de infiltratiebuis is bepaald met behulp van lokale boringen.
- Uitgangspunt was dat de infiltratie direct plaatsvindt onder de scheidende laag.
- De infiltratiebuis heeft een diameter van 315 mm. Het omhullingsgrind in het boorgat is sterk doorlatend. In de modelberekeningen is uitgegaan van een boorgatdiameter van 550 mm.
- De filterlengte (poreuze buis) bedraagt 6 m. Dit is een standaardafmeting van de leverancier.

In figuur 5 is een principedoorsnede van de infiltratieput weergegeven. In de modellen is onderstaande doorsnede nog verder vereenvoudigd.



Figuur 5: Principedoorsnede infiltratieput

2.1.3 Scenario's

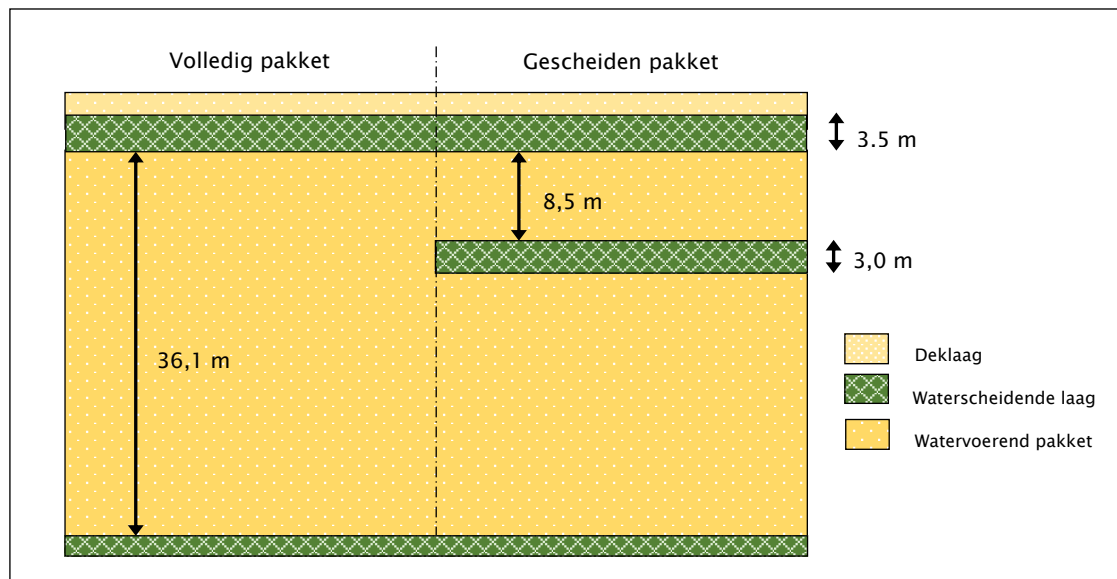
Gegevens uit het DINOket lieten zien dat binnen het eerste watervoerend pakket op bepaalde plaatsen klei is afgezet. Voor het uitvoeren van de modelberekeningen is daarom uitgegaan van twee bodemvarianten (zie ook figuur 6):

1. Volledig pakket

Watervoerende zandlaag wordt niet onderbroken door tussenliggende kleilagen.

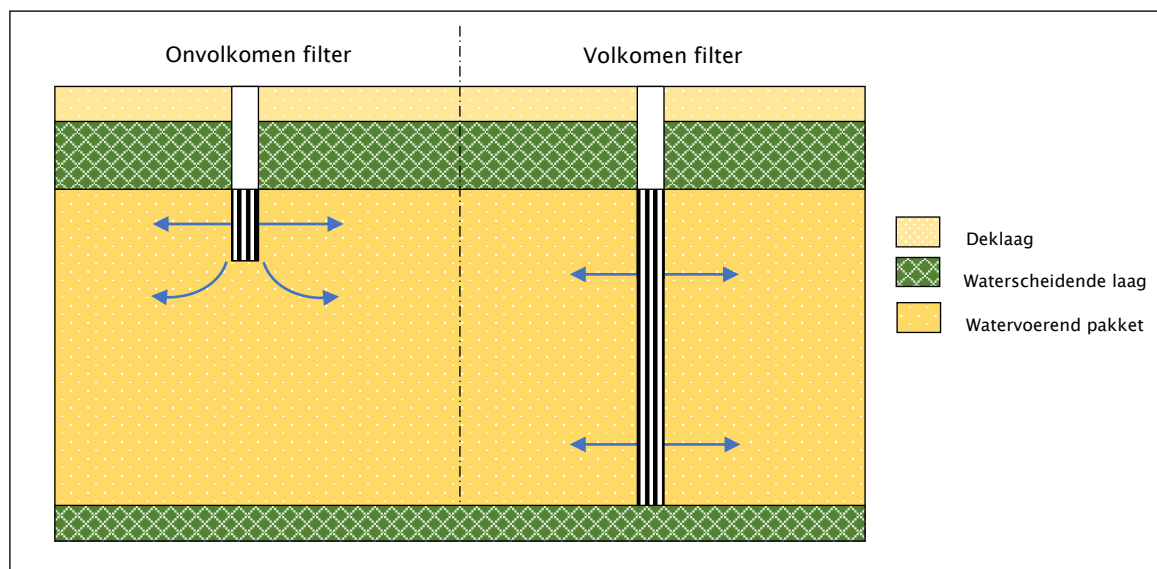
2. Gescheiden pakket

Circa 8,5 meter onder de eerste scheidende laag begint een waterremmende kleilaag met een dikte van 3,0 meter. Hierdoor neemt de pakketdikte drastisch af.



Figuur 6: Varianten geohydrologische opbouw eerste watervoerend pakket

In figuur 7 zijn twee typen filterliggingen weergegeven die in dit onderzoek zijn onderzocht. De infiltratieput in de Alexander de Grotelaan reikt tot in een gedeelte van het watervoerend pakket: een onvolkomen filter. De reden waarom onderscheid is gemaakt in filterliggingen is dat de literatuur met name oplossingen aandraagt voor volkomen filters (buis aanwezig in volledig pakket). In de praktijk ontstaat daardoor het risico dat men met de verkeerde methoden te werk gaat.



Figuur 7: Varianten filterligging en stroomlijnen

2.1.4 Modelvarianten

Er zijn drie modellen gemaakt die zich onderscheiden door de mate waarin zij rekening houden met de werkelijke situatie en omgevingsfactoren. Met de modellen is een effectenstudie uitgevoerd om de gevoeligheid van de verschillende bodem- en systeemp parameters te achterhalen. De gehanteerde modellen zijn in tabel 2 toegelicht. In bijlage II zijn de modeluitgangspunten uitgebreider behandeld.

Tabel 2: Uitgangspunten van gehanteerde rekenmodellen

Programma	Oplossingsmethode	Benadering	Varianten bodemopbouw	Varianten filterligging
Excel	Analytisch	Enkellagen	Volledig pakket	Volkomen en onvolkomen
MWell	Analytisch	Meerlagen	Volledig en gescheiden pakket	Onvolkomen
MicroFEM	Numeriek	Meerlagen	Volledig en gescheiden pakket	Onvolkomen

Analytisch versus numeriek

Een analytische oplossing lost een vraagstuk op met wiskundige formules en geeft een exact antwoord. In Excel en in het computerprogramma MWell is de grondwaterstroming analytisch opgelost. Het computerprogramma MicroFEM hanteert een numerieke oplossingsmethode. Kortgezegd is dit een meer complexe benadering. MicroFEM rekent, in tegenstelling tot MWell, middels een fijn netwerk waarin op veel punten de stijghoogte en flux wordt berekend. De berekende waarden in een punt oefenen invloed uit op de stijghoogtes in de omliggende punten.

Enkellagen versus meerlagen

In Excel zijn wiskundige vergelijkingen opgelost die uitgaan van een watervoerend pakket met één kenmerkende doorlatendheid. In MWell en MicroFEM is het watervoerend pakket opgedeeld in lagen met verschillende doorlatendheden.

Tijdsonafhankelijk rekenen

Tijdsonafhankelijk rekenen leidt tot resultaten in een 'evenwichtssituatie' (ook wel stationair genoemd). De uitvoer van een tijdsonafhankelijke berekening geeft het moment waarop de verhoging van de stijghoogtes constant is. Er is aangenomen dat stationaire berekeningen voor kortdurende infiltratie valide zijn, omdat het pakket in korte tijd niet beïnvloed wordt door lek via de bovenliggende scheidingslaag (Uffink, 1982). In alle modellen is daarom uitgegaan van een volledig ondoorlatende laag boven het watervoerend pakket.

Enkellagenbenadering in Excel

In dit onderzoek zijn twee wiskundige vergelijkingen onderzocht in Excel. Voor de verschillen tussen de wiskundige vergelijkingen wordt verwezen naar tabel 3.

Tabel 3: Verschil in uitgangspunten tussen enkellagenmethoden

	Formule van de Glee	Formule van Dupuit
Bodemopbouw	Watervoerende laag met daarboven een waterremmende laag.	Watervoerende laag met daarboven een ondoorlatende laag.
Oppervlaktewater	Stijghoogteverloop wordt beïnvloed door de spreidingslengte: De verhouding tussen de weerstand boven de laag en de doorlatendheid.	Stijghoogteverloop wordt beïnvloed door de afstand waar een vast waterpeil (oppervlaktewater) wordt gehandhaafd.

De twee vergelijkingen in tabel 3 gaan uit van een stroming via een volkomen filter. De waterhoogtes bij infiltratie door een onvolkomen filter zijn berekend met de Huisman correctiemethode. In bijlage III is de correctiemethode toegelicht.

2.1.5 Infiltratiecapaciteit berekenen

De infiltratiecapaciteit is het debiet bij een verhoging van 1,4 m (put is volledig gevuld). Om te komen tot de infiltratiesnelheid voor de maximale verhoging is het debiet bij de berekende verhogingen geëxtrapoleerd volgens een lineaire schaalverdeling.

2.2 Veldproeven

De infiltratieput in de Alexander de Grotelaan is proefondervindelijk onderzocht door middel van de 'constant-flowproef', die is uitgevoerd in twee varianten: de pompproef en de infiltratieproef. Het principe van de constant-flowproef gaat uit van een constante waterstroming die de infiltratieput betreedt of juist verlaat. Op enig moment daalt of stijgt de waterstand in de infiltratieput niet meer en is er sprake van een 'evenwicht' (ook bekend als 'steady-state'). De constante waterhoogtes bij diverse debieten leidden tot een nagenoeg correcte beschrijving van het functioneren van het systeem.

2.2.1 Pompproef

Tijdens de pompproef is grondwater onttrokken met een constant debiet tot dat de stijghoogtes in het systeem stabiel werden. Het doel van de pompproef was het bepalen van de doorlaatcapaciteit. De infiltratieput functioneerde als onttrekkingspunt en op vier afstanden en in twee richtingen is met meetloggers in peilbuizen de verlaging gemeten.

Analyseren resultaten pompproef

Met drie methoden uit de literatuur zijn de doorlatendheid en doorlaatcapaciteit gekwantificeerd op basis van gemeten verlagingen tijdens de pompproef. De gebruikte methoden zijn in tabel 4 gepresenteerd. Bijlage III geeft meer toelichting.

Tabel 4: Toegepaste methoden voor het berekenen van de doorlaatcapaciteit

Methode	Verlaging in	Voorwaarde	Resultaat
Putmethode	Infiltratieput	Constant waterniveau	Doorlatendheid, doorlaatcapaciteit
Methode van Thiem	Peilbuizen	Constant verschil tussen peilbuisniveaus	Doorlaatcapaciteit
Herstelmethode, gebaseerd op de formule van Theis			

2.2.2 Infiltratieproef

Om te achterhalen hoe snel de infiltratiebuis water afvoert naar het diepere watervoerend pakket is water aangevoerd in de put met een constant debiet. Dit is gedaan tot dat het waterpeil in een evenwichtssituatie terecht kwam. De gemeten peilverhogingen zijn gebruikt voor de validatie en kalibratie van de theoretische modellen.

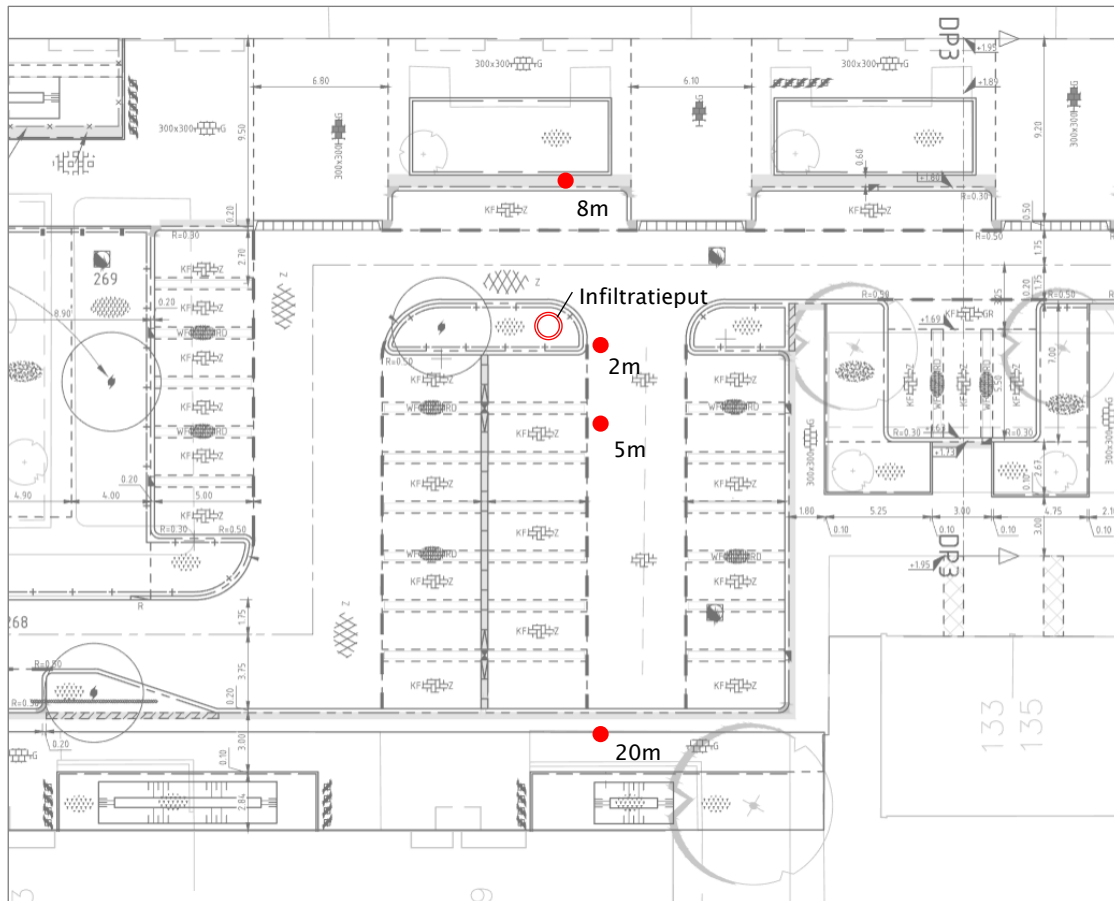
2.2.3 Werkwijze metingen

De opstellingen van de veldproeven zijn weergegeven in figuur 8.



Figuur 8: Meetopstellingen pompproef en infiltratieproef

Stroomafwaarts (richting het Amsterdam-Rijnkanaal) staan drie peilbuizen tot omstreeks 20 meter. Eén peilbuis staat in stroomopwaartse richting op circa 8 meter. Tijdens de proeven zijn de waterhoogtes bijgehouden met meetloggers. De peilbuislocaties zijn te zien in figuur 9.



Figuur 9: Peilbuislocaties met afstanden tot de infiltratieput

2.3 Kalibratie en validatie

De gekwantificeerde doorlaatcapaciteit en doorlatendheid uit de pompproefanalyse zijn ter validatie vergeleken met de modelinvoer. Met de gemeten verhogingen uit de infiltratieproef zijn de modellen gevalideerd en gekalibreerd.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk zijn de resultaten uit de modelberekeningen en veldproeven opgenomen. De veldproeven zijn in hoofdstuk 4 teruggekoppeld naar de theoretische modellen.

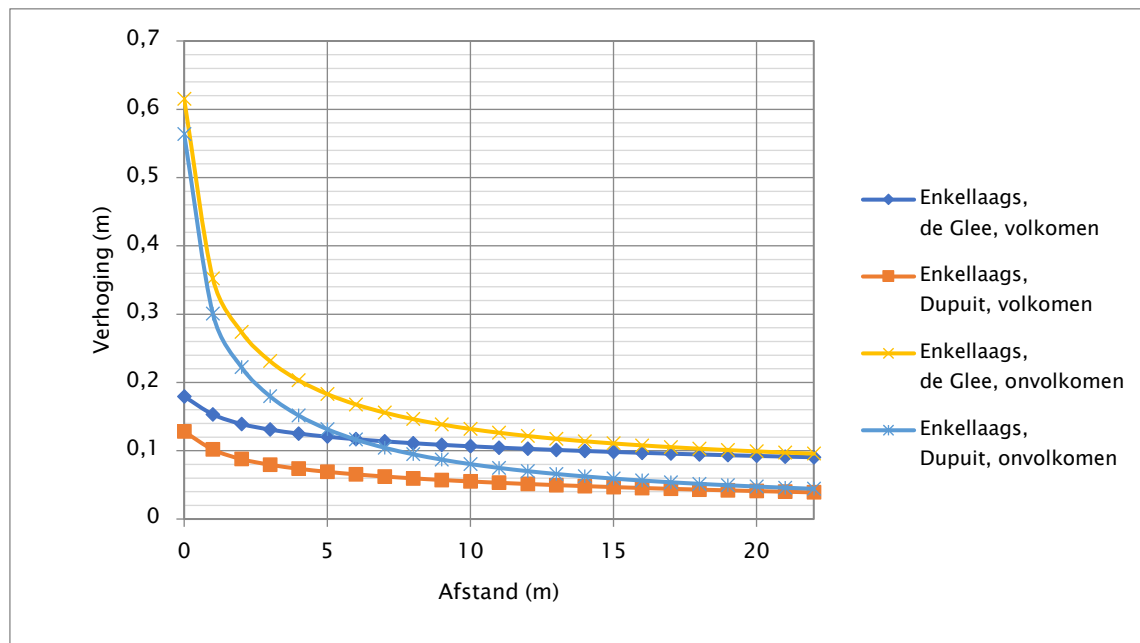
3.1 Modellen

De resultaten uit alle modelberekeningen zijn in deze paragraaf met elkaar vergeleken.

3.1.1 Verschil tussen volkomen en onvolkomen diepinfiltratie

Het stationaire stijghoogteverloop uit de enkellaagse Excel-modellen is te zien in figuur 10. Hieronder de bevindingen:

- De drukverhogingen uit de vergelijking van Dupuit zijn lager dan uit de formule van de Glee. Dit is te verklaren doordat de benadering van Dupuit rekening houdt met een vast waterpeil bij het Amsterdam-Rijnkanaal.
- Een onvolkomen filter leidt tot een forse toename van de verhoging in de put ten opzichte van een infiltratiebuis die in het gehele pakket aanwezig is. De infiltratiecapaciteit van een volkomen filter is een factor 3 à 4 hoger. Dit komt doordat in een onvolkomen filter meer weerstand ontstaat die de stroming belemmert (Deltares, 2007). Het effect van een onvolkomen filterligging is op 20 meter afstand nog nauwelijks merkbaar.

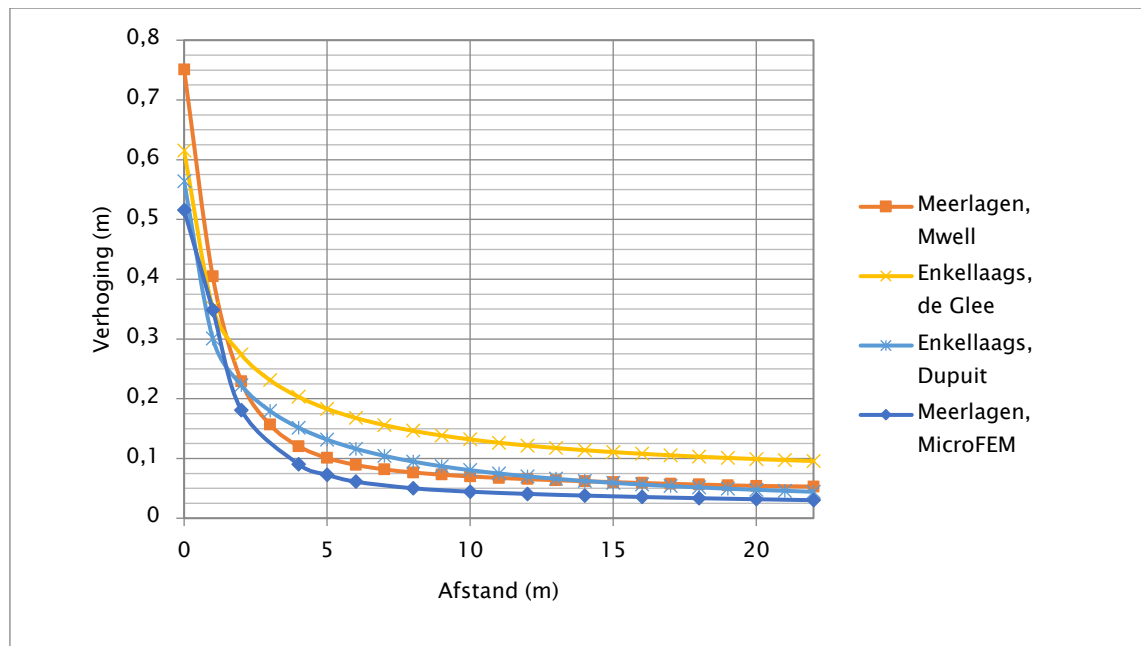


Figuur 10: Stationair stijghoogteverloop uit de enkellagenmethoden

3.1.2 Stationair stijghoogteverloop

Figuur 11 geeft het stationair stijghoogteverloop uit alle modellen bij een onvolkomen filterligging. De bevindingen zijn:

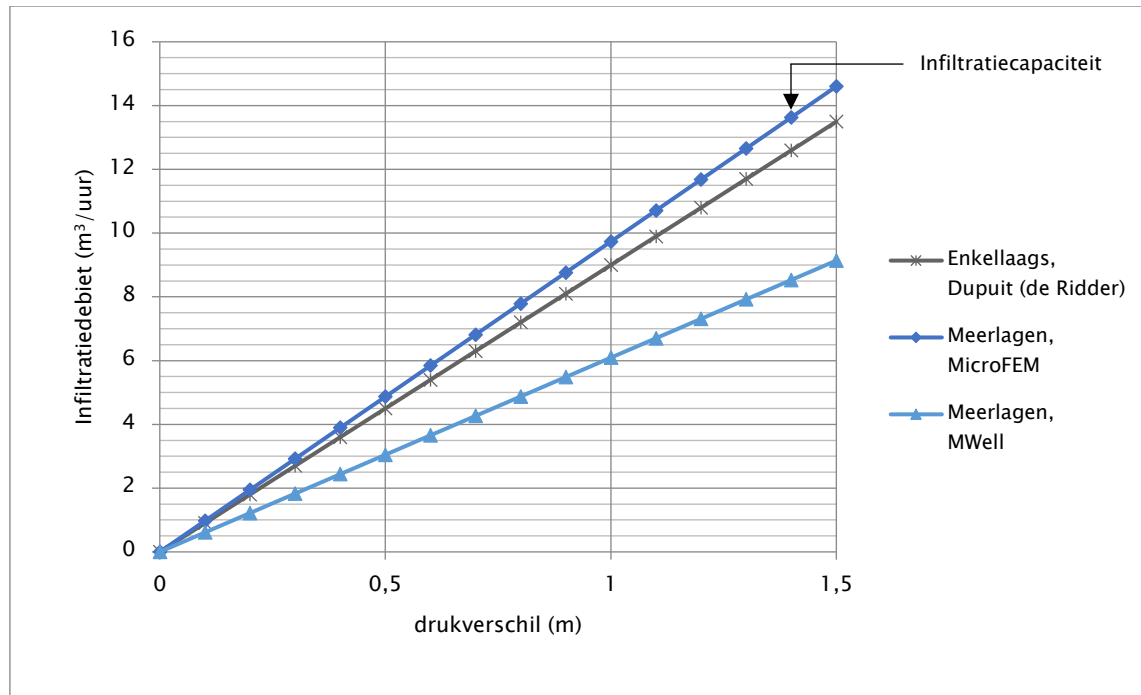
- De verhogingen uit de vergelijking van Dupuit komen dicht in de buurt met verhogingen uit MicroFEM.
- MWell geeft de hoogste putverhoging.



Figuur 11: Stationair stijghoogteverloop uit de methoden met een onvolkomen filterligging

3.1.3 Infiltratiedebiet

Het putdebiet bij verschillende drukverschillen voor onvolkomen filters is opgenomen in figuur 12. De verhogingen uit de vergelijking van Dupuit komen dicht in de buurt van de meerlagenmethode in MicroFEM.



Figuur 12: Infiltratiedebieten uit de methoden met een onvolkomen filterligging

In tabel 5 is voor de onderzochte methoden de infiltratiecapaciteit weergegeven.

Tabel 5: Infiltratiecapaciteit per model met een onvolkomen filterligging

Benadering	Model	Infiltratiecapaciteit (m³/uur)
Watervoerend pakket met één doorlatendheid	Excel, formule van Dupuit	12,6
Watervoerend pakket met meerdere doorlatendheden	MWell	8,5
	MicroFEM	13,6

3.1.4 Gevoeligheidsanalyse modelparameters

In de rekenmodellen zijn diverse invoerparameters op experimentele wijze aangepast om de invloed op het stijghoogteverloop, en daarmee de relevantie aan te tonen. De invloedrijke parameters zijn in tabel 6 toegelicht.

De parameters met weinig invloed op de stijghoogtes zijn:

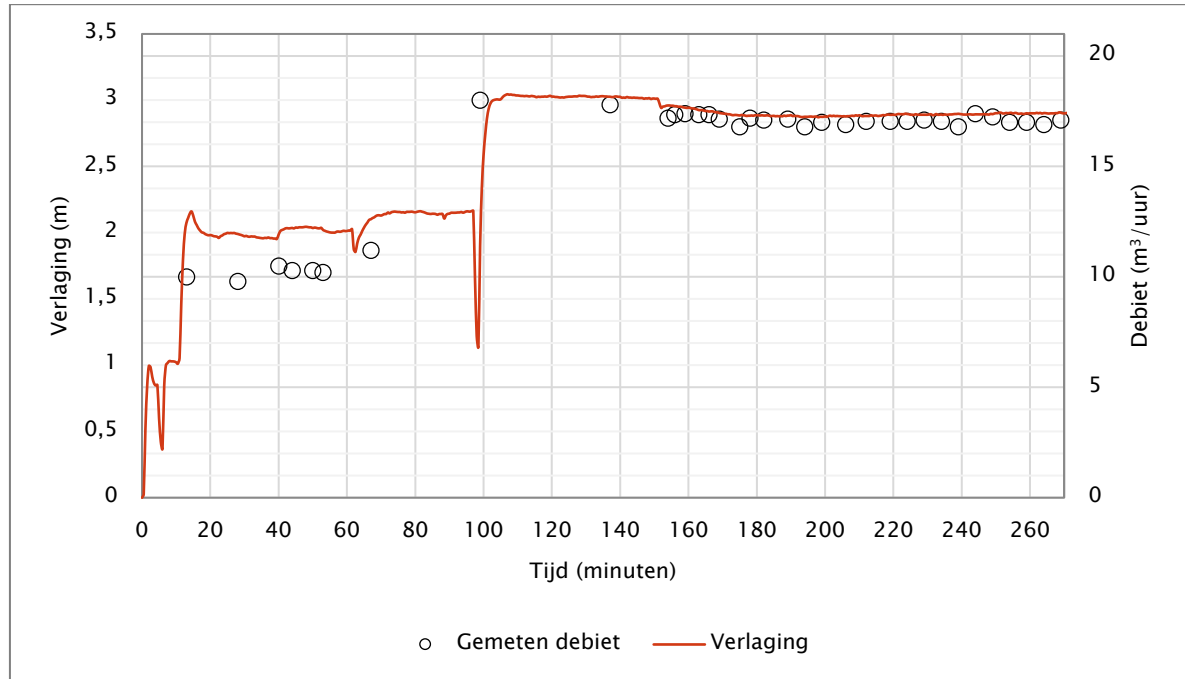
- De weerstand van de waterscheidende laag boven het filter.
- De doorlatendheid van de putbodem.
- De bergingscoëfficiënt in tijdsafhankelijke berekeningen (zie bijlage I voor meer toelichting).

Tabel 6: Invloedrijke parameters in modelberekeningen

	Parameter	Toelichting
Buis	Filterlengte	Een langer filter heeft geen effect op de maximale verhoging in de buis, maar leidt wel tot lagere weerstanden en dus een hogere infiltratiecapaciteit. Een filter met een lengte van zes meter ten opzichte van vier heeft circa 35% meer infiltratiecapaciteit.
	Boorgatdiameter	Een grotere diameter vergroot het infiltratieoppervlak. Het effect van de boorgatdiameter is minder significant dan die van de filterlengte.
Bodem	Doorlatendheid	De doorlatendheid is een bodemeigenschap die zeer veel invloed uitoefent op de grondwaterstroming. De keuze voor de doorlatendheid ter plaatse van het filter heeft veel effect op het infiltrerend putdebiet. Na enkele meters vanaf de put heeft een k -waarde van 6 m/dag ten opzichte van 9 m/dag weinig invloed op het resulterende stijghoogteverloop.
	Anisotropie	De anisotropiefactor brengt het verschil tussen horizontale en verticale doorlatendheid in rekening. Een 50% reductie van de verticale doorlatendheid geeft over een afstand van 80 m richting het Amsterdam-Rijnkanaal gemiddeld 40% meer verhoging van de stijghoogte ten opzichte van een isotropisch pakket.
	Scheidende laag onder het filter	Een scheidende laag op enkele meters onder de infiltratieput leidt tot een afname van de infiltratiecapaciteit van ruim 50%.
	Dikte watervoerend pakket	In de enkellagenberekening met de formule van Dupuit volgt bij een afname van de pakketdikte met 10 m een 20% toename van de infiltratiecapaciteit.

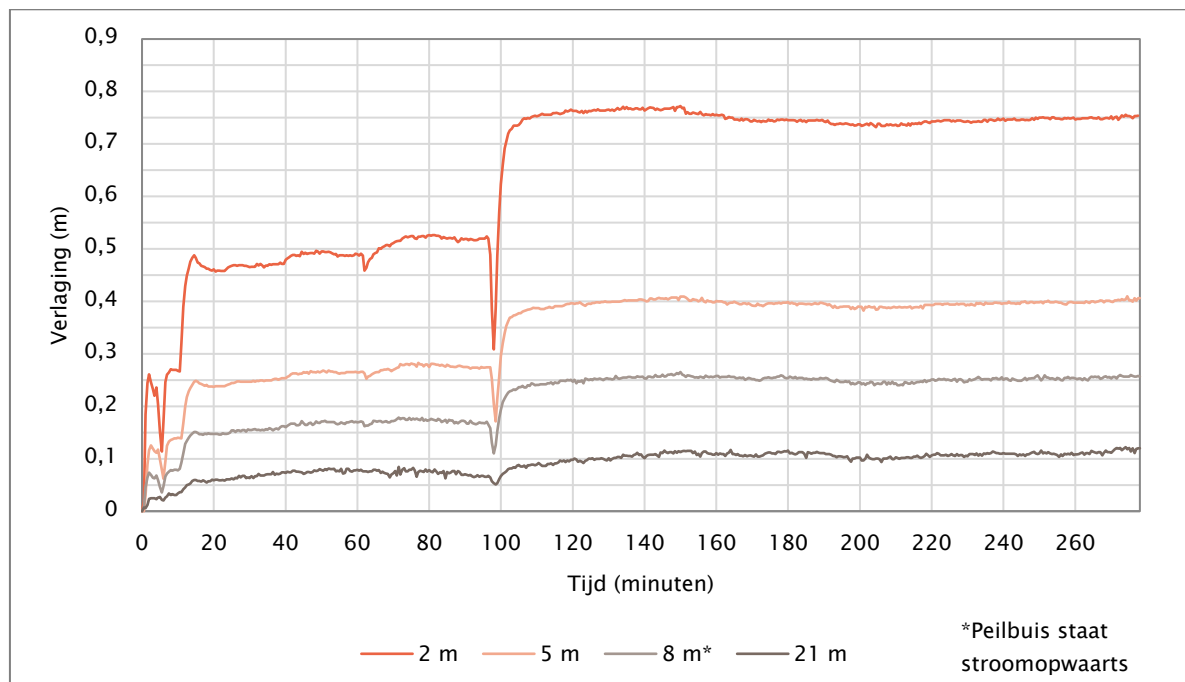
3.2 Pompproef

In figuur 13 staan de absolute verlagingen in de infiltratieput met de gemeten pompdebieten.



Figuur 13: Absolute verlaging en debiet infiltratieput

De peilbuisverlagingen zijn opgenomen in figuur 14.



Figuur 14: Absolute verlaging in peilbuizen

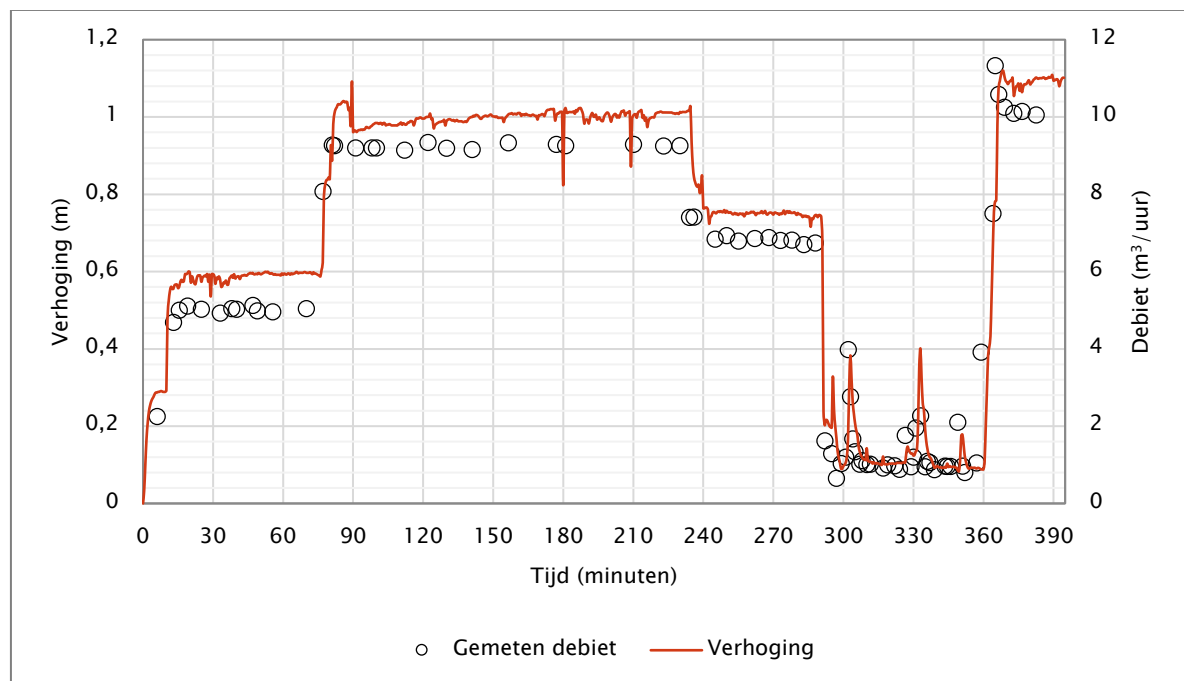
In tabel 7 zijn de resultaten uit de pompproefanalyses weergegeven. De berekende doorlatendheid bij het filter komt sterk in de buurt van de geschatte k -waarde (10,9 ten opzichte van 9). De berekende kD -waarden zijn aanzienlijk lager dan is aangenomen in de modellen.

Tabel 7: Resultaten pompproefanalyse

Doorlatendheid k (m/dag)	
Putmethode	10,9
Doorlaatcapaciteit kD (m ² /dag)	
Methode van Thiem	534
Herstelmethode	373
Putmethode	308

3.3 Infiltratieproef

De absolute verhogingen in de infiltratieput met de gemeten debieten zijn opgenomen in figuur 15. De infiltratieput bereikt een vast waterpeil over langdurige perioden. In bijlage III zijn de peilbuisverhogingen opgenomen.



Figuur 15: Absolute verhoging en debiet infiltratieput

3.4 Infiltratiecapaciteit

De infiltratiecapaciteit uit beiden proeven is te zien in tabel 8. Tijdens de pompproef is het waterpeil verlaagd. Het stijghoogteverschil in tegenovergestelde richting blijkt niet dezelfde infiltratiecapaciteit te geven. De infiltratiecapaciteit uit de infiltratieproef bedraagt 12,5 m³/uur (afgerond) en dit is als kloppend beschouwd.

Tabel 8: Infiltratiecapaciteit uit het gemiddelde van alle meetreeksen

Infiltratiecapaciteit	
Praktijkmeting	(m ³ /uur)
Pompproef	7,75
Infiltratieproef	12,57

4 Terugkoppeling veldproeven naar theoretische modellen

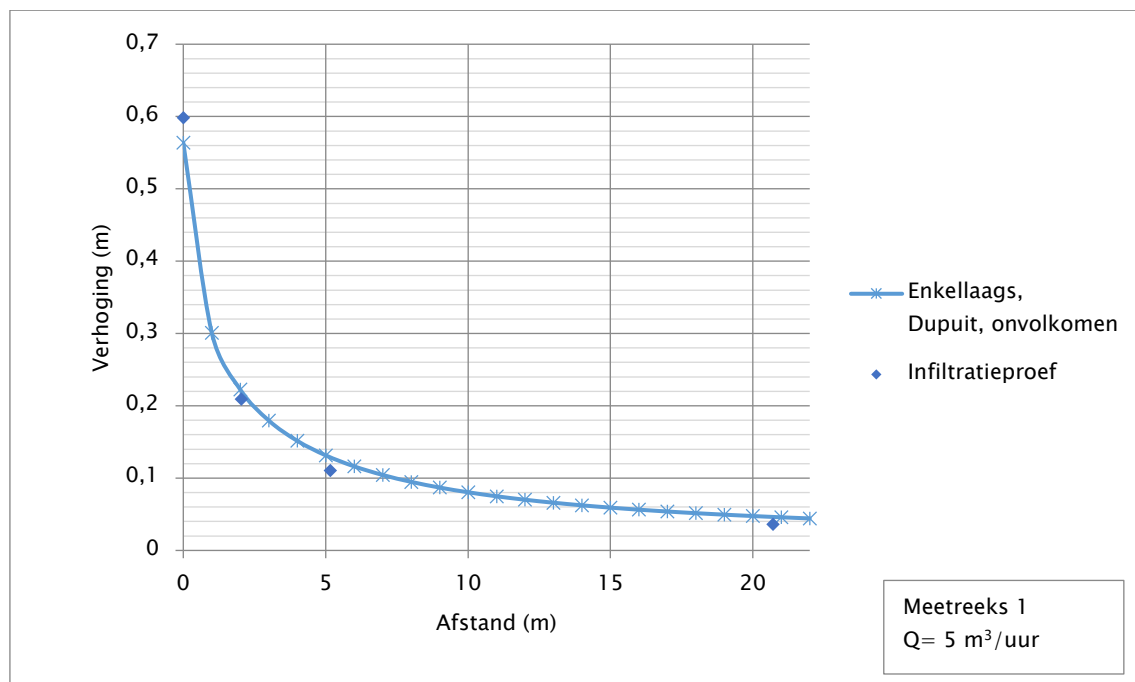
4.1 Modelkalibratie

In dit hoofdstuk zijn de invoerparameters van de modellen gewijzigd om tot hetzelfde resultaat te komen als in het veld. Een gekalibreerd model geeft een betere representatie van de werkelijkheid en een beter beeld van de bodemeigenschappen.

Het stijghoogteverschil in de put kan in praktijk groter zijn dan in de theoretische benadering vanwege weerstanden in het boorgat. Daarom zijn de peilbuishoogtes ook meegenomen in de modelkalibraties. Vanwege de stroomopwaartse ligging is de peilbuis op acht meter van de infiltratieput niet in beschouwing genomen.

4.1.1 Enkellagenbenadering

Uit de vergelijking tussen de infiltratieproef en de enkellagenbenadering blijkt de formule van Dupuit een zeer overeenkomstig verloop te geven (zie figuur 16). De putverhoging uit de formule van Dupuit is net iets lager dan in werkelijkheid. Dit is te verklaren door de extra weerstanden in de infiltratieput die in de praktijk optreden.

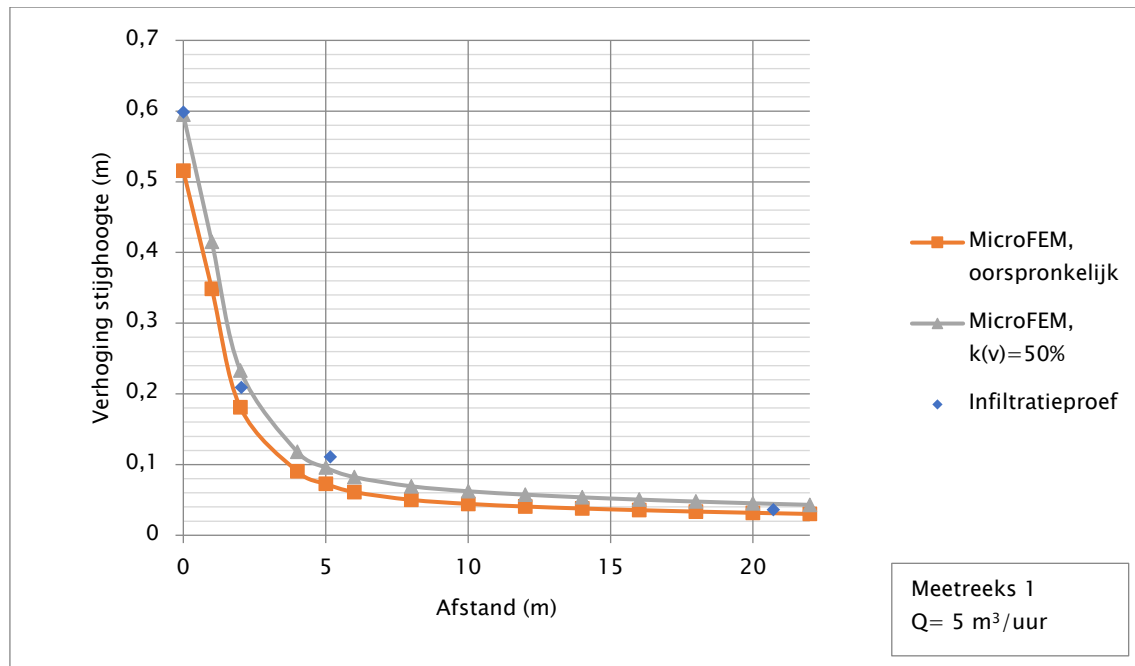


Figuur 16: Vergelijking enkellagenmodel volgens Dupuit met infiltratieproef

4.1.2 Meerlagenbenadering

De meerlagenbenadering in MicroFEM geeft een redelijk overeenkomstig beeld met de meetreeksen uit de infiltratieproef. In figuur 17 is het stijghoogteverloop vergeleken. Het MicroFEM model is als volgt gekalibreerd:

- In eerste instantie is de k -waarde verlaagd. Dit geeft alleen de juiste verhoging direct bij de put. Vanaf twee meter is de verhoging hetzelfde als bij de oorspronkelijke k -waarde.
- Een anisotropiefactor van 50% in verticale richting geeft wél een nagenoeg gelijk stijghoogteverloop. De doorlatendheid neemt in verticale richting met 50% af.



Figuur 17: Vergelijking en kalibratie MicroFEM-model met infiltratieproef

Het stijghoogteverloop is niet gekalibreerd in het computerprogramma MWell. De reden hiervoor is dat MWell geen ondersteuning biedt voor anisotropie. Het wijzigen van de doorlatendheid ter plaatse van het filter en op grotere diepte leidt niet tot een overeenkomstig stijghoogteverloop door het pakket.

4.2 Ledigingstijd

De ledigingstijden bij een reguliere bui ($T=2$ jaar) en een extreme neerslaggebeurtenis van 45 mm in één uur zijn gegeven in tabel 9. Het parkeerterrein heeft een oppervlak van 380 m².

Tabel 9: Ledigingstijden op basis van de infiltratiecapaciteit uit de infiltratieproef

Neerslag (mm)		
na één uur	19,8	45
Ledigingstijd	36 minuten	82 minuten

5 Conclusie en aanbevelingen

5.1 Conclusie

In deze paragraaf zijn alle onderzoeksvragen beantwoord.

DEELVRAAG 1

Wat is er nodig om de theoretisch infiltratiecapaciteit en het stijghoogteverloop in het watervoerend pakket te voorspellen?

De infiltratiecapaciteit en het stijghoogteverloop kunnen worden voorspeld met behulp van wiskundige vergelijkingen en grondwatermodelleringsprogramma's. Een voorspelling van de infiltratiecapaciteit is te maken door uit te gaan van de maximale waterstandsverhoging in de put.

Voor alle berekeningen moeten invoerparameters worden opgegeven. Uit dit onderzoek is gebleken dat onderstaande parameters veel invloed uitoefenen op de infiltratiecapaciteit:

1. De doorlatendheid,
2. dikte van het watervoerend pakket,
3. anisotropie,
4. filterlengte,
5. boorgatdiameter, en
6. oppervlaktewaterpeilen.

De anisotropie en oppervlaktewaterpeilen zijn ook van belang voor het verkrijgen van het werkelijk stijghoogteverloop in het watervoerend pakket. De invoerparameters 1 tot en met 3 moeten worden ingeschat. Het is daarom van groot belang dat de modelleur kennis heeft van de principes van grondwaterstroming en weet hoe iedere invoerparameter zo nauwkeurig mogelijk is te bepalen.

DEELVRAAG 2

Wat is de horizontale doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket ter hoogte van de verticale infiltratiebuis in de Alexander de Grotelaan?

Middels de resultaten uit de pompproef is een horizontale doorlatendheid van circa 11 m/dag berekend. Dit is een gemiddelde, omdat de k -waarde bij het filter varieert over diepte.

DEELVRAAG 3

Wat is de infiltratiecapaciteit van de verticale infiltratiebuis in de Alexander de Grotelaan?

Het infiltratiedebiet is in het veld vastgesteld met de infiltratieproef. Hieruit is voor een volledig gevulde put een infiltratiedebiet van $12,5 \text{ m}^3/\text{uur}$ afgeleid. De infiltratieput kan bij een neerslaggebeurtenis van $19,8 \text{ mm}$ ($T=2$ jaar) een verhard oppervlak van ongeveer 650 m^2 afvoeren binnen 1 uur.

HOOFDVRAAG

Welke uitgangspunten met betrekking tot de ontwerpmethodiek van verticale hemelwaterinfiltratie kunnen worden opgesteld op basis van metingen in de Alexander de Grotelaan?

Uit dit onderzoek bleken onderstaande modeluitgangspunten toereikend genoeg om de werkelijkheid betrouwbaar te voorspellen:

- Een karakteristieke doorlatendheid bij het filter en onder het filter;
- Eerste scheidende laag volledig ondoorlatend;
- Geen tijdsafhankelijkheid.

Onderstaande rekenmodellen leiden tot resultaten die sterk overeenkomen met de praktijk:

1. De wiskundige vergelijking van Dupuit, in combinatie met de correctiemethode van Huisman;
2. Het computerprogramma MicroFEM, na aanpassing van de anisotropiefactor.

De vergelijking van Dupuit gaat uit van een volkomen filter. In werkelijkheid is het infiltratieoppervlak, en dus het infiltratiedebiet, veel geringer. Met de Huisman correctiemethode verkrijgt men de extra putverhoging vanwege onvolkomen filterligging.

Bepaling doorlatendheid

Uit dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat de kD -waarde uit de methode in het handboek bronbemalingen (opgesteld door de gemeente Utrecht) een goed uitgangspunt is. Belangrijk aandachtspunt is dat men goed moet nadenken over de dikte van het pakket, omdat een kleine variatie hierin tot grote afwijkingen in de infiltratiecapaciteit leidt. Ter validatie van de kD -waarde is de meer uitgebreide methode van Pomper (zie bijlage I) te hanteren in combinatie met gegevens uit lokaal bodemonderzoek.

KENNISVRAAG

Welke rol kan het afvoeren van hemelwater door middel van verticale infiltratie naar het eerste watervoerend pakket spelen in Utrecht ten tijde van extreem droge en natte perioden?

Uit dit onderzoek blijkt dat de infiltratiecapaciteit van een verticale infiltratieput hoog genoeg is voor de afvoer van extreme neerslaggebeurtenissen. In gebieden die gevoelig zijn voor droogte is er in Utrecht geen rol weggelegd voor diepinfiltratie. Wel kunnen VI-putten een bron zijn voor waterbevoorrading van groenvoorzieningen.

5.2 Discussie

In deze paragraaf zijn de discussiepunten beschreven die horen bij de conclusie en de basis vormen voor de aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

5.2.1 Vergelijking van Dupuit

De vergelijking van Dupuit resulteert in de verhogingen bij een volkomen infiltratieput. De verhogingen voor een onvolkomen put zijn berekend met de Huisman correctiemethode. Een van de variabelen in de correctiemethoden is anders geïnterpreteerd: De invloedzone van de infiltratieput is vervangen door de boorgatstraal. Met de oorspronkelijke vergelijking in de Huisman correctiemethode is geen realistische infiltratiecapaciteit verkregen.

Het voordeel van de vergelijking van Dupuit is dat een projectoverstijgend Excel-spreadsheetmodel de organisatie in staat stelt om ontwerpuitgangspunten voor andere locaties in korte tijd op te stellen. Een projectoverstijgend spreadsheetmodel brengt wel risico's met zich mee als de gebruiker niet stilstaat bij de onnauwkeurigheden van parameteraannames en niet op de hoogte is van de simplificatie van de werkelijkheid.

5.2.2 Computerprogramma MWell

De resultaten uit het computerprogramma MWell leiden tot minder goede overeenkomsten met de werkelijkheid als de vergelijking van Dupuit en het programma MicroFEM. Dit heeft twee redenen:

1. Oppervlaktewater is in MWell gemodelleerd met een putonttrekking. De afstand van de putonttrekking tot de infiltratieput heeft invloed op de infiltratiecapaciteit.
2. MWell heeft geen optie om de verticale doorlatendheid (anisotropie) aan te passen. In MicroFEM is de anisotropiefactor aangepast om tot een goed resultaat te komen.

5.2.3 Infiltratiecapaciteit bij putverstoppingen

Diepinfiltratie heeft veel potentie om vernatting tegen te gaan. De afname van de infiltratiecapaciteit is hierbij een belangrijk aandachtspunt. Uit eerdere bevindingen uit de praktijk weet men dat er een risico bestaat dat VI-putten in korte tijd verstopt raken vanwege ijzervorming. Het is onduidelijk in welke mate en in welke tijdsperiode de infiltratiecapaciteit in de Alexander de Grotelaan afneemt als gevolg van putverstoppingen.

5.2.4 kD-waarden uit pompproefanalyse

Om te komen tot een doorlaatcapaciteit voor het hele pakket zijn de resultaten uit de pompproef geanalyseerd met analytische formules, die zijn gebaseerd op een stromingspatroon naar een volkomen putonttrekking. De doorlaatcapaciteiten uit de drie methoden komen niet overeen met de schattingen en modelinvoer.

De verschillen tussen de doorlaatcapaciteit uit de pompproefanalyse en de modelinvoer ontstaan vanwege de volgende redenen:

1. Het pompdebiet was niet zeer constant te houden;
2. Het moment waarop een 'steady-state' werd bereikt in alle meetpunten was niet eenvoudig te bepalen;
3. In het projectgebied worden de stijghoogtes beïnvloed door het Amsterdam-Rijnkanaal. De verlaging ziet er daardoor in werkelijkheid anders uit dan in theorie;
4. De gemeten verlagingen uit de pompproef werden beïnvloed door de lagere doorlatendheid bij het filter ten opzichte van diepere delen in het pakket.

De foutieve kD -waarden uit de pompproefanalyse leverden geen complicaties op voor dit onderzoek, omdat er ook een infiltratieproef is uitgevoerd. Met de infiltratieproef zijn de modellen gevalideerd.

5.2.5 Praktijkfunctioneren

Verticale infiltratie is een component binnen een groter ontwateringssysteem, dat bestaat uit oppervlakkige infiltratie, horizontale drainage en stroming door het freatisch pakket. In welke mate de andere componenten de afwatering van hemelwater vertragen is niet uitgezocht.

5.3 Aanbevelingen

In deze paragraaf is de methode voor het inschatten van de infiltratiecapaciteit geadviseerd en zijn aanbevelingen voor vervolgonderzoek gepresenteerd.

5.3.1 Keuze voor rekenmodel

Het advies is om de wiskundige vergelijking van Dupuit in combinatie met de Huisman correctiemethode te hanteren voor de inschatting van de infiltratiecapaciteit. Voor de Huisman correctiemethode moet dan wel de gewijzigde formule in bijlage II worden gebruikt.

Het computerprogramma MicroFEM is ook een geschikt rekenmodel. Het voordeel van MicroFEM ten opzichte van de vergelijking van Dupuit is dat de heterogeniteit van het watervoerend pakket en de invloed van oppervlaktewater nauwkeuriger is mee te nemen. Ook is dit de enige onderzochte methode waarin de anisotropie (de verticale doorlatendheid) is mee te nemen, wat nodig was voor de kalibratie van het computermodel. Nadeel is dat MicroFEM aanzienlijk meer tijd en modelbekwaamheid vereist. Daarom is het niet realistisch om voor ieder ontwerp een MicroFEM model op te bouwen. Wél is een MicroFEM model aan te raden wanneer men op buurt- of wijkniveau de effecten van meerdere VI-putten op het freatisch vlak wilt achterhalen, of wanneer de ontwerper vreest dat de praktijksituatie te complex is.

5.3.2 Vervolgonderzoeken

Hieronder staan de aanbevelingen voor vervolgonderzoek met als gemeenschappelijk doel om voor diepinfiltratie een beter afwegingskader te creëren naast de andere klimaatadaptieve maatregelen in de openbare ruimte. De vervolgonderzoeken richten zich ook op het verhogen van de duurzaamheid van diepinfiltratie:

1. Inzicht krijgen in het functioneren van het gehele ontwateringssysteem in de Alexander de Grotelaan. Het advies is om de grondwaterstand onder de waterpasserende verharding en de stijghoogte in de VI-put te monitoren.
2. De daling in functioneren van verticale infiltratieputten als gevolg van ijzervorming kwantificeren en koppelen aan omgevingsfactoren om risico-gestuurd ontwerp en beheer mogelijk te maken. Aanbeveling is om de onderzochte infiltratieput in de Alexander de Grotelaan over een jaar op dezelfde wijze te onderzoeken met de infiltratieproef. Wat nog meer waardevolle informatie kan opleveren is het uitvoeren van een infiltratieproef *nét* voor en *nét* na reiniging van de put. Dit levert informatie op over de afname van de infiltratiecapaciteit en het effect van reinigen. Verder is het advies om de bestaande peilbuizen te gebruiken voor ijzermetingen. Ook wordt aanbevolen om ijzer te meten in de freatische laag.
3. Onderzoeken wat de kosten en baten zijn van oplossingen die het oxidatieproces in de bodem en daarmee ijzerverstoppen voorkomen. Ijzerverstoppen in VI-putten ontstaan door de combinatie van zuurstofrijk regenwater, veen en ijzer. Van deze factoren kan het zuurstofgehalte door middel van 'voorzuiivering' worden verkleind. Dit is een proces dat bovengronds moet plaatsvinden omdat het wegnemen van zuurstof oxidatie vereist. Voorzuiveringsvoorzieningen zijn in Nederland reeds toegepast in combinatie met diepinfiltratiesystemen. Een groot voordeel van voorzuivering is dat het geïntegreerd kan worden met bovengrondse waterberging en openbaar groen. Een ander voordeel is dat voorzuivering resulteert in zuurstofarm regenwater, waardoor het risico op verstoppingen in wko-systemen weggenomen is. Voor meer informatie wordt verwezen naar de website van Urban Waterbuffer en Field Factors.
4. De effecten van diepinfiltratie op het functioneren van warmte- en koudeopslagsystemen kwantificeren. Uit dit onderzoek blijkt dat de verticale doorlatendheid (k_v) veel invloed uitoefent op het stijghoogteverloop door het watervoerend pakket. Dit laat zien dat de spreiding van stoffen zoals zuurstof sterk wordt beïnvloed door de waarde voor k_v . De methoden in dit onderzoek zijn niet geschikt om de verticale doorlatendheid vast te stellen. Daarom wordt sterk aanbevolen om de k_v -waarde in gebieden waar diepinfiltratie wordt overwogen of reeds aanwezig is vast te stellen met de HPT-AMPT-sonderingsmethode. Dit is een nieuwe innovatie op basis van HPT-CPT-sonderingen. Voor meer informatie hierover wordt verwezen naar de website van Fugro.

Geciteerde werken

- Bouma, J., & Schuurman, I. (2015). Doorlatendheidsonderzoek voor infiltratie en drainage. STOWA.
- Deltares. (2007). Cursus MWell compleet. GeoDelft.
- gemeente Utrecht. (2013). Grondwater. Opgeroepen op februari 2019, van www.utrecht.nl:
<https://www.utrecht.nl/wonen-en-leven/duurzame-stad/wateroverlast-voorkomen/grondwater/>
- gemeente Utrecht. (2015). Plan Gemeentelijke Watertaken Utrecht 2016–2019. Stadsbedrijven.
- (2010). Leidraad Riolering module C2500.
- Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit. (2010). Infiltratie. Opgehaald van
www.bodemrichtlijn.nl/: <https://www.bodemrichtlijn.nl/Begrippenlijst>
- STOWA. (2012). Handboek meten van grondwaterstanden in peilbuizen. Wareco, diversen.
- TNO. (1998). Grondwater in Nederland: Onzichtbaar water waarop wij lopen. Delft: TNO.
- Uffink, G. (1982). De bepaling van de elastische bergingscoëfficiënt aan de hand van de barometrische gevoeligheid. RID Voorburg. H2O nr.19.
- van der Heide, R. (2009, maart). Verticale infiltratie hemelwater overal mogelijk. Land+Water nr. 3, 38–39.
- van der Steen. (2014). Voorstel aanpak beheer en onderhoud verticale drainage. gemeente Utrecht (intern).

Tabellen en figuren

Tabellenlijst

Tabel 1: Geohydrologische bodemopbouw	16
Tabel 2: Uitgangspunten van gehanteerde rekenmodellen	19
Tabel 3: Verschil in uitgangspunten tussen enkellagenmethoden	20
Tabel 4: Toegepaste methoden voor het berekenen van de doorlaatcapaciteit	21
Tabel 5: Infiltratiecapaciteit per model met een onvolkomen filterligging	25
Tabel 6: Invloedrijke parameters in modelberekeningen	26
Tabel 7: Resultaten pompproefanalyse	28
Tabel 8: Infiltratiecapaciteit uit het gemiddelde van alle meetreeksen	29
Tabel 9: Ledigingstijden op basis van de infiltratiecapaciteit uit de infiltratieproef	31

Figurenlijst

Figuur 1: Vereenvoudigde weergave afwateringssysteem met verticale infiltratieput	11
Figuur 2: Overzicht verticale drainage in Utrecht (situatie 2018)	12
Figuur 3: Locatie projectgebied	13
Figuur 4: Fasen in methode	15
Figuur 5: Principeddoorsnede infiltratieput	17
Figuur 6: Varianten geohydrologische opbouw eerste watervoerend pakket	18
Figuur 7: Varianten filterligging en stroomlijnen	18
Figuur 8: Meetopstellingen pompproef en infiltratieproef	21
Figuur 9: Peilbuislocaties met afstanden tot de infiltratieput	22
Figuur 10: Stationair stijghoogteverloop uit de enkellagenmethoden	23
Figuur 11: Stationair stijghoogteverloop uit de methoden met een onvolkomen filterligging	24
Figuur 12: Infiltratiedebieten uit de methoden met een onvolkomen filterligging	25
Figuur 13: Absolute verlaging en debiet infiltratieput	27
Figuur 14: Absolute verlaging in peilbuizen	27
Figuur 15: Absolute verhoging en debiet infiltratieput	28
Figuur 16: Vergelijking enkellagenmodel volgens Dupuit met infiltratieproef	30
Figuur 17: Vergelijking en kalibratie MicroFEM-model met infiltratieproef	31

Bijlagen

Bijlage I: Theorie en bepaling geohydrologische parameters

Inhoudsopgave

1	Grondwaterstroming	3
1.1	De Wet van Darcy	3
1.2	Freatisch grondwater	4
1.3	Stijghoogtes	4
2	Geohydrologische parameters	5
2.1	Theorie	5
2.2	Bodemgegevens	6
2.3	Schatting geohydrologische parameters	9
2.4	Grondwater	11
2.5	Oppervlaktewater	11
2.6	Grondwaterverontreinigingen	12
	Geciteerde werken	13

1 Grondwaterstroming

In dit hoofdstuk zijn een paar beginselen van grondwaterstroming besproken. Alle inhoud is afkomstig uit meerdere literatuurbronnen.

1.1 De Wet van Darcy

Door onttrekking of infiltratie ontstaat een stroming in het grondwater. Henry Darcy publiceerde in 1856 een vergelijking die de basis vormt van bijna alle berekeningen die worden uitgevoerd bij de bestudering van grondwaterstroming. Darcy stelde een lineair verband tussen het verhang (verschil in waterstand over afstand, ook wel hydraulisch gradiënt genoemd) en de stroomsnelheid van het grondwater. Dit wordt de stromingsvergelijking genoemd.

De wet van Darcy is in de basis als volgt:

Totaal debiet Q (m^3/s):

$$Q = -k \cdot i \cdot A$$

Specifiek debiet q (m/s):

$$q = -k \cdot i$$

Hierin is:

k = Doorlatendheid

i = Verhang/hydraulisch gradiënt (-)

A = Oppervlak (m^2)

Het minteken bij de doorlatendheid is aanwezig omdat de stroomsnelheid en het verhang tegengesteld van richting zijn.

Indien de doorlatendheid en het verhang bekend is kan de grondwaterstroming worden berekend. De uitkomst geeft de zogenaamde Darcy-snelheid. De werkelijke stroomsnelheid hangt af van de oppervlakte van de poriën tussen de gronddeeltjes.

De werkelijke snelheid V_w is gelijk aan:

$$V_w = q/n$$

n = Poriëngehalte (poriënvolume gedeeld door het totale volume van de grond).

Doordat het poriëngehalte kleiner is dan 1 is de werkelijke snelheid van een waterdeeltje altijd groter dan de Darcy-snelheid.

1.2 Freatisch grondwater

In Utrecht komt men vanaf het maaiveld een zandlaag tegen, dat ook wel de deklaag wordt genoemd. Het grondwater dat zich in deze laag bevindt wordt het freatisch grondwater genoemd. De diepte van dit grondwater heet de grondwaterstand. De grondwaterstand is afhankelijk van neerslag en wordt beïnvloed door oppervlaktewater en andere ontwateringsmiddelen. Gedurende de wintermaanden is de grondwaterstand gemiddeld het hoogst. In deze periode is de netto-neerslag (neerslag verminderd met verdamping) hoger dan de in de zomermaanden (Averink, 2013).

1.3 Stijghoogtes

Onder de deklaag komt men op een bepaalde diepte een klei- of veenlaag tegen: De eerste scheidende laag. Onder de scheidende laag ligt het eerste watervoerend pakket. Omdat het freatisch grondwater zeer langzaam door de klei- of veenlaag stroomt, ontstaat onder de eerste scheidende laag een onderdruk. De onderdruk is in delen van Utrecht (waaronder ook in het projectgebied) lager dan de grondwaterstand. De diepte van het grondwater onder waterscheidende lagen wordt uitgedrukt in stijghoogtes. De stijghoogte geeft aan welke druk heerst in diepere lagen.

Wordt er in het eerste watervoerend pakket een open verbinding gemaakt met de atmosfeer (door bijvoorbeeld het plaatsen van een peilbuis), dan neemt het waterpeil in de buis een specifieke hoogte aan. Deze hoogte is gelijk aan de stijghoogte van het water (van der Heide, 2009). De stijghoogte (ϕ) is de som van de plaatshoogte (z) en drukhoogte (P). De plaatshoogte is de afstand vanaf een referentievlak tot aan het waterniveau. De drukhoogte is de hoogte van het water in de peilbuis.

Hieronder staat een formule voor het berekenen van de stijghoogte:

$$\phi = z + (P / \gamma_w * g)$$

$g =$ zwaartekrachtversnelling (m/s^2)

$\gamma_w =$ soortelijke massa van water (N/m^3)

2 Geohydrologische parameters

2.1 Theorie

Geohydrologische parameters zijn factoren die de intensiteit en de richting van de grondwaterstroming bepalen (Cultuurtechnisch Vademecum, 1988). In tabel 1 zijn de meest invloedrijke parameters weergegeven. De factoren zijn opgedeeld in de stromingsrichting waarop zij invloed uitoefenen.

Tabel 1: Belangrijkste parameters voor typerende geohydrologische lagen (Cultuurtechnisch Vademecum, 1988)

	Belangrijke parameters:	Primaire stromingsrichting:
Watervoerende pakketten (zandlagen)	• Doorlaatcapaciteit (kD-waarde); • Stijghoogte; • Ruimtelijke spreiding; • Bergingscoëfficiënt.	Horizontale stroming
Scheidende lagen (klei-, veen, of fijnzandige lagen)	• Verticale weerstand (c-waarde); • Stijghoogte erboven of eronder; • Ruimtelijke spreiding.	Verticale stroming

Doorlatendheid en doorlaatcapaciteit

De doorlatendheid (k-waarde) geeft aan hoe eenvoudig een vloeistof zich kan voortbewegen door een watervoerend pakket. De doorlatendheid is per situatie sterk verschillend en is onder andere afhankelijk van de wijze van afzetting, het type sediment, de korrelgroottes en de sortering (TNO, 1998).

Daarnaast is de k-waarde niet in alle richtingen gelijk (anisotropie). De doorlatendheid verschilt in horizontale en verticale richting als gevolg van de manier waarop het sediment is afgezet. In berekeningen wordt het verschil in k-waarde tussen twee richtingen meegenomen met de anisotropiefactor. Voor een sterke gelaagdheid wordt bijvoorbeeld gesteld dat de verticale doorlatendheid (k_v) 5 à 15 keer lager is dan de horizontale doorlatendheid (Levadoux & Baligh, 1980). In de literatuur vindt men ook k_v -waarden die gebaseerd zijn op de materiaalsoort (Massop, van der Gaast, & Kiestra, 2005). In de praktijk wordt maar zelden rekening gehouden met de anisotropie van de ondergrond, omdat er in berekeningen met name uitgegaan wordt van de horizontale doorlatendheid (Deltares, 2007).

Naast de doorlatendheid is de doorlaatcapaciteit een parameter die in veel grondwaterberekeningen voorkomt. De doorlaatcapaciteit zegt iets over de doorlatendheid van het hele watervoerend pakket. De doorlaatcapaciteit is het product van de doorlatendheid en de dikte van de laag.

Verticale weerstand

De verticale weerstand is van toepassing op waterremmende lagen, zoals klei en veen. De weerstand c wordt uitgedrukt in verticale stroomsnelheid in dagen. De vergelijking is als volgt:

$$c = \frac{d}{k_v}$$

d = dikte waterremmende laag

k_v = verticale doorlatendheid waterremmende laag

Spreidingslengte

De afstand waar een infiltratieput invloed heeft kan worden ingeschat door een combinatie van het doorlaatcapaciteit (kD) en de verticale weerstand (c). Zie de formule hieronder.

$$\lambda = \sqrt{kD * c_v}$$

λ = de spreidingslengte/lekfactor (m)

kD = de doorlaatcapaciteit van het watervoerend pakket (m^2/dag)

C_v = de verticale weerstand boven het watervoerend pakket (dagen).

Bergingscoëfficiënt

Tijdens het infiltreren van water verandert de berging in een watervoerend pakket vanwege de elastische vervorming van de korrels. De elastische bergingscoëfficiënt (S) brengt de bergingsverandering in rekening. De specifieke bergingscoëfficiënt S is de hoeveelheid water dat kan worden geborgen per m^2 grondoppervlak bij een toename van de stijghoogte met 1 meter. Deze parameter wordt gehanteerd in tijdsafhankelijke berekeningen. Tijdens het uitvoeren van de modelberekeningen bleek het effect van elastische vervorming verwaarloosbaar voor de doeleinden van dit onderzoek.

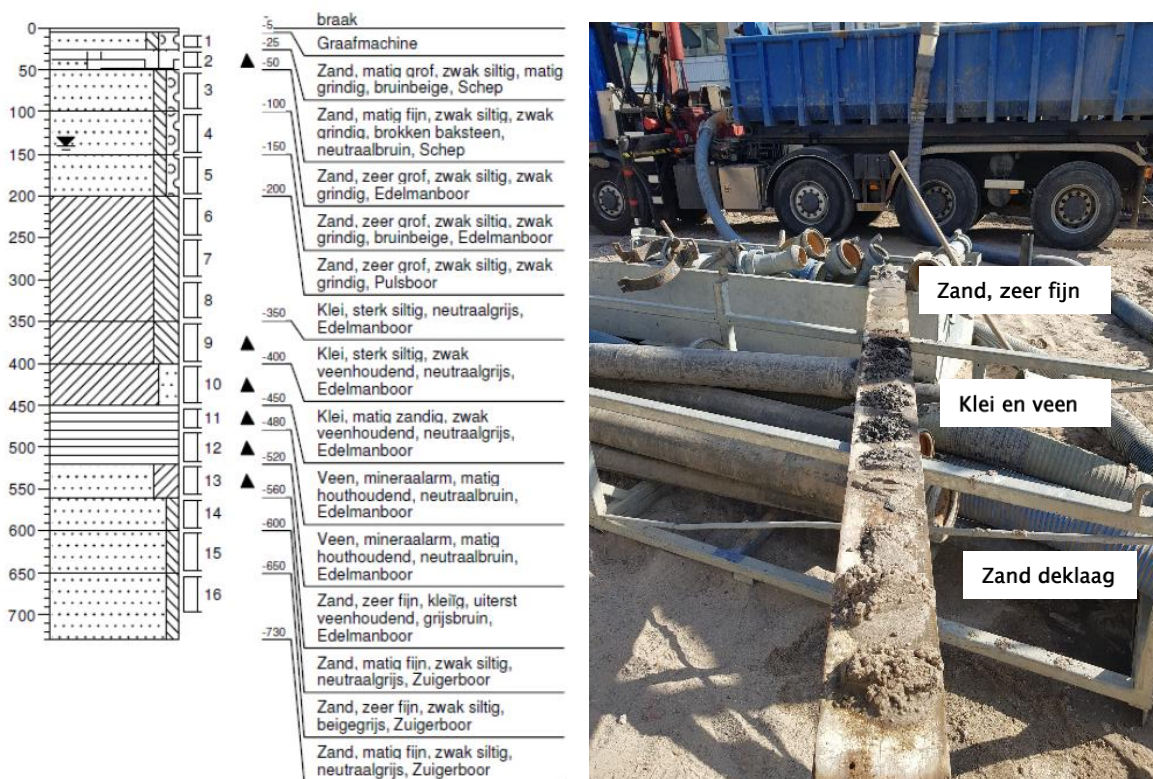
2.2 Bodemgegevens

In 2017 is in de Alexander de Grotelaan een bodemonderzoek uitgevoerd. Hieruit kwam naar voren dat de bodem is gekenmerkt door een antropogene ophooglaag van zand met een dikte van 2 à 3 m, met daaronder klei- en veenafzettingen. Onder de deklaag bevindt zich op circa 5 m diepte het eerste watervoerende pakket. Dit pakket bestaat uit matig fijne tot matig grove en soms slibhoudende zanden. Het eerste watervoerende pakket heeft een dikte van circa 40 m. Zie tabel 2 voor de algemene bodemopbouw.

Tabel 2: Algemene bodemopbouw Alexander de Grotelaan (Corten & van de Ven, 2017)

Diepte (m-maaiveld)	Omschrijving bodemopbouw	Geohydrologische eenheid
Mv – 5	Deklaag van klei, veen en opgebracht materiaal	Deklaag
5 – 40	Matig fijn, soms slibhoudend zand, overgaand in grover zand	1 ^e watervoerend pakket
40 – 60	Pakket met sterk slibhoudende zandlagen en zandige kleilagen	1 ^e scheidende laag

In figuur 1 is een boorbeschrijving gegeven uit een eerder uitgevoerd bodemonderzoek in de Alexander de Grotelaan. Naast de boorbeschrijving is een foto te zien van de opgehaalde bodemonsters tijdens het plaatsen van een peilbuis in het projectgebied. Op basis van deze gegevens is de k-waarde bij het filter ingeschat.



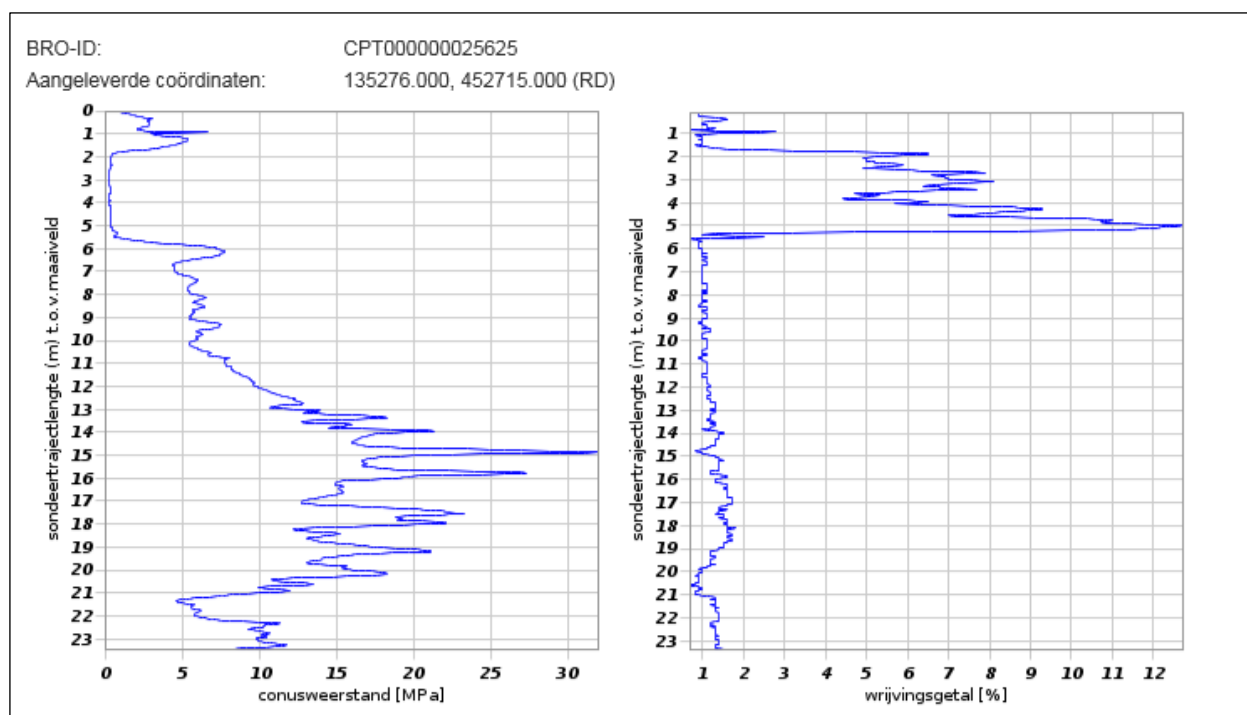
Figuur 1: Boorbeschrijving uit nabije omgeving en bodemonsters in het projectgebied

Een diepere boring uit het DINOLOket ter plaatse van de Beneluxlaan (zie tabel 3) laat zien dat het eerste watervoerend pakket is opgedeeld in lagen met verschillende hoeveelheden grind. De zandlagen in het diepe aquifer lopen uiteen van fijn zand tot matig grof zand. Op basis van onderstaande gegevens is de doorlatendheid van de zandige lagen onder de infiltratiebuis ingeschat.

Tabel 3: Boring uit DINOloket ter plaatse van de Beneluxlaan

Maaiveld (mv)	1,99	<i>Eerste watervoerend pakket begint op 6,4 m-mv</i>	
x	135250		
y	453750		
Dikte	van (m-mv)	tot (m-mv)	Lithologie
1,8	0	1,8	Zand, matig grof, matig grindig, zwak siltig
4,6	1,8	6,4	Klei, matig zandig
5,3	6,4	11,7	Zand, matig grof, matig grindig, zwak siltig
10,5	11,7	22,2	Zand, matig grof, sterk grindig, zwak siltig
1,6	22,2	23,8	Klei, sterk siltig
4,1	23,8	27,9	Zand, zeer fijn, uiterst siltig
33,1	27,9	61	Zand, matig fijn tot matig grof, zwak tot sterk siltig
0,5	61	61,5	Klei, zwak zandig

Figuur 2 geeft de resultaten van een sondeonderzoek uit het DINOloket, ten zuiden van het projectgebied. De conusweerstand en wrijvingsgetallen geven een indruk van de aard van het sediment. Uit het sondeonderzoek kan geconcludeerd worden dat tussen circa 2 en 5,5 m onder maaiveld een waterscheidende laag is gelegen. Daaronder ligt een zandpakket met variaties in de doorlatendheid.



Figuur 2: Sondering ten zuiden van het projectgebied (bron: DINOloket)

2.3 Schatting geohydrologische parameters

De methoden voor het bepalen van de geohydrologische parameters voor de grondwatermodellen zijn in deze paragraaf beschreven. De gegevens uit de vorige paragraaf zijn hiervoor gebruikt.

Dikte watervoerend pakket

De dikte van het watervoerende pakket is overgenomen uit een bestaand bodemonderzoek in Kanaleneiland. Het bodemonderzoek staat vermeld in een interne ontwerpbeschrijving voor verticale infiltratie in de Stanleylaan (Corten & van de Ven, 2017). De dikte van het pakket kan in het projectgebied afwijken doordat in het verleden niet overal dezelfde hoeveelheid sediment is afgezet.

Doorlatendheid

De doorlatendheid van de zandige deklaag en het eerste watervoerend pakket is ten behoeve van de modelberekeningen bepaald met de methode in de publicatie 'Schatting van doorlaatfactoren aan de hand van in boorarchieven aanwezige boorbeschrijvingen', d.d. 1996, door A.B. Pomper. Op basis van vier bodemeigenschappen uit de boorbeschrijvingen in hoofdstuk 2.2 is de k-waarde gekwantificeerd:

- Specifiek oppervlak (U-cijfer): Verhouding tussen het totale korreloppervlak in een gewichtsklasse en hetzelfde gewicht aan korrels met een doorsnede van 1 cm (Pomper, 1996). Het U-cijfer is afgelezen uit een standaardtabel en op basis van grondsoorten in de boorbeschrijvingen.
- Slibgehalte. Afgelezen uit een standaardtabel en op basis van boorbeschrijvingen.
- Sorteringsgraad (S-cijfer): Het aandeel van de drie grootste zeeffracties, uitgedrukt in een percentage (Pomper, 1996). Het S-cijfer is aangenomen op basis van ervaringsdeskundigheid binnen de gemeente Utrecht.
- Grindgehalte: Het aandeel grind in het sediment. Op basis van boorbeschrijvingen en standaardtabellen.

De doorlatendheden per bodemlaag zijn opgenomen in tabel 4.

Tabel 4: Bepaling k-waarden met de methode van Pomper (1996)

Van (m-mv)	Tot (m-mv)	Grondsoort	Slib- gehalte (%)	Specifiek oppervlak (U-cijfer)	Grind correctie- factor	Sorterings- graad (%)	k (m/dag)
0	2	Zand, matig fijn tot matig grof, zwak siltig	1,5	50	0	75	15
5,5	6,5	Zand, zeer fijn, kleilig, uiterst veenhoudend	4	140	0	75	1
6,5	10,5	Zand, matig fijn, zwak siltig	1,5	60	0	75	9
10,5	19,6	Zand, matig fijn, zwak siltig	1,5	60	0	75	9
19,6	41,6	Zand, matig grof, zwak siltig, matig grindig	1,5	40	1,25	75	37,5

Verticale weerstand

De weerstand van de eerste scheidende laag is bepaald met de doorlatendheden uit een handleiding van Deltares voor het grondwatermodelleringsprogramma MWell. De doorlatendheden in de handleiding zijn gebaseerd op de publicatie 'Soil classification using the cone penetration test', d.d. 1990, door P.K. Robertson. De k-waarden in de publicatie van Robertson zijn ontstaan uit een classificatie van grondsoorten naar de grootte van de conuswaarde en het wrijvingsgetal uit sonderingen. Voor klei en veen zijn in de handleiding van Deltares de volgende bandbreedtes gegeven:

- Silthoudende klei tot klei: 10^{-4} tot 10^{-3}
- Veen: 0,002 tot 0,5

In tabel 6 staan de resulterende weerstanden van de eerste waterscheidende laag.

Tabel 5: Bepaling c-waarden met doorlaatfactoren uit de publicatie van P.K. Robertson (1990)

Van (m-mv)	Tot (m-mv)	Dikte (m)	Geohydrologische eenheid	k (m/dag)	c (dagen)	Grondsoort
2	4,5	2,5	Eerste scheidende laag	0,001	2500	Klei
4,5	5,5	1		0,002	500	Veen

(Elastische) bergingscoëfficiënt

In de publicatie 'Schatting van de elastische bergingscoëfficiënt van zandige watervoerende pakketten', d.d. 1980, door J. van der Gun (TNO) is een empirische relatie gelegd tussen de elastische bergingscoëfficiënt en de diepte van de zandlaag ten opzichte van de grondwaterstand (van der Gun, 1980). In de publicatie is een formule gegeven om de bergingscoëfficiënt te berekenen. In tabel 6 zijn de berekende elastische bergingscoëfficiënten opgenomen. Er is uitgegaan van de gemiddelde grondwaterstand.

Tabel 6: Elastische bergingscoëfficiënt per zandlaag in het watervoerende pakket

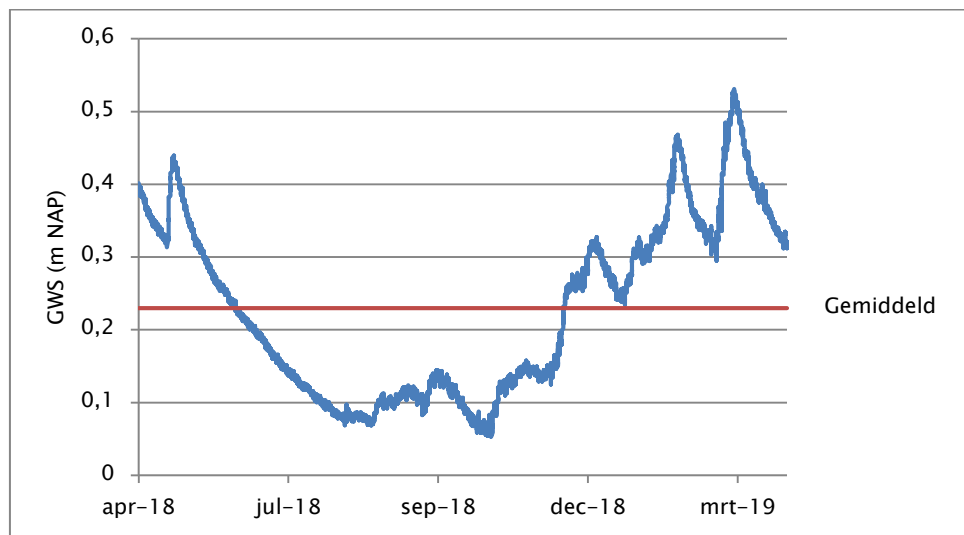
Van (m-mv)	Tot (m-mv)	Bergingscoëfficiënt (-)
5,50	6,50	1,06E-04
6,50	10,50	3,73E-04
10,5	19,6	5,49E-04
19,6	41,6	9,47E-04

2.4 Grondwater

Op circa 50 meter van de verticale infiltratieput is de freatische grondwaterstand in een tijdsperiode van één jaar gemonitord. In figuur 3 zijn de meetgegevens in een grafiek weergegeven. De gemiddelde stijghoogte in het eerste watervoerend pakket bedraagt $-0,3$ m NAP. Doordat de grondwaterstand hoger is dan de stijghoogte treedt een infiltratiesituatie op (wegzijging). In tabel 7 staan alle grondwaterstanden. Ten tijde van de praktijkmetingen was de stijghoogte $-0,29$ m NAP (gemiddelde toestand).

Tabel 7: Grondwaterstanden en stijghoogtes

Omschrijving	Gemiddeld (m NAP)	Laag (m NAP)	Hoog (m NAP)
Grondwaterstand	0,230	0,053	0,531
Stijghoogte	$-0,300$	$-0,350$	$-0,150$



Figuur 3: Grondwaterstanden tussen april 2018 en april 2019

2.5 Oppervlaktewater

De wijkwatergangen in Kanaleneiland reguleren de grondwaterstand in de deklaag. De wijkwatergangen zijn niet meegenomen in het model, omdat de eerste scheidende laag als ondoorlatend is beschouwd in de modelberekeningen. Het Amsterdam-Rijnkanaal heeft een onttrekkende werking op de stijghoogtes in het eerste watervoerend pakket. Het Amsterdam-Rijnkanaal heeft een streefpeil van $-0,40$ m NAP en bevindt zich op ongeveer 150 meter van de infiltratieput.

2.6 Grondwaterverontreinigingen

Het eerste watervoerende pakket is in Utrecht de enige laag waarin water ingebracht mag worden. Het eerste watervoerende pakket bevat veel verontreinigingen door vervuilende industriële activiteiten in het verleden (RHDHV & Gemeente Utrecht, 2015). Vanwege de relatief dunne kleilaag in Utrecht konden verontreinigingen langzaam met het grondwater meestromen naar het eerste watervoerende pakket.

Geciteerde werken

- Averink, J. (2013). Methoden voor bepalen hoogste en laagste grondwaterstanden. Wareco, Universiteit Twente.
- Corten, A., & van de Ven, J. (2017). Memo Verticale drainage Stanleylaan–Noord te Utrecht. gemeente Utrecht, intern.
- (1988). Cultuurtechnisch Vademecum. Utrecht: Cultuurtechnische vereniging.
- Deltares. (2007). Cursus Mwell compleet. GeoDelft.
- Levadoux, J., & Baligh, M. (1980). Pore pressure dissipation after cone penetration. Boston: Massachusetts Institute of Technology. doi:Report MITSG 80-13
- Massop, H., van der Gaast, J., & Kiestra, E. (2005). De doorlatendheid van de bodem voor infiltratiedoeleinden. Wageningen: Alterra. Opgehaald van <http://edepot.wur.nl/29252>
- Pomper, A. (1996). Schatting van doorlaatfactoren (k-waarden) aan de hand van in boorarchieven aanwezige boorbeschrijvingen. Wageningen: Stromingen 2, nr 4.
- RHDHV, & Gemeente Utrecht. (2015). Gebiedsplan gebiedsgericht grondwaterbeheer en visie op duurzaam gebruik van de ondergrond.
- Robertson, P. (1990). Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27 (1).
- TNO. (1998). Grondwater in Nederland: Onzichtbaar water waarop wij lopen. Delft: TNO.
- van der Gun, J. (1980). Schatting van de elastische bergingscoëfficiënt van zandige watervoerende pakketten. Jaarverslag 1979 Dienst Grondwaterverkenning TNO.
- van der Heide, R. (2009, maart). Verticale infiltratie hemelwater overal mogelijk. Land+Water nr. 3, 38–39.

Bijlage II: Modeluitgangspunten

Inhoudsopgave

1	Tijdsonafhankelijk rekenen	3
2	Tijdsafhankelijk rekenen	8
	Geciteerde werken	10

1 Tijdsonafhankelijk rekenen

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste uitgangspunten van de gehanteerde modellen toegelicht. De rekenmethodes die in dit onderzoek zijn gehanteerd zijn onafhankelijk van tijd.

Voor alle methoden gelden onderstaande uitgangspunten:

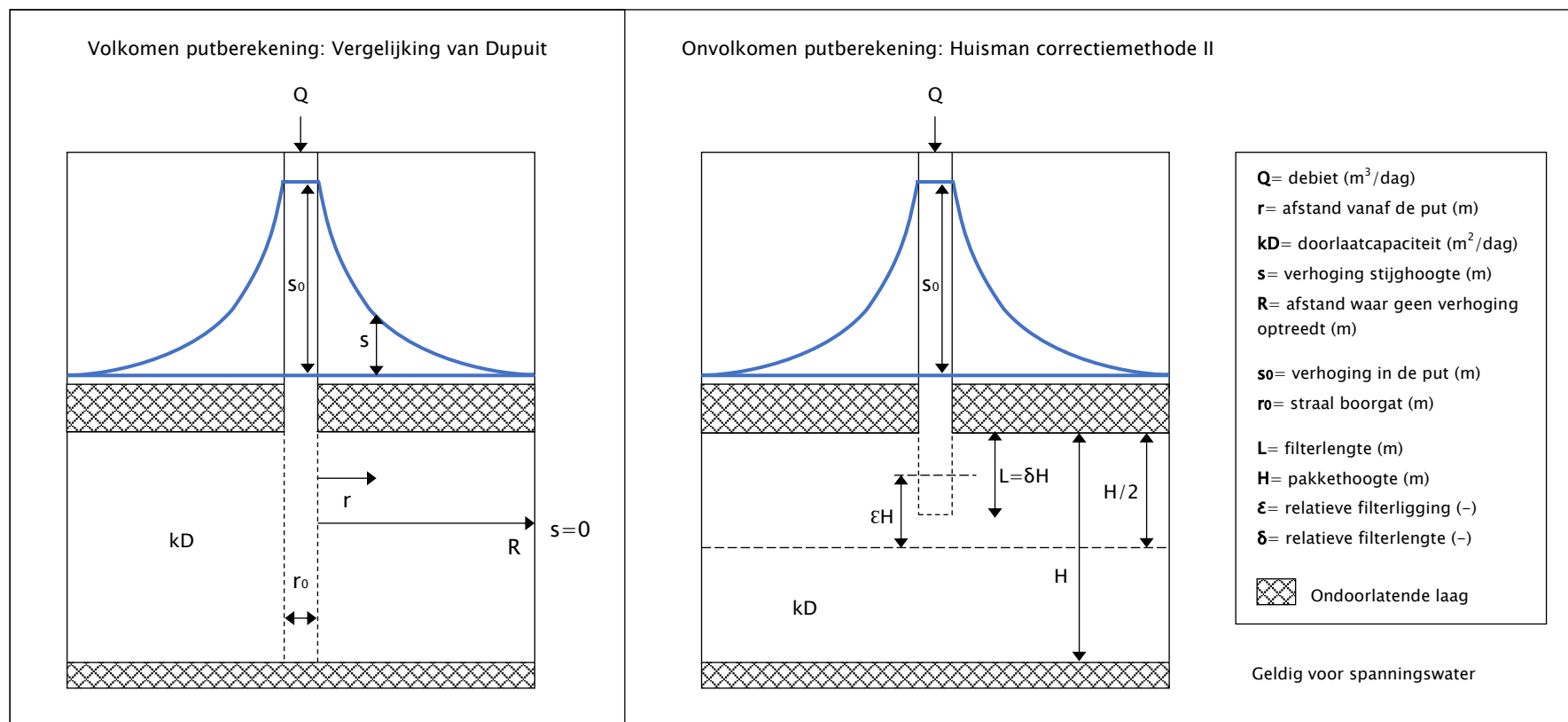
1. Alle methoden zijn gebaseerd op de wet van Darcy en de wet van behoud van massa en energie (continuïteitsvergelijking).
2. Alle lagen zijn homogeen en uniform in dikte.
3. Voor alle methoden geldt een laminaire stroming. In werkelijkheid zijn er extra energieverliezen (den Blanken, 1977) die kunnen leiden tot hogere stijghoogtes in de put.
4. Stroming in de goed doorlatende lagen is horizontaal en in de waterremmende lagen verticaal.
5. De onderzijde van het model is gekenmerkt door een ondoorlatende laag.

De belangrijkste uitgangspunten van de enkellagenbenadering met analytische formules in Excel zijn opgenomen in tabel 1. De uitgangspunten van de computerprogramma's staan in tabel 2.

Tabel 1: Uitgangspunten van enkellagenbenadering in Excel

Enkellagenbenadering in Excel:			
Algemeen	1. Een profiel met één waterremmende laag met daaronder één watervoerende laag. 2. Boven de waterremmende laag ligt een vast grondwaterpeil. 3. Berging van de infiltratieput is verwaarloosd.	4. Alle lagen zijn oneindig uitgestrekt. 5. De formules gaan ervan uit dat de k-waarde over het hele pakket gelijk is, waardoor de doorlatendheid bij het filter hoger is ten opzichte van de meerlagenbenadering.	
Vergelijking van de Glee (1930)	a. Watervoerende laag met daarboven een waterremmende laag (semi-spanningswater). b. Stijghoogteverloop wordt beïnvloed door de spreidingslengte: De verhouding tussen de weerstand boven de laag en de doorlatendheid. c. Uitgangspunt is een volkomen filter.	$s(\text{volkomen}) = \frac{Q}{2\pi * kD} K_0\left(\frac{r}{\lambda}\right)$	
Vergelijking van Dupuit (1863)	a. Watervoerende laag met daarboven een ondoorlatende laag (spanningswater). b. Stijghoogteverloop wordt beïnvloed door de afstand waar een vast waterpeil (oppervlaktewater) wordt gehandhaafd. c. Uitgangspunt is een volkomen filter.	$s(\text{volkomen}) = \frac{Q}{2\pi * kD} \ln\left(\frac{r}{R}\right)$	$Q_0(\text{volkomen}) = \frac{2\pi * kD * s_0}{\ln\left(\frac{R}{r_0}\right)}$
Huisman correctie methode II (1964)	a. De Huisman correctiemethode rekent de (theoretische) verhoging in een volkomen filter om naar een situatie met een onvolkomen filter. b. De formule brengt de relatieve lengte en ligging van het filter in het watervoerend pakket in rekening (Kruseman & de Ridder, 1994).	$s_0(\text{onvolkomen}) - s_0(\text{volkomen}) = \frac{Q}{2\pi kD} * \frac{1 - \delta}{\delta} * \left\{ \ln \frac{4H}{r_0} - F(\delta, \varepsilon) \right\}$	

In figuur 1 zijn de wiskundige vergelijkingen in tabel 1 verduidelijkt.



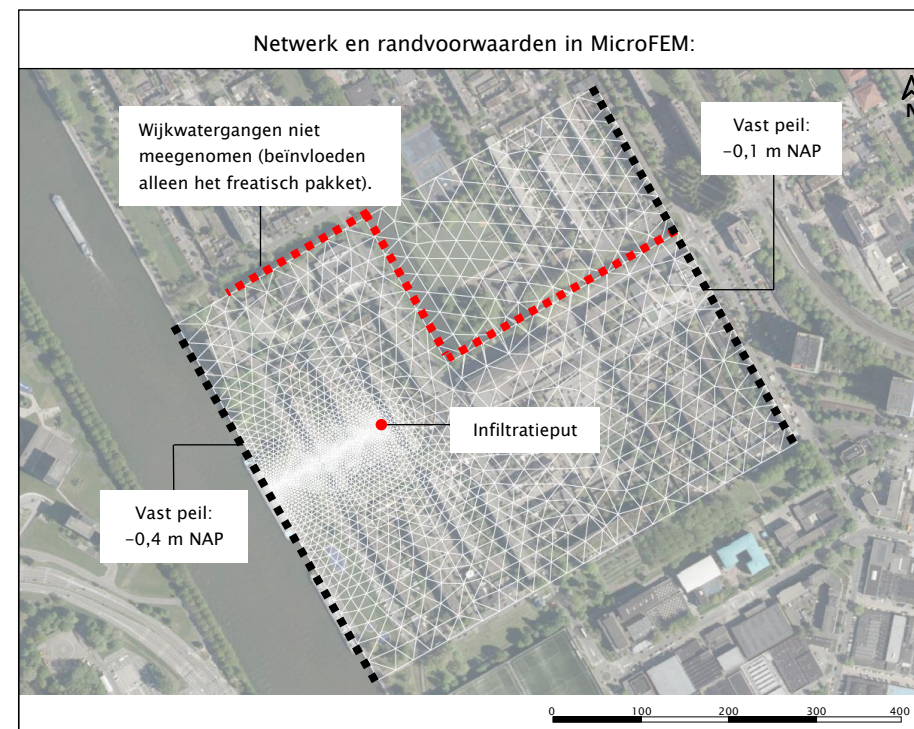
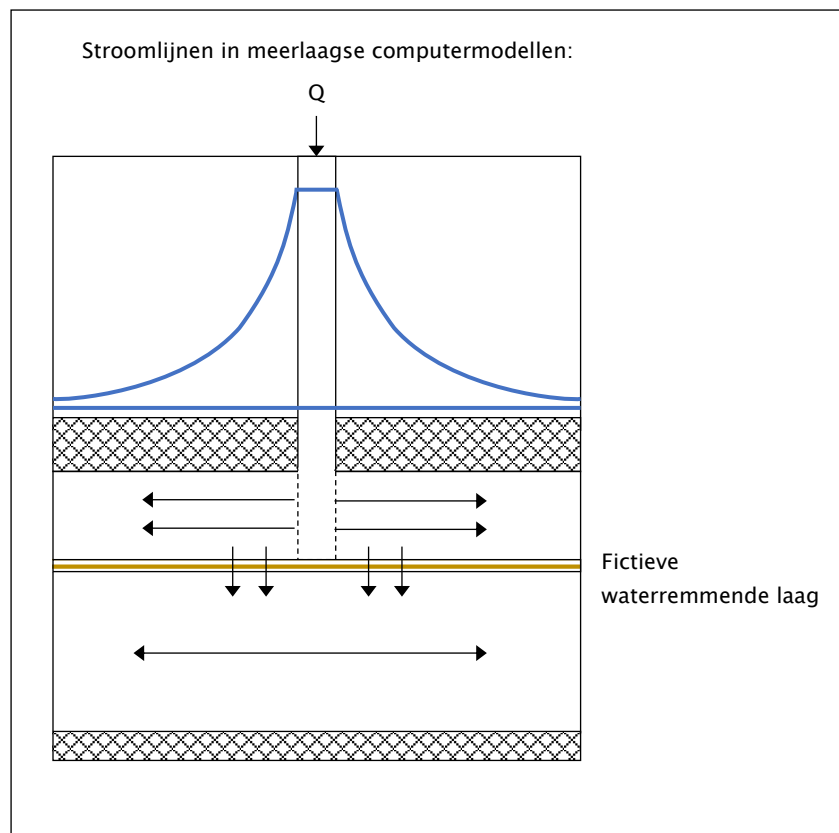
Figuur 1: Parameters in enkellaagse putberekeningen in spanningswater

Kanttekening bij de Huisman correctiemethode

In de vergelijking die is aangedragen door Huisman in 1964 wordt de extra verhoging vanwege onvolkomen filterligging bepaald met behulp van het invloedgebied (deze parameter moet worden ingeschat). Het invloedgebied van de infiltratieput is voor de doeleinden van dit onderzoek aangepast naar de straal van het boorgat. Dit bleek namelijk betere overeenkomsten te geven met de computermodelberekeningen (zie volgende bladzijde).

Tabel 2: Uitgangspunten van meerlagenbenadering in MWell en MicroFEM

Meerlagenbenadering in MWell en MicroFEM:		
Algemeen	1. Het watervoerend pakket is opgedeeld in lagen met verschillende doorlatendheden. 2. De gebruikte computermodellen rekenen met een opeenvolging van waterremmende en watervoerende lagen. Om het watervoerende pakket te kunnen opdelen in lagen met verschillende k-waarden is de weerstand van de tussengelegen waterremmende lagen verlaagd naar de doorlatendheid (zie figuur 2).	
MWell	1. MWell simuleert de absolute verhoging. De verhoging mag worden opgeteld bij het oorspronkelijke stijghoogteverloop omdat verzadigde grondwaterstroming een lineair proces is (van Lanen, 1983). 2. Om de verhoging bij het Amsterdam-Rijnkanaal te reduceren naar 0, is aan de andere kant van het kanaal een onttrekking (spiegelput) gemodelleerd met een identiek debiet. 3. Om de invloed van oppervlaktewater op de putverhoging te modelleren is een debiet opgegeven in de spiegelput die een verlaging van 10 cm realiseert ter plaatse van het Amsterdam-Rijnkanaal. 4. De boorgatdiameter is opgegeven in de modelinvoer.	
MicroFEM	1. Het computerprogramma lost de grondwaterstroming op met een numerieke oplossingsmethode. 2. Oppervlaktewater is meegenomen met vaste peilen. De grondwaterstroming oefent geen invloed op het oppervlaktewaterpeil, maar wel andersom. 3. Er is een netwerk van driehoeken gemodelleerd, dat nabij de infiltratieput zeer fijn is. Hoe fijner het netwerk, des te nauwkeuriger de uitkomsten zijn. Op ieder hoekpunt rekent het model de uitkomsten met behulp van de waterhoogtes en flux van omliggende hoekpunten. In figuur 2 is het modelnetwerk uit MicroFEM weergegeven.	De buisparameters zijn in MicroFEM als volgt gesimuleerd: ⇒ Voor het meegeven van de boorgatdiameter is het netwerk handmatig aangepast naar een cirkel van driehoeken. ⇒ De doorlatendheid en weerstand in de put zijn aangepast zodat een theoretisch holle buis ontstaat. ⇒ MicroFEM interpoleert de bodemconstanten tussen twee punten in het netwerk. Daarom is een binnen- en buitenputrand gemodelleerd. De binnenrand heeft de parameters van de put en de bodemparementen zijn verdisconteerd in de buitenrand.



Figuur 2: Verduidelijking van uitgangspunten in meerlagenbenadering

2 Tijdsafhankelijk rekenen

Uit dit onderzoek bleek het effect van tijdsafhankelijke berekeningen verwaarloosbaar. De methoden zijn voor de volledigheid hier wel toegelicht. In tabel 3 zijn twee veelgebruikte analytische oplossingsmethoden voor tijdsafhankelijke berekeningen gegeven.

Tabel 3: Uitgangspunten formule van Theis en Hantush voor tijdsafhankelijke berekeningen

Omschrijving	Uitgangspunten	Formule	Voorwaarden
Formule van Theis (1935)	- Watervoerende laag met daarboven een ondoorlatende laag. - Verlaging neemt oneindig lang toe (Olsthoorn, 2016). - Geldig voor kleine afstanden tot onttrekking na korte tijd van de onttrekking.	$s = \frac{Q_0}{4\pi kD} * W(u^2)$	$u^2 < 0,1$
Formule van Hantush (1961)	- Watervoerende laag met daarboven een waterremmende laag. - Verlaging wordt stationair over tijd (Olsthoorn, 2016) - Geldig voor grote afstanden tot onttrekking (Huisman, 1972) na lange tijd van de onttrekking.	$s = \frac{Q_0}{4\pi kD} * W(u^2, \frac{r}{\lambda})$	$\lambda > 3H$ (dikte pakket)
Toelichting: Q_0= Debiet op $t=0$ W= 'Well' functie $u^2 = \frac{S}{4kD} * \frac{r^2}{t'}$ S= Bergingscoëfficiënt t= tijd vanaf begin onttrekking (dagen)			

Voor de 'Well' functie in de formule van Theis kan onderstaande eenvoudige benadering gehanteerd worden (Huisman, 1972):

$W(u) = \ln \frac{0,562}{u}$ Voorwaarde: $u < 0,1$

De Well-functie in de formule van Hantush is complexer van aard vanwege de semi-doorlatende waterremmende laag (het gevolg is de toevoeging van de spreidingslengte). Een van de oplossingsmethoden is numerieke integratie (Olsthoorn, 2016).

Bergingscoëfficiënt in MWell

In MWell kan men voor tijdsafhankelijke berekeningen geen bergingscoëfficiënt opgeven als invoer. MWell berekent de bergingscoëfficiënt (S) op basis van de elastische oedometermodulus (E_{oed}). De berekening van de bergingscoëfficiënt ziet er als volgt uit:

$$S = \gamma_w * D * E_{oed}$$

D = dikte van de laag (m)

γ_w = soortelijke massa van water (N/m^3)

E_{oed} = elastische oedometermodulus (N/m^2)

De gewenste bergingscoëfficiënt is per laag omgerekend naar de elastische oedometermodulus met onderstaande formule (Deltares, 2007):

$$E_{oed} = (\gamma_w * D) / S$$

D = dikte van de laag (m)

γ_w = soortelijke massa van water (N/m^3)

S = bergingscoëfficiënt (-)

Geciteerde werken

Deltares. (2007). Cursus MWell compleet. GeoDelft.

den Blanken, M. (1977). Het maximale putdebiet. KIWA. H2O (10), nr 22.

Kruseman, G., & de Ridder, N. (1994). Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. Wageningen:

International Institute for Land Reclamation and Improvement, TNO.

Olsthoorn, T. (2016). Hantush's well function for wells in leaky (semi-confined) aquifers.

van Lanen, H. (1983). Berekening uit het grondwater op lagere gronden en het effect daarvan op lagere gronden. H2O 16.

Bijlage III: Achtergronden veldproeven

Inhoudsopgave

1	Werkwijze veldproeven	3
1.1	Keuze voor werkwijze infiltratieproef	3
1.2	Stappenplan veldproeven	3
2	Analyse pompproef	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Steady-state bepalen	5
2.3	Meetreeksen	7
2.4	k-waarde op basis van putverlagingen (putmethode)	7
2.5	kD op basis van peilbuisverlagingen (Thiem methode)	8
2.6	kD op basis van drukherstel (unsteady-state)	8
2.7	kD op basis van putverlagingen (putmethode)	9
3	Analyse infiltratieproef	10
	Geciteerde werken	11
	Meetloggerdata pompproef	12
	Meetloggerdata infiltratieproef	25

1 Werkwijze veldproeven

1.1 Keuze voor werkwijze infiltratieproef

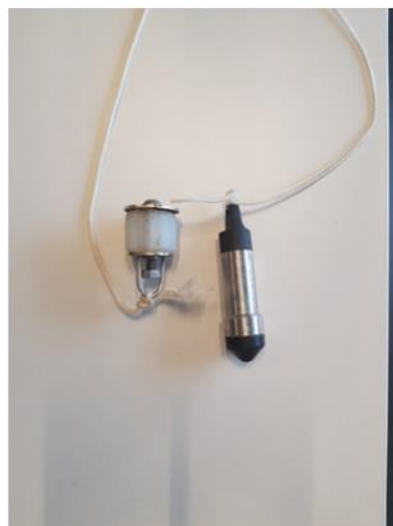
In de module C2510 van de Leidraad Riolering ('Doorlatendheidsonderzoek voor infiltratie en drainage') staat dat de constant-headproef de meest gangbare methode is om de doorlatendheid van goed doorlatende zandpakketten te meten. In de constant-headproef wordt gezocht naar het benodigde debiet voor een bepaalde verhoging. Bij de k-waarde bepaling wordt verondersteld dat de constante stroming naar de watervoerende zandlaag gelijk is aan de doorlatendheid. Het doel van de infiltratieproef in dit onderzoek was niet het bepalen van de doorlatendheid. Het doel was om de modellen te kalibreren met gegevens uit het veld. Daarom is voor de meer praktische constant-flowproef gekozen (constant debiet).

1.2 Stappenplan veldproeven

De werkwijze tijdens de pompproef en infiltratieproef was als volgt:

1. In alle peilbuizen en in de infiltratiebuis is een meetlogger opgehangen.
2. Het waterniveau in de verticale infiltratiebuis is voorafgaand van de proef handmatig gemeten.
3. Het waterpeil in de infiltratiebuis is met behulp van een meetlint met piepsonde gecontroleerd.
4. Gelijktijdig is per handmatige meting bijgehouden of het pompdebiet constant bleef.
5. Wanneer het waterpeil met een constant debiet gelijk bleef over een periode van minimaal 30 minuten was de reeks geslaagd.

Op de volgende pagina staan foto's die tijdens de veldproeven zijn gemaakt.



2 Analyse pompproef

2.1 Inleiding

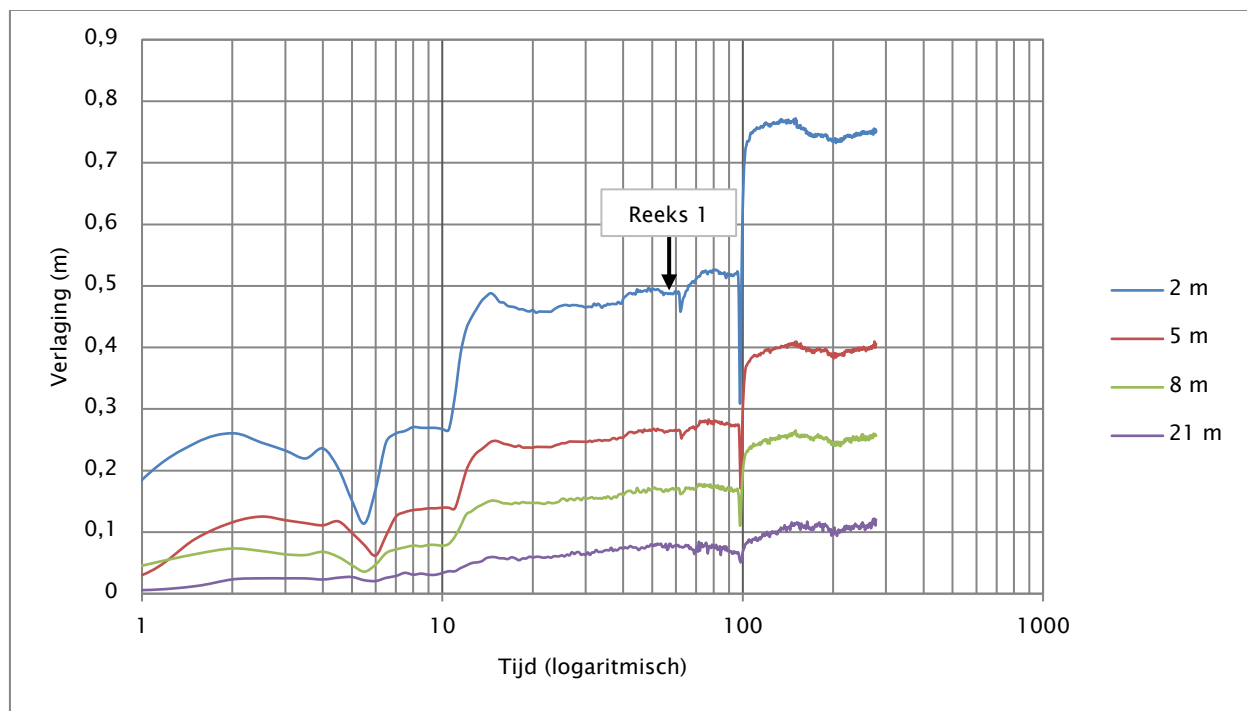
Het bepalen van de doorlaatcapaciteit (kD) is gedaan volgens drie methoden uit de publicatie 'Analysis and Evaluation of Pumping Test Data', d.d. 2000, door N.A. de Ridder en G.P. Kruseman. De formules die de Ridder en Kruseman voorstelden in hun publicatie zijn gebaseerd op volkomen putonttrekkingen. Voor onvolkomen filters wordt aangeraden een peilbuis te monitoren op een afstand van tenminste 1,5 maal de dikte van het pakket. Op die afstand is het verschil in verhoging tussen een volkomen en onvolkomen put verwaarloosbaar (de Ridder, 1976). Er zijn geen metingen verricht op grote afstand van de infiltratieput. Daarom zijn de verlagingen eerst met de 'Huisman correctie methode' omgerekend naar de theoretische verlaging bij een volkomen filter.

2.2 Steady-state bepalen

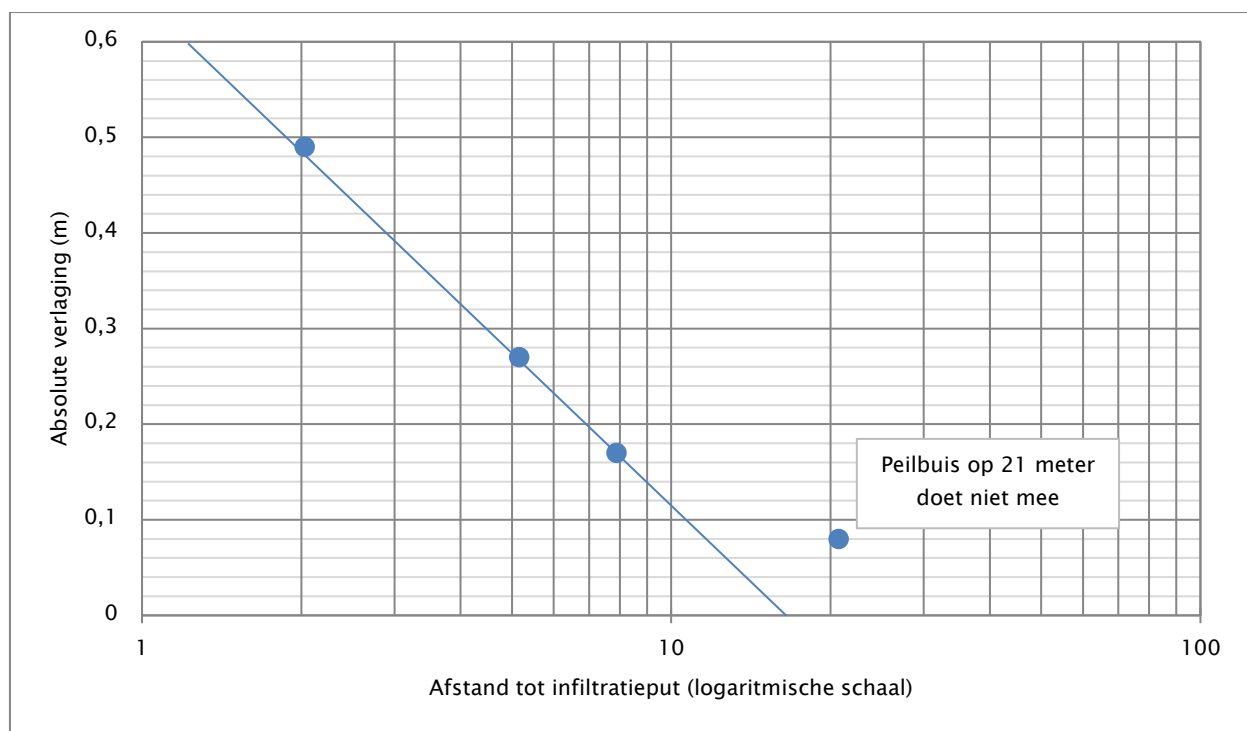
Voor het bepalen van de doorlaatcapaciteit uit de pompproef kan niet op een willekeurig moment een verlaging worden gekozen. Er zijn over het algemeen twee methoden hanteerbaar: 'steady-state' en 'unsteady-state' methoden. De 'unsteady-state' methoden worden gehanteerd wanneer het waterpeil tijdens de proef blijft fluctueren en er dus geen constant niveau wordt bereikt. De berekeningen volgens 'steady-state' zijn geldig bij een constant drukniveau in alle meetpunten óf wanneer het verschil in drukhoogte tussen de meetpunten constant blijft (de Ridder, 1976). Op basis van de resultaten is gekozen voor de 'steady-state' methode.

De steady-state is als volgt bepaald: De gemeten peilbuisverlagingen en het tijdsverloop zijn in Excel uitgezet in een half logaritmische grafiek, met de tijd op logaritmische schaal (zie figuur 1). Het drukverschil is constant op de plaatsen waar de lijnen parallel aan elkaar lopen. De vergelijking van Thiem geeft het verschil in verlaging op logaritmische schaal over de afstand. Om deze reden is het constante drukverschil op bepaalde momenten met de afstand op half logaritmisch grafiek geplot in Excel, met de afstand op logaritmische schaal (zie figuur 2). Als in alle peilbuizen een 'steady-state' is bereikt volgt een rechte lijn. De helling van de lijn voor één log cyclus is gelijk aan het verschil in peilverlaging (de Ridder, 1976).

De infiltratieput bereikt in alle meetreeksen een nagenoeg constant niveau. De verlaginglijnen in de peilbuizen lopen parallel aan elkaar, dus is er sprake van 'transient' unsteady-state flow: Het verschil in verlaging tussen de peilbuizen is nagenoeg nul. De methoden voor 'steady-state' zijn ook geldig voor de peilbuisverlagingen.



Figuur 1: Gemeten peilbuisverlagingen over tijd



Figuur 2: Gemeten peilbuisverlagingen in reeks 1

2.3 Meetreeksen

Op vier momenten gedurende de proef is een 'transient' steady-state verondersteld (zie hoofdstuk 2.2). Door de verlagingen in alle meetpunten te koppelen aan het gemeten debiet zijn vier meetreeksen ontstaan (zie tabel 1).

Tabel 1: Meetreeksen pompproef, tabel geeft waarden voor verlagingen

Reeks	Debiet						Tijdstip (min)
	(m ³ /dag)	Infiltratieput	2 m	5 m	8 m*	20 m	
1	10,3	2,01	0,49	0,27	0,17	0,08	59,5
2	11,2	2,16	0,52	0,27	0,17	0,07	94,5
3	17,9	3,01	0,77	0,41	0,26	0,12	151
4	17,1	2,90	0,75	0,40	0,25	0,11	262,5

* Peilbuis op 8 meter afstand staat stroomopwaarts

2.4 k-waarde op basis van putverlagingen (putmethode)

Op basis van de constante verlaging in de infiltratieput is de doorlatendheid bij het filter berekend op basis van de methode van 'Glover'. De berekening is geraadpleegd uit module C2510 van de Leidraad Riolering.

Formule:

$$k = \frac{Q}{F * s_0}$$

$$F = \frac{2 * \pi * L}{\ln[2 * (\frac{L}{D})]}$$

waarin:

k= doorlatendheid (m/dag)

Q= debiet in evenwichtssituatie (m³/dag)

s₀= verlaging in infiltratieput (m)

F= geometrische factor (m)

L= lengte filter (m)

D= diameter infiltratieput (m)

2.5 kD op basis van peilbuisverlagingen (Thiem methode)

Met behulp van de meetreeksen in tabel 1 is de doorlaatcapaciteit berekend volgens onderstaande formule in de publicatie van de Ridder en Kruseman:

Formule:

$$kD = \frac{Q * 2,3}{2\pi * (s_1/s_2)} * \log(r_2/r_1)$$

waarin:

kD= doorlaatcapaciteit (m²/dag)

Q= debiet in evenwichtssituatie (m³/dag)

s₁ en s₂= verlaging in twee peilbuizen (m)

r₁ en r₂= afstand van twee peilbuizen tot infiltratieput (m)

Doordat er meerdere peilbuizen zijn gemonitord zijn combinaties van drukverschillen tussen twee peilbuizen berekend en is de kD-waarde het gemiddelde van alle peilbuiscombinaties.

2.6 kD op basis van drukherstel (unsteady-state)

Zodra aan het eind van de pompproef geen water meer wordt onttrokken vindt er een zogenaamde herstelperiode plaats: De verlaagde stijghoogtes gaan weer terug naar het oorspronkelijke niveau. Volgens Kruseman en de Ridder zijn de metingen tijdens de herstelperiode meer betrouwbaar dan de gegevens tijdens de proef. De drukhoogtes herstellen namelijk met een constante snelheid en onafhankelijk van een pompdebiet (Kruseman & de Ridder, 1994). De berekening is gebaseerd op de vergelijking van Theis en is volgens de uitgangspunten van 'unsteady-state' verlagingen. De formule is op de volgende bladzijde gegeven en is van toepassing op de verlagingen in één peilbuis.

Formule:

$$kD = \frac{Q * 2,3}{4\pi * \Delta s}$$

$$\Delta s = \frac{s_2 - s_1}{\log((t_2/t'_2)/(t_1/t'_1))}$$

waarin:

kD= doorlaatcapaciteit (m²/dag)

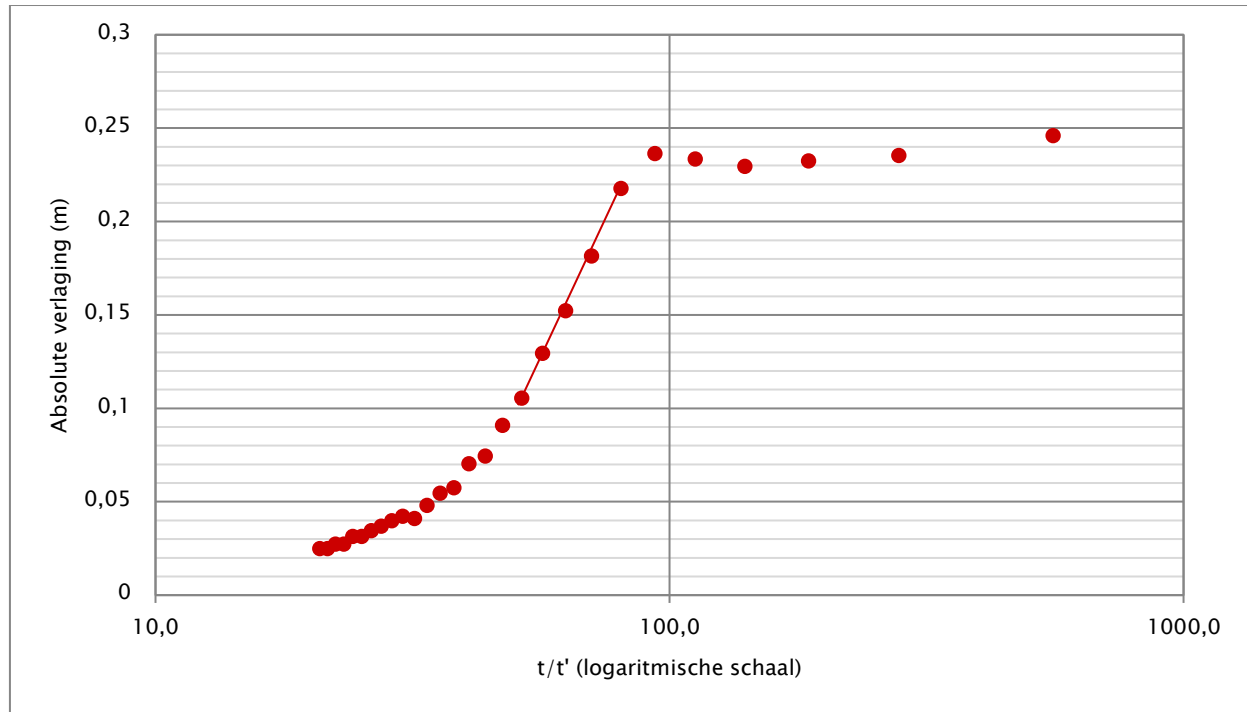
Q= debiet in evenwichtssituatie (m³/dag)

s₁ en s₂= verlaging op twee tijdstippen (m)

t= tijd sinds begin van pompproef (dagen)

t'= tijd sinds eind van pompproef (dagen)

Bovenstaande vergelijking mag alleen worden ingevuld met de verlagingen op tijdstippen waartussen een constant peilverschil optreedt. Dit is te achterhalen door de absolute verlaging en t/t' uit te zetten op een half-logaritmische grafiek (zie figuur 3).



Figuur 3: Voorbeeld van analyse herstelmethode

2.7 kD op basis van putverlagingen (putmethode)

Naast de vergelijking in hoofdstuk 2.4 is met een andere vergelijking de kD-waarde uitgerekend op basis van de putverlagingen. De vergelijking is geraadpleegd uit het artikel 'Bepaling van geohydrologische constanten volgens klassieke onderzoeksmethoden', d.d. 1976, door N.A. de Ridder.

Formule:

$$kD = \frac{Q * 1,22}{s_0}$$

waarin:

kD= doorlaatcapaciteit (m²/dag)

Q= debiet in evenwichtssituatie (m³/dag)

s₀= verlaging in infiltratieput (m)

In bovenstaande formule is de putstraal en de invloedszone weggewerkt.

3 Analyse infiltratieproef

In tabel 2 zijn alle meetreeksen uit de infiltratieproef gegeven. De verhogingen uit reeks 1 zijn gebruikt voor de modelkalibratie.

Tabel 2: Meetreeksen infiltratieproef, tabel geeft waarden voor verhogingen

Reeks	Debiet						Tijdstip (min)
	(m ³ /dag)	Infiltratieput	2 m	5 m	8 m*	20 m	
1	5,0	0,60	0,21	0,11	0,07	0,04	71,5
2	9,2	1,01	0,40	0,21	0,14	0,07	232,5
3	6,8	0,75	0,31	0,17	0,12	0,07	277,5
4	1,2	0,09	0,08	0,05	0,05	0,03	358
5	10,2	1,10	0,42	0,23	0,16	0,08	391

* Peilbuis op 8 meter afstand staat stroomopwaarts

Geciteerde werken

- de Ridder, N. (1976). Bepaling van geohydrologische constanten volgens klassieke onderzoekingsmethoden. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- Kruseman, G., & de Ridder, N. (1994). Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, TNO.

Meetloggerdata pompproef

Tabel 3 geeft de absolute verlagingen (m) tijdens de pompproef.

Tabel 3: Meetloggerdata pompproef

Tijd (minuten)	Infiltratieput	Peilbuis 2 meter	Peilbuis 5 meter	Peilbuis 8 meter	Peilbuis 21 meter
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5	0,027	0,019	0,000	0,008	0,007
1	0,521	0,185	0,030	0,045	0,006
1,5	0,836	0,244	0,089	0,064	0,012
2	0,994	0,261	0,116	0,073	0,023
2,5	0,985	0,245	0,125	0,069	0,025
3	0,912	0,233	0,119	0,064	0,025
3,5	0,865	0,220	0,115	0,063	0,025
4	0,847	0,236	0,111	0,068	0,023
4,5	0,850	0,204	0,118	0,060	0,026
5	0,598	0,151	0,099	0,046	0,027
5,5	0,423	0,114	0,079	0,036	0,022
6	0,370	0,171	0,062	0,047	0,021
6,5	0,843	0,246	0,095	0,066	0,026
7	0,999	0,260	0,125	0,072	0,029
7,5	1,017	0,264	0,132	0,075	0,034
8	1,031	0,271	0,136	0,078	0,031
8,5	1,029	0,269	0,137	0,077	0,033
9	1,029	0,269	0,139	0,079	0,031
9,5	1,027	0,269	0,139	0,079	0,031
10	1,022	0,268	0,140	0,078	0,034
10,5	1,011	0,266	0,140	0,081	0,036
11	1,054	0,319	0,139	0,092	0,036
11,5	1,464	0,390	0,168	0,110	0,042
12	1,796	0,429	0,200	0,128	0,046
12,5	1,990	0,449	0,218	0,134	0,050
13	2,073	0,463	0,229	0,140	0,051
13,5	2,111	0,475	0,234	0,144	0,052
14	2,144	0,483	0,241	0,148	0,058
14,5	2,161	0,488	0,247	0,151	0,059
15	2,128	0,483	0,248	0,151	0,059
15,5	2,083	0,474	0,247	0,149	0,058
16	2,058	0,473	0,244	0,147	0,057
16,5	2,033	0,468	0,242	0,147	0,056

17	2,017	0,466	0,241	0,145	0,059
17,5	2,003	0,465	0,239	0,148	0,057
18	1,999	0,462	0,240	0,147	0,054
18,5	1,990	0,462	0,237	0,149	0,057
19	1,984	0,460	0,237	0,148	0,057
19,5	1,980	0,458	0,237	0,148	0,060
20	1,982	0,461	0,237	0,147	0,059
20,5	1,979	0,457	0,238	0,147	0,060
21	1,974	0,458	0,238	0,147	0,060
21,5	1,972	0,458	0,238	0,146	0,059
22	1,969	0,458	0,238	0,146	0,059
22,5	1,960	0,458	0,238	0,148	0,060
23	1,974	0,458	0,238	0,147	0,059
23,5	1,979	0,462	0,240	0,147	0,061
24	1,989	0,464	0,242	0,148	0,061
24,5	1,992	0,467	0,243	0,150	0,061
25	1,998	0,468	0,244	0,154	0,062
25,5	1,996	0,469	0,244	0,154	0,061
26	1,998	0,469	0,245	0,151	0,063
26,5	1,997	0,468	0,247	0,154	0,062
27	1,998	0,469	0,247	0,154	0,067
27,5	1,993	0,469	0,247	0,152	0,064
28	1,991	0,469	0,247	0,155	0,067
28,5	1,986	0,467	0,247	0,155	0,067
29	1,983	0,467	0,247	0,152	0,063
29,5	1,978	0,466	0,247	0,156	0,064
30	1,973	0,465	0,247	0,155	0,063
30,5	1,976	0,466	0,247	0,155	0,067
31	1,971	0,466	0,248	0,156	0,063
31,5	1,969	0,466	0,247	0,157	0,067
32	1,972	0,471	0,248	0,154	0,067
32,5	1,970	0,468	0,248	0,156	0,071
33	1,971	0,471	0,249	0,154	0,068
33,5	1,965	0,468	0,249	0,155	0,068
34	1,963	0,465	0,248	0,154	0,068
34,5	1,961	0,468	0,249	0,156	0,070
35	1,959	0,468	0,249	0,155	0,071
35,5	1,958	0,471	0,249	0,158	0,071
36	1,961	0,470	0,249	0,156	0,071
36,5	1,959	0,471	0,251	0,154	0,075
37	1,964	0,471	0,253	0,156	0,069
37,5	1,959	0,471	0,252	0,158	0,072
38	1,959	0,471	0,251	0,156	0,070
38,5	1,956	0,474	0,252	0,160	0,072

39	1,956	0,472	0,253	0,162	0,074
39,5	1,953	0,472	0,253	0,162	0,074
40	1,985	0,479	0,253	0,160	0,073
40,5	2,012	0,482	0,256	0,163	0,075
41	2,020	0,484	0,258	0,165	0,074
41,5	2,025	0,487	0,261	0,167	0,074
42	2,032	0,488	0,263	0,167	0,077
42,5	2,034	0,488	0,262	0,167	0,077
43	2,032	0,486	0,262	0,164	0,075
43,5	2,034	0,488	0,261	0,164	0,075
44	2,036	0,486	0,262	0,165	0,075
44,5	2,032	0,494	0,262	0,172	0,074
45	2,039	0,490	0,265	0,168	0,071
45,5	2,037	0,493	0,264	0,165	0,073
46	2,041	0,490	0,265	0,165	0,075
46,5	2,041	0,491	0,262	0,168	0,075
47	2,041	0,492	0,267	0,169	0,074
47,5	2,043	0,492	0,265	0,165	0,075
48	2,045	0,491	0,265	0,166	0,078
48,5	2,043	0,496	0,265	0,171	0,076
49	2,040	0,495	0,266	0,168	0,077
49,5	2,040	0,491	0,265	0,168	0,080
50	2,035	0,495	0,266	0,171	0,079
50,5	2,038	0,495	0,268	0,171	0,077
51	2,037	0,494	0,266	0,172	0,080
51,5	2,033	0,494	0,264	0,170	0,078
52	2,033	0,495	0,268	0,170	0,081
52,5	2,037	0,494	0,266	0,170	0,080
53	2,021	0,492	0,266	0,170	0,080
53,5	2,015	0,489	0,265	0,170	0,081
54	2,010	0,491	0,265	0,167	0,076
54,5	2,006	0,485	0,264	0,166	0,077
55	2,002	0,488	0,262	0,167	0,076
55,5	2,001	0,488	0,263	0,170	0,081
56	2,001	0,488	0,263	0,168	0,071
56,5	2,001	0,487	0,263	0,167	0,073
57	2,007	0,488	0,265	0,169	0,081
57,5	2,009	0,487	0,265	0,169	0,081
58	2,007	0,488	0,265	0,170	0,077
58,5	2,010	0,487	0,265	0,172	0,075
59	2,014	0,488	0,265	0,169	0,078
59,5	2,012	0,491	0,266	0,170	0,078
60	2,012	0,490	0,265	0,169	0,079
60,5	2,016	0,488	0,265	0,170	0,077

61	2,015	0,491	0,266	0,171	0,079
61,5	2,026	0,487	0,266	0,170	0,076
62	1,876	0,459	0,263	0,162	0,076
62,5	1,855	0,464	0,252	0,163	0,076
63	1,918	0,474	0,257	0,163	0,075
63,5	1,962	0,481	0,258	0,166	0,076
64	1,985	0,483	0,261	0,167	0,076
64,5	2,014	0,489	0,263	0,172	0,079
65	2,038	0,492	0,264	0,172	0,079
65,5	2,060	0,493	0,265	0,171	0,077
66	2,077	0,501	0,265	0,172	0,079
66,5	2,096	0,500	0,269	0,172	0,073
67	2,102	0,503	0,269	0,170	0,076
67,5	2,110	0,505	0,270	0,171	0,073
68	2,116	0,507	0,270	0,172	0,071
68,5	2,126	0,507	0,271	0,169	0,071
69	2,131	0,505	0,270	0,169	0,064
69,5	2,131	0,509	0,267	0,172	0,070
70	2,129	0,511	0,270	0,172	0,072
70,5	2,134	0,513	0,271	0,173	0,076
71	2,141	0,514	0,273	0,176	0,068
71,5	2,141	0,516	0,274	0,178	0,084
72	2,152	0,516	0,280	0,175	0,070
72,5	2,145	0,520	0,279	0,177	0,079
73	2,154	0,522	0,279	0,177	0,082
73,5	2,157	0,524	0,280	0,174	0,076
74	2,159	0,522	0,280	0,174	0,076
74,5	2,157	0,523	0,278	0,178	0,079
75	2,156	0,525	0,281	0,174	0,079
75,5	2,156	0,524	0,280	0,177	0,083
76	2,153	0,520	0,280	0,175	0,078
76,5	2,154	0,519	0,275	0,177	0,065
77	2,151	0,523	0,283	0,175	0,075
77,5	2,157	0,523	0,280	0,174	0,077
78	2,157	0,524	0,280	0,178	0,076
78,5	2,158	0,524	0,276	0,172	0,074
79	2,159	0,521	0,280	0,175	0,080
79,5	2,156	0,525	0,280	0,172	0,075
80	2,154	0,526	0,275	0,173	0,078
80,5	2,157	0,525	0,281	0,176	0,075
81	2,160	0,526	0,281	0,175	0,074
81,5	2,162	0,526	0,281	0,173	0,079
82	2,158	0,525	0,279	0,172	0,075
82,5	2,155	0,525	0,279	0,176	0,071

83	2,150	0,524	0,278	0,174	0,074
83,5	2,145	0,520	0,279	0,170	0,073
84	2,143	0,522	0,277	0,172	0,077
84,5	2,141	0,521	0,276	0,174	0,063
85	2,143	0,519	0,279	0,169	0,075
85,5	2,143	0,521	0,277	0,174	0,073
86	2,141	0,521	0,276	0,173	0,074
86,5	2,135	0,519	0,275	0,173	0,077
87	2,141	0,522	0,275	0,167	0,076
87,5	2,141	0,517	0,275	0,170	0,071
88	2,141	0,513	0,276	0,167	0,076
88,5	2,106	0,516	0,278	0,170	0,075
89	2,131	0,520	0,276	0,173	0,069
89,5	2,142	0,518	0,275	0,172	0,069
90	2,144	0,519	0,275	0,171	0,070
90,5	2,150	0,519	0,275	0,167	0,069
91	2,150	0,517	0,274	0,167	0,068
91,5	2,150	0,519	0,272	0,172	0,069
92	2,151	0,518	0,274	0,168	0,066
92,5	2,153	0,516	0,274	0,167	0,065
93	2,153	0,516	0,274	0,166	0,066
93,5	2,156	0,517	0,274	0,167	0,069
94	2,151	0,520	0,272	0,169	0,066
94,5	2,155	0,520	0,275	0,168	0,068
95	2,161	0,520	0,273	0,168	0,067
95,5	2,160	0,520	0,273	0,168	0,066
96	2,159	0,524	0,274	0,171	0,066
96,5	2,163	0,519	0,274	0,165	0,067
97	2,164	0,489	0,274	0,158	0,064
97,5	1,657	0,383	0,252	0,130	0,057
98	1,222	0,309	0,205	0,110	0,053
98,5	1,142	0,387	0,171	0,126	0,051
99	1,901	0,487	0,215	0,153	0,053
99,5	2,336	0,571	0,257	0,178	0,061
100	2,583	0,624	0,296	0,193	0,067
100,5	2,739	0,660	0,320	0,208	0,071
101	2,861	0,692	0,339	0,215	0,073
101,5	2,935	0,704	0,353	0,221	0,076
102	2,974	0,720	0,362	0,226	0,080
102,5	2,993	0,726	0,369	0,228	0,081
103	3,001	0,729	0,370	0,230	0,081
103,5	3,004	0,735	0,373	0,232	0,084
104	3,006	0,735	0,374	0,231	0,083
104,5	3,004	0,735	0,376	0,233	0,087

105	3,006	0,736	0,377	0,236	0,088
105,5	3,020	0,740	0,377	0,236	0,085
106	3,033	0,747	0,380	0,239	0,085
106,5	3,040	0,749	0,382	0,236	0,087
107	3,045	0,748	0,383	0,236	0,083
107,5	3,041	0,750	0,384	0,240	0,088
108	3,043	0,749	0,385	0,239	0,088
108,5	3,039	0,752	0,386	0,244	0,089
109	3,039	0,753	0,388	0,242	0,089
109,5	3,036	0,754	0,387	0,240	0,088
110	3,036	0,753	0,387	0,241	0,089
110,5	3,034	0,754	0,387	0,241	0,092
111	3,032	0,756	0,386	0,242	0,089
111,5	3,032	0,758	0,386	0,242	0,086
112	3,030	0,756	0,385	0,242	0,086
112,5	3,032	0,756	0,387	0,242	0,086
113	3,030	0,756	0,388	0,244	0,090
113,5	3,028	0,756	0,389	0,244	0,090
114	3,032	0,756	0,388	0,246	0,091
114,5	3,030	0,759	0,388	0,242	0,088
115	3,028	0,758	0,391	0,246	0,091
115,5	3,022	0,760	0,391	0,244	0,091
116	3,026	0,758	0,391	0,244	0,093
116,5	3,025	0,757	0,391	0,248	0,097
117	3,026	0,758	0,391	0,248	0,095
117,5	3,026	0,759	0,392	0,248	0,097
118	3,028	0,763	0,394	0,248	0,094
118,5	3,026	0,762	0,395	0,251	0,097
119	3,030	0,763	0,395	0,249	0,095
119,5	3,033	0,766	0,396	0,251	0,098
120	3,027	0,763	0,396	0,247	0,098
120,5	3,027	0,763	0,395	0,250	0,100
121	3,024	0,763	0,396	0,244	0,099
121,5	3,024	0,761	0,396	0,248	0,095
122	3,022	0,760	0,398	0,247	0,096
122,5	3,020	0,763	0,395	0,249	0,094
123	3,022	0,759	0,393	0,244	0,092
123,5	3,020	0,763	0,391	0,253	0,096
124	3,023	0,760	0,395	0,252	0,097
124,5	3,025	0,763	0,396	0,250	0,100
125	3,027	0,763	0,395	0,252	0,100
125,5	3,027	0,764	0,397	0,250	0,101
126	3,027	0,765	0,397	0,253	0,098
126,5	3,029	0,764	0,398	0,252	0,100

127	3,029	0,766	0,398	0,252	0,100
127,5	3,029	0,764	0,397	0,253	0,100
128	3,034	0,764	0,399	0,251	0,101
128,5	3,032	0,764	0,399	0,250	0,100
129	3,032	0,764	0,400	0,253	0,098
129,5	3,032	0,765	0,399	0,254	0,097
130	3,030	0,766	0,399	0,252	0,101
130,5	3,027	0,763	0,399	0,252	0,097
131	3,027	0,766	0,399	0,251	0,099
131,5	3,023	0,763	0,399	0,252	0,102
132	3,025	0,766	0,399	0,258	0,102
132,5	3,025	0,768	0,399	0,253	0,103
133	3,028	0,766	0,399	0,252	0,103
133,5	3,026	0,767	0,400	0,253	0,102
134	3,028	0,771	0,401	0,255	0,107
134,5	3,030	0,767	0,403	0,255	0,106
135	3,030	0,771	0,401	0,255	0,106
135,5	3,028	0,766	0,402	0,256	0,106
136	3,028	0,768	0,402	0,256	0,106
136,5	3,026	0,766	0,402	0,255	0,104
137	3,026	0,766	0,402	0,255	0,107
137,5	3,024	0,768	0,402	0,255	0,108
138	3,024	0,768	0,402	0,257	0,111
138,5	3,028	0,766	0,403	0,256	0,107
139	3,028	0,766	0,403	0,256	0,108
139,5	3,025	0,769	0,403	0,257	0,104
140	3,025	0,764	0,401	0,253	0,101
140,5	3,018	0,766	0,400	0,253	0,105
141	3,020	0,768	0,401	0,257	0,107
141,5	3,018	0,770	0,405	0,257	0,108
142	3,024	0,769	0,405	0,255	0,108
142,5	3,020	0,769	0,404	0,255	0,108
143	3,020	0,765	0,404	0,259	0,109
143,5	3,018	0,768	0,405	0,257	0,107
144	3,020	0,766	0,406	0,256	0,104
144,5	3,018	0,765	0,405	0,256	0,112
145	3,018	0,766	0,406	0,260	0,111
145,5	3,016	0,767	0,405	0,256	0,116
146	3,016	0,767	0,406	0,257	0,113
146,5	3,016	0,767	0,404	0,260	0,110
147	3,011	0,767	0,406	0,260	0,113
147,5	3,014	0,768	0,407	0,261	0,113
148	3,012	0,771	0,407	0,259	0,110
148,5	3,016	0,763	0,407	0,260	0,114

149	3,009	0,771	0,407	0,263	0,111
149,5	3,012	0,771	0,402	0,261	0,114
150	3,012	0,772	0,409	0,265	0,112
150,5	3,010	0,768	0,409	0,260	0,114
151	3,010	0,769	0,409	0,259	0,115
151,5	2,977	0,758	0,408	0,256	0,114
152	2,942	0,760	0,405	0,259	0,115
152,5	2,951	0,757	0,401	0,259	0,115
153	2,953	0,757	0,401	0,257	0,115
153,5	2,958	0,760	0,404	0,257	0,111
154	2,960	0,758	0,403	0,254	0,114
154,5	2,960	0,757	0,403	0,256	0,107
155	2,958	0,757	0,400	0,254	0,110
155,5	2,958	0,761	0,402	0,257	0,104
156	2,955	0,757	0,407	0,255	0,111
156,5	2,955	0,755	0,400	0,254	0,114
157	2,951	0,757	0,398	0,258	0,114
157,5	2,951	0,756	0,402	0,257	0,111
158	2,949	0,756	0,400	0,255	0,109
158,5	2,946	0,755	0,400	0,256	0,109
159	2,944	0,757	0,398	0,255	0,108
159,5	2,941	0,755	0,398	0,256	0,108
160	2,943	0,756	0,400	0,258	0,110
160,5	2,941	0,754	0,400	0,258	0,107
161	2,938	0,754	0,400	0,255	0,110
161,5	2,938	0,756	0,400	0,256	0,109
162	2,934	0,754	0,398	0,256	0,109
162,5	2,931	0,748	0,398	0,256	0,105
163	2,925	0,749	0,394	0,256	0,110
163,5	2,925	0,751	0,397	0,258	0,111
164	2,925	0,750	0,398	0,256	0,117
164,5	2,922	0,750	0,398	0,256	0,109
165	2,918	0,746	0,399	0,256	0,109
165,5	2,918	0,746	0,398	0,253	0,107
166	2,914	0,746	0,396	0,253	0,109
166,5	2,916	0,745	0,395	0,255	0,106
167	2,916	0,749	0,395	0,253	0,106
167,5	2,912	0,744	0,396	0,254	0,105
168	2,909	0,747	0,396	0,250	0,107
168,5	2,909	0,747	0,394	0,252	0,104
169	2,903	0,746	0,396	0,254	0,106
169,5	2,901	0,743	0,394	0,253	0,107
170	2,900	0,743	0,392	0,252	0,106
170,5	2,898	0,746	0,391	0,252	0,104

171	2,897	0,744	0,391	0,250	0,108
171,5	2,894	0,743	0,396	0,250	0,104
172	2,894	0,744	0,393	0,249	0,104
172,5	2,890	0,742	0,393	0,250	0,105
173	2,887	0,744	0,391	0,253	0,106
173,5	2,888	0,743	0,393	0,254	0,109
174	2,888	0,743	0,395	0,254	0,110
174,5	2,886	0,747	0,396	0,255	0,112
175	2,885	0,744	0,396	0,254	0,112
175,5	2,888	0,746	0,396	0,254	0,110
176	2,886	0,743	0,395	0,255	0,110
176,5	2,885	0,744	0,396	0,255	0,109
177	2,881	0,747	0,396	0,257	0,113
177,5	2,883	0,745	0,398	0,257	0,113
178	2,883	0,747	0,396	0,259	0,112
178,5	2,884	0,746	0,398	0,258	0,113
179	2,883	0,745	0,398	0,255	0,114
179,5	2,886	0,746	0,398	0,253	0,114
180	2,886	0,745	0,399	0,253	0,116
180,5	2,886	0,745	0,396	0,256	0,110
181	2,884	0,745	0,397	0,255	0,112
181,5	2,886	0,745	0,396	0,253	0,110
182	2,884	0,745	0,396	0,256	0,109
182,5	2,884	0,742	0,393	0,253	0,110
183	2,886	0,745	0,396	0,254	0,113
183,5	2,884	0,746	0,395	0,254	0,113
184	2,880	0,743	0,395	0,254	0,113
184,5	2,880	0,745	0,395	0,252	0,110
185	2,882	0,742	0,394	0,253	0,101
185,5	2,879	0,745	0,395	0,252	0,112
186	2,880	0,745	0,395	0,252	0,111
186,5	2,878	0,745	0,394	0,251	0,109
187	2,880	0,745	0,395	0,253	0,111
187,5	2,878	0,745	0,397	0,252	0,111
188	2,884	0,746	0,395	0,252	0,113
188,5	2,880	0,745	0,395	0,252	0,111
189	2,884	0,745	0,397	0,254	0,111
189,5	2,884	0,746	0,397	0,253	0,111
190	2,887	0,743	0,396	0,253	0,111
190,5	2,880	0,742	0,395	0,254	0,109
191	2,882	0,744	0,393	0,253	0,109
191,5	2,880	0,740	0,394	0,250	0,109
192	2,880	0,738	0,391	0,249	0,108
192,5	2,876	0,738	0,388	0,247	0,105

193	2,873	0,736	0,391	0,246	0,105
193,5	2,873	0,738	0,388	0,250	0,103
194	2,875	0,738	0,388	0,248	0,105
194,5	2,875	0,739	0,390	0,246	0,105
195	2,875	0,738	0,390	0,246	0,104
195,5	2,876	0,738	0,390	0,246	0,103
196	2,876	0,739	0,390	0,248	0,104
196,5	2,874	0,739	0,390	0,246	0,105
197	2,876	0,738	0,390	0,247	0,098
197,5	2,876	0,736	0,385	0,242	0,094
198	2,871	0,738	0,389	0,244	0,101
198,5	2,874	0,735	0,385	0,242	0,101
199	2,874	0,736	0,387	0,243	0,102
199,5	2,874	0,738	0,390	0,246	0,102
200	2,878	0,738	0,390	0,246	0,102
200,5	2,874	0,735	0,390	0,242	0,096
201	2,879	0,736	0,382	0,244	0,096
201,5	2,883	0,737	0,390	0,240	0,100
202	2,879	0,739	0,389	0,244	0,107
202,5	2,883	0,736	0,391	0,244	0,102
203	2,879	0,740	0,389	0,247	0,100
203,5	2,881	0,737	0,389	0,246	0,099
204	2,879	0,734	0,390	0,240	0,099
204,5	2,879	0,732	0,384	0,243	0,100
205	2,878	0,738	0,385	0,244	0,100
205,5	2,879	0,738	0,390	0,243	0,099
206	2,877	0,734	0,390	0,243	0,094
206,5	2,879	0,734	0,388	0,247	0,100
207	2,879	0,734	0,388	0,247	0,100
207,5	2,881	0,737	0,387	0,241	0,100
208	2,883	0,735	0,388	0,245	0,102
208,5	2,881	0,737	0,387	0,242	0,104
209	2,886	0,735	0,388	0,247	0,099
209,5	2,883	0,735	0,389	0,242	0,099
210	2,886	0,737	0,388	0,244	0,103
210,5	2,883	0,734	0,388	0,240	0,102
211	2,879	0,735	0,389	0,240	0,100
211,5	2,881	0,739	0,388	0,241	0,102
212	2,881	0,737	0,388	0,240	0,102
212,5	2,881	0,737	0,389	0,246	0,102
213	2,881	0,735	0,389	0,245	0,103
213,5	2,886	0,739	0,389	0,243	0,103
214	2,882	0,735	0,390	0,243	0,102
214,5	2,884	0,739	0,387	0,246	0,102

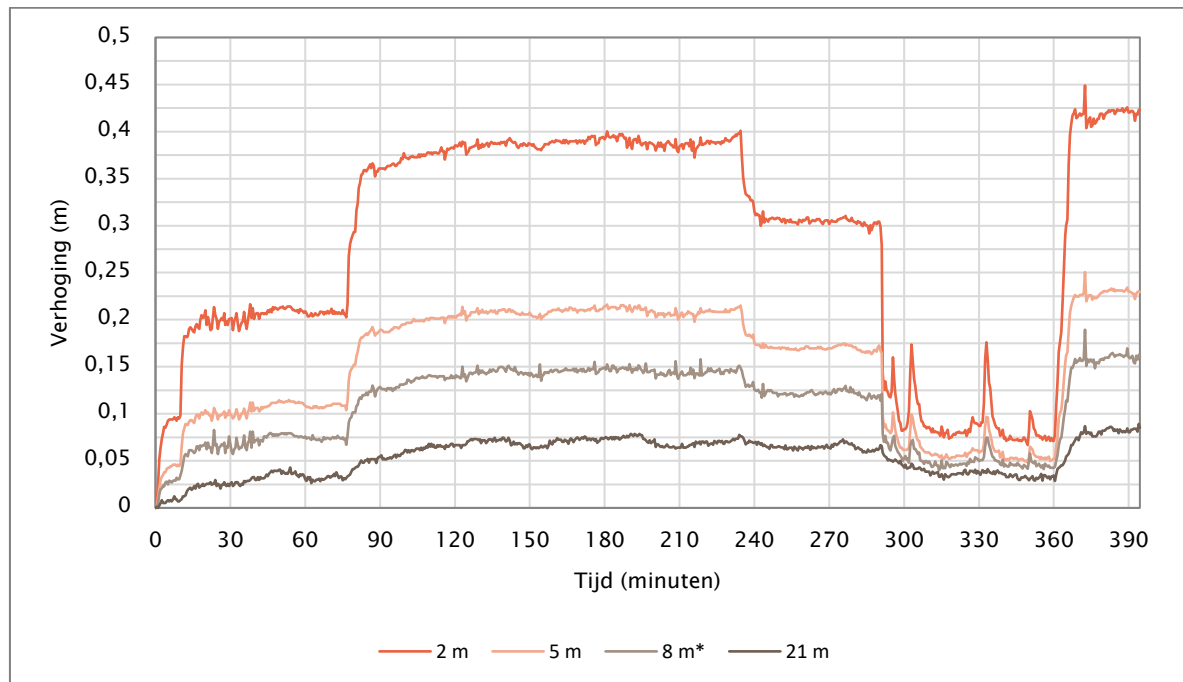
215	2,884	0,738	0,389	0,243	0,104
215,5	2,881	0,739	0,389	0,245	0,104
216	2,882	0,738	0,389	0,246	0,106
216,5	2,884	0,740	0,388	0,246	0,103
217	2,887	0,738	0,391	0,247	0,101
217,5	2,886	0,741	0,387	0,246	0,103
218	2,890	0,743	0,393	0,250	0,105
218,5	2,891	0,743	0,393	0,246	0,110
219	2,890	0,741	0,393	0,249	0,107
219,5	2,890	0,740	0,393	0,249	0,104
220	2,891	0,743	0,393	0,251	0,107
220,5	2,889	0,743	0,393	0,251	0,108
221	2,892	0,743	0,395	0,249	0,108
221,5	2,896	0,744	0,395	0,250	0,111
222	2,894	0,744	0,395	0,252	0,109
222,5	2,894	0,743	0,395	0,251	0,106
223	2,894	0,744	0,393	0,251	0,106
223,5	2,898	0,745	0,395	0,252	0,106
224	2,896	0,745	0,395	0,250	0,108
224,5	2,894	0,745	0,396	0,251	0,105
225	2,891	0,745	0,394	0,250	0,106
225,5	2,891	0,743	0,394	0,249	0,109
226	2,889	0,745	0,394	0,251	0,106
226,5	2,894	0,743	0,394	0,252	0,105
227	2,890	0,745	0,395	0,247	0,109
227,5	2,890	0,745	0,394	0,251	0,106
228	2,890	0,745	0,395	0,252	0,107
228,5	2,890	0,744	0,395	0,250	0,107
229	2,890	0,742	0,395	0,245	0,103
229,5	2,890	0,742	0,392	0,247	0,106
230	2,890	0,744	0,394	0,247	0,105
230,5	2,892	0,742	0,392	0,252	0,109
231	2,894	0,741	0,395	0,249	0,109
231,5	2,887	0,742	0,394	0,251	0,109
232	2,888	0,742	0,392	0,252	0,107
232,5	2,895	0,742	0,397	0,253	0,110
233	2,890	0,743	0,395	0,256	0,106
233,5	2,890	0,742	0,397	0,253	0,109
234	2,892	0,742	0,395	0,250	0,106
234,5	2,889	0,746	0,393	0,252	0,110
235	2,892	0,746	0,397	0,252	0,109
235,5	2,891	0,742	0,396	0,252	0,111
236	2,891	0,746	0,396	0,252	0,110
236,5	2,892	0,747	0,396	0,249	0,111

237	2,892	0,746	0,396	0,253	0,114
237,5	2,894	0,744	0,397	0,253	0,113
238	2,896	0,746	0,397	0,254	0,111
238,5	2,896	0,748	0,397	0,251	0,111
239	2,897	0,745	0,397	0,251	0,110
239,5	2,896	0,747	0,395	0,255	0,110
240	2,894	0,748	0,397	0,250	0,111
240,5	2,891	0,744	0,397	0,253	0,110
241	2,891	0,747	0,397	0,253	0,110
241,5	2,891	0,747	0,399	0,250	0,110
242	2,893	0,747	0,396	0,249	0,109
242,5	2,893	0,746	0,396	0,253	0,109
243	2,891	0,748	0,396	0,251	0,109
243,5	2,891	0,745	0,395	0,250	0,108
244	2,893	0,745	0,397	0,249	0,105
244,5	2,893	0,745	0,395	0,249	0,108
245	2,893	0,746	0,399	0,249	0,106
245,5	2,893	0,746	0,399	0,251	0,108
246	2,893	0,745	0,400	0,254	0,105
246,5	2,895	0,746	0,397	0,250	0,108
247	2,893	0,745	0,397	0,253	0,108
247,5	2,893	0,746	0,398	0,253	0,110
248	2,891	0,749	0,398	0,254	0,112
248,5	2,897	0,746	0,397	0,254	0,113
249	2,894	0,750	0,398	0,257	0,110
249,5	2,898	0,748	0,398	0,259	0,109
250	2,902	0,750	0,398	0,255	0,110
250,5	2,902	0,750	0,399	0,249	0,116
251	2,905	0,751	0,396	0,254	0,110
251,5	2,905	0,750	0,399	0,259	0,112
252	2,900	0,750	0,399	0,255	0,110
252,5	2,900	0,750	0,401	0,255	0,113
253	2,903	0,747	0,398	0,252	0,110
253,5	2,902	0,751	0,398	0,253	0,109
254	2,903	0,751	0,398	0,252	0,110
254,5	2,905	0,748	0,399	0,250	0,109
255	2,900	0,748	0,399	0,254	0,107
255,5	2,903	0,748	0,398	0,253	0,103
256	2,903	0,747	0,398	0,250	0,108
256,5	2,898	0,747	0,396	0,249	0,105
257	2,898	0,749	0,394	0,254	0,110
257,5	2,900	0,748	0,394	0,254	0,108
258	2,896	0,749	0,398	0,256	0,109
258,5	2,898	0,748	0,399	0,253	0,108

259	2,901	0,749	0,399	0,254	0,111
259,5	2,899	0,750	0,397	0,254	0,107
260	2,901	0,747	0,397	0,253	0,108
260,5	2,901	0,748	0,397	0,252	0,108
261	2,901	0,748	0,397	0,253	0,109
261,5	2,901	0,748	0,397	0,253	0,111
262	2,904	0,749	0,397	0,250	0,112
262,5	2,901	0,749	0,397	0,254	0,108
263	2,904	0,749	0,400	0,251	0,111
263,5	2,899	0,749	0,398	0,250	0,111
264	2,903	0,750	0,397	0,254	0,109
264,5	2,902	0,751	0,400	0,256	0,115
265	2,901	0,749	0,400	0,255	0,113
265,5	2,899	0,749	0,398	0,256	0,112
266	2,901	0,749	0,399	0,255	0,110
266,5	2,901	0,751	0,400	0,256	0,113
267	2,900	0,747	0,401	0,252	0,113
267,5	2,902	0,747	0,401	0,253	0,106
268	2,902	0,748	0,398	0,256	0,111
268,5	2,907	0,750	0,401	0,257	0,116
269	2,906	0,750	0,401	0,255	0,113
269,5	2,902	0,748	0,401	0,256	0,113
270	2,900	0,752	0,399	0,253	0,111
270,5	2,902	0,747	0,399	0,256	0,114
271	2,904	0,751	0,402	0,256	0,118
271,5	2,902	0,752	0,402	0,253	0,121
272	2,907	0,746	0,403	0,257	0,119
272,5	2,905	0,750	0,402	0,260	0,120
273	2,905	0,754	0,404	0,258	0,116
273,5	2,905	0,752	0,403	0,257	0,119
274	2,909	0,756	0,404	0,257	0,122
274,5	2,907	0,753	0,410	0,257	0,118
275	2,903	0,753	0,402	0,257	0,120
275,5	2,903	0,752	0,403	0,260	0,114
276	2,903	0,749	0,400	0,258	0,120
276,5	2,900	0,753	0,406	0,257	0,111
277	2,900	0,753	0,401	0,257	0,119
277,5	2,901	0,754	0,406	0,258	0,120
278	2,903	0,750	0,406	0,256	0,120

Meetloggerdata infiltratieproef

De absolute peilbuisverhogingen staan in figuur 4.



Figuur 4: Absolute verhoging in peilbuizen (*peilbuis staat stroomopwaarts)

Tabel 4 geeft de waarden voor absolute verhogingen (m) tijdens de infiltratieproef.

Tabel 4: Meetloggerdata infiltratieproef

Tijd (minuten)	Infiltratieput	Peilbuis 2 meter	Peilbuis 5 meter	Peilbuis 8 meter	Peilbuis 21 meter
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5	0,033	0,005	0,000	0,001	0,001
1	0,100	0,025	0,011	0,004	0,000
1,5	0,167	0,051	0,021	0,015	0,002
2	0,208	0,064	0,030	0,020	0,005
2,5	0,237	0,074	0,033	0,021	0,008
3	0,253	0,080	0,035	0,024	0,005
3,5	0,264	0,086	0,038	0,023	0,005
4	0,271	0,085	0,038	0,027	0,005
4,5	0,276	0,089	0,041	0,028	0,007
5	0,283	0,093	0,043	0,025	0,008
5,5	0,287	0,094	0,043	0,029	0,007

6	0,287	0,094	0,044	0,028	0,008
6,5	0,289	0,094	0,044	0,027	0,007
7	0,289	0,094	0,046	0,029	0,009
7,5	0,291	0,096	0,046	0,029	0,012
8	0,291	0,095	0,046	0,029	0,009
8,5	0,289	0,093	0,044	0,032	0,009
9	0,289	0,096	0,046	0,030	0,007
9,5	0,289	0,095	0,044	0,030	0,007
10	0,292	0,098	0,046	0,034	0,008
10,5	0,482	0,152	0,066	0,040	0,009
11	0,523	0,171	0,079	0,047	0,012
11,5	0,548	0,183	0,085	0,055	0,012
12	0,561	0,183	0,089	0,057	0,013
12,5	0,555	0,181	0,088	0,056	0,018
13	0,555	0,183	0,088	0,055	0,019
13,5	0,565	0,190	0,092	0,061	0,020
14	0,566	0,192	0,093	0,061	0,022
14,5	0,566	0,190	0,093	0,061	0,019
15	0,557	0,188	0,092	0,060	0,020
15,5	0,561	0,187	0,090	0,058	0,023
16	0,573	0,193	0,096	0,060	0,020
16,5	0,579	0,195	0,099	0,065	0,025
17	0,573	0,192	0,099	0,065	0,026
17,5	0,575	0,190	0,095	0,061	0,022
18	0,593	0,200	0,099	0,067	0,023
18,5	0,593	0,205	0,102	0,065	0,023
19	0,595	0,202	0,099	0,067	0,026
19,5	0,600	0,203	0,101	0,067	0,023
20	0,599	0,210	0,104	0,069	0,025
20,5	0,571	0,194	0,100	0,062	0,026
21	0,587	0,203	0,102	0,069	0,026
21,5	0,579	0,197	0,099	0,064	0,026
22	0,569	0,189	0,099	0,064	0,027
22,5	0,568	0,190	0,093	0,058	0,025
23	0,582	0,201	0,097	0,065	0,026
23,5	0,590	0,214	0,106	0,083	0,026
24	0,590	0,205	0,103	0,067	0,030
24,5	0,590	0,201	0,100	0,068	0,023
25	0,573	0,190	0,094	0,057	0,026
25,5	0,584	0,198	0,099	0,064	0,025
26	0,587	0,200	0,098	0,065	0,020
26,5	0,590	0,202	0,099	0,068	0,025
27	0,587	0,200	0,100	0,067	0,025
27,5	0,593	0,207	0,103	0,069	0,027
28	0,573	0,194	0,096	0,058	0,025
28,5	0,592	0,198	0,100	0,065	0,023

29	0,536	0,194	0,099	0,064	0,026
29,5	0,593	0,201	0,104	0,076	0,023
30	0,593	0,201	0,099	0,068	0,026
30,5	0,590	0,202	0,098	0,060	0,027
31	0,568	0,189	0,095	0,057	0,023
31,5	0,584	0,198	0,097	0,062	0,025
32	0,580	0,202	0,100	0,064	0,027
32,5	0,587	0,207	0,105	0,075	0,027
33	0,580	0,197	0,100	0,068	0,027
33,5	0,561	0,188	0,094	0,062	0,025
34	0,562	0,193	0,097	0,064	0,023
34,5	0,572	0,197	0,100	0,064	0,026
35	0,570	0,198	0,100	0,068	0,025
35,5	0,577	0,208	0,106	0,077	0,029
36	0,566	0,197	0,099	0,064	0,027
36,5	0,566	0,190	0,095	0,061	0,029
37	0,582	0,200	0,103	0,069	0,029
37,5	0,586	0,206	0,104	0,071	0,029
38	0,590	0,216	0,112	0,081	0,030
38,5	0,584	0,202	0,103	0,064	0,032
39	0,593	0,212	0,112	0,081	0,033
39,5	0,582	0,201	0,103	0,069	0,033
40	0,586	0,206	0,106	0,072	0,030
40,5	0,587	0,207	0,106	0,072	0,030
41	0,587	0,207	0,106	0,074	0,033
41,5	0,580	0,201	0,103	0,067	0,030
42	0,587	0,206	0,104	0,072	0,033
42,5	0,590	0,207	0,107	0,072	0,032
43	0,590	0,207	0,106	0,071	0,032
43,5	0,592	0,206	0,107	0,076	0,032
44	0,590	0,207	0,107	0,076	0,033
44,5	0,590	0,206	0,107	0,075	0,036
45	0,593	0,210	0,108	0,077	0,034
45,5	0,595	0,208	0,108	0,079	0,037
46	0,597	0,211	0,110	0,080	0,038
46,5	0,595	0,208	0,112	0,079	0,039
47	0,597	0,213	0,112	0,077	0,038
47,5	0,593	0,211	0,112	0,079	0,039
48	0,593	0,213	0,112	0,077	0,039
48,5	0,595	0,212	0,112	0,078	0,039
49	0,593	0,211	0,113	0,077	0,039
49,5	0,596	0,212	0,115	0,078	0,040
50	0,595	0,213	0,113	0,078	0,040
50,5	0,593	0,213	0,113	0,079	0,036
51	0,595	0,214	0,112	0,079	0,039
51,5	0,596	0,212	0,112	0,078	0,037

52	0,598	0,212	0,113	0,079	0,036
52,5	0,600	0,213	0,113	0,078	0,037
53	0,598	0,214	0,113	0,079	0,036
53,5	0,600	0,214	0,115	0,079	0,039
54	0,596	0,214	0,113	0,079	0,043
54,5	0,594	0,213	0,113	0,079	0,036
55	0,596	0,210	0,113	0,078	0,036
55,5	0,594	0,210	0,113	0,076	0,037
56	0,592	0,209	0,111	0,076	0,039
56,5	0,594	0,209	0,112	0,076	0,035
57	0,592	0,210	0,112	0,076	0,035
57,5	0,592	0,207	0,113	0,075	0,033
58	0,592	0,211	0,112	0,076	0,036
58,5	0,592	0,210	0,112	0,076	0,035
59	0,590	0,209	0,112	0,075	0,036
59,5	0,595	0,207	0,110	0,075	0,035
60	0,592	0,209	0,109	0,076	0,030
60,5	0,595	0,207	0,107	0,074	0,029
61	0,593	0,204	0,107	0,075	0,033
61,5	0,592	0,204	0,107	0,075	0,030
62	0,595	0,205	0,106	0,073	0,033
62,5	0,595	0,207	0,106	0,072	0,026
63	0,592	0,203	0,106	0,077	0,030
63,5	0,595	0,205	0,108	0,073	0,028
64	0,593	0,207	0,107	0,073	0,028
64,5	0,595	0,206	0,108	0,072	0,030
65	0,595	0,204	0,106	0,072	0,030
65,5	0,599	0,206	0,106	0,073	0,031
66	0,599	0,209	0,107	0,072	0,028
66,5	0,595	0,208	0,107	0,070	0,031
67	0,597	0,208	0,106	0,072	0,030
67,5	0,597	0,205	0,107	0,075	0,030
68	0,597	0,208	0,107	0,073	0,031
68,5	0,597	0,207	0,109	0,074	0,032
69	0,599	0,209	0,109	0,074	0,034
69,5	0,599	0,207	0,109	0,074	0,034
70	0,597	0,208	0,109	0,073	0,032
70,5	0,597	0,212	0,109	0,074	0,034
71	0,597	0,206	0,111	0,075	0,034
71,5	0,598	0,209	0,111	0,074	0,036
72	0,597	0,206	0,111	0,075	0,034
72,5	0,593	0,208	0,111	0,074	0,038
73	0,598	0,206	0,111	0,077	0,035
73,5	0,595	0,208	0,111	0,075	0,032
74	0,595	0,206	0,111	0,074	0,034
74,5	0,593	0,206	0,109	0,074	0,034

75	0,591	0,210	0,109	0,075	0,029
75,5	0,589	0,206	0,109	0,073	0,032
76	0,588	0,206	0,109	0,074	0,030
76,5	0,605	0,203	0,104	0,067	0,032
77	0,623	0,217	0,113	0,077	0,033
77,5	0,795	0,268	0,136	0,091	0,034
78	0,824	0,281	0,145	0,095	0,036
78,5	0,836	0,286	0,148	0,096	0,038
79	0,838	0,290	0,149	0,101	0,041
79,5	0,843	0,293	0,152	0,101	0,041
80	0,839	0,293	0,152	0,101	0,042
80,5	0,927	0,317	0,161	0,108	0,044
81	0,888	0,324	0,166	0,109	0,044
81,5	0,982	0,340	0,172	0,115	0,045
82	1,009	0,345	0,178	0,118	0,048
82,5	1,020	0,354	0,181	0,116	0,050
83	1,025	0,355	0,181	0,120	0,048
83,5	1,033	0,359	0,183	0,120	0,048
84	1,033	0,359	0,184	0,120	0,050
84,5	1,033	0,358	0,186	0,123	0,050
85	1,036	0,360	0,184	0,120	0,052
85,5	1,040	0,362	0,186	0,124	0,048
86	1,041	0,365	0,188	0,124	0,052
86,5	1,038	0,361	0,190	0,124	0,052
87	1,040	0,366	0,192	0,130	0,052
87,5	1,038	0,364	0,188	0,127	0,052
88	1,018	0,352	0,183	0,118	0,052
88,5	1,023	0,357	0,186	0,124	0,048
89	0,978	0,357	0,185	0,126	0,053
89,5	1,092	0,361	0,188	0,128	0,054
90	0,961	0,361	0,189	0,129	0,054
90,5	0,965	0,361	0,189	0,126	0,056
91	0,965	0,361	0,188	0,126	0,052
91,5	0,961	0,361	0,187	0,126	0,053
92	0,964	0,360	0,187	0,126	0,052
92,5	0,966	0,362	0,187	0,124	0,052
93	0,966	0,364	0,187	0,127	0,053
93,5	0,968	0,364	0,187	0,127	0,053
94	0,966	0,364	0,188	0,126	0,054
94,5	0,968	0,365	0,190	0,127	0,053
95	0,968	0,366	0,190	0,124	0,054
95,5	0,974	0,366	0,192	0,127	0,055
96	0,974	0,363	0,192	0,126	0,057
96,5	0,972	0,363	0,192	0,128	0,054
97	0,972	0,366	0,192	0,128	0,056
97,5	0,975	0,367	0,191	0,128	0,055

98	0,977	0,367	0,192	0,131	0,055
98,5	0,980	0,372	0,194	0,131	0,058
99	0,982	0,371	0,195	0,131	0,058
99,5	0,984	0,377	0,195	0,131	0,059
100	0,984	0,373	0,195	0,132	0,062
100,5	0,984	0,372	0,197	0,132	0,061
101	0,982	0,372	0,197	0,136	0,059
101,5	0,984	0,371	0,197	0,136	0,061
102	0,984	0,373	0,197	0,135	0,059
102,5	0,980	0,373	0,197	0,133	0,061
103	0,984	0,374	0,198	0,135	0,061
103,5	0,984	0,373	0,201	0,135	0,060
104	0,978	0,373	0,198	0,137	0,061
104,5	0,980	0,373	0,199	0,138	0,063
105	0,980	0,373	0,199	0,138	0,063
105,5	0,982	0,376	0,199	0,137	0,063
106	0,980	0,373	0,199	0,138	0,061
106,5	0,978	0,376	0,199	0,138	0,064
107	0,978	0,374	0,199	0,140	0,061
107,5	0,978	0,376	0,198	0,138	0,064
108	0,978	0,374	0,199	0,138	0,063
108,5	0,978	0,376	0,201	0,138	0,065
109	0,978	0,378	0,201	0,140	0,064
109,5	0,982	0,378	0,199	0,141	0,068
110	0,982	0,377	0,202	0,141	0,065
110,5	0,986	0,378	0,202	0,140	0,068
111	0,980	0,376	0,202	0,140	0,065
111,5	0,984	0,378	0,202	0,140	0,067
112	0,982	0,378	0,201	0,140	0,064
112,5	0,980	0,378	0,201	0,140	0,064
113	0,982	0,377	0,201	0,138	0,067
113,5	0,986	0,377	0,201	0,140	0,065
114	0,986	0,379	0,201	0,140	0,067
114,5	0,989	0,383	0,202	0,140	0,065
115	0,989	0,379	0,202	0,140	0,065
115,5	0,987	0,379	0,202	0,140	0,065
116	0,978	0,370	0,196	0,136	0,063
116,5	0,987	0,377	0,201	0,138	0,067
117	0,996	0,382	0,202	0,138	0,065
117,5	0,996	0,381	0,204	0,138	0,065
118	0,996	0,382	0,202	0,138	0,067
118,5	0,998	0,383	0,204	0,141	0,068
119	0,998	0,383	0,202	0,138	0,068
119,5	0,996	0,382	0,204	0,140	0,065
120	0,996	0,385	0,202	0,138	0,067
120,5	0,996	0,385	0,202	0,141	0,067

121	0,998	0,384	0,204	0,140	0,067
121,5	1,000	0,385	0,204	0,140	0,067
122	1,000	0,388	0,206	0,138	0,067
122,5	1,002	0,384	0,204	0,138	0,064
123	1,009	0,389	0,214	0,150	0,067
123,5	0,994	0,387	0,206	0,140	0,067
124	0,996	0,388	0,209	0,142	0,067
124,5	0,971	0,375	0,199	0,134	0,068
125	0,978	0,378	0,203	0,138	0,071
125,5	0,981	0,379	0,204	0,141	0,071
126	0,984	0,383	0,204	0,144	0,072
126,5	0,985	0,383	0,208	0,144	0,073
127	0,987	0,384	0,208	0,142	0,072
127,5	0,987	0,384	0,208	0,144	0,073
128	0,989	0,385	0,208	0,144	0,073
128,5	0,989	0,385	0,209	0,145	0,073
129	0,992	0,392	0,212	0,151	0,073
129,5	0,978	0,382	0,206	0,142	0,072
130	0,989	0,385	0,209	0,146	0,073
130,5	0,992	0,383	0,208	0,144	0,069
131	0,994	0,387	0,211	0,146	0,072
131,5	0,994	0,384	0,208	0,144	0,072
132	0,992	0,385	0,208	0,144	0,072
132,5	0,991	0,387	0,209	0,142	0,069
133	0,992	0,388	0,207	0,144	0,071
133,5	0,989	0,384	0,208	0,144	0,073
134	0,991	0,387	0,209	0,147	0,073
134,5	0,992	0,389	0,210	0,145	0,073
135	0,989	0,388	0,208	0,147	0,071
135,5	0,989	0,387	0,208	0,147	0,073
136	0,989	0,388	0,210	0,146	0,075
136,5	0,989	0,387	0,207	0,145	0,071
137	0,987	0,387	0,207	0,146	0,072
137,5	0,987	0,388	0,210	0,149	0,072
138	0,989	0,387	0,210	0,150	0,073
138,5	0,987	0,389	0,210	0,150	0,072
139	0,990	0,388	0,211	0,150	0,075
139,5	0,996	0,389	0,211	0,149	0,075
140	0,998	0,389	0,211	0,147	0,073
140,5	1,000	0,385	0,208	0,145	0,071
141	1,000	0,390	0,208	0,150	0,072
141,5	1,003	0,391	0,211	0,151	0,075
142	1,002	0,393	0,211	0,149	0,072
142,5	1,005	0,390	0,208	0,147	0,066
143	1,005	0,389	0,210	0,147	0,068
143,5	1,003	0,388	0,208	0,146	0,071

144	1,000	0,389	0,208	0,150	0,068
144,5	0,996	0,387	0,206	0,145	0,069
145	0,996	0,384	0,206	0,145	0,068
145,5	1,000	0,383	0,206	0,142	0,069
146	1,001	0,385	0,205	0,143	0,069
146,5	1,003	0,387	0,205	0,145	0,068
147	1,003	0,385	0,208	0,143	0,066
147,5	1,001	0,388	0,206	0,142	0,063
148	1,003	0,387	0,206	0,143	0,063
148,5	1,005	0,385	0,206	0,143	0,066
149	1,007	0,385	0,206	0,142	0,065
149,5	1,003	0,388	0,206	0,143	0,067
150	1,001	0,387	0,207	0,140	0,067
150,5	1,001	0,387	0,205	0,143	0,063
151	1,000	0,385	0,204	0,142	0,062
151,5	1,001	0,387	0,203	0,139	0,065
152	0,998	0,384	0,203	0,140	0,065
152,5	0,998	0,382	0,203	0,142	0,063
153	0,998	0,381	0,202	0,139	0,065
153,5	0,998	0,381	0,203	0,139	0,063
154	0,998	0,381	0,206	0,153	0,064
154,5	0,987	0,380	0,200	0,135	0,066
155	0,995	0,382	0,203	0,140	0,064
155,5	1,000	0,384	0,203	0,141	0,064
156	1,003	0,386	0,205	0,144	0,066
156,5	1,007	0,386	0,206	0,143	0,066
157	1,008	0,386	0,206	0,144	0,063
157,5	1,008	0,386	0,209	0,143	0,066
158	1,010	0,389	0,209	0,146	0,071
158,5	1,006	0,389	0,208	0,147	0,068
159	1,008	0,390	0,210	0,144	0,067
159,5	1,008	0,389	0,210	0,145	0,071
160	1,006	0,389	0,210	0,147	0,070
160,5	1,010	0,391	0,210	0,147	0,071
161	1,010	0,390	0,210	0,147	0,074
161,5	1,010	0,390	0,212	0,144	0,073
162	1,003	0,390	0,210	0,144	0,073
162,5	1,006	0,389	0,210	0,145	0,073
163	1,006	0,387	0,208	0,145	0,070
163,5	1,005	0,391	0,210	0,147	0,070
164	1,008	0,387	0,210	0,147	0,072
164,5	1,006	0,391	0,212	0,148	0,071
165	1,005	0,390	0,210	0,146	0,071
165,5	1,005	0,387	0,210	0,146	0,068
166	1,003	0,390	0,213	0,146	0,072
166,5	1,004	0,390	0,213	0,146	0,074

167	1,006	0,390	0,212	0,146	0,072
167,5	1,004	0,390	0,210	0,148	0,070
168	1,003	0,390	0,212	0,145	0,072
168,5	1,003	0,391	0,210	0,148	0,074
169	0,993	0,387	0,207	0,144	0,075
169,5	1,004	0,389	0,210	0,146	0,074
170	1,004	0,391	0,210	0,146	0,072
170,5	1,006	0,388	0,210	0,148	0,074
171	1,008	0,391	0,210	0,145	0,075
171,5	1,006	0,390	0,210	0,148	0,074
172	1,002	0,387	0,209	0,145	0,076
172,5	1,012	0,390	0,210	0,145	0,075
173	1,017	0,390	0,210	0,146	0,072
173,5	1,019	0,394	0,211	0,149	0,074
174	1,019	0,392	0,210	0,146	0,074
174,5	1,020	0,394	0,212	0,148	0,072
175	1,020	0,395	0,212	0,148	0,073
175,5	1,020	0,394	0,212	0,148	0,073
176	1,020	0,395	0,215	0,155	0,072
176,5	0,991	0,385	0,209	0,142	0,073
177	1,002	0,388	0,209	0,143	0,069
177,5	1,009	0,388	0,209	0,144	0,070
178	1,009	0,393	0,211	0,147	0,072
178,5	1,013	0,393	0,211	0,147	0,074
179	1,013	0,394	0,211	0,148	0,074
179,5	1,013	0,394	0,213	0,148	0,073
180	0,823	0,392	0,214	0,150	0,074
180,5	1,016	0,394	0,214	0,147	0,075
181	1,023	0,400	0,216	0,152	0,074
181,5	1,011	0,395	0,211	0,148	0,073
182	1,011	0,394	0,212	0,145	0,074
182,5	1,013	0,394	0,214	0,145	0,075
183	1,013	0,395	0,214	0,151	0,073
183,5	1,013	0,396	0,213	0,151	0,075
184	1,013	0,394	0,213	0,148	0,073
184,5	1,014	0,395	0,213	0,149	0,075
185	1,008	0,390	0,211	0,144	0,074
185,5	1,018	0,395	0,212	0,147	0,075
186	1,014	0,398	0,212	0,148	0,073
186,5	1,021	0,396	0,216	0,148	0,074
187	1,023	0,398	0,216	0,149	0,075
187,5	1,023	0,395	0,216	0,149	0,077
188	1,016	0,392	0,214	0,148	0,075
188,5	1,006	0,393	0,214	0,149	0,075
189	0,983	0,383	0,209	0,147	0,077
189,5	0,992	0,386	0,211	0,147	0,075

190	0,994	0,393	0,215	0,153	0,077
190,5	0,992	0,386	0,211	0,148	0,079
191	0,983	0,382	0,208	0,144	0,078
191,5	0,998	0,391	0,211	0,148	0,076
192	1,006	0,392	0,214	0,146	0,079
192,5	1,010	0,392	0,213	0,149	0,078
193	1,001	0,388	0,212	0,146	0,076
193,5	1,001	0,395	0,215	0,152	0,077
194	1,006	0,392	0,215	0,150	0,079
194,5	0,993	0,387	0,210	0,147	0,077
195	0,997	0,385	0,212	0,146	0,077
195,5	0,999	0,388	0,210	0,143	0,073
196	0,993	0,388	0,211	0,146	0,073
196,5	0,990	0,389	0,213	0,154	0,072
197	0,990	0,381	0,204	0,144	0,070
197,5	1,001	0,388	0,208	0,144	0,069
198	1,006	0,389	0,208	0,144	0,072
198,5	1,010	0,387	0,210	0,146	0,069
199	1,012	0,387	0,210	0,146	0,070
199,5	1,007	0,386	0,208	0,146	0,070
200	0,999	0,385	0,208	0,147	0,073
200,5	0,988	0,380	0,202	0,138	0,065
201	0,999	0,384	0,204	0,142	0,068
201,5	1,004	0,388	0,207	0,142	0,068
202	1,007	0,384	0,205	0,142	0,066
202,5	1,007	0,388	0,207	0,144	0,065
203	0,999	0,384	0,205	0,142	0,066
203,5	1,004	0,386	0,207	0,143	0,065
204	0,998	0,380	0,203	0,140	0,065
204,5	1,007	0,387	0,206	0,140	0,066
205	1,015	0,388	0,206	0,141	0,067
205,5	1,015	0,390	0,207	0,145	0,066
206	1,016	0,388	0,207	0,147	0,064
206,5	1,004	0,386	0,204	0,141	0,064
207	1,009	0,386	0,205	0,144	0,064
207,5	1,011	0,383	0,205	0,144	0,065
208	1,013	0,383	0,205	0,142	0,064
208,5	1,014	0,392	0,212	0,156	0,063
209	0,872	0,380	0,208	0,141	0,064
209,5	0,995	0,378	0,200	0,137	0,064
210	1,003	0,384	0,203	0,141	0,064
210,5	1,007	0,385	0,206	0,143	0,064
211	1,007	0,387	0,208	0,145	0,068
211,5	0,998	0,381	0,203	0,141	0,064
212	1,011	0,387	0,205	0,141	0,064
212,5	1,014	0,388	0,206	0,141	0,064

213	1,016	0,388	0,206	0,142	0,065
213,5	1,018	0,388	0,209	0,143	0,065
214	0,998	0,384	0,207	0,142	0,067
214,5	1,005	0,392	0,207	0,149	0,067
215	0,990	0,380	0,206	0,142	0,068
215,5	0,998	0,389	0,206	0,147	0,069
216	0,974	0,372	0,198	0,138	0,065
216,5	0,988	0,381	0,204	0,143	0,071
217	0,996	0,383	0,205	0,143	0,069
217,5	0,998	0,385	0,208	0,142	0,069
218	0,999	0,386	0,206	0,141	0,071
218,5	0,999	0,394	0,212	0,158	0,068
219	0,999	0,386	0,208	0,140	0,070
219,5	1,008	0,386	0,208	0,142	0,070
220	1,010	0,387	0,208	0,143	0,069
220,5	1,012	0,387	0,209	0,144	0,070
221	1,012	0,390	0,209	0,144	0,070
221,5	1,014	0,390	0,209	0,148	0,066
222	1,014	0,387	0,211	0,146	0,067
222,5	1,012	0,390	0,209	0,148	0,069
223	1,012	0,389	0,209	0,145	0,068
223,5	1,012	0,389	0,208	0,145	0,067
224	1,012	0,389	0,209	0,144	0,071
224,5	1,012	0,387	0,208	0,144	0,070
225	1,012	0,389	0,208	0,147	0,068
225,5	1,012	0,389	0,208	0,146	0,071
226	1,012	0,389	0,208	0,148	0,071
226,5	1,011	0,387	0,208	0,142	0,070
227	1,010	0,390	0,208	0,144	0,071
227,5	1,010	0,388	0,208	0,142	0,068
228	1,008	0,390	0,208	0,145	0,068
228,5	1,010	0,393	0,211	0,146	0,071
229	1,010	0,391	0,208	0,146	0,071
229,5	1,008	0,391	0,209	0,146	0,070
230	1,013	0,389	0,208	0,144	0,070
230,5	1,011	0,391	0,211	0,148	0,071
231	1,013	0,393	0,211	0,146	0,072
231,5	1,013	0,395	0,211	0,145	0,074
232	1,013	0,395	0,211	0,146	0,072
232,5	1,013	0,397	0,212	0,144	0,074
233	1,015	0,396	0,212	0,146	0,074
233,5	1,016	0,398	0,214	0,150	0,074
234	1,016	0,398	0,214	0,151	0,078
234,5	1,027	0,401	0,215	0,149	0,076
235	0,934	0,373	0,208	0,146	0,076
235,5	0,875	0,352	0,195	0,139	0,075

236	0,845	0,341	0,189	0,135	0,072
236,5	0,832	0,334	0,184	0,129	0,068
237	0,823	0,332	0,183	0,130	0,069
237,5	0,819	0,331	0,183	0,131	0,069
238	0,825	0,331	0,184	0,129	0,072
238,5	0,803	0,327	0,183	0,130	0,070
239	0,814	0,327	0,181	0,130	0,070
239,5	0,848	0,326	0,184	0,134	0,069
240	0,764	0,315	0,175	0,126	0,069
240,5	0,764	0,311	0,173	0,124	0,070
241	0,766	0,313	0,173	0,124	0,067
241,5	0,765	0,311	0,173	0,126	0,070
242	0,760	0,311	0,173	0,123	0,069
242,5	0,724	0,300	0,170	0,123	0,067
243	0,740	0,303	0,170	0,117	0,069
243,5	0,744	0,315	0,175	0,132	0,066
244	0,752	0,303	0,170	0,119	0,067
244,5	0,754	0,307	0,173	0,121	0,066
245	0,752	0,306	0,171	0,124	0,065
245,5	0,751	0,304	0,170	0,125	0,065
246	0,754	0,307	0,170	0,124	0,063
246,5	0,756	0,307	0,171	0,125	0,067
247	0,754	0,308	0,170	0,124	0,067
247,5	0,756	0,308	0,170	0,122	0,064
248	0,754	0,307	0,170	0,122	0,064
248,5	0,754	0,307	0,170	0,122	0,064
249	0,759	0,308	0,170	0,122	0,064
249,5	0,752	0,308	0,170	0,119	0,066
250	0,757	0,308	0,170	0,121	0,065
250,5	0,754	0,306	0,169	0,121	0,064
251	0,752	0,304	0,170	0,121	0,064
251,5	0,754	0,307	0,170	0,121	0,064
252	0,752	0,307	0,170	0,122	0,062
252,5	0,748	0,303	0,170	0,122	0,066
253	0,748	0,306	0,169	0,120	0,062
253,5	0,752	0,306	0,170	0,121	0,062
254	0,748	0,304	0,168	0,121	0,064
254,5	0,750	0,307	0,168	0,122	0,064
255	0,746	0,304	0,168	0,122	0,064
255,5	0,750	0,304	0,168	0,122	0,061
256	0,750	0,304	0,168	0,118	0,065
256,5	0,748	0,304	0,169	0,120	0,064
257	0,750	0,302	0,168	0,119	0,062
257,5	0,743	0,301	0,168	0,119	0,061
258	0,748	0,306	0,168	0,118	0,065
258,5	0,753	0,305	0,169	0,119	0,064

259	0,750	0,303	0,169	0,120	0,064
259,5	0,751	0,306	0,169	0,119	0,062
260	0,751	0,305	0,169	0,121	0,064
260,5	0,755	0,306	0,172	0,121	0,065
261	0,753	0,309	0,171	0,123	0,064
261,5	0,755	0,309	0,171	0,123	0,066
262	0,751	0,302	0,170	0,123	0,063
262,5	0,746	0,303	0,170	0,124	0,062
263	0,751	0,305	0,170	0,125	0,066
263,5	0,751	0,306	0,170	0,123	0,063
264	0,751	0,305	0,170	0,121	0,065
264,5	0,753	0,305	0,169	0,120	0,063
265	0,756	0,307	0,169	0,121	0,063
265,5	0,751	0,307	0,171	0,121	0,066
266	0,753	0,307	0,169	0,123	0,064
266,5	0,757	0,305	0,171	0,123	0,064
267	0,749	0,303	0,169	0,123	0,065
267,5	0,747	0,302	0,169	0,121	0,065
268	0,751	0,305	0,169	0,123	0,063
268,5	0,753	0,306	0,169	0,124	0,065
269	0,753	0,306	0,169	0,123	0,067
269,5	0,751	0,306	0,170	0,121	0,064
270	0,747	0,302	0,170	0,122	0,064
270,5	0,752	0,304	0,170	0,121	0,063
271	0,752	0,306	0,170	0,122	0,067
271,5	0,751	0,304	0,171	0,125	0,065
272	0,751	0,304	0,171	0,126	0,068
272,5	0,747	0,304	0,172	0,122	0,068
273	0,750	0,304	0,172	0,123	0,067
273,5	0,749	0,307	0,173	0,126	0,068
274	0,752	0,307	0,174	0,126	0,069
274,5	0,758	0,308	0,173	0,126	0,071
275	0,749	0,308	0,174	0,124	0,071
275,5	0,754	0,309	0,174	0,126	0,073
276	0,756	0,309	0,175	0,127	0,069
276,5	0,752	0,310	0,173	0,130	0,071
277	0,756	0,307	0,174	0,124	0,071
277,5	0,752	0,306	0,173	0,124	0,069
278	0,752	0,305	0,173	0,123	0,068
278,5	0,752	0,305	0,173	0,128	0,068
279	0,754	0,309	0,173	0,123	0,069
279,5	0,750	0,305	0,171	0,126	0,066
280	0,747	0,304	0,171	0,122	0,066
280,5	0,752	0,304	0,171	0,122	0,062
281	0,748	0,302	0,169	0,122	0,063
281,5	0,748	0,305	0,168	0,120	0,064

282	0,746	0,304	0,168	0,123	0,063
282,5	0,741	0,304	0,168	0,120	0,062
283	0,745	0,301	0,166	0,117	0,062
283,5	0,743	0,299	0,166	0,119	0,059
284	0,744	0,303	0,166	0,117	0,060
284,5	0,741	0,301	0,165	0,116	0,059
285	0,743	0,301	0,166	0,114	0,059
285,5	0,739	0,299	0,165	0,118	0,062
286	0,716	0,292	0,166	0,121	0,060
286,5	0,737	0,300	0,165	0,118	0,060
287	0,736	0,295	0,163	0,116	0,060
287,5	0,743	0,299	0,165	0,118	0,062
288	0,746	0,303	0,168	0,120	0,060
288,5	0,746	0,303	0,168	0,117	0,062
289	0,741	0,301	0,166	0,116	0,063
289,5	0,746	0,304	0,171	0,119	0,062
290	0,746	0,304	0,173	0,119	0,063
290,5	0,742	0,299	0,167	0,114	0,067
291	0,685	0,279	0,164	0,121	0,066
291,5	0,237	0,143	0,098	0,079	0,059
292	0,203	0,125	0,086	0,070	0,056
292,5	0,216	0,134	0,089	0,077	0,055
293	0,216	0,125	0,084	0,069	0,053
293,5	0,209	0,123	0,083	0,069	0,050
294	0,201	0,119	0,081	0,063	0,052
294,5	0,197	0,117	0,080	0,061	0,050
295	0,196	0,124	0,081	0,067	0,050
295,5	0,329	0,160	0,102	0,074	0,049
296	0,242	0,135	0,091	0,077	0,050
296,5	0,201	0,123	0,083	0,066	0,051
297	0,171	0,112	0,077	0,063	0,050
297,5	0,137	0,103	0,072	0,060	0,049
298	0,119	0,093	0,067	0,058	0,047
298,5	0,106	0,090	0,064	0,055	0,050
299	0,090	0,082	0,064	0,054	0,046
299,5	0,090	0,082	0,062	0,050	0,045
300	0,097	0,084	0,062	0,052	0,043
300,5	0,100	0,084	0,062	0,055	0,046
301	0,105	0,086	0,062	0,051	0,042
301,5	0,121	0,091	0,062	0,052	0,042
302	0,168	0,103	0,064	0,048	0,043
302,5	0,303	0,144	0,083	0,066	0,043
303	0,383	0,174	0,100	0,071	0,047
303,5	0,323	0,155	0,095	0,072	0,046
304	0,263	0,137	0,086	0,063	0,042
304,5	0,233	0,129	0,081	0,063	0,042

305	0,208	0,117	0,075	0,060	0,042
305,5	0,190	0,110	0,071	0,057	0,042
306	0,178	0,110	0,071	0,059	0,043
306,5	0,149	0,100	0,065	0,051	0,043
307	0,134	0,092	0,064	0,050	0,040
307,5	0,126	0,091	0,062	0,050	0,040
308	0,120	0,087	0,060	0,047	0,042
308,5	0,114	0,087	0,059	0,050	0,039
309	0,114	0,085	0,059	0,050	0,039
309,5	0,113	0,086	0,059	0,048	0,039
310	0,143	0,086	0,059	0,050	0,038
310,5	0,111	0,083	0,057	0,047	0,034
311	0,108	0,080	0,056	0,044	0,037
311,5	0,107	0,085	0,056	0,044	0,038
312	0,107	0,080	0,056	0,045	0,036
312,5	0,103	0,082	0,058	0,049	0,037
313	0,107	0,080	0,056	0,045	0,037
313,5	0,103	0,080	0,056	0,045	0,038
314	0,105	0,079	0,055	0,040	0,033
314,5	0,104	0,077	0,053	0,042	0,033
315	0,104	0,087	0,056	0,050	0,036
315,5	0,101	0,081	0,052	0,042	0,033
316	0,102	0,075	0,052	0,042	0,030
316,5	0,100	0,079	0,054	0,042	0,036
317	0,122	0,080	0,057	0,049	0,034
317,5	0,103	0,083	0,054	0,047	0,033
318	0,101	0,074	0,052	0,045	0,033
318,5	0,102	0,075	0,052	0,043	0,034
319	0,101	0,075	0,054	0,046	0,036
319,5	0,103	0,078	0,054	0,045	0,036
320	0,103	0,079	0,054	0,045	0,036
320,5	0,103	0,078	0,054	0,046	0,036
321	0,103	0,080	0,055	0,046	0,036
321,5	0,103	0,080	0,055	0,045	0,037
322	0,103	0,081	0,055	0,046	0,037
322,5	0,103	0,080	0,055	0,047	0,037
323	0,105	0,080	0,055	0,046	0,037
323,5	0,105	0,080	0,055	0,047	0,035
324	0,105	0,080	0,056	0,047	0,040
324,5	0,105	0,083	0,059	0,047	0,041
325	0,104	0,076	0,054	0,045	0,037
325,5	0,106	0,080	0,057	0,049	0,035
326	0,106	0,084	0,059	0,047	0,037
326,5	0,106	0,081	0,059	0,052	0,039
327	0,133	0,090	0,060	0,049	0,039
327,5	0,147	0,097	0,063	0,050	0,039

328	0,139	0,091	0,062	0,049	0,038
328,5	0,133	0,090	0,061	0,054	0,040
329	0,129	0,090	0,061	0,052	0,036
329,5	0,129	0,089	0,061	0,052	0,039
330	0,124	0,087	0,058	0,050	0,037
330,5	0,126	0,087	0,060	0,051	0,035
331	0,135	0,091	0,060	0,051	0,037
331,5	0,138	0,091	0,060	0,051	0,040
332	0,207	0,110	0,068	0,054	0,037
332,5	0,352	0,158	0,088	0,065	0,039
333	0,401	0,176	0,097	0,075	0,037
333,5	0,324	0,158	0,096	0,075	0,041
334	0,260	0,134	0,083	0,067	0,039
334,5	0,242	0,127	0,078	0,063	0,037
335	0,195	0,110	0,072	0,058	0,037
335,5	0,161	0,097	0,066	0,055	0,036
336	0,142	0,093	0,063	0,054	0,039
336,5	0,127	0,088	0,060	0,051	0,036
337	0,120	0,086	0,060	0,051	0,039
337,5	0,116	0,084	0,060	0,049	0,040
338	0,109	0,084	0,061	0,049	0,037
338,5	0,101	0,077	0,053	0,046	0,037
339	0,093	0,078	0,056	0,045	0,037
339,5	0,093	0,083	0,060	0,052	0,036
340	0,097	0,074	0,050	0,044	0,036
340,5	0,095	0,075	0,052	0,046	0,036
341	0,094	0,071	0,050	0,045	0,033
341,5	0,093	0,072	0,052	0,044	0,033
342	0,093	0,072	0,050	0,044	0,033
342,5	0,092	0,077	0,053	0,048	0,036
343	0,093	0,074	0,053	0,046	0,034
343,5	0,095	0,072	0,053	0,046	0,033
344	0,093	0,072	0,052	0,045	0,034
344,5	0,103	0,072	0,053	0,046	0,036
345	0,094	0,072	0,053	0,045	0,036
345,5	0,097	0,073	0,052	0,048	0,031
346	0,095	0,071	0,050	0,046	0,030
346,5	0,094	0,072	0,052	0,045	0,030
347	0,095	0,071	0,052	0,044	0,032
347,5	0,095	0,072	0,052	0,042	0,032
348	0,093	0,075	0,050	0,046	0,032
348,5	0,092	0,073	0,049	0,045	0,034
349	0,085	0,070	0,050	0,043	0,032
349,5	0,083	0,067	0,048	0,042	0,031
350	0,110	0,082	0,054	0,050	0,029
350,5	0,175	0,103	0,065	0,058	0,031

351	0,179	0,099	0,064	0,050	0,032
351,5	0,153	0,094	0,062	0,049	0,034
352	0,123	0,085	0,057	0,047	0,029
352,5	0,109	0,082	0,055	0,050	0,029
353	0,097	0,077	0,054	0,044	0,032
353,5	0,091	0,077	0,054	0,045	0,031
354	0,090	0,077	0,054	0,047	0,032
354,5	0,093	0,075	0,052	0,044	0,034
355	0,093	0,076	0,054	0,043	0,036
355,5	0,092	0,073	0,052	0,045	0,029
356	0,093	0,074	0,052	0,041	0,035
356,5	0,092	0,077	0,053	0,047	0,035
357	0,090	0,071	0,052	0,045	0,034
357,5	0,092	0,074	0,053	0,044	0,032
358	0,092	0,075	0,054	0,045	0,033
358,5	0,090	0,071	0,050	0,043	0,031
359	0,088	0,074	0,051	0,043	0,033
359,5	0,088	0,071	0,051	0,043	0,033
360	0,088	0,071	0,052	0,043	0,035
360,5	0,108	0,078	0,052	0,044	0,029
361	0,201	0,109	0,066	0,050	0,036
361,5	0,290	0,133	0,075	0,056	0,041
362	0,382	0,166	0,095	0,066	0,043
362,5	0,405	0,177	0,101	0,073	0,044
363	0,432	0,187	0,104	0,075	0,045
363,5	0,536	0,219	0,118	0,085	0,045
364	0,650	0,254	0,136	0,097	0,048
364,5	0,755	0,289	0,153	0,105	0,051
365	0,781	0,300	0,162	0,114	0,055
365,5	0,785	0,307	0,165	0,113	0,056
366	0,983	0,365	0,189	0,127	0,057
366,5	1,076	0,396	0,207	0,140	0,061
367	1,092	0,408	0,215	0,149	0,067
367,5	1,109	0,417	0,220	0,149	0,067
368	1,118	0,420	0,224	0,152	0,070
368,5	1,120	0,424	0,226	0,158	0,072
369	1,105	0,414	0,225	0,154	0,075
369,5	1,094	0,415	0,225	0,156	0,075
370	1,090	0,417	0,225	0,156	0,072
370,5	1,085	0,419	0,226	0,159	0,076
371	1,090	0,417	0,226	0,156	0,080
371,5	1,094	0,418	0,226	0,156	0,079
372	1,094	0,419	0,228	0,158	0,080
372,5	1,101	0,449	0,251	0,189	0,087
373	1,056	0,403	0,220	0,151	0,079
373,5	1,068	0,409	0,223	0,158	0,080

374	1,079	0,413	0,226	0,155	0,080
374,5	1,081	0,415	0,226	0,158	0,078
375	1,086	0,405	0,226	0,158	0,080
375,5	1,068	0,406	0,221	0,155	0,076
376	1,086	0,414	0,224	0,158	0,076
376,5	1,064	0,408	0,223	0,148	0,076
377	1,077	0,410	0,223	0,155	0,076
377,5	1,085	0,414	0,224	0,155	0,078
378	1,084	0,414	0,226	0,153	0,081
378,5	1,086	0,419	0,228	0,157	0,081
379	1,091	0,419	0,229	0,157	0,078
379,5	1,095	0,419	0,229	0,159	0,082
380	1,084	0,413	0,230	0,157	0,082
380,5	1,088	0,418	0,230	0,160	0,082
381	1,091	0,420	0,230	0,160	0,084
381,5	1,096	0,420	0,230	0,160	0,085
382	1,099	0,423	0,231	0,160	0,085
382,5	1,102	0,421	0,231	0,162	0,086
383	1,100	0,423	0,233	0,164	0,086
383,5	1,099	0,423	0,231	0,165	0,085
384	1,100	0,423	0,233	0,162	0,082
384,5	1,100	0,418	0,230	0,161	0,084
385	1,100	0,421	0,231	0,162	0,082
385,5	1,102	0,424	0,231	0,162	0,084
386	1,102	0,422	0,231	0,162	0,079
386,5	1,098	0,422	0,231	0,163	0,083
387	1,100	0,422	0,231	0,162	0,082
387,5	1,100	0,425	0,231	0,162	0,080
388	1,104	0,421	0,230	0,160	0,082
388,5	1,102	0,422	0,231	0,162	0,080
389	1,104	0,425	0,233	0,162	0,082
389,5	1,109	0,426	0,234	0,170	0,084
390	1,094	0,420	0,230	0,160	0,080
390,5	1,096	0,420	0,230	0,159	0,080
391	1,096	0,422	0,230	0,160	0,083
391,5	1,098	0,422	0,228	0,162	0,083
392	1,094	0,420	0,228	0,155	0,084
392,5	1,079	0,411	0,222	0,154	0,084
393	1,090	0,419	0,228	0,162	0,084
393,5	1,098	0,418	0,229	0,158	0,081
394	1,101	0,423	0,231	0,163	0,089
394,5	1,101	0,423	0,229	0,160	0,085