

Rotterdam, 14 juni 2016



Het waterpasserend vermogen van waterpasserende verhardingen

SCRIPTIE

PRAKTIJK- EN LABORATORIUM ONDERZOEK NAAR DE INVLOED
VAN DICHTSLIBBING OP HET WATERPASSEREND VERMOGEN
VAN WATERPASSERENDE VERHARDINGEN

Johan Advokaat

Het waterpasserend vermogen van waterpasserende verhardingen

SCRIPTIE

PRAKTIJK- EN LABORATORIUM ONDERZOEK NAAR DE INVLOED
VAN DICHTSLIBBING OP HET WATERPASSEREND VERMOGEN VAN
WATERPASSERENDE VERHARDINGEN

Auteur: Johan Advokaat (0862856)
jig.advokaat@rotterdam.nl
+316 21160942

Begeleider: Dhr. Johan Heymans
j.m.g.b.heymans@hr.nl
+316 29098264

Opdrachtgever: Dhr. Jaap Peters
j.peters@rotterdam.nl
+316 51550117

Organisatie: Gemeente Rotterdam,
Cluster stadsontwikkeling

Datum van voltooiing: 14 juni 2016, Rotterdam

Voorwoord

Naar aanleiding van de wens vanuit de gemeente Rotterdam en Rainaway, is er een praktijkonderzoek uitgevoerd naar de dichtslibbing van waterpasserende verhardingen. Dit rapport beschrijft het uitgevoerde praktijk- en laboratoriumonderzoek en de resultaten die uit dit onderzoek zijn gekomen. Het onderzoek is uitgevoerd in de periode van februari tot juni 2016. Gedurende deze periode zijn er meerdere praktijk- en laboratoriumtesten uitgevoerd met waterpasserende verhardingen in Rotterdam. Het onderzoek is uitgevoerd door Johan Advokaat, student Watermanagement aan de Hogeschool Rotterdam, als zijnde zijn afstudeeronderzoek.

Dit onderzoeksrapport is geschreven voor de gemeente Rotterdam en Rainaway. In het rapport komt het gehele onderzoeksproces aan de orde. Tevens is de verzamelde data van het onderzoek aan het rapport toegevoegd. De informatie, die middels dit rapport wordt verschaft, kan door de gemeente Rotterdam en Rainaway gebruikt worden voor verdere toepassing van waterpasserende verhardingen in de stad Rotterdam.

Aan het einde van het opstellen van dit onderzoeksrapport wil ik de volgende personen bedanken voor de bijdrage aan het realiseren van het onderzoek en de bijbehorende rapportage:

Dhr. J.M.G.B. Heymans	Hogeschool Rotterdam, schoolbegeleider afstuderen
Dhr. J. Peters	Gemeente Rotterdam, bedrijfsbegeleider afstuderen
Mevr. F. Dekker	Rainaway, bedrijfsbegeleider afstuderen

Deze drie personen hebben tijdens het hele proces een actieve rol gespeeld, en een belangrijke bijdrage geleverd aan het onderzoeksproces en de gemaakte afwegingen binnen het proces. Ik ben de betreffende personen zeer erkentelijk voor hun betrokken en sturende houding gedurende het onderzoek.

Verder erkent het mij om de volgende collega's te bedanken voor hun specifieke bijdrage tijdens het onderzoeksproces:

Dhr. W. van Bommel	Gemeente Rotterdam, Projectleider MRO-VLG
Dhr. M.P.C. Laan	Gemeente Rotterdam, Beheerder wegen

Beide collega's van de gemeente Rotterdam wil ik bedanken voor de intensieve hulp en feedback bij het opzetten en uitvoeren van het praktijk- en het laboratoriumonderzoek.

Als laatste rest mij om alle betrokken stakeholders en partijen te bedanken voor de positieve feedback en input gedurende het afstudeertraject.

Rotterdam 14 juni 2016,

Johan Advokaat

Samenvatting

De klimaatveranderingen leiden tot een toename van het aantal extreme en intense regenbuien. In steden en dorpen waar een groot deel van het oppervlak verhard is, moeten maatregelen worden getroffen om de regen tijdelijk te bergen of juist versneld af te voeren. Hiermee kan wateroverlast worden beperkt of voorkomen. Waterpasserende en waterdoorlatende verhardingen kunnen worden toegepast, met als doel het (versneld) afvoeren van het regenwater naar de bodem. Bij waterpasserende verhardingen gebeurt dit via de extra brede voegen en/of de open structuur van de verhardingen. Een praktijkprobleem bij deze methode is echter dat de voegen en/of de open structuur van de verhardingen na verloop van tijd vervuild raken en dichtslibben.

De hoofddoelstelling van dit onderzoek is het verkrijgen van inzicht in de invloed die de vervuiling van de voegen en open structuur heeft op de infiltratiecapaciteit, van vijf verschillende waterpasserende en waterdoorlatende verhardingen. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: *Wat is de invloed van dichtslibbing op het waterpasserend vermogen van vijf verhardingen in de Rotterdamse praktijk- en laboratoriumsituatie?* De Rotterdamse praktijk- en laboratoriumsituatie is hier een afbakening waarbij de testen zijn uitgevoerd op straten en in een testopstelling, waar een straatlaag van 0,05m steenslag en een zandlaag van 0,75m (0,25m in de testopstelling) zijn toegepast. Nevendoelstellingen van dit onderzoek zijn het inventariseren van de beschikbare kennis over waterpasserende verhardingen en het ontwerpen van een testopstelling waarmee waterpasserende verhardingen kunnen worden getest op waterpasserend functioneren.

Om antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag, zijn praktijk- en laboratoriumtesten met 5 verschillende waterpasserende en waterdoorlatende verhardingen uitgevoerd. De praktijktesten zijn uitgevoerd met een dubbele ring infiltrometer, en zijn uitgevoerd op de Malvastraat en de Hockeystraat in de stad Rotterdam. De laboratoriumtesten zijn uitgevoerd met een voor dit onderzoek ontworpen testopstelling, de 'Rotterdam Infiltrometer'. Met deze testopstelling zijn vijf verschillende verhardingen getest. Daarnaast is in deze testopstelling ook de vervuiling en dichtslibbing van de bestrating gesimuleerd. Dit is gedaan om inzicht te verkrijgen in de invloed die dichtslibbing heeft op de infiltratiecapaciteit van de verhardingen. Uit de resultaten van de testen blijkt, dat de dichtslibbing van grote invloed is op de infiltratiecapaciteit van de verhardingen. De praktijktesten wijzen uit dat de Rotterdamse verhardingen vijf jaar na ingebruikname een halvering in infiltratiecapaciteit tonen t.o.v. het moment van ingebruikname (van 559 mm/uur naar 260 mm/uur). De laboratoriumtesten wijzen uit dat de vijf geteste verhardingen, na een simulatie van dichtslibbing voor 1, 5 en 10 jaar na ingebruikname, allen een grote daling in gemiddelde infiltratiecapaciteit tonen (van >1792 mm/uur naar 20 mm/uur). De testen met een vervuilingssimulatie van 5 en 10 jaar resulteerden zelfs in een situatie waarbij langdurig water op straat stond. Van de geteste bestratingen leveren de Rainaway 'Flood Permeable' en de 'Drainwave' met de viltvoeg de beste prestaties.

Op basis van de resultaten wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen naar de toepassing van de twee best presterende verhardingen in de stad Rotterdam. Daarnaast wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen naar de verbetering van het beheer en onderhoud van de waterpasserende verhardingen, om zo de dichtslibbing in de praktijk tegen te gaan. Eventueel vervolgonderzoek kan zich richten op de verbetering van de Rotterdam Infiltrometer of het testen van andere materialen en verhardingen in de Rotterdam Infiltrometer.

Inhoudsopgave

Voorwoord	IV
Samenvatting.....	V
1. Inleiding	8
1.1 Aanleiding van het onderzoek.....	8
1.2 Welk probleem speelt er?	8
1.3 Doelstelling van het onderzoek.....	9
1.4 Hoofd- en deelvragen van het onderzoek.....	10
1.5 Hypothese	10
1.6 Leeswijzer van dit rapport	11
2. Onderzoeksmethode & aanpak.....	12
2.1 Het conceptueel model	12
2.2 De toegepaste onderzoeksmethoden	13
Fase 1: Literatuuronderzoek en interviews.....	14
Fase 2: Ontwerp en meetplan praktijk- en laboratoriumonderzoek	14
Fase 3: Uitvoering praktijk- en laboratoriumonderzoek	14
Fase 4: Analyse praktijk- en laboratoriumonderzoek	14
2.3 Uitgangspunten van dit onderzoek	15
3. Theoretisch kader van dit onderzoek.....	16
3.1 De aanleiding voor het toepassen van waterpasserende verhardingen.....	16
3.2 De principewerking van waterpasserende verhardingen	19
3.3 Praktijkervaringen met waterpasserende verhardingen	21
3.3.1 Opgedane praktijkervaringen in het algemeen.....	21
3.3.2 Opgedane praktijkervaringen binnen Rotterdam	23
3.4 Het dichtslibben van waterpasserende verhardingen	24
3.4.1 Dichtslibbing veroorzaakt door natuurlijke invloeden	24
3.4.2 Dichtslibbing veroorzaakt door menselijke invloeden	25
4. Beleidskader van dit onderzoek	26
4.1 Toepassing en gebruik van waterpasserende verhardingen in Rotterdam	26
4.2 Opbouw en constructie van waterpasserende verhardingen in Rotterdam	27
4.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden voor het toepassen van waterpasserende verhardingen in Rotterdam	28
4.4 Beheer en onderhoud van waterpasserende verhardingen in Rotterdam.....	29
5. Praktijk- en laboratoriumonderzoek naar het functioneren van waterpasserende verhardingen...	30

5.1 Praktijkonderzoek met de dubbele ring infiltrometer	30
5.1.1 Vergelijkbaar elders uitgevoerd onderzoek	30
5.1.2 De opbouw van het praktijkonderzoek	32
5.1.3 De afbakening van het praktijkonderzoek	34
5.2 Laboratoriumonderzoek met de Rotterdam Infiltrometer	34
5.2.1 Vergelijkbaar elders uitgevoerd onderzoek	34
5.2.2 De opbouw van het laboratoriumonderzoek	36
5.2.3 De afbakening van het laboratoriumonderzoek	39
5.3 De resultaten van het praktijk- en laboratorium onderzoek	39
5.3.1 De resultaten van het praktijkonderzoek	40
5.3.2 De resultaten van het laboratoriumonderzoek	40
6. Analyse van de resultaten	42
7. Conclusies van het onderzoek	44
8. Discussie en aanbevelingen van het onderzoek	45
8.1 Discussie op de onderzoekskwaliteit van het onderzoek	45
8.2 Discussie op de uitkomsten van het onderzoek	46
8.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	47
Literatuurlijst	49
Figuren- en tabellenlijst	52
Figuren:	52
Tabellen:	52
Bijlagen	LIII
Bijlage 1 Verklarende woordenlijst	LIV
Bijlage 2 Lijst geïnterviewde professionals & uitwerkingen interviews	LVI
Bijlage 3 Globale inventarisatie van het marktaanbod van waterpasserende verhardingen	LXXI
Bijlage 4 Testlocaties van de praktijkmetingen	LXXII
Bijlage 5 Verzamelde data praktijkonderzoek	LXXIII
Bijlage 6 Fotorapportage van het praktijkonderzoek	LXXVIII
Bijlage 7 Specificaties van de Rotterdam Infiltrometer en de geteste bestratingen	LXXIX
Bijlage 10 Tabel met gemeten infiltratiecapaciteiten met de Rotterdam Infiltrometer	LXXXV
Bijlage 11 Verzamelde data laboratoriumonderzoek	LXXXVI
Bijlage 12 Fotorapportage van het laboratoriumonderzoek	CVII

1. Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft kort de aanleiding, probleemstelling en doelstelling van het onderzoek. Vervolgens zijn de hoofd- en deelvragen en de hypothese van het onderzoek benoemd. In de laatste paragraaf is een leeswijzer van het rapport opgenomen.

1.1 Aanleiding van het onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de gemeente Rotterdam en het bedrijf Rainaway. Hieronder is kort beschreven op welke manier beide organisaties bij het onderzoek betrokken zijn.

Gemeente Rotterdam

De gemeente Rotterdam is zich steeds meer bewust van de wateropgave in het stedelijk gebied. De toenemende verharding van het stedelijk oppervlak vraagt om aanpassingen en oplossingen om wateroverlast te beperken en/of te verhelpen. Daarnaast spelen ook de klimatologische veranderingen een belangrijke rol in deze ontwikkeling, waarbij in de toekomst rekening moet worden gehouden met extremere regenbuien en langdurig droge periodes.

Om aan deze wateropgave te voldoen zijn er verschillende soorten oplossingen mogelijk. Een daarvan is het toepassen van waterpasserende verharding in stedelijk gebied. De gemeente Rotterdam heeft een aantal verschillende waterpasserende verhardingen tot zijn beschikking, maar heeft nog maar beperkt onderzoek gedaan naar het technisch functioneren van deze verhardingen in de praktijk.

Rainaway

Het bedrijf Rainaway heeft een product ontwikkeld, dat zich richt op de regenwaterproblematiek in steden. Om deze regenwaterproblematiek tegen te gaan is een serie van drie speciale tegels ontworpen. Deze tegels, inclusief de opvulling tussen de voegen, transporteren het regenwater naar de bodem. Naast de technische functie van de tegels, speelt ook het zichtbaar maken van de natuurlijke watercyclus een belangrijke rol bij de Rainaway-tegels. Er is voorafgaand aan dit afstudeeronderzoek geen eerder onderzoek gedaan naar het technisch functioneren van de Rainaway-regels.

Beide partijen hebben baat bij een onderzoek naar het technisch functioneren van de waterpasserende verhardingen. Daarnaast willen beide partijen ook meer inzicht krijgen op de invloed van dichtslibbing op het functioneren van de waterpasserende verhardingen. Tijdens dit afstudeeronderzoek zijn daarom testen gedaan met twee typen waterpasserende verhardingen van de gemeente Rotterdam en drie typen tegels van het bedrijf Rainaway.

1.2 Welk probleem speelt er?

Hieronder zijn zowel de probleemstelling voor de Gemeente Rotterdam als voor het bedrijf Rainaway kort toegelicht.

Gemeente Rotterdam

De gemeente Rotterdam is verantwoordelijk voor het opvangen, bergen en afvoeren van hemelwater in de openbare ruimte en het voorkomen van wateroverlast veroorzaakt door

hemelwater in de openbare ruimte (Gemeente Rotterdam, 2015a). Een verandering in het beleid van de gemeente Rotterdam moet er voor zorgen dat er meer hemelwater in de ondergrond wordt geborgen (Gemeente Rotterdam, 2013a). Het toepassen van waterpasserende verhardingen is een maatregel die een bijdrage levert aan het ontlasten van de riolering en het afvoeren van hemelwater via de bodem.

Er is veel theoretische kennis voorhanden m.b.t. waterbergen in de ondergrond. De gemeente Rotterdam mist echter praktisch onderzoek (proeven en data) naar de eigenschappen van specifieke waterpasserende verhardingen in de Rotterdamse praktijksituatie. Hierbij komt, dat een aantal van deze waterpasserende verhardingen (nog) niet in Rotterdam zijn toegepast, zodat hier geen praktijkproeven mee gedaan kunnen worden.

Rainaway

Het bedrijf Rainaway heeft een serie van drie speciale tegels ontwikkeld, welke kunnen worden gebruikt om de regenwaterproblematiek tegen te gaan en om de afvoer van hemelwater naar de bodem te 'communiceren' met de bewoners van een stad of dorp. De serie tegels is echter nog niet getest op functionaliteit, en daarom is onderzoek naar het technisch functioneren van de drie speciale tegels benodigd. Het probleem hierbij is, dat de serie tegels nog maar een korte periode geleden in de praktijk in gebruik zijn genomen en dat er inzicht moet worden verkregen in het functioneren van de tegels op de lange termijn (tot 10 jaar na aanleg).

1.3 Doelstelling van het onderzoek

Dit onderzoek richt zich op de werking van de waterpasserende verhardingen in de praktijk. Met een dubbele ring infiltrometer¹ zijn op twee locaties in Rotterdam, een aantal praktijkproeven op waterpasserende verhardingen uitgevoerd. Om gecontroleerd data te verzamelen over de infiltratiecapaciteit van verschillende waterpasserende verhardingen, is de Rotterdam Infiltrometer² ontworpen. Met deze testopstelling is laboratorium onderzoek gedaan naar de invloed van dichtslibbing op het functioneren van de waterpasserende verhardingen. Door zowel testen uit te voeren in de praktijk als in het laboratorium, kunnen de verschillende onderzoeksmethodes en onderzoeksresultaten met elkaar vergeleken worden. Zo kunnen ook uitspraken gedaan worden over de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van beide methodes.

Het onderzoek heeft een drieledig doel:

- 1) Het kort en bondig omschrijven van de theoretische kennis omtrent waterpasserende verhardingen en het beschrijven van het in Rotterdam geldende beleidskader voor het toepassen van waterpasserende verhardingen.
- 2) Het ontwerpen en opbouwen van een testopstelling, welke door de gemeente Rotterdam kan worden gebruikt voor verdere testen en onderzoeken met waterpasserende verhardingen.

¹ Meetinstrument bestaande uit twee metalen ringen en bijbehorende randapparatuur, waarmee de infiltratiecapaciteit van een bodem of ondergrond bepaald kan worden.

² Testopstelling waarmee de infiltratiecapaciteit van waterpasserende en waterdoorlatende verhardingen kan worden gemeten. Met de Rotterdam Infiltrometer kan ook een vervuilingsscenario worden gesimuleerd, zodat de invloed die de vervuiling uitoefent op de infiltratiecapaciteit van de verhardingen kan worden onderzocht.

3) Het verkrijgen van inzicht in het technisch functioneren van de vijf geteste waterpasserende verhardingen in de praktijksituatie van Rotterdam, en de invloed die de dichtslibbing in de loop der tijd heeft op dit functioneren.

De laatstgenoemde doelstelling is het hoofddoel van het onderzoek; de eerste twee doelstellingen dragen bij aan het bereiken van de hoofddoelstelling.

De gedurende het onderzoek verzamelde gegevens kunnen ter ondersteuning dienen bij het maken van keuzes voor het wel of niet toepassen van waterpasserende verhardingen (gemeente Rotterdam), en als productinformatie bij verkoop van de serie tegels worden gebruikt (Rainaway).

1.4 Hoofd- en deelvragen van het onderzoek

De centrale vraag van het onderzoek is als volgt geformuleerd:

Wat is de invloed van dichtslibbing op het waterpasserend vermogen van vijf verhardingen in de Rotterdamse praktijk- en laboratoriumsituatie?

Om antwoord te kunnen geven op de centrale vraag van het onderzoek zijn de volgende deelvragen geformuleerd:

1. *Welk beleid hanteert de gemeente Rotterdam voor het toepassen van waterpasserende verhardingen in Rotterdam?*
2. *Wat is het waterpasserend vermogen van twee aangelegde waterpasserende verhardingen in de Rotterdamse praktijksituatie?*
3. *Hoe kan, met behulp van een testopstelling, het waterpasserend vermogen van verhardingen en de invloed van dichtslibbing hierop, in de laboratoriumsituatie worden gemeten?*
4. *Wat is het waterpasserend vermogen van de drie te beproeven verhardingen voor het bedrijf Rainaway in de laboratoriumsituatie?*
5. *Wat is het waterpasserend vermogen van de twee te beproeven verhardingen voor de gemeente Rotterdam in de laboratoriumsituatie?*
6. *Wat is de invloed van dichtslibbing op het waterpasserend vermogen van de vijf te beproeven verhardingen in de laboratoriumsituatie?*
7. *Wat is de relatie tussen de resultaten van de praktijktesten en de resultaten van de laboratoriumtesten?*

1.5 Hypothese

De volgende hypothese is opgesteld aan de hand van de hoofdvraag van dit onderzoek:

De vijf verhardingen voeren, volgens de richtlijnen van de gemeente Rotterdam, in nieuwstaat voldoende water af naar de bodem; maar dichtslibbing van het systeem zorgt na enkele jaren voor onvoldoende afvoercapaciteit naar de bodem.

Of deze hypothese correct is, zal worden gecontroleerd tijdens de beantwoording van de deelvragen aan het einde van dit rapport. Aan het einde van het onderzoek zullen, in het hoofdstuk discussie, de hypothese en de uitkomsten van het onderzoek met elkaar vergeleken en nader geanalyseerd worden.

1.6 Leeswijzer van dit rapport

Na het voorwoord, de samenvatting en de inleiding, komen in hoofdstuk 2 de onderzoeksmethode en aanpak aan bod. Dit hoofdstuk behandelt het conceptuele model dat aan het onderzoek gekoppeld is, en de onderzoeksmethoden die gebruikt zijn om tot het eindresultaat te komen. Ook wordt kort de afbakening van het onderzoek benoemd. In hoofdstuk 3 is het theoretische kader van het onderzoek uitgewerkt. Dit hoofdstuk behandelt de functie en werking van waterpasserende verhardingen, de opgedane praktijkervaringen met waterpasserende verhardingen en de oorzaken voor de dichtslibbing van waterpasserende verhardingen. In hoofdstuk 4 is het beleidskader van het onderzoek uitgewerkt. Dit hoofdstuk beschrijft de geldende regels en randvoorwaarden voor de toepassing van waterpasserende verhardingen in de stad Rotterdam.

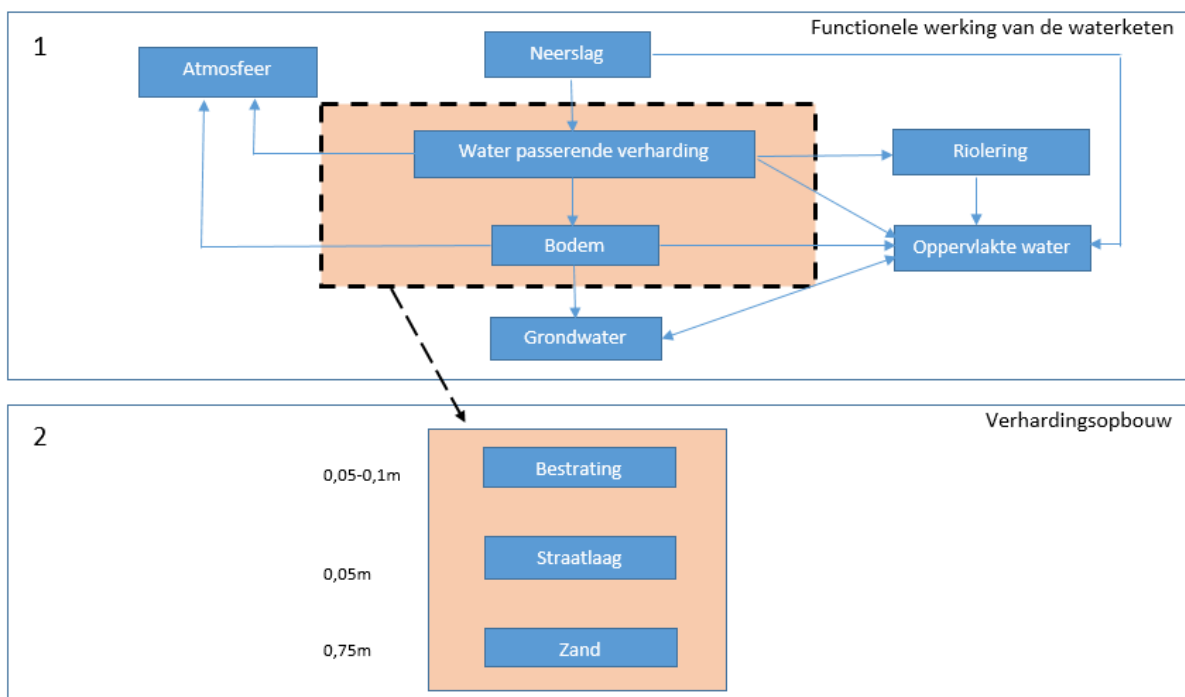
Na deze theoretische en beleidsmatige hoofdstukken volgt in hoofdstuk 5 de uitwerking van het praktijkonderzoek en het laboratoriumonderzoek. In dit hoofdstuk zijn het ontwerp, de opzet van het meetplan en de afbakening van het praktijk- en laboratoriumonderzoek weergegeven. Ook kunt u hier de resultaten van de praktijk- en laboratoriumtesten vinden. In hoofdstuk 6 is een analyse van het onderzoek gedaan, en worden de deelvragen van het onderzoek beantwoord. Daaropvolgend wordt in hoofdstuk 7 door middel van de conclusie, antwoord gegeven op de hoofdvraag van het onderzoek. Als laatste is in hoofdstuk 8 de discussie van het uitgevoerde onderzoek opgenomen. Aan het einde van het rapport zijn de literatuurlijst met gebruikte bronnen en de relevante bijlagen bijgevoegd. In Bijlage 1 is een verklarende woordenlijst te vinden. Deze woordenlijst kan gedurende het lezen van dit rapport worden geraadpleegd, ter verduidelijking van de gebruikte vaktermen. Indien in het rapport een interview als bron is aangehaald, is de uitwerking van het interview in Bijlage 2 bijgevoegd.

2. Onderzoeksmethode & aanpak

Dit hoofdstuk beschrijft kort de onderzoeksmethode en de onderzoeksaanpak welke bij het onderzoek zijn toegepast. Eerst is de context van het onderzoek toegelicht, door middel van een conceptueel model. Vervolgens is de gebruikte onderzoeksmethode beschreven, en zijn de vier fasen waaruit het onderzoek bestaat toegelicht. Als laatste zijn de uitgangspunten en randvoorwaarden van het onderzoek benoemd.

2.1 Het conceptueel model

Het conceptuele model is een schematische weergave van de belangrijkste aspecten binnen het onderzoek. Daarnaast geeft het de relaties tussen de verschillende aspecten weer. Hieronder is het conceptuele model van dit onderzoek weergegeven.



Toelichting conceptuele model:

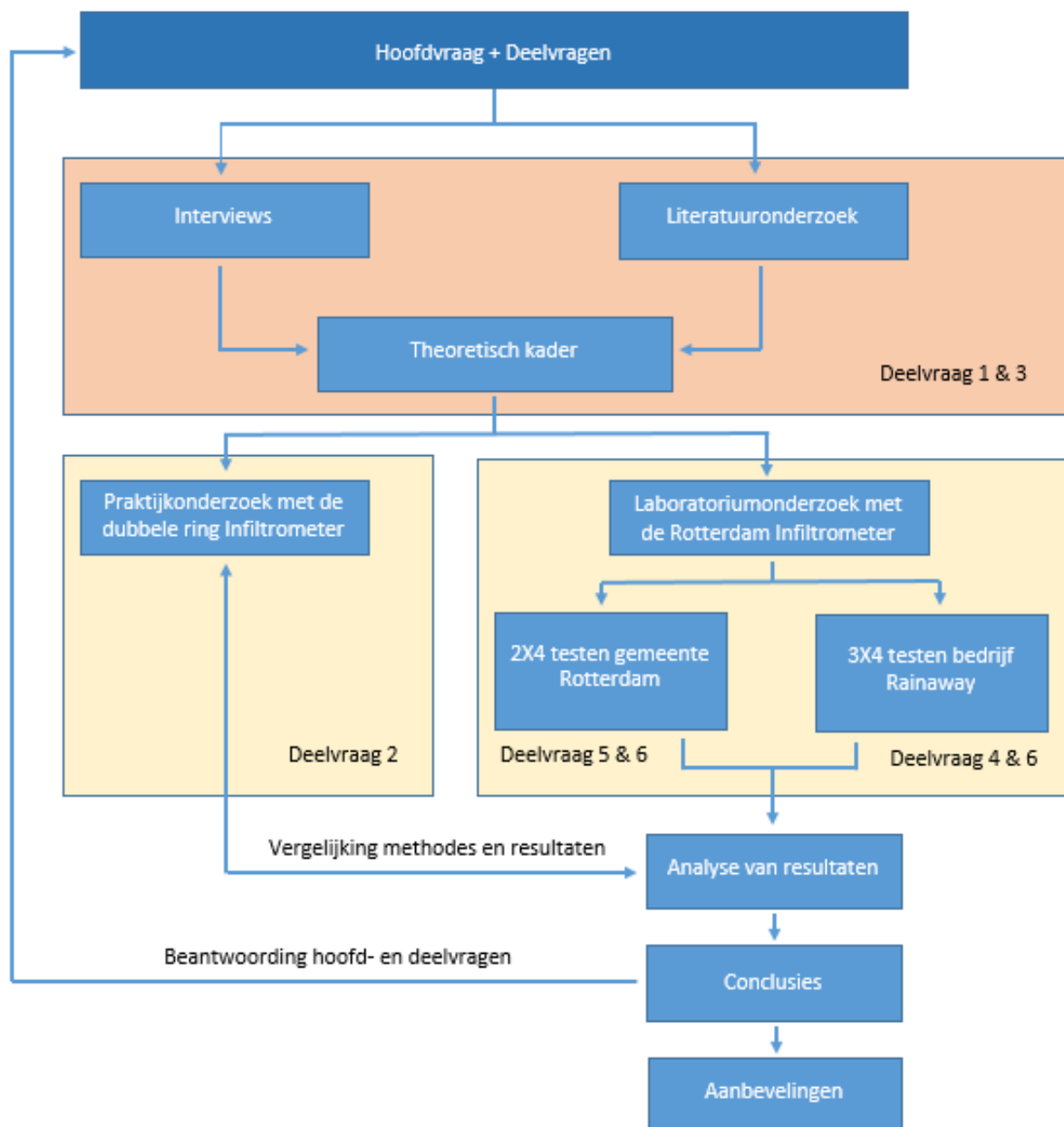
Het conceptuele model is opgebouwd uit 2 weergegeven schema's. Het eerste schema geeft het onderzoek weer in de context waarbinnen dit onderzoek zich afspeelt. Water valt in de vorm van neerslag op de waterpasserende verharding. Een deel van het water verdampt, een ander deel van het water wordt via het oppervlakte water en straatkolken afgevoerd naar de riolering. Ook wordt een deel van het water afgevoerd naar de bodem en het grondwater. Via de bodem en het grondwater kan het water weer worden afgevoerd naar het oppervlaktewater. Dit onderzoek richt zich alleen op de aspecten die in het oranje vlak benoemd zijn, namelijk de waterpasserende verharding en de bovenste laag van de bodem.

Het tweede schema geeft de afbakening van het onderzoek gedetailleerder weer. Bij de gemeente Rotterdam is de opbouw van een waterpasserende verharding altijd op dezelfde manier opgebouwd. Deze bestaat uit: de bestrating bestaande uit waterpasserende betonstraatstenen (0,05-0,1m), een straat laag bestaande uit steenslag 2/6 (0,05m) en een zandlaag (0,75m). Dit onderzoek focust zich enkel op deze bovenste laag van de bodem, de onderliggende bodemlagen worden niet behandeld.

De verschillende lagen in de opbouw van een waterpasserende verharding zijn aan diverse variabelen onderhevig. Gedurende de beginfase van het onderzoek zijn de verschillende variabelen geïnterviewd en is bepaald welke variabelen in het verder onderzoek worden meegenomen. Dit onderzoek richt zich alleen op de variabele die verwant is met de veroudering, namelijk de dichtslibbing van het waterpasserende systeem. Andere variabelen, die niet in dit onderzoek zijn meegenomen zijn bijvoorbeeld: het verschil in de verkanting (helling) van wegdekken, het verschil in de gebruikintensiteit en belasting van straten, het verschil in bergingsvolume van verschillende funderingen, de invloed van hoge grondwaterstanden op de berging van water in de ondergrond, de invloeden van weersomstandigheden (vriezen en dooien) op de bestratingen, het verschil in slijtage van de bestratingen, en het verschil in de van nature aanwezige ondergrond onder de bestratingen.

2.2 De toegepaste onderzoeksmethoden

Hieronder is de onderzoeksmethode welke gedurende het onderzoek is toegepast schematisch weergegeven:



Het onderzoek is opgedeeld in vier fasen. Hieronder zijn de toegepaste onderzoeksmethodes en het onderzoeksproces van de vier fasen uitgewerkt:

Fase 1: Literatuuronderzoek en interviews

In de eerste fase is door middel van literatuuronderzoek en interviews met (interne en externe) professionals de context van het onderzoek onderzocht. Allereerst is gekeken naar de principewerking van waterpasserende verhardingen en waarom ze worden toegepast. Verder is er onderzoek gedaan naar de standaard opbouw van waterpasserende verhardingen in Rotterdam en het geldende beleid voor het toepassen van waterpasserende verhardingen binnen Rotterdam. Daarnaast is er geïnventariseerd wat voor praktijk- en laboratoriumonderzoek naar de dichtslibbing van waterpasserende verhardingen er reeds is uitgevoerd en welke oorzaken er voor het dichtslibben van de waterpasserende verhardingen kunnen zijn.

Fase 2: Ontwerp en meetplan praktijk- en laboratoriumonderzoek

Aan de hand van de gegevens die zijn verzameld in de eerste fase, zijn een ontwerp en meetplan opgesteld voor het praktijk- en laboratoriumonderzoek. Er zijn een aantal praktijktesten met een dubbele ring infiltrometer uitgevoerd op twee bestaande waterpasserende verhardingen in Rotterdam. Omdat een aantal van de te testen waterpasserende verhardingen (nog) niet of nog maar kort geleden in de praktijk is aangelegd, konden niet alle verhardingen met de dubbele ring infiltrometer worden getest. Daarom is voor het testen van deze verhardingen de Rotterdam Infiltrometer opgebouwd, waarmee de praktijksituatie kan worden nagebootst. De testen met de Rotterdam Infiltrometer geven een indicatie voor het toekomstig functioneren van de waterpasserende verhardingen in de praktijk. De resultaten van de praktijktesten dienen als onderbouwings- en vergelijkingsmateriaal voor de testen met de Rotterdam Infiltrometer.

Fase 3: Uitvoering praktijk- en laboratoriumonderzoek

Na het opstellen van een ontwerp en meetplan zijn de praktijktesten met de dubbele ring infiltrometer uitgevoerd. Dit is gedaan op twee plekken in Rotterdam waar dezelfde waterpasserende verharding ligt. Vervolgens is de overstap gemaakt naar het laboratoriumonderzoek, en is de Rotterdam Infiltrometer opgebouwd. Dit is gedaan bij de werklocatie van de Veld en Laboratorium Groep (VLG) van de gemeente Rotterdam. Door water te gieten op een waterpasserende verhardingen in een testopstelling, is de afvoercapaciteit van de verschillende waterpasserende verhardingen getest. Dit is gemeten door middel van een aantal druksensoren in de ondergrond van de verharding, een stopwatch en een waterhoogtemeter. Door de testen uit te voeren met verschillende vervuilingshoeveelheden, is inzicht verkregen in de invloed die vervuiling en dichtslibbing hebben op de waterpasserende functie van de verhardingen.

In totaal zijn vijf series van vier testen uitgevoerd met vijf verschillende verhardingen. Twee typen verhardingen voor de gemeente Rotterdam en drie typen verhardingen voor het bedrijf Rainaway.

Fase 4: Analyse praktijk- en laboratoriumonderzoek

Gedurende en na de praktijk- en laboratoriumtesten zijn de testresultaten geanalyseerd. Daarnaast zijn de methodes en de resultaten van de praktijktesten en de laboratoriumtesten onderling met elkaar vergeleken. Aan de hand van deze analyse zijn een conclusie en aanbevelingen geschreven. De totale opbouw en uitwerking van het onderzoek zijn gerapporteerd in dit rapport.

2.3 Uitgangspunten van dit onderzoek

Om het algehele onderzoek af te bakenen zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

Praktijkonderzoek (gemeente Rotterdam):

- Het praktijkonderzoek richt zich op de invloed van dichtslibbing op het waterpasserend vermogen van een type waterpasserende verharding op twee locaties in Rotterdam.

Laboratoriumonderzoek (Gemeente Rotterdam en Rainaway):

- Het laboratoriumonderzoek voor de gemeente Rotterdam en Rainaway richt zich op zowel het waterpasserend vermogen als op de invloed van dichtslibbing op het waterpasserend vermogen van de respectievelijk twee en drie typen verhardingen.
- Het laboratoriumonderzoek voor de gemeente Rotterdam is afgestemd op twee waterpasserende verhardingen, die kunnen worden toegepast op ongefundeerde wegen. Dit betreft wegen met een verblijfsfunctie, zoals 30 km/uur wegen en parkeervakken. De toepassing van waterpasserende verhardingen op gefundeerde wegen is niet in het onderzoek opgenomen.
- Het laboratoriumonderzoek voor het bedrijf Rainaway is afgestemd op een normale verharding, een waterpasserende verharding en een waterdoorlatende verharding, die kunnen worden toegepast op voetpaden of in plantsoenen.
- Het laboratoriumonderzoek speelt zich enkel af in de bovenste laag van de ondergrond, zoals weergegeven in het conceptuele model. Vanwege de beperkte ruimte in de Rotterdam Infiltrometer is de laag zand verlaagd van 0,75m naar 0,25m. Daarnaast is gebruik gemaakt van een soort voegvulling, bestaande uit steenslag 2/6.

Naast de uitgangspunten van het algehele onderzoek zijn er nog een aantal specifieke afbakeningspunten voor het praktijk- en laboratoriumonderzoek vastgesteld. Deze zijn opgenomen in paragraaf 5.1.3 en paragraaf 5.2.3 van dit rapport.

3. Theoretisch kader van dit onderzoek

Dit hoofdstuk behandelt beknopt de theoretische kennis die beschikbaar is over waterpasserende verhardingen.

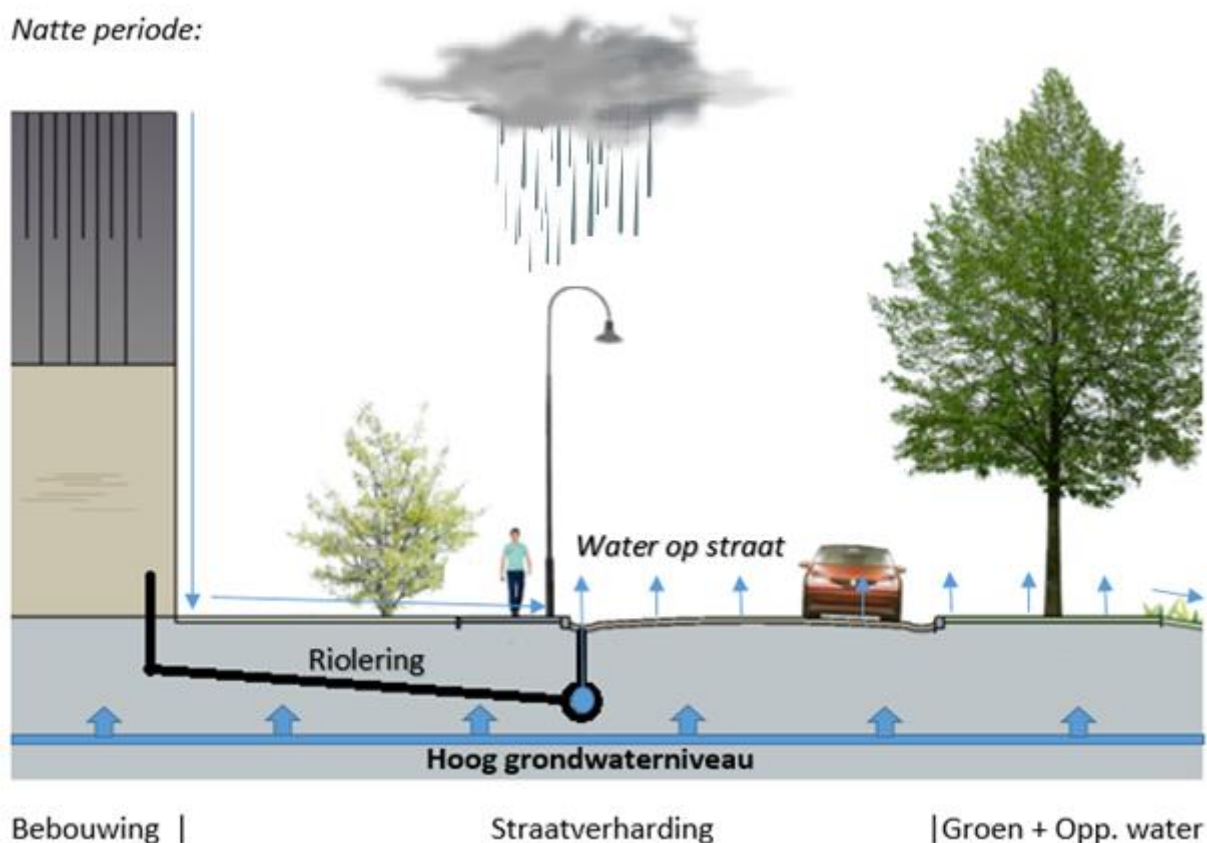
3.1 De aanleiding voor het toepassen van waterpasserende verhardingen

Vanwege de groeiende economische activiteiten in de regio en de verstedelijking van Nederland, ontwikkeld de stad Rotterdam zich tot een hoogwaardig gebied voor wonen en werken. Daarnaast profileert Rotterdam zich als stad welke voorop loopt op het gebied van duurzame klimaatadaptatie en energievoorziening (Gemeente Rotterdam, 2013b). De verstedelijking en de groei van de stad Rotterdam hebben echter ook een keerzijde: een toename van het verhard oppervlak in de regio. Cijfers van het CBS wijzen uit dat in de periode van 1996-2012 de hoeveelheid bebouwd terrein in de provincie Zuid-Holland van 48.683 ha naar 56.186 ha is toegenomen (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2016).

Daarnaast neemt ook de kans op extreme neerslag in Nederland al sinds jaren toe (KNMI, 2015). Dit is te verklaren door de toename van de temperatuur en de hoeveelheid waterdamp in de lucht sinds 1950. Deze toename verklaart gedeeltelijk de toename van de jaarlijkse hoeveelheid neerslag. Bij extreme buien is dit verschijnsel duidelijk merkbaar. Uit waarnemingen blijkt dat bij de meest extreme buien de neerslagintensiteit per uur, toeneemt met ongeveer 12% per graad temperatuurstijging (KNMI, 2015). Echter, met de kans op toename van extreme neerslag, neemt ook de kans op droogte in de toekomst toe. Sinds 1951 komt droogte vaker voor in Nederland en deze trend zet zich in de toekomst waarschijnlijk voort (KNMI, 2015).

De toename van het verhard oppervlak, in combinatie met de klimatologische veranderingen, kan in de nabije toekomst voor wateroverlast zorgen. Hemelwater dat tijdens regenbuien op de straten wordt geloosd, stroomt regelrecht naar het oppervlaktewater en het rioolstelsel. De oppervlaktewaterlichamen en het rioolstelsel kunnen dit water tijdens extreme piekbuien niet direct bergen en afvoeren, met als gevolg water op straat (Gemeente Rotterdam, 2013b). Figuur 1 geeft de situatie bij extreme neerslag door middel van een eenvoudige schematisatie weer.

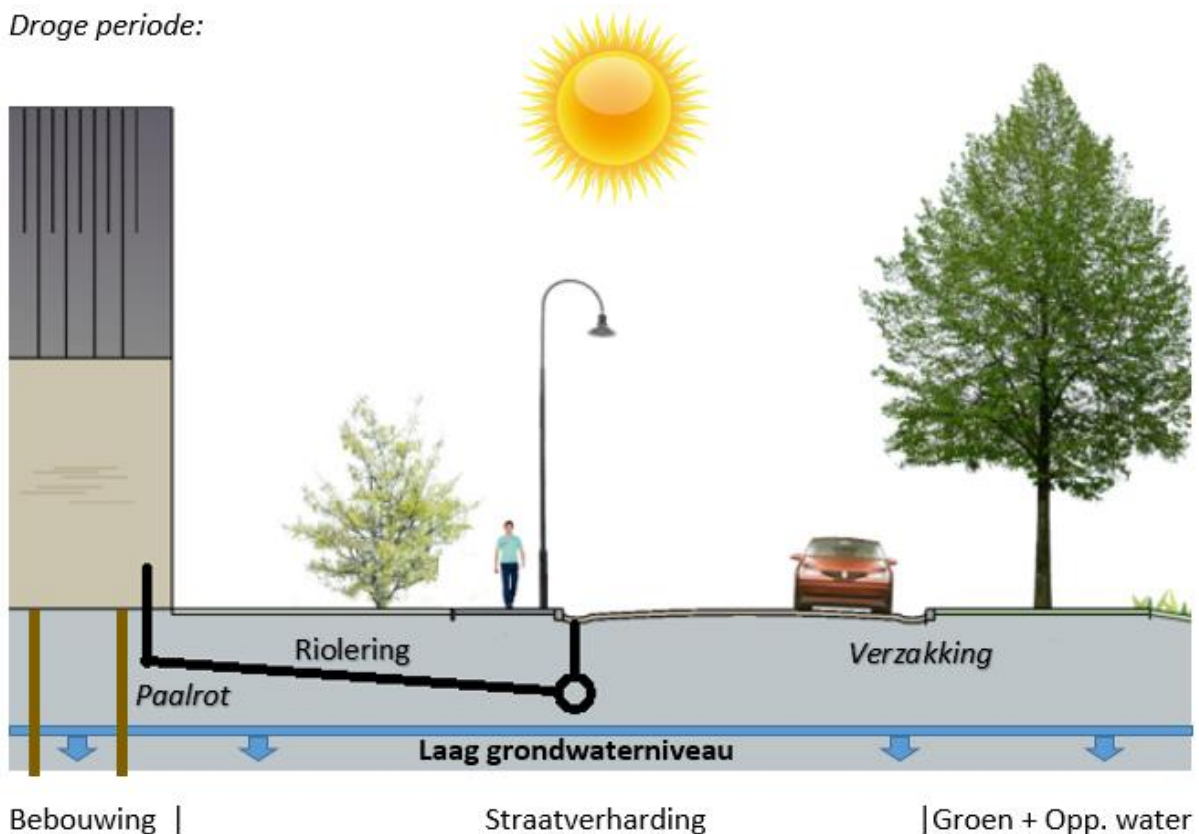
Natte periode:



Figuur 1: Schematisatie van de waterproblematiek bij een extreme neerslagsituatie

Tijdens langdurig droge periodes doet zich een ander probleem voor. Er wordt dan te weinig regenwater naar het grondwater afgevoerd, en in combinatie met het onttrekken van grondwater voor drinkwater en irrigatiewater, leidt dit tot een (te) laag grondwaterpeil (Deltares, 2012). Dit kan weer leiden tot negatieve gevolgen zoals paalrot, verzakking veroorzaakt door consolidatie/zetting van de bodem en verzilting (Deltares, 2012). Figuur 2 geeft de situatie bij langdurige droogte door middel van een eenvoudige schematisatie weer.

Droge periode:



Figuur 2: Schematisatie van de waterproblematiek gedurende een langdurig droge periode

Het aanleggen van waterpasserende verhardingen is een mogelijke oplossing om deze problemen het hoofd te bieden. Door het waterpasserend vermogen van de verhardingen kan het hemelwater versneld worden afgevoerd naar de bodem en uiteindelijk worden verenigd met het grondwater. Op deze manier wordt tijdens extreme piekbuien de hoeveelheid afstromend water verminderd en neemt de kans op water op straat af. Ook heeft de bodem een filterende werking en wordt het regenwater gefilterd alvorens het naar het grondwater wordt afgevoerd. Via het grondwater kan het water worden afgevoerd naar het oppervlaktewater. Na tijden van langdurige droogte kan het grondwater sneller worden aangevuld, zodat negatieve verschijnselen zoals paalrot, verzakking en verzilting kunnen worden verminderd of voorkomen.

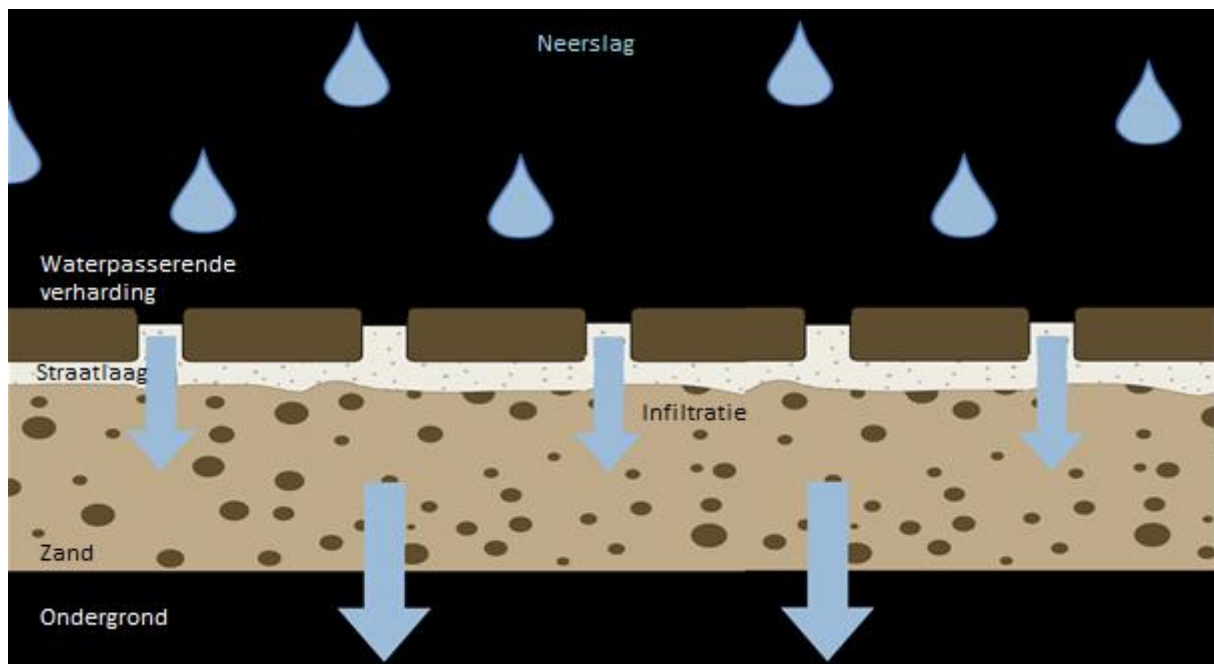
Een ander voordeel van waterpasserende verhardingen is het feit dat er minder relatief schoon regenwater naar de rioolwaterzuiveringsinstallaties wordt afgevoerd. De hydraulische belasting op de rioolwaterzuiveringsinstallaties wordt dus verlaagd. Daarnaast heeft het afvoeren naar de bodem tot gevolg dat er minder riooloverstorten plaats vinden. Zo wordt er minder verontreinigd water uit het riool op het oppervlaktewatersysteem geloosd.

Naast de verduurzaming van de waterkringloop kunnen waterpasserende verhardingen positieve invloed uitoefenen op bijvoorbeeld de vergroening van de stad. Er is dan namelijk meer en schoon grondwater beschikbaar is voor irrigatie van het groen. Indirect heeft de aanleg van waterpasserende verhardingen invloed op de verbetering van de luchtkwaliteit en het tegengaan van hittestress in stedelijk gebied. De vergroening van de stad zorgt namelijk voor een afname van de hittestress en een verbetering van de luchtkwaliteit in de stad (Gemeente Rotterdam, 2013b).

Het toepassen van waterdoorlatende verhardingen is een duurzame maatregel die kan worden toegepast in een beperkte openbare ruimte. Voor een stad als Rotterdam is dit een gunstige maatregel, omdat de ruimte voor andere maatregelen zoals wadi's of extra oppervlaktewater hier beperkt is.

3.2 De principewerking van waterpasserende verhardingen

Waterpasserende verhardingen hebben meerdere functies. De belangrijkste functie van waterpasserende verhardingen is het verharden van het aardoppervlak, zodat verkeer en voetgangers zich hier over kunnen verplaatsen. Een nevenfunctie van de verhardingen is het afvoeren van hemelwater via de bodem naar het grondwater. Dit gebeurt via de voegen van de verhardingen, waarin kleine uitsparingen zitten. Deze kleine uitsparingen worden gevuld met split, steenslag of (draineer)zand. Via deze uitsparingen kan het water snel naar de onderliggende fundering en bodem worden afgevoerd, zoals weergegeven in Figuur 3. Het is hierbij mogelijk om het water tijdelijk in de fundering te bergen en vertraagd te infiltreren of af te voeren (Ras & Rook, 2016).



Figuur 3: Schematisatie van de werking van waterpasserende verhardingen

Indien het waterpasserende verhardingen met een groot percentage aan openingen zijn, kunnen ze worden gevuld met grind, houtspaanders of schelpen (Atelier Groenblauw, 2016). Ook kunnen er tegels worden aangelegd waarin gras kan groeien. Deze varianten zijn echter meestal ongeschikt voor intensief gebruik en worden vaak gebruikt voor voetpaden, speelplaatsen, brandweewegen etc. (Atelier Groenblauw, 2016). Een nadeel van waterpasserende verhardingen, is dat de constructie waar de stenen in worden gelegd, verzwakt wordt door de toepassing van de uitsparingen voor de voegen. Deze uitsparingen zorgen ervoor dat de stenen minder aansluiting op elkaar hebben, waardoor er meer spanning in de constructie kan optreden. Dit kan leiden tot snellere slijtage of schade aan de constructieverharding.

Waterpasserende verhardingen en waterdoorlatende verhardingen

Om water te transporteren zijn twee soorten verhardingen beschikbaar: waterpasserende verhardingen en waterdoorlatende verhardingen. Het onderscheid tussen waterpasserende verhardingen en waterdoorlatende verhardingen is de manier waarop het water wordt doorgevoerd naar de ondergrond. Waterpasserende verhardingen voeren het water af via speciale brede voegen. Waterdoorlatende verhardingen voeren het hemelwater af via het waterdoorlatende materiaal waaruit de verharding is opgebouwd. Beide varianten hebben dezelfde functie en kunnen in een willekeurige situatie worden toegepast.

Bij waterpasserende verhardingen zijn in principe geen kolken nodig, omdat het hemelwater niet meer via de kolken wordt afgevoerd maar via de bodem. Dit heeft twee voordelen: de weg is beter herkenbaar als waterpasserende verharding en er hoeven geen kolken worden aangesloten op de drainagebuizen of het DT-riool. Water dat via kolken wordt getransporteerd bevat namelijk slib, wat kan leiden tot verstopping van de drainagebuizen of het DT-riool. In de praktijk worden echter ook vaak een aantal kolken bij waterpasserende verhardingen geplaatst (Groot, 2016). Dit wordt gedaan als overloopvoorziening bij disfunctioneren van de waterpasserende verharding.

Naast het ontbreken van kolken is de verkanting van het wegdek bij waterpasserende verhardingen niet nodig (Laan, 2016). Bij reguliere verhardingen ligt de weg onder een lichte helling, zodat het water kan afstromen naar de kolken. Bij waterpasserende verhardingen wordt het water per definitie niet via kolken afgevoerd, en is deze verkanting overbodig. Daarnaast kan een verkanting van het wegdek ervoor zorgen dat het water, inclusief het straatvuil, naar het laagste punt wordt afgevoerd. Dit kan leiden tot snelle verstopping van de voegen op de laagst gelegen delen van de weg.

Waterpasserende verhardingen zijn beschikbaar in verschillende soorten en maten, zoals weergegeven in Figuur 4, 5 en 6. Vaak worden ze aangeboden in combinatie met complete ondergrondse pakketten. Deze ondergrondse pakketten bestaan uit waterpasserende verhardingen in combinatie met een of meerdere funderingslagen bestaande uit steenslag, split, betongranulaat of fijn lavasteen. Aan deze ondergrondse pakketten speciale filterdoeken worden toegevoegd, welke het infiltrerende water filteren en zo fijne stoffen, oliën en metalen uit het water filteren. Sommige producenten bieden daarnaast ook speciale ondergrondse drainagesystemen en drainagekolken aan.

In Bijlage 3 van dit rapport is een globaal overzicht van op de markt beschikbare waterpasserende verhardingen, bijbehorende ondergrondse pakketten en leverende leveranciers weergegeven.



Figuur 4, 5 & 6: Voorbeelden van waterpasserende verhardingen (Bron: artstone.be; klostermann-beton.nl & bleijko.be)

3.3 Praktijkervaringen met waterpasserende verhardingen

Waterpasserende verhardingen worden sinds een aantal decennia in Nederland toegepast. De ervaringen met waterpasserende verhardingen verschillen per situatie en per gemeente. Hieronder is globaal beschreven wat de praktijkervaringen in het algemeen zijn (Nederland en de Verenigde Staten) en wat de praktijkervaringen in Rotterdam zijn. Enkele van de meest recente en grootst opgezette onderzoeken naar praktijkervaringen zijn uitgelicht. Onder de onderzoeken is toegelicht of er nog aspecten uit de onderzoeken gebruikt zijn voor het onderzoek voor de gemeente Rotterdam en het bedrijf Rainaway.

3.3.1 Opgedane praktijkervaringen in het algemeen

Waterpasserende verhardingen worden ongeveer sinds het jaar 2000 in Nederland toegepast (Ras & Rook, 2016). De ervaringen met waterpasserende verhardingen zijn zowel positief als negatief. Indien een waterpasserende verharding naar ontwerp functioneert, zorgt ze voor een rustig straatbeeld zonder plasvorming. Indien een waterpasserende verharding niet naar ontwerp functioneert, of kapot en/of vervuild is, leidt dit vaak tot wateroverlast of schade aan de weg. De afgelopen jaren zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd naar de werking van waterpasserende verhardingen, waarvan de meest toonaangevende en recente onderzoeken hieronder zijn beschreven.

Een groep onderzoekers onder leiding van Dhr. F.C. Boogaard, verbonden aan de TU Delft, TAUW en onderzoekscentrum Noorder Ruimte, heeft in 2012 en 2013 acht verschillende waterpasserende verhardingen door heel Nederland getest op infiltratiecapaciteit (Boogaard, Lucke, Giesen, & Ven, 2014). De onderzochte waterpasserende verhardingen zijn op alle locaties in 2005 of 2006 aangelegd en zijn allen voor meer dan 7 jaar in gebruik als 30 km wegen. Bij geen van de locaties is speciaal onderhoud uitgevoerd aan de wegen. De infiltratiecapaciteit is gemeten met behulp van de nieuw ontwikkelde ‘full scale infiltration test method’ (Boogaard et al., 2014). Bij deze testmethode zijn de wegvakken afgezet met een waterkerende afscheiding zoals bijvoorbeeld zandzakken. Daarna zijn de wegvakken onder water gezet met water uit een tankwagen of bijvoorbeeld een nabijgelegen kanaal. Vervolgens zijn met handberekeningen en met dataloggers de infiltratiecapaciteit in de tijd gemeten. De infiltratiecapaciteit van de acht waterpasserende verhardingen varieerde van 29 tot 342 mm/uur. Oorzaken voor deze verschillen zijn toe te schrijven aan de verschillen in ondergrond, aanlegwijze en gebruik van de geteste verhardingen. De resultaten van de acht verschillende testlocaties waren positief, en er was voor geen van de geteste waterpasserende verhardingen direct dringend onderhoud nodig (Boogaard et al., 2014).

Relevantie voor dit onderzoek:

Het onderzoek onder leiding van Dhr. F.C. Boogaard is een vergelijkbaar onderzoek. Bij het onderzoek zijn eveneens testen gedaan op wegen waar geen speciaal onderhoud is gepleegd en waar maximaal 30 km/u mag worden gereden. Ook is bij het onderzoek gebruik gemaakt van dataloggers en druksensoren. De ‘full scale infiltration method’ is vergelijkbaar met de testen die met de Rotterdam Infiltrometer zijn uitgevoerd, hoewel de testen met de Rotterdam Infiltrometer op veel kleinere schaal zijn uitgevoerd. Bij het genoemde onderzoek zijn niet dezelfde waterpasserende verhardingen als bij dit onderzoek getest.

In de Verenigde Staten is ook een onderzoek uitgevoerd naar de infiltratie prestaties van verschillende waterpasserende verhardingen. Voor dit onderzoek is gedurende 4 jaar de infiltratiecapaciteit van drie verschillende waterdoorlatende verhardingen geanalyseerd (Kumar, et al., 2016). Het onderzoek is uitgevoerd op een parkeerterrein met drie typen waterdoorlatende/waterpasserende verhardingen: waterpasserende klinkers, waterdoorlatend asfalt en waterdoorlatend beton (let op, het betreft hier dus zowel waterdoorlatende als waterpasserende verhardingen). Het onderzoek is tegelijk gestart met de ingebruikname van de verhardingen in het voorjaar van 2009. Uit dit onderzoek blijkt dat de infiltratiecapaciteit van die geteste verhardingen na 4 jaar testen aanzienlijk is afgenomen (Kumar, et al., 2016). Ook blijkt dat de infiltratiecapaciteit van de waterpasserende verharding in de loop der tijd sneller afneemt, dan de infiltratiecapaciteit van het waterdoorlatende beton en asfalt. De afname in infiltratiecapaciteit is toe te schrijven aan de dichtslibbing van de waterpasserende verhardingen met vuil van banden, oliën, atmosferische stoffen, afspoelend vuil van woningen etc. (Kumar, et al., 2016).

Relevantie voor dit onderzoek:

Het onderzoek heeft bevestigd dat de afname van de infiltratiecapaciteit wordt veroorzaakt door de dichtslibbing van de waterpasserende verhardingen met vuil, stof etc. De bijbehorende rapportage werkt duidelijk uit welke oorzaken er voor de dichtslibbing kunnen zijn. De gebruikte methodiek voor het genoemde onderzoek is niet vergelijkbaar met de methodiek die bij dit onderzoek wordt gebruikt. Ook zijn bij het genoemde onderzoek niet dezelfde waterpasserende verhardingen als bij dit onderzoek getest.

In Amsterdam zijn recentelijk proeven gedaan door waterbedrijf Waternet met een speciale strook waterdoorlatende verharding, welke het water naar de bodem infiltreert, de zogenaamde 'Granudrain' (Tijms, 2016). Deze is halverwege 2015 aangelegd in de Argonautenstraat in Amsterdam-Zuid. Op 10 maart 2016 zijn praktijkproeven uitgevoerd om de infiltratiecapaciteit van deze infiltratiestrook te monitoren. Door middel van een debietregelaar is een bui type 8³ over deze straat gesimuleerd. Uiteindelijk bleek dat de straat dermate vervuild was, dat de infiltratiecapaciteit van de infiltrerende strook niet meer toereikend was om de bui te bergen, en bleef er tijdelijk water op straat staan. De oorzaken van de vervuiling waren toe te schrijven aan gemaakte fouten tijdens de aanleg (te laat verwijderen van een plastic beschermingszeil), instroom van vuil uit de omliggende boomvakken en de lage ligging van de infiltratiestrook in de straat, waardoor al het straatvuil zich concentreerde in de infiltratiestrook (Tijms, 2016).

Relevantie voor dit onderzoek:

Het onderzoek bevestigd dat de afname van de infiltratiecapaciteit wordt veroorzaakt door de dichtslibbing van de waterpasserende verhardingen met straatvuil. Daarnaast laat het onderzoek zien dat ook fouten bij de aanleg een belangrijke rol spelen bij de afgenomen infiltratiecapaciteit. De gebruikte methodiek voor het genoemde onderzoek is nauwelijks vergelijkbaar met de methodiek die bij dit onderzoek wordt gebruikt. Ook zijn bij het genoemde onderzoek niet dezelfde waterpasserende verhardingen als bij dit onderzoek getest.

³ Bui 8 is een bui die is opgenomen in de Leidraad riolering. Deze bui, met een neerslaghoeveelheid van 19,8 mm/uur, heeft een herhalingstijd van 2 jaar en wordt gebruikt voor hydrologische berekeningen om "water op straat" situaties zoveel mogelijk te voorkomen.

3.3.2 Opgedane praktijkervaringen binnen Rotterdam

Rotterdam is een gemeente met relatief weinig praktijkervaringen wat betreft waterpasserende verhardingen. Dit komt omdat de gemeente pas sinds enkele jaren actief met waterpasserende verhardingen aan het werk is. In 2003 werd de eerste waterpasserende verharding in Nesselande aangelegd (Gemeente Rotterdam, 2016). De ervaringen met deze waterpasserende verhardingen waren destijds niet overwegend positief. De verklaring hiervoor ligt in het feit dat direct na de aanleg van de verharding, er aangrenzend tuintjes zijn aangelegd. Zand en grond zorgde ervoor dat de voegen snel dicht kwamen te zitten. Ook was de weg aangelegd met een traditionele verkanting, waardoor het vuil met het water naar de randen van de weg spoelde en er zo verstopping optrad. Dit waren de eerste ervaringen met waterpasserende verhardingen en tijdens latere projecten zijn deze ervaringen meegenomen.

In Rotterdam is sinds 2013 een monitoringsprogramma gestart van een waterpasserende verharding in de straat Schoonegge (Linden, 2016). Dit betreft de Schoonegge, met zeven omliggende straten, waar waterpasserende verharding is toegepast. Om inzicht te verkrijgen in het effect van waterpasserende verharding zijn vier peilbuizen geplaatst, waarin dataloggers de waterstanden in de ondergrond hebben gemeten. Daarnaast was er een programma van vijf praktijktesten opgezet. Tijdens deze testen is een extreme bui nagebootst met een spuitwagen, en is gemonitord of het water voldoende naar de bodem werd afgevoerd.

De algemene conclusies van het monitoringsprogramma bij Schoonegge zijn als volgt:

- De doorlatendheid van de toplaag lijkt meer bepalend dan de doorlatendheid van de fundering. Het dichtslibben van de toplaag beïnvloedt dus het meest de waterpasserende functie van de waterpasserende verhardingen.
- Bij een waterpasserende verharding infiltreert, ook onder vergelijkbaar bollingspercentage van de weg, meer regenwater naar de ondergrond dan bij reguliere elementen verharding.
- Hoe flauwer de verkanting van de weg, hoe beter de infiltratie naar de ondergrond.
- Infiltrerend regenwater zakt snel naar het grondwater en heeft geen structurele grondwaterstijging tot gevolg.
- Het belangrijkste schadebeeld bij waterpasserende verhardingen is spoorvorming. Dit komt overeen met traditionele verhardingen en komt doordat het voornamelijk smalle straten zijn waarbij aan een of twee kanten wordt geparkeerd, zodat er onvoldoende ruimte is om 'versporend' te rijden.
- Infiltratie van regenwater leidt niet tot grotere risico's of extra overlast (Linden, 2016).

Relevantie voor dit onderzoek:

Het monitoringsprogramma bevestigt dat de afname van de infiltratiecapaciteit voornamelijk wordt veroorzaakt door de dichtslibbing van de toplaag van de waterpasserende verhardingen. Daarnaast laat het onderzoek zien dat ook andere factoren zoals spoorvorming en de verkanting van het wegdek, invloed uitoefenen op de infiltratiecapaciteit van de verhardingen. De gebruikte methode voor het genoemde onderzoek is niet vergelijkbaar met de methode die bij dit onderzoek wordt gebruikt. Bij het genoemde onderzoek zijn wel dezelfde waterpasserende verhardingen als bij dit onderzoek getest (de waterpasserende betonstraatsteen 'Rotterdam').

Naast de monitoring van Schoonegge heeft de stad Rotterdam een speciaal programma opgezet, genaamd Lab op Straat in M4H (ICOR, 2015). Lab op Straat in M4H bestaat uit een teststraat waar verschillende testen kunnen worden gedaan met betrekking op de openbare ruimte. In deze teststraat zijn een aantal straatvakken ingericht waar waterpasserende verhardingen zijn toegepast. De monitoring van deze waterpasserende verhardingen loopt nog en er is nog geen informatie van dit onderzoek beschikbaar.

3.4 Het dichtslibben van waterpasserende verhardingen

De belangrijkste voorwaarde voor het functioneren van waterpasserende verhardingen is het voorkomen van vervuiling en dichtslibbing van het systeem. In deze situatie geldt: “De zwakste schakel in het systeem is bepalend voor de werking van het gehele systeem”, aldus meneer van Laan, stadsbeheerder-wegen van de gemeente Rotterdam (Laan, 2016). De vervuiling en dichtslibbing beperken de mogelijkheden voor infiltratie, waarmee het hoofddoel van de waterpasserende verhardingen wordt tenietgedaan. Elk jaar valt er gemiddeld zo’n 33 gram vuil per m² straat (Pratt & Adams, 1981). Dit komt redelijk overeen met de metingen naar de gehalten zwevende stof die in Nederland in regenwater worden gevonden, namelijk gemiddeld zo’n 50 mg/l (Boogaard & Lemmen, 2007). Deze waarde kan echter per locatie en situatie sterk verschillen. Bij een gemiddelde jaarneerslag van 800 mm komt het totale gehalte zwevende stof in regenwater overeen met 40 gram/m² straat (Boerma & Boogaard, 2012).

De oorzaken voor het dichtslibben van waterpasserende verhardingen zijn onder te verdelen in oorzaken van natuurlijke invloeden en oorzaken veroorzaakt door menselijke invloeden. In de volgende sub paragrafen zijn beide categorieën verder uitgewerkt.

3.4.1 Dichtslibbing veroorzaakt door natuurlijke invloeden

Oorzaken voor de vervuiling en dichtslibbing van waterpasserende verhardingen door natuurlijke invloeden, kunnen zijn:

- Dichtslibbing veroorzaakt door aanvoer van stoffen uit de atmosfeer, welke op de wegen neerslaan en in de voegen dringen (Kumar, et al., 2016);
- Verstopping veroorzaakt door de groei van onkruid in de voegen (zie Figuur 7) (Ernst, 2005);
- Dichtslibbing veroorzaakt door aanvoer van stofdeeltjes die door waterstromen van de omliggende verhardingen naar de voegen stromen en indringen (Kumar, et al., 2016);
- Verslechtering van het wegoppervlak veroorzaakt door het bevriezen en ontdooien van het wegoppervlak. Door het bevriezen en ontdooien van het wegoppervlak kunnen spanningen in de fundering ontstaan en kunnen stukken steen/split vergruizen en in de voegen dringen (Kumar, et al., 2016);
- Verstopping veroorzaakt door bladval van de bomen, welke de mogelijkheden tot infiltratie beperken (zie Figuur 8) (Ras & Rook, 2016);
- Dichtslibbing veroorzaakt door het inspoelen van tuinaarde, grond en groen afval, afkomstig uit aangrenzende groenstroken, tuinen of boomvakken (zie Figuur 9). Door dit inspoelen raakt ongeveer de eerste 50 cm aangrenzende verharding verstopt (Ras & Rook, 2016).



Onkruidgroei in voegen



Verstopping door bladval



Inspoelen van grond

Figuur 7, 8 & 9: Oorzaken van dichtslibbing door natuurlijke invloeden (Bron: bluegreenpuntbv.nl; krimpenaandenijssel.nl; wijkendordrecht.nl)

3.4.2 Dichtslibbing veroorzaakt door menselijke invloeden

Oorzaken voor de vervuiling en dichtslibbing van waterpasserende verhardingen door menselijke invloeden, kunnen zijn:

- Vervuiling door vuurwerkafval dat in de voegen dringt (zie Figuur 10) (Ernst, 2005);
- Dichtslibbing veroorzaakt door werkzaamheden van omwonende bewoners, zoals het tijdelijk storten van zand op straat voor werkzaamheden in huis of tuin (zie Figuur 11) (Ras & Rook, 2016);
- Dichtslibbing veroorzaakt door rubberen slijtagedeeltes van banden welke door rijvoertuigen op de wegen worden afgezet en in de voegen dringen (Kumar, et al., 2016);
- Dichtslibbing veroorzaakt door uitlaatgassen, oliën en stoffen van motorrijvoertuigen welke op de wegen worden afgezet en in de voegen dringen (zie Figuur 12) (Kumar, et al., 2016);
- Afschuifspanning veroorzaakt door belasting van het verkeer. Deze afschuifspanning zorgt voor verpulvering van het opvulsplint in de voegen en het dichtklinken van de holle ruimtes van de fundering en de voegen (Kumar, et al., 2016);
- Dichtslibbing veroorzaakt door tijdelijke werkzaamheden tijdens en na aanleg, zoals graafwerkzaamheden voor het aanleggen van kabels of leidingen (Ras & Rook, 2016) en/of de afzetting van klei afkomstig van wielen van het bouwverkeer (Ernst & Labordus, 2004) en/of het ontstaan van slibvorming bij tijdelijk opspuiten van een gebied (Laan, 2016);
- Dichtslibbing veroorzaakt door instroom van stof en modder, afkomstig van auto's welke op de waterpasserende verhardingen worden gewassen (Groot, 2016);
- Dichtslibbing veroorzaakt door bovengrondse afvoer van vervuild hemelwater, afkomstig van daken van omliggende gebouwen/woningen (Groot, 2016).



Vuurwerkafval op straat



Tijdelijk storten van zand



Vervuiling door olie lekkages

Figuur 10, 11 & 12: Oorzaken van dichtslibbing door menselijke invloeden (Bron: omroepzeeland.nl; gennepnu.nl; aquaflow.nl)

4. Beleidskader van dit onderzoek

Dit hoofdstuk gaat dieper in op het geldende beleid voor het toepassen van waterpasserende verhardingen in de stad Rotterdam.

4.1 Toepassing en gebruik van waterpasserende verhardingen in Rotterdam

De stad Rotterdam streeft naar het principe van een 'watersensitive city'. Het doel is een stad die bij neerslag en droogte optimaal blijft functioneren en leefbaar blijft voor haar inwoners. Het gescheiden inzamelen en verwerken van afvalwater en hemelwater is een van de beleidsdoelstellingen van de gemeente Rotterdam en van de samenwerkende waterschappen (Gemeente Rotterdam, 2015a). Het doel van deze beleidsmaatregel is het verlagen van de belasting op de afvalwaterzuiveringsinstallaties. Wanneer er meer hemelwater lokaal kan worden gescheiden en afgevoerd, neemt de belasting op de afvalwaterzuiveringsinstallaties af. Daarnaast komt het lokaal afvoeren van hemelwater ten goede van de droogtebestrijding en het opvangen van grote pieken bij extreme regenbuien. Het hemelwaterbeleid van de gemeente Rotterdam is vastgelegd in het Gemeentelijk Rioleringsplan planperiode 2016-2020 van de gemeente Rotterdam, en valt onder de zorgplicht hemelwater (Gemeente Rotterdam, 2015a).

Het scheiden van afvalwater en hemelwater kan op veel verschillende manier worden gedaan. De gemeente Rotterdam heeft hiervoor de 'hemelwatermatrix ontwikkeld' (Trouwborst, 2014). Deze matrix is een hulpmiddel om te bepalen welke hemelwatervoorziening in een bepaalde situatie het beste toepasbaar is. In deze hemelwatermatrix is de waterpasserende verharding ook opgenomen. Afhankelijk van de locatie, functie en ondergrond kan bepaald worden of een waterpasserende verharding toepasbaar is. Met deze waterpasserende verharding kan het rioolsysteem tijdens extreme regenbuien ontlast worden, omdat een groot deel van het hemelwater plaatselijk naar de bodem kan worden afgevoerd (Trouwborst, 2014). Daarnaast is voor de gehele stad Rotterdam een 'Waterpasserende Kansenskaart' opgesteld. Deze kansenskaart geeft op basis van een dataverzameling van grondwaterstanden weer, of waterpasserende verhardingen toepasbaar zijn op een specifieke locatie (Koudstaal, 2016). Als zowel de hemelwatermatrix als de waterpasserende kansenskaart een groen sein geven, kan met afwegingscriteria en maatwerk een concept voorstel worden gedaan om wel of geen waterpasserende verhardingen toe te passen (Trouwborst, 2014).

In Rotterdam worden waterpasserende verhardingen sinds twee jaar actief toegepast (Gemeente Rotterdam, 2016). De verklaring hiervoor is de voor Rotterdam kenmerkende ondergrond, die bestaat uit voornamelijk veen en klei, en de geohydrologische omstandigheden, zoals zettingsverschillen en veelal een geringe ontwateringsdiepte. De ambities van de stad in het kader van duurzaamheid en klimaatadaptatie hebben ervoor gezorgd dat ook de stad Rotterdam nu grootschalig waterpasserende verhardingen wil gaan toepassen. Met directe infiltratie naar de ondergrond kan wel 90% van het hemelwater worden vastgehouden en lokaal worden afgevoerd (Koudstaal, 2016). Dit komt omdat het grootste deel van de neerslag in geringe hoeveelheden valt. De gemeente Rotterdam beheert en onderhoudt in totaal circa 25 km² aan wegen (Laan, 2016). De verhardingen in Rotterdam bestaat uit grofweg 25% uit asfaltverharding en uit 75% uit elementenverhardingen. De wegen kunnen weer onderverdeeld worden in 340 ha aan hoofd- en verzamelwegen, 150 ha aan fietspaden en 2100 ha aan overige wegen. Binnen de gemeente Rotterdam wordt gewerkt met de 'Toolkit Rotterdamse Stijl' (Gemeente Rotterdam, 2015b). In dit

document is opgenomen waar in Rotterdam met welke verharding wordt gewerkt. Als standaard bestrating heeft de gemeente Rotterdam twee soorten, namelijk de betonstraatsteen en de straatbaksteen (Laan, 2016). In 2013 is de waterpasserende betonstraatsteen opgenomen in de Toolkit Rotterdamse Stijl (Trouwborst, 2014). Op dit moment is er dus maar een type waterpasserende verharding beschikbaar binnen de gemeente Rotterdam (zie Figuur 13 en 14).



Figuur 13 & 14: Waterpasserende betonstraatsteen 'Rotterdam' (Bron: M.P.V. Laan; J. Advokaat)

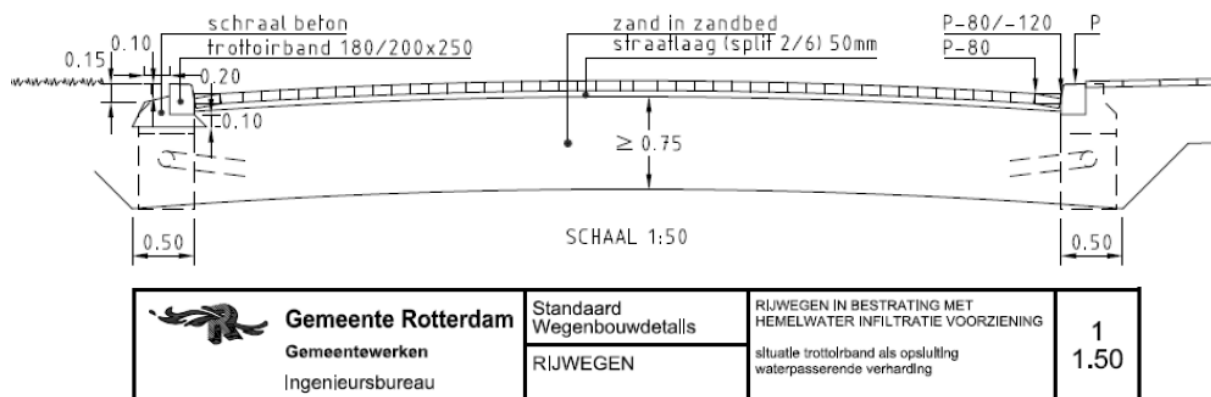
Waterpasserende verhardingen kunnen in principe worden toegepast in alle ongefundeerde wegen, tenzij er grote risico's aan een specifieke locatie gebonden zijn. De waterpasserende betonstraatsteen mag alleen worden toegepast in de gebieden 'Tuinsteden' en 'Wijken na 1970' (Trouwborst, 2014). Dit is gebaseerd op de Toolkit Rotterdamse Stijl. In de andere gebieden van de stad Rotterdam is de waterpasserende betonstraatsteen niet standaard toepasbaar en moet er toestemming worden gevraagd bij de interne Advies Commissie Openbare Ruimte van de gemeente Rotterdam (Trouwborst, 2014). In totaal ligt er 49.070 m² aan waterpasserende verhardingen in Rotterdam, variërend met een leeftijd tussen 1 en 13 jaar (Gemeente Rotterdam, 2016). Rotterdamse locaties waar waterpasserende verhardingen zijn toegepast, zijn onder andere: Charlois, Delfshaven, IJsselmonde, Prins- Alexander, Hillegersberg/Schiebroek & Hoek van Holland.

4.2 Opbouw en constructie van waterpasserende verhardingen in Rotterdam

Voor de opbouw van verhardingen is een ander beleidsdocument opgesteld door de gemeente Rotterdam. De opbouw van de verhardingen en de funderingen is opgenomen in het Handboek Standaard Wegenbouwdetails (Gemeente Rotterdam, 2011). De opbouw van een ongefundeerde waterpasserende weg in Rotterdam is als volgt: 0,08m waterpasserende betonstraatsteen, 0,05m straatlaag bestaande uit steenslag 2/6 en ca. 0,75m zand in zandbed met een k-waarde van 2m/dag, zoals weergegeven in Figuur 15 (Trouwborst, 2014). Onder deze standaardconstructie bevindt zich de bestaande ondergrond.

Afwijking van de standaardconstructie

De standaard constructie die staat beschreven in het Handboek Standaard Wegenbouwdetails is een leidraad voor de toepassing van waterpasserende verhardingen in Rotterdam. Echter betekent dit niet dat overal dezelfde constructie is toegepast. Zo zijn er verschillende locaties in Rotterdam waar andere constructieonderdelen of afwijkende afmetingen zijn toegepast. Te allen tijde wordt gestreefd naar de beste uitvoeringsspecificaties per locatie.



Figuur 15: De standaardopbouw van de constructie van waterpasserende verharding in Rotterdam (Bron: Gemeente Rotterdam, 2011)

Het afvoeren van het regenwater dat via de voegen van de waterpasserende verharding wordt aangevoerd, kan op twee manieren. Allereerst kan het regenwater worden toegevoegd aan het grondwater. Via het grondwater kan het worden afgevoerd via verticale stroming naar het eerste watervoerende grondpakket, of via horizontale stroming naar nabijgelegen watergangen. Ten tweede kan het regenwater worden afgevoerd via een drainagebuis of DT-riool in het wegcunet, welke het water transporteren naar een nabijgelegen watergang of hemelwaterriool (Trouwborst, 2014). Er is bewust gekozen voor een eenvoudige constructie zonder al te veel verschillende materialen en scheidende lagen, zoals bijvoorbeeld een infiltratiedoek. Dit is gedaan om zo complexe problemen bij graafwerkzaamheden na aanleg te beperken (Laan, 2016). Gestreefd wordt naar een minimaal verhang en zo weinig mogelijk kolken. Kolken worden aangelegd als noodvoorziening (Koudstaal, 2016).

4.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden voor het toepassen van waterpasserende verhardingen in Rotterdam

Bij het ontwerpen en toepassen van een waterpasserende verharding worden een aantal uitgangspunten gehanteerd. De gemeente Rotterdam hanteert bij de aanleg een afstromend oppervlak bestaande uit: de weg, de aangrenzende parkeervakken en de aangrenzende trottoirs. Waterpasserende verhardingen worden alleen voor de wegen en de aangrenzende parkeervakken gebruikt. Voor de verhouding van het waterpasserende oppervlak en het totale water afvoerende oppervlak wordt 1 : 1,3 aangehouden (Trouwborst, 2014).

Waterpasserende verhardingen worden aangelegd met als minimale afvoercapaciteit een regenbui type 08 uit de leidraad riolering (Stichting RIONED, 2004). Deze bui heeft een neerslagintensiteit van 19,8 mm/uur. De gemeente Rotterdam heeft hier, vanwege de voorspelde klimaatveranderingen, een toeslag van 3,2 mm/uur op gedaan. Bij een verhouding waterpasserend oppervlak en totaal afvoeren oppervlak van 1 : 1,3 moet er dus een neerslaghoeveelheid van een bui met een neerslagintensiteit van 30 mm/uur $((19,8 + 3,2) * 1,3 = 30)$ via het waterpasserende oppervlak worden afgevoerd. Omdat bij een regenbui sprake kan zijn van instroomverlies, hangwater etc., wordt door de gemeente Rotterdam aangenomen dat 15% van het regenwater onderweg achterblijft of wordt afgevoerd. Voor de bergings- en afvoercapaciteit van het waterpasserend oppervlak is daarom gerekend met een neerslagintensiteit van 25,5 mm/uur $(30 * 0,85 = 25,5)$ (Trouwborst, 2014).

Aan de waterpasserende verhardingen worden verder nog enkele randvoorwaarden gesteld. Deze randvoorwaarden zijn opgesteld om disfunctioneren of snelle achteruitgang in levensduur te voorkomen. Hieronder zijn de gestelde uitgangspunten puntsgewijs benoemd:

- De kleinste ontwateringsdiepte moet zich bij een waterpasserende verharding minimaal 0,75 meter onder het maaiveld bevinden.
- De gemiddelde ontwateringsdiepte moet zich bij een waterpasserende verharding minimaal 0,90 meter onder het maaiveld bevinden.
- De eerste 0,45 meter van het wegcunet, gezien vanaf het maaiveld van de constructie, mag niet verzadigd raken met water. Dit is om de stabiliteit van de wegconstructie te waarborgen.
- In de vorstperiode moet rekening gehouden worden met een vorstindringing van minimaal 0,60 meter. Dit is om te voorkomen dat de wegconstructie beschadigd kan raken door bevriezing in de vorstperiode. Daarnaast kan een ijslaag in de bodem ontstaan waardoor dooiwater en nieuwe neerslag niet naar de bodem kunnen worden afgevoerd.
- Voor het volledig kunnen bergen van de ontwerpbui van 25,5 mm/uur in het wegcunet, is een bergingshoogte van 0,13 meter nodig (geldend bij zand met een minimale doorlatendheid van 2 m/dag en een effectieve porositeit van 0,2 bij 100% verdicht zand in zandbed).
- De doorlatendheid van het grondpakket wat onder de constructie van de waterpasserende verharding ligt, moet minimaal 0,6 m/dag zijn. Indien deze lager is moet te allen tijde een drainage worden aangelegd om wateroverlast te voorkomen (Trouwborst, 2014).

4.4 Beheer en onderhoud van waterpasserende verhardingen in Rotterdam

Binnen de gemeente Rotterdam wordt op waterpasserende verhardingen periodiek onderhoud uitgevoerd. Dit periodieke onderhoud bestaat uit 2 tot 6 keer per jaar vegen van de verhardingen (Schot, 2015). Naast dit reguliere periodieke onderhoud wordt eenmaal per circa 5 jaar extra onderhoud uitgevoerd met een ZOAB-reiniger (Laan, 2016). Tijdens dit onderhoud worden de voegen leeggezogen en gereinigd, waarna nieuw steenslag wordt ingeveegd.

Naast het periodieke en extra onderhoud wordt eens in de 15 jaar projectmatig onderhoud uitgevoerd. Dit onderhoud bestaat uit het herstraten van de gehele straat (Schot, 2015).

Er wordt naar gestreefd om de aanwezige drainagebuizen of het DT-riool jaarlijks door te spuiten. Daarnaast wordt er naar gestreefd om na extreme regenbuien, bijvoorbeeld een ontwerpbui van 25,5 mm/uur, de aanwezige drainagebuizen of het DT riool extra door te spuiten (Trouwborst, 2014).

Een belangrijk aanvullend aspect binnen het beheer en onderhoud van waterpasserende verhardingen in Rotterdam, is dat er op waterpasserende wegen nooit mag worden gestrooid met zout (Trouwborst, 2014).

Huidige ontwikkelingen met waterpasserende verhardingen in Rotterdam

De afgelopen jaren is de toepassing van waterpasserende verhardingen steeds hoger op de agenda van de gemeente Rotterdam komen te staan. Momenteel wordt er geïnventariseerd hoe waterpasserende verhardingen grootschalig toegepast en gemonitord kunnen worden. Daarnaast is er onderzoek gestart naar de uitbreiding van het assortiment waterpasserende verhardingen met een gebakken klinker.

5. Praktijk- en laboratoriumonderzoek naar het functioneren van waterpasserende verhardingen

Dit hoofdstuk beschrijft het uitgevoerde onderzoek naar de werking van waterpasserende verhardingen in de praktijk- en laboratoriumsituatie.

5.1 Praktijkonderzoek met de dubbele ring infiltrometer

Tijdens het onderzoek naar de infiltratiecapaciteit van waterpasserende verhardingen zijn vijf praktijktesten met een dubbele ring infiltrometer uitgevoerd. Deze testen zijn uitgevoerd op twee straten in Rotterdam waar enkele jaren geleden waterpasserende verhardingen zijn aangelegd. Deze paragraaf beschrijft hoe dit onderzoek is opgezet en hoe de metingen zijn uitgevoerd. In paragraaf 5.3 zijn de uitkomsten van het onderzoek uitgewerkt.

5.1.1 Vergelijkbaar elders uitgevoerd onderzoek

Er is in Nederland al enkele malen eerder praktijkonderzoek naar de infiltratiecapaciteit van waterpasserende verhardingen uitgevoerd. Het grootste deel van deze onderzoeken is uitgevoerd door onderzoekers van het advies- en ingenieursbureau Tauw. Er zijn een aantal verschillende methoden waarmee praktijkonderzoek naar de infiltratiecapaciteit van waterpasserende verhardingen kan worden uitgevoerd. De volgende methoden zijn toegepast in Nederland:

Praktijktesten met een enkele ring infiltrometer

De enkele ring infiltrometer (*Engels: Single ring infiltrometer*) is een meetinstrument waarmee de infiltratiecapaciteit van een ondergrond kan worden gemeten met behulp van een metalen of kunststof ring (zie Figuur 16). De ring wordt op de verhardingen geplaatst en de naden en voegen worden afgedicht met een waterdichte substantie. Daarna wordt de ring gevuld met water en wordt gemeten hoe lang het water er over doet om in de grond te infiltreren. Een nadeel van deze methode is dat het infiltrerende water ook zijdelings kan wegzijgen, waardoor kans is op onbetrouwbare metingen. Daarnaast wordt bij deze methode de infiltratiecapaciteit van een relatief klein oppervlak gemeten, zodat de betrouwbaarheid van de metingen afneemt. De enkele ring infiltrometer wordt ook wel het 'Becker toestel' genoemd, vernoemd naar de bedenker van dit meettoestel.

Praktijktesten met een enkele ring infiltrometer worden vaak gebruikt voor het meten van de doorlatendheid van ZOAB beton (Berg, 2014). In Rotterdam is de enkele ring infiltrometer gebruikt voor testen voor het project Lab op straat in M4H (ICOR, 2015). Daarnaast is het toestel meerdere malen wereldwijd toegepast voor infiltratiemetingen van waterpasserende bestratingen in bijvoorbeeld Australië en Nederland (Lucke, Beecham, Boogaard, & Myers, 2013)

Praktijktesten met een dubbele ring infiltrometer

De dubbele ring infiltrometer (*Engels: Double ring infiltrometer*) werkt met hetzelfde principe als de enkele ring infiltrometer. Het verschil is dat er nu twee ringen op de verharding worden geplaatst. Deze ringen worden beide op hetzelfde niveau gevuld met water (zie Figuur 17). Vervolgens wordt gemeten hoe lang het water er over doet om in de grond te infiltreren. De meting hoe lang het water er over doet om in de grond te infiltreren, wordt enkel uitgevoerd voor de middelste ring. Door twee ringen toe te passen neemt de kans op het zijdelings wegzijgen van infiltrerend water af, waardoor deze methode betrouwbaarder is dan de enkele ring infiltrometer. Voor deze ring geldt wel dat ook

hier de infiltratiecapaciteit van een relatief klein oppervlak wordt gemeten en dat daarom de betrouwbaarheid van de metingen afneemt. De dubbele ring infiltrometer is ook als een vierkante variant gebruikt voor infiltratietesten (Beecham, Pezzaniti, Myers, Shackel, & Pearson, 2009).

De dubbele ring infiltrometer is de meest gangbare testmethode voor het testen van de infiltratiecapaciteit van waterpasserende verhardingen. Doordat deze methode weinig kosten met zich mee brengt, wordt deze methode wereldwijd toegepast en kunnen de internationale resultaten met elkaar vergeleken worden. Onderzoekers van de TU Delft hebben op verschillende locaties in Nederland metingen uitgevoerd met de dubbele ring infiltrometer (Boogaard, Blanksby, Ven, & Jefferies, 2011). Buitenlandse ervaringen zijn bijvoorbeeld de testen met de dubbele ring infiltrometer in de periode van 1998 tot 2001 door onderzoekers in Australië (Beecham et al., 2009). Beide onderzoeken laten onderling vergelijkbare testresultaten zien met een infiltratiecapaciteit variërend tussen 27 en 10.000 mm/uur.

Praktijktesten met de grote schaal infiltratie test methode

De grote schaal infiltratie test methode (*Engels: Full-scale infiltration testing method*) werkt op veel grotere schaal dan de enkele- en dubbele ring infiltrometers. Bij deze methode wordt een straatdeel afgezet met een waterkerende opstelling van zandzakken of verkeersdrempels (zie Figuur 18). Daarna wordt het ingesloten straatdeel onder water gezet of wordt er een bui gesimuleerd met een pomp met debietmeter. Vervolgens wordt gemeten hoelang het water er over doet om naar de bodem te infiltreren. Op deze manier wordt de doorlatendheid van de verharding gemeten. Deze testmethode is erg betrouwbaar omdat er een groot oppervlak wordt gebruikt voor de metingen. Daar staat tegenover dat het wel een dure en tijdrovende methode is.

De grote schaal infiltratie test methode is in Nederland een aantal keren toegepast op verschillende locaties. Voorbeelden zijn het onderzoek van Tauw (Boogaard et al., 2014) en het onderzoek van Waternet (Tijms, 2016), welke in paragraaf 3.3.1 reeds kort zijn toegelicht.



Figuur 16, 17 & 18: Voorbeelden van methodes voor infiltratiecapaciteit metingen (Bron: J. Advokaat ; mdpi.com; mdpi.com)

Naast de drie bovengenoemde methodes is er nog een methode voor praktijkonderzoek beschikbaar. Deze methode is echter, zover bekend, niet in Nederland toegepast:

Praktijktesten met een regensimulatie testbank

De testen met een regensimulatie testbank (*Engels: Test Rig for Rain Simulation Testing*) worden uitgevoerd met een speciale opstelling waarmee een regensimulatie kan worden nagebootst (zie Figuur 19). Deze regensimulatie laat een regenbui met een bepaalde intensiteit op een bepaald wegooppervlak vallen. Een stalen ring bepaalt het oppervlak waar de regenbui op wordt gesimuleerd. Binnen de stalen ring kan het water een maximale hoogte van 3mm bereiken, zodat de invloed die de waterdruk op de infiltratiecapaciteit heeft, wordt beperkt. Nadelen van deze testmethode zijn de kosten, de complexiteit en de benodigde materialen en voorzieningen (Dierkes, Kuhlmann, Kandasamy, & Angelis, 2002).

De regensimulatie testbank is in 2002 en 2005 door onderzoekers toegepast bij verschillende onderzoeken in Duitsland (Dierkes et al., 2002) & (Dierkes, Lohmann, Becker, & Raasch, 2005).



Figuur 19: Praktijktest met de regensimulatie testbank (Bron: Dierkes et al., 2002)

Praktijktesten door middel van een buisimulatie met een spuitwagen

Bij deze testmethode wordt een extreme regenbui nagebootst door water op een waterpasserende verharding te spuiten met een spuitwagen (zie Figuur 20). Vervolgens wordt met dataloggers in peilbuizen gemeten welke invloed de afvoer van het water naar de bodem heeft op de grondwaterstand. Bij deze testmethode wordt vastgesteld hoe snel het water via de verharding naar de bodem wordt afgevoerd, maar ligt de nadruk op de bewegingen van het grondwater in de fundering en ondergrond van de verharding (Linden, 2016).



Figuur 20: Praktijktesten door middel van een buisimulatie met een spuitwagen (Bron: Linden, 2016)

5.1.2 De opbouw van het praktijkonderzoek

Het praktijkonderzoek is uitgevoerd met de dubbele ring infiltrometer. Er is voor deze methode gekozen omdat er beperkte mogelijkheden waren wat betreft tijd en ruimte om de grote schaal infiltratie test methode toe te kunnen passen. De dubbele ring infiltrometer had de voorkeur boven de enkele ring infiltrometer, omdat deze een betrouwbaarder resultaat geeft door de beperking van zijdelingse wegzijging van het infiltrerende water. Daarnaast wordt deze methode wereldwijd toegepast, en kunnen internationale resultaten met elkaar vergeleken worden.

Het praktijkonderzoek is uitgevoerd op twee straten in Rotterdam, namelijk de Malvastraat (Hillegersberg-Schiebroek) en de Hockeystraat (IJsselmonde). Op de plattegronden in Bijlage 4 zijn de locaties van de straten in Rotterdam weergegeven. De keuze voor deze straten is bepaald aan de hand van de leeftijd van de waterpasserende verharding in de desbetreffende straten, respectievelijk 0,5 en 5 jaar oud.

Op beide straten zijn drie verschillende metingen uitgevoerd om zo een betrouwbaar gemiddeld resultaat te verkrijgen. De testen zijn uitgevoerd in de parkeervakken langs de wegen. De dubbele ring infiltrometer is op verschillende plekken getest, om een goed totaalbeeld te verkrijgen van de infiltratiecapaciteit van de betreffende straat. In Figuur 21 is weergegeven op welke drie plekken in de parkeervakken de dubbele ring infiltrometer is geplaatst:



Figuur 21: Locaties van de testen met de dubbele ring infiltrometer in het parkeervak

De opbouw van de testen zag er als volgt uit:

- 1) De twee ringen worden op de ondergrond geplaatst. De kleine ring wordt binnen de grote ring geplaatst.
- 2) De naden tussen de ringen en de bestrating en de kieren die ontstaan bij de voegen, worden met klei dichtgesmeerd. Op deze manier wordt ongewenste afstroom van het water voorkomen.
- 3) In beide ringen wordt een rolmaat geplaatst, waarmee de waterstand in de betreffende ringen gemeten kan worden.
- 4) De ringen worden beide gevuld met een laag water van 5 cm. Belangrijk is dat eerst de buitenste ring wordt gevuld en dat vervolgens pas de binnenste ring wordt gevuld.
- 5) Tijdens het vullen van de ringen wordt een stopwatch aangezet. Deze blijft gedurende de hele test lopen, zodat de looptijd van de test genoteerd kan worden.
- 6) Wanneer het waterpeil gedaald is tot 2,5 cm wordt de tijd genoteerd. Vervolgens wordt het waterpeil in beide ringen weer aangevuld tot 5 cm. Dit proces herhaalt zich zeven keer, waarna de meting wordt beëindigd.

Voor het noteren van de metingen is een Excelsheet gebruikt. De ingevulde Excelsheets zijn bijgevoegd in Bijlage 5 van dit rapport. In Bijlage 6 is een fotorapportage van de uitvoering van de testen met de dubbele ring infiltrometer bijgevoegd.

5.1.3 De afbakening van het praktijkonderzoek

Hieronder is weergegeven hoe het uitgevoerde praktijkonderzoek is afgebakend. In Hoofdstuk 2.3 is de algemene afbakening van het onderzoek weergegeven.

- Het praktijkonderzoek is uitgevoerd met een dubbele ring infiltrometer van de producent Eijkelkamp. De binnendiameters van de twee infiltratieringen bedragen 30 en 56 centimeter.
- De praktijktesten zijn uitgevoerd op de Malvastraat en de Hockeystraat in Rotterdam.
- Per straat zijn drie testen uitgevoerd, om zo een betrouwbaar gemiddeld resultaat te verkrijgen.
- De drie testen bestaan elk uit zeven keer bijvullen van het water in de ringen. In totaal duurde elke test ongeveer dertig minuten tot anderhalf uur.
- Met de dataverzameling is geen verdere vergelijking met andere (inter)nationale onderzoeken gedaan.

5.2 Laboratoriumonderzoek met de Rotterdam Infiltrometer

Naast het praktijkonderzoek met de dubbele ring infiltrometer is er ook laboratoriumonderzoek naar de infiltratiecapaciteit van waterpasserende verhardingen gedaan. Dit onderzoek uitgevoerd met de zelfgebouwde Rotterdam Infiltrometer. Dit is gedaan bij de werklocatie van de VLG afdeling van de gemeente Rotterdam. Deze paragraaf beschrijft hoe dit onderzoek is opgezet, en hoe de metingen zijn uitgevoerd. In paragraaf 5.3 zijn de uitkomsten van het onderzoek uitgewerkt.

5.2.1 Vergelijkbaar elders uitgevoerd onderzoek

Voorafgaand aan dit onderzoek zijn er al enkele andere onderzoeken naar de infiltratiecapaciteit van waterpasserende verhardingen met een testopstelling of laboratoriumopstelling uitgevoerd.

Hieronder is uitgewerkt welke onderzoeken dit zijn, en is kort toegelicht hoe deze onderzoeken zijn uitgevoerd. Bij de analyses van de onderzoeken zijn de testresultaten niet vermeld en ligt de focus op de toegepaste testmethodes:

Laboratoriumtesten met testopstelling project FIDICA (Spanje)

In 2007 hebben onderzoekers van de University of Cantabria een onderzoek uitgevoerd met een testopstelling waarmee de invloed van een helling op de infiltratiecapaciteit van waterpasserende verhardingen is gemeten. De testopstelling wordt de Cantabrian Fixed (CF) Infiltrometer genoemd en de afmetingen van de opstelling bedragen 50 cm bij 50 cm. De opstelling bestond uit een bak waarin een straatlaag met daarop waterpasserende betonstraatstenen zijn aangebracht. Vervolgens is de bak onder een lichte helling geplaatst. Onder de bak werd een opvangbak met verschillende sectoren geplaatst, waarin het water dat door de waterpasserende verharding werd afgevoerd, kon worden opgevangen. Door met een sproeisysteem een regenbui op de verharding te simuleren, is de invloed van de hellingshoek op de waterafvoer naar de bodem in beeld gebracht. Gedurende het onderzoek zijn er verschillende testen gedaan met verschillende vervuilingen, zodat ook inzicht is verkregen in de rol die de vervuiling speelt op de afvoer onder een helling. (Castro, Gonzalez-Angullo, Rodriguez, & Calzada, 2007). De CF Infiltrometer is ook in 2005, 2008, 2010 & 2012 bij een aantal andere onderzoeken in Spanje gebruikt (Lucke, Rodriguez-Hernandez, Sanundo-Fontaneda, & Beecham, 2012).

Laboratoriumtesten met testopstelling HR Wallingford (Verenigd Koninkrijk)

In 2007 hebben onderzoekers van onderzoeksbureau HR Wallingford een testbank gebouwd waarmee doorlatendheidstesten met waterpasserende verhardingen zijn uitgevoerd. Deze testen zijn uitgevoerd op een testbank met afmetingen van 4,8m lengte bij 2,4m breedte. Op deze testbank is het Aquaflow systeem aangebracht, bestaande uit waterpasserende straatstenen met daaronder verschillende funderingslagen in combinatie met geotextiel. Over deze testbank zijn, met een regensimulatie systeem, regenbuien met verschillende intensiteiten gesimuleerd. Het water dat via het Aquaflow systeem werd afgevoerd, werd opgevangen in afvoerleidingen, en gemeten met een debietmeter. Op deze manier is inzicht verkregen in het functioneren van het Aquaflow systeem bij verschillende regenintensiteiten. Gedurende dit onderzoek zijn geen testen gedaan met het vervuilen van de waterpasserende verhardingen (HR Wallingford , 2007).

Laboratoriumtesten met testopstelling 'Albertay Study' (Verenigd Koninkrijk)

In 2011 hebben onderzoekers van de University of Albertay Dundee een testopstelling opgebouwd waarmee laboratoriumtesten met waterpasserende verhardingen zijn gedaan. De testen zijn uitgevoerd met een testbank met een grootte van 1m². In deze testbank is een waterpasserende verharding met een ondergronds pakket inclusief een laag geotextiel aangebracht. Met een sprinkler installatie is een bui gesimuleerd, en hier is ook een mix van vervuilingen met oliën, metalen en zwevende deeltjes straatvuil aan toegevoegd. Het doel van deze testen was het verkrijgen van inzicht in de effectiviteit van het toepassen van geotextiel in de ondergrond van waterpasserende verhardingen. Met verschillende testen is zo inzicht verkregen in de rol die geotextiel heeft bij het opvangen van vervuilingen in het grondwater (Mullaney, Rikalainen, & Jefferies, 2012).

Figuur 22, 23 en 24 geven de drie bovengenoemde testopstellingen weer. V.l.n.r.: testopstelling project FIDICA, testopstelling HR Wallingford & testopstelling Albertay Study:



Figuur 22, 23 & 24: Opstellingen van laboratoriumtesten met waterpasserende verhardingen (Bron: Castro et al., 2007; HR Wallingford, 2007; Mullaney et al., 2012)

Laboratoriumtesten met testopstelling University of South Australia (Australia)

In 2012 hebben onderzoekers van de University of South Australia een grote testbank opgebouwd waarmee eveneens de invloed van een helling op de infiltratiecapaciteit van waterpasserende verhardingen is gemeten. Deze testbank wordt de Full-scale, Variable-slope, Experimental Rig genoemd en heeft een oppervlakte van 18 m². De opstelling bestond uit een grote ijzeren bak waarin

een bestrating, bestaande uit waterpasserende betonstraatstenen, was aangelegd. De ijzeren bak kon onder een helling worden gezet van 0 tot 30 %, en over deze bak kon een regenbui worden gesimuleerd. Onder de bak waren afvoergoten aangebracht, welke het water dat door de waterpasserende verhardingen werd afgevoerd, afvoerden naar een aantal opvangbakken. Hier werd gemeten wat de afvoercapaciteit van de verhardingen bij een bepaalde hellingshoek was. Op deze manier is inzicht verkregen in de invloed die de helling speelt op de afvoer van regenwater via waterpasserende verhardingen (Lucke et al., 2012).

Laboratoriumtesten met testopstelling Tauw (Nederland)

In 2012 heeft advies- en ingenieursbureau Tauw een aantal laboratoriumtesten gedaan met een speciale viltvoeg van de firma Drainvast. Deze testen zijn uitgevoerd in een kleine testopstelling met een oppervlakte van 0,5m². De testopstelling bestond uit straatstenen met viltvoegen, geplaatst op een laag van 5 cm straatzand. Met een vervuilingsgraad van 400 gram/m² is de invloed van de vervuiling op de werking van de viltvoeg getest. Door een laag water op de straatstenen te zetten, werd gemeten hoe snel het water naar de bodem infiltreerde. Naast de test met het straatvuil zijn ook testen gedaan met een simulatie van straatvegen en het schoonzuigen met een ZOABzuiger. Op deze manier is inzicht verkregen in rol die vervuiling en onderhoud spelen bij het afvoeren van water naar de bodem met de viltvoegen van de firma Drainvast (Boerma & Boogaard, 2012).

Figuur 25 en 26 geven een impressie van de uitgevoerde laboratoriumtesten met waterpasserende verhardingen door de onderzoekers van de University of South Australia (links) en Tauw (Rechts):



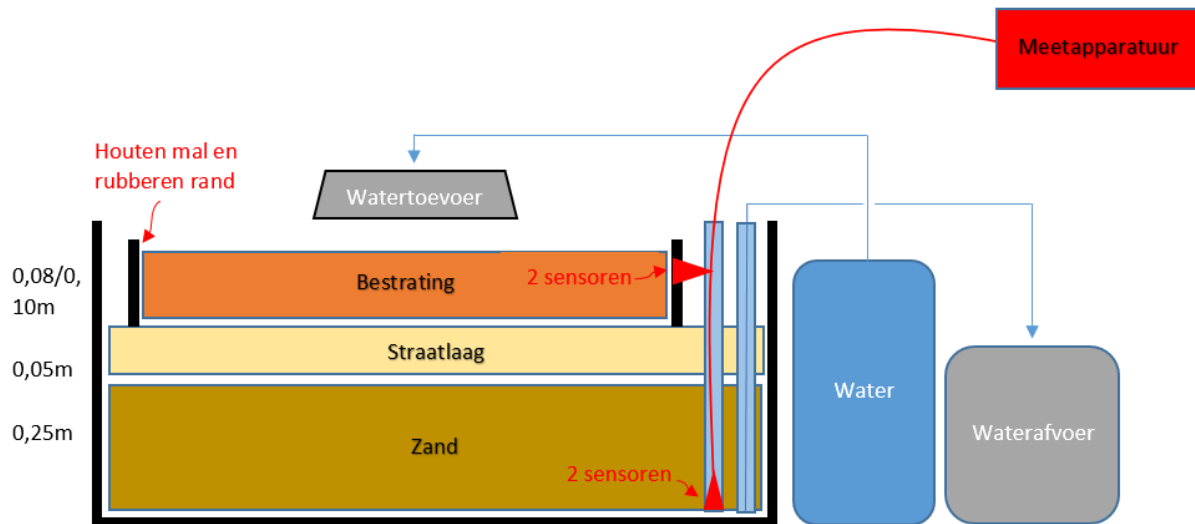
Figuur 25 & 26: Opstellingen van laboratoriumtesten met waterpasserende verhardingen (Bron: Lucke et al., 2012; Boerma & Boogaard, 2012)

5.2.2 De opbouw van het laboratoriumonderzoek

Het laboratoriumonderzoek is uitgevoerd met de Rotterdam Infiltrometer (zie Figuur 27). Met deze testopstelling is getracht de praktijksituatie zo natuurgetrouw na te bootsten. Op deze manier zijn de uitgevoerde testen een relatief natuurgetrouwe weerspiegeling van de Rotterdamse praktijksituatie.

De testopstelling bestaat uit een grote, waterdichte plastic bak met een oppervlakte van 1 m². Deze bak is gevuld met een zandlaag van 25 cm, waarop een laag steenslag 2/6 van 5 cm is aangebracht. Dit is zo gedaan, omdat deze opbouw gebruikt wordt bij de toepassing van waterpasserende verhardingen in de stad Rotterdam. Op deze ondergrond is een bestrating bestaande uit

waterpasserende klinkers of tegels aangebracht. De oppervlakte van deze bestrating bedraagt 0,7 m². Om de waterpasserende verharding is een houten mal en een rubberen rand aangebracht. Deze worden door middel van een spanband om de waterpasserende verharding heen geklemd, zodat de waterpasserende verharding wordt ingeklemd en aan de randen worden afgedicht. Op deze manier ontstaat (als het ware) een dichte bak, met als ondergrond een waterpasserende verharding. In Bijlage 7 zijn de afmetingen van de Rotterdam Infiltrometer en de geteste verhardingen weergegeven.



Figuur 27: Schematische weergave van de Rotterdam Infiltrometer

Omdat een aantal van de geteste tegels afmetingen hebben van 30 cm bij 30 cm, waren de testen met de relatief kleine dubbele ring infiltrometer niet representatief voor een groter oppervlak. Om dit probleem te verhelpen, is het totale oppervlak van de testopstelling gebruikt voor de testen. Naast de bestrating zijn twee peilbuizen aangebracht, waarin twee druksensoren zijn geplaatst. Ook zijn er twee gaten aangebracht in de houten mal en de rubberen rand, waar twee druksensoren tot in de voegen zijn aangebracht. Deze zijn 1 cm onder het straatoppervlak in de voegen geplaatst.

De opbouw van de testen met de Rotterdam Infiltrometer ziet er als volgt uit:

- 1) De meting met de druksensoren wordt op de laptop gestart.
- 2) Vervolgens wordt een stopwatch aangezet, die de tijdspanne van de proef meet.
- 3) Op de waterpasserende verharding wordt een doek gelegd, welke voorkomt dat het water bij het ingieten uit de voegen wordt gespoeld. Vervolgens wordt 30 liter water op de verharding gegoten. Hierbij is het belangrijk dat de tijdstippen van de handelingen worden genoteerd.
- 4) Met een rolmaat aan de zijkant van de bak wordt gemeten hoe hoog het water op de waterpasserende verharding staat. Daarnaast wordt gemeten hoe lang het duurt voordat het water door de voegen van de waterpasserende verharding naar de ondergrond is afgevoerd.
- 5) Nadat al het water door de voegen is afgevoerd, blijft de meting met de druksensoren nog even lopen. Na een kwartier wordt ook deze gestopt.
- 6) De genoteerde data en de data verkregen met de druksensoren kan verwerkt worden.
- 7) De testopstelling kan worden leeggepompt en de test kan worden herhaald. In totaal zijn alle testen 2 keer herhaald om zo een betrouwbaar gemiddelde te verkrijgen van de resultaten.

Procesomschrijving van het ontwerp en onderzoek van en met de Rotterdam Infiltrometer:

Gedurende het ontwerp van de Rotterdam Infiltrometer, zijn er verschillende proeftesten gedaan met verschillende testmethodes zoals, een regensimulatiesysteem en het plaatsen van de dubbele ring infiltrometer in de Rotterdam Infiltrometer. Om tot het uiteindelijke ontwerp te komen is een lang proces doorlopen. In Bijlage 8 is dit proces uitgewerkt in een verslag.

Door de testen uit te voeren met verschillende vervuilingsgraden, is inzicht verkregen in de invloed die de vervuiling speelt op de waterafvoercapaciteit van de waterpasserende verhardingen. De vervuilingsgraden zijn afgeleid van de verkregen bronnen uit het literatuuronderzoek. In het begin zijn er proeftesten gedaan met een hoeveelheid vervuiling van 40 gram/m²/jaar (Boerma & Boogaard, 2012). Echter bleek uit de resultaten van de proeftesten dat deze hoeveelheid geen goede weerspiegeling geeft van de praktijksituatie gemeten met de dubbele ring infiltrometer. Om dit probleem op te lossen is door middel van proefondervindelijk onderzoek, bepaald dat de hoeveelheid stof met een factor 5 vermenigvuldigd moest worden (zie Bijlage 8). Het onderzoek is uitgevoerd met een hoeveelheid vervuiling van 200 gram/m²/jaar. Met een mengsel bestaande uit 20 procent stof, 20 procent potgrond en 60 procent zilverzand, is deze vervuiling nagebootst. De productspecificaties van de gebruikte potgrond en het gebruikte zand staan vermeld in Bijlage 7 van dit rapport. Het voor het onderzoek gebruikte stof komt uit de loods op het VLG terrein van de gemeente. Van dit stofmonster is een zeefkromme gemaakt in het laboratorium (zie Bijlage 9).

Na de test zonder vervuiling, zijn testen uitgevoerd met een vervuilingssimulatie van 1, 5 en 10 jaar. Dit is gedaan door het vervuilingsmengsel op de waterpasserende verharding aan te brengen en goed in te smeren in de voegen. Door vervolgens de testopstelling eenmalig te spoelen met 20 liter water, kreeg het vervuilingsmengsel de mogelijkheid om in de voegen van de verharding te trekken.

In totaal zijn de volgende 5 verschillende verhardingen getest:

Stenen gemeente Rotterdam:



Naam: BSS 'Rotterdam' WPV
Producent: -
Afmetingen: 21x10,5 cm
Type: Waterpasserende verharding



Naam: 'Drainwave' steen
Producent: Struyk Verwo
Afmetingen: 21x10,5 cm
Type: Waterpasserende verharding met viltvoeg

Tegels Rainaway:



Naam: Rainaway 'Flood Closed'
Producent: Rainaway
Afmetingen: 30x30 cm
Type: Dichte verharding



Naam: Rainaway 'Flood Open'
Producent: Rainaway
Afmetingen: 30x30 cm
Type: Waterpasserende verharding



Naam: Rainaway 'Flood Permeable'
Producent: Rainaway
Afmetingen: 30x30 cm
Type: Waterdoorlatende verharding

Er zijn dus twee verschillende betonstraatstenen en drie verschillende tegels getest. De betonstraatstenen hebben allebei een waterpasserende functie met een extra brede voeg. Bij de BSS 'Rotterdam' wordt deze voeg ingeveegd met steenslag 2/6. Bij de 'Drainwave' worden speciale stukjes vilt in de voegen aangebracht. De tegels hebben alle drie een andere eigenschap: de Rainaway 'Flood Closed' is een dichte verharding, de Rainaway 'Flood Open' is een tegel met een waterpasserende functie vanwege de speciale ronde voegopeningen en de Rainaway 'Flood Permeable' is een waterdoorlatende verharding, waarvan het onderste gedeelte geheel uit doorlatend materiaal bestaat. De drie tegels hebben daarnaast ook een waterbergende functie, waarbij water kan worden geborgen in de 'bakjes' die worden gevormd door de opstaande randen op de tegels.

Elke verharding is op precies dezelfde manier getest en de resultaten zijn daarom geschikt om met elkaar vergeleken te worden. De data die verkregen is met de laboratoriumtesten, is verwerkt in Bijlage 10 en 11. In Bijlage 12 is een fotorapportage van het uitgevoerde onderzoek bijgevoegd, waarin de opzet van het onderzoek aan de hand van foto's wordt toegelicht.

5.2.3 De afbakening van het laboratoriumonderzoek

Hieronder is weergegeven hoe het uitgevoerde laboratoriumonderzoek is afgebakend. In Hoofdstuk 2.3 is de algemene afbakening van het onderzoek weergegeven.

- Het laboratoriumonderzoek is uitgevoerd met de Rotterdam Infiltrometer en heeft een gemeten oppervlakte van 0,7 m².
- Het laboratoriumonderzoek voor de gemeente Rotterdam is uitgevoerd met twee verhardingen namelijk: De betonstraatsteen "Rotterdam" waterpasserend (Gemeente Rotterdam) en de 'Drainwave' stenen met speciale viltvoegen (Struyk Verwo Infra).
- Het laboratoriumonderzoek voor Rainaway is uitgevoerd met drie verhardingen namelijk: De Rainaway 'Flood Open', de Rainaway 'Flood closed' en de Rainaway 'Flood permeable'.
- De testen zijn uitgevoerd zonder verder rekening te houden met het effect van regulier veegonderhoud.
- De testen van de bestratingen zijn uitgevoerd in een situatie waarbij geen verkanting van het wegdek is toegepast. De bestrating is dus waterpas aangelegd.
- Valse afstroom via de randen van de testopstelling wordt beperkt door het afdichten van de randen met celrubber.
- Gebruikersinvloeden zoals spoorvorming en wegbewegingen veroorzaakt door zwaar verkeer, zijn niet in het onderzoek meegenomen.
- Weersinvloeden zoals verdamping en warmte en koude, die krimp en uitzetting van de bestrating kunnen veroorzaken, zijn niet in het onderzoek meegenomen.
- De invloed van hoge of lage grondwaterstanden en hangwater in de bodem, op de infiltratiecapaciteit van de bestrating en ondergrond, zijn niet in het onderzoek meegenomen.
- De invloed van de groei van planten en algen in de voegen is niet in het onderzoek meegenomen.

5.3 De resultaten van het praktijk- en laboratorium onderzoek

In deze paragraaf zijn de uitkomsten van het praktijk- en laboratoriumonderzoek uitgewerkt.

5.3.1 De resultaten van het praktijkonderzoek

Het praktijkonderzoek op de Malvastraat en de Hockeystraat in Rotterdam toont aan dat de infiltratiecapaciteit van waterpasserende verhardingen in de loop der tijd afneemt. De gemiddelde gemeten infiltratiecapaciteit van de Malvastraat bedraagt 559 mm/uur. De gemiddelde gemeten infiltratiecapaciteit van de Hockeystraat, welke ongeveer 5 jaar ouder is dan de Malvastraat, bedraagt 260 mm/uur (zie tabel 1). De testen tonen aan dat de infiltratiecapaciteit per locatie sterk kan verschillen. Tijdens een van de metingen op de Hockeystraat werd een infiltratiecapaciteit van 399 mm/uur gemeten. Tijdens een andere meting op de Hockeystraat, ongeveer 2 meter naast de eerdergenoemde meting, werd een infiltratiecapaciteit van 'maar' 157 mm/uur gemeten. In Bijlage 5 van dit rapport is de gedurende het onderzoek verzamelde data uitgewerkt. Ook staan hier de testomstandigheden en de testlocaties beschreven.

Geteste verharding & leeftijd verharding	Gemiddelde infiltratiecapaciteit (mm/uur)
Malvastraat, ca. 0,5 jaar na aanleg	559
Hockeystraat, ca. 5 jaar na aanleg	260

Tabel 1: Testresultaten van de praktijkmetingen

5.3.2 De resultaten van het laboratoriumonderzoek

Het laboratoriumonderzoek met de Rotterdam Infiltrometer toont, net als het praktijkonderzoek, aan dat de infiltratiecapaciteit van waterpasserende verhardingen in de loop der tijd afneemt. Bij bijna alle verhardingen is, in de loop der tijd een afname van de infiltratiecapaciteit terug te zien. Enkel bij de waterdoorlatende 'Flood Permeable' tegel van Rainaway is geen duidelijke afname van infiltratiecapaciteit te zien. De gemeten gemiddelde infiltratiecapaciteit van de 5 verhardingen verschilt van >1792 mm/uur tot 20 mm/uur. In Bijlage 10 van dit rapport is een tabel met de gemeten gemiddelde infiltratiecapaciteiten van de vijf geteste verhardingen bijgevoegd.

In de serie geteste betonstraatstenen presteert de 'Drainwave' steen gemiddeld gezien iets beter dan de BSS 'Rotterdam' waterpasserend (zie tabel 2). Een opmerkelijk detail is dat de 'Drainwave' steen in het 0, 1 en 5 jaar-scenario een relatief hoge gemiddelde infiltratiecapaciteit hebben, maar in het 10 jaar-scenario juist een relatief lage gemiddelde infiltratiecapaciteit. In de eerste drie scenario's presteert de 'Drainwave' steen beter dan de BSS 'Rotterdam' waterpasserend, terwijl in het 10 jaar-scenario de BSS 'Rotterdam' beter presteert. De BSS 'Rotterdam' laat tussen het 5 jaar-scenario en het 10 jaar-scenario een lichte stijging in infiltratiecapaciteit zien. Dit is praktisch gezien niet mogelijk, en daarom is dit toe te schrijven aan de beperkte simulatiekwaliteit van de Rotterdam Infiltrometer.

Geteste verharding & testscenario	Gemiddelde infiltratiecapaciteit (mm/uur)
BSS 'Rotterdam' waterpasserend 0-scenario	> 1716
BSS 'Rotterdam' waterpasserend 1-scenario	930
BSS 'Rotterdam' waterpasserend 5-scenario	54
BSS 'Rotterdam' waterpasserend 10-scenario	62
Struyk Verwo 'Drainwave' 0-scenario	> 1716
Struyk Verwo 'Drainwave' 1-scenario	> 1716
Struyk Verwo 'Drainwave' 5-scenario	276
Struyk Verwo 'Drainwave' 10-scenario	37

Tabel 2: Testresultaten van de laboratoriumtesten van de geteste betonstraatstenen

In de serie geteste Rainaway tegels presteert de 'Flood Permeable' tegel overduidelijk het beste. Deze tegel laat tijdens de verschillende testscenario's geen duidelijke achteruitgang in infiltratiecapaciteit zien. Bij elke test met deze tegel, infiltreerde het water direct naar de bodem, zonder zichtbaar op straat te blijven staan. Na deze tegel presteert de 'Flood Open' tegel beter ten opzichte van de 'Flood Closed' tegel. Bij alle tegels bedroeg de gemeten gemiddelde infiltratiecapaciteit in het 0-scenario ten minste 1792 mm/uur. Bij de 'Flood Open' en de 'Flood Closed' tegels is in de daaropvolgende scenario's een afname in infiltratiecapaciteit terug te zien tot zelfs 20 mm/uur (zie tabel 3).

Geteste verharding & testscenario	Gemiddelde infiltratiecapaciteit (mm/uur)
<i>Rainaway 'Flood Open' 0-scenario</i>	> 1792
<i>Rainaway 'Flood Open' 1-scenario</i>	1100
<i>Rainaway 'Flood Open' 5-scenario</i>	84
<i>Rainaway 'Flood Open' 10-scenario</i>	54
<i>Rainaway 'Flood Closed' 0-scenario</i>	>1792
<i>Rainaway 'Flood Closed' 1-scenario</i>	307
<i>Rainaway 'Flood Closed' 5-scenario</i>	59
<i>Rainaway 'Flood Closed' 10-scenario</i>	20
<i>Rainaway 'Flood Permeable' 0-scenario</i>	> 1792
<i>Rainaway 'Flood Permeable' 1-scenario</i>	> 1792
<i>Rainaway 'Flood Permeable' 5-scenario</i>	> 1792
<i>Rainaway 'Flood Permeable' 10-scenario</i>	> 1792

Tabel 3: Testresultaten van de laboratoriumtesten van de geteste Rainaway tegels

Van alle testscenario's met de vijf geteste verhardingen is de data die is verkregen met de vier druksensoren, uitgewerkt in grafieken. Deze grafieken laten het verloop van de waterstand op straat en de grondwaterstand in het ondergrondse pakket van de Rotterdam Infiltrometer zien. Van elke verharding is per testscenario een grafiek uitgewerkt. De verschillende grafieken laten duidelijk zien welk verband er ligt tussen de vervuiling, de infiltratiecapaciteit van de verhardingen en de stijging van het grondwater in de ondergrond. De uitgewerkte grafieken zijn bijgevoegd in Bijlage 11 van dit rapport.

6. Analyse van de resultaten

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvragen van dit onderzoek. In het volgende hoofdstuk, de conclusie, wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag en wordt de hypothese van het onderzoek nader behandeld.

Hieronder staan de deelvragen van dit onderzoek beschreven. Op elke deelvraag is kort antwoord gegeven:

1. *Welk beleid hanteert de gemeente Rotterdam voor het toepassen van waterpasserende verhardingen in Rotterdam?*

De gemeente Rotterdam stelt een aantal eisen aan de toepassing van waterpasserende verhardingen. De belangrijkste zijn: De opbouw van waterpasserende verhardingen moet bestaan uit een straatlaag van minimaal 0,05m bestaande uit steenslag 2/6, met daaronder een zandlaag van ca. 0,75m, bestaande uit zand in zandbed. Verder wordt geacht dat de kleinste ontwateringsdiepte zich bij een waterpasserende verharding minimaal 0,75 meter en de gemiddelde ontwateringsdiepte zich minimaal 0,90 meter onder het maaiveld bevinden. Ook moet de doorlatendheid van het grondpakket wat onder de constructie van de waterpasserende verharding ligt, minimaal 0,6 m/dag zijn. De afvoercapaciteit van waterpasserende verhardingen moet ten minste 25,5 mm/uur bedragen.

2. *Wat is het waterpasserend vermogen van twee aangelegde waterpasserende verhardingen in de Rotterdamse praktijksituatie?*

De gemiddelde gemeten infiltratiecapaciteit van de Malvastraat bedraagt 559 mm/uur. De gemiddelde gemeten infiltratiecapaciteit van de Hockeystraat, welke ongeveer 5 jaar langer in gebruik is dan de Malvastraat, bedraagt 260 mm/uur. Beide straten zijn gelegen in Rotterdam en zijn aangelegd met waterpasserende betonstraatstenen BSS 'Rotterdam'.

3. *Hoe kan, met behulp van een testopstelling, het waterpasserend vermogen van verhardingen en de invloed van dichtslibbing hierop, in de laboratoriumsituatie worden gemeten?*

Dit kan worden gedaan door een straat met fundering op te bouwen in een testopstelling. De randen van de straat kunnen met een rubberen rand en een houten mal worden afgesloten, zodat een afgesloten straatoppervlak ontstaat. Door vervolgens water op de bestrating te gieten, kan worden gemeten wat het waterpasserend vermogen van de verhardingen is. Dit kan worden gedaan aan de hand van een logboek, en met behulp van druksensoren in de voegen en de fundering van de bestrating. De verhardingen kunnen vervolgens worden vervuild met een vuilmengsel, om zo de dichtslibbing van de verhardingen te simuleren. Door verschillende testen te doen met verschillende vuilmengsels, kan de invloed van dichtslibbing op het waterpasserend vermogen van de verhardingen worden gemeten.

4. *Wat is het waterpasserend vermogen van de drie te beproeven verhardingen voor het bedrijf Rainaway in de laboratoriumsituatie?*

Voor het bedrijf Rainaway zijn drie verschillende verhardingen getest met de Rotterdam Infiltrometer: de Rainaway 'Flood Open', de Rainaway 'Flood Closed' en de Rainaway 'Flood Permeable'. Bij de Rainaway 'Flood Open' is een waterpasserend vermogen met een infiltratiecapaciteit van >1792 tot 54 mm/uur gemeten. Bij de Rainaway 'Flood closed' is een waterpasserend vermogen met een infiltratiecapaciteit van >1792 tot 20 mm/uur gemeten. Bij de Rainaway 'Flood Permeable' is een waterpasserend vermogen met een infiltratiecapaciteit van >1792 mm/uur gemeten. (Bij dit type tegel is gedurende de testen geen afname waargenomen).

5. *Wat is het waterpasserend vermogen van de twee te beproeven verhardingen voor de gemeente Rotterdam in de laboratoriumsituatie?*

Voor de gemeente Rotterdam zijn twee verschillende verhardingen getest met de Rotterdam Infiltrometer: de BSS 'Rotterdam' waterpasserend en de 'Drainwave' steen van Struyk Verwo. Bij de BSS 'Rotterdam' waterpasserend is een waterpasserend vermogen met een infiltratiecapaciteit van >1716 tot 54 mm/uur gemeten. Bij de 'Drainwave' steen van Struyk Verwo is een waterpasserend vermogen met een infiltratiecapaciteit van >1716 tot 37 mm/uur gemeten.

6. *Wat is de invloed van dichtslibbing op het waterpasserend vermogen van de vijf te beproeven verhardingen in de laboratoriumsituatie?*

Het laboratoriumonderzoek met de Rotterdam Infiltrometer toont aan dat de infiltratiecapaciteit van waterpasserende verhardingen in de loop der tijd afneemt. Deze afname wordt veroorzaakt door de dichtslibbing van de voegen en de open structuur van de verhardingen. Bij bijna alle verhardingen is een afname van de infiltratiecapaciteit in de loop der tijd terug te zien (een afname van de infiltratiecapaciteit van >1792 mm/uur tot een minimum van 20 mm/uur). Alleen de waterdoorlatende 'Flood Permeable' tegel van Rainaway laat geen duidelijke afname in infiltratiecapaciteit zien.

7. *Wat is de relatie tussen de resultaten van de praktijktesten en de resultaten van de laboratoriumtesten?*

De resultaten van de praktijktesten liggen relatief ver bij de resultaten van de laboratoriumtesten vandaan. Wanneer in de praktijk een gemiddelde infiltratiecapaciteit van 260 mm/uur werd gemeten op een 5 jaar oude verharding, werd op hetzelfde type verharding met een vervuilingssimulatie van 5 jaar, in de Rotterdam Infiltrometer een gemiddelde infiltratiecapaciteit van 54 mm/uur gemeten. Dit toont aan dat de dichtslibbing uit de praktijk daarom beperkt te simuleren is bij laboratoriumtesten.

7. Conclusies van het onderzoek

In de conclusie van dit rapport wordt de onderzoeksvraag beantwoord. Na de beantwoording van de onderzoeksvraag wordt de vooraf opgestelde hypothese behandeld.

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt als volgt: *Wat is de invloed van dichtslibbing op het waterpasserend vermogen van vijf verhardingen in de Rotterdamse praktijk- en laboratoriumsituatie?* Aan het einde van dit onderzoek valt te stellen dat dichtslibbing van grote invloed is op het waterpasserend vermogen van de meeste van de geteste verhardingen. Vier van de vijf verhardingen die zijn getest in de laboratoriumsituatie, laten een grote afname van het vermogen zien, welke veroorzaakt wordt door dichtslibbing. Alleen de Rainaway 'Flood Permeable' tegels vertonen geen aantoonbare achteruitgang in infiltratiecapaciteit. Dit is toe te schrijven aan het feit dat deze tegels over het gehele oppervlak waterdoorlatend zijn en daarom veel minder hinder ondervinden van de vervuiling dan de verhardingen waarbij alleen de voegen waterpasserend zijn. Bij het praktijkonderzoek is een verschil van 559 mm/uur tot 260 mm/uur in infiltratiecapaciteit gemeten op twee straten met een leeftijdsverschil van 5 jaar. Bij het laboratoriumonderzoek is een verschil van >1792 mm/uur tot 20 mm/uur in infiltratiecapaciteit gemeten op 5 verschillende verhardingen met een vervuilingssimulatie van 0 tot 10 jaar⁴. Zowel het uitgevoerde praktijkonderzoek als het uitgevoerde laboratoriumonderzoek tonen aan dat 5 jaar na aanleg van de verhardingen, de dichtslibbing tot ten minste een halvering van de infiltratiecapaciteit leidt. Het laboratoriumonderzoek toont aan dat deze dichtslibbing in de jaren daarna nog verder afneemt.

Voorafgaand aan dit onderzoek was de volgende hypothese opgesteld: *De vijf verhardingen voeren, volgens de richtlijnen van de gemeente Rotterdam, in nieuwstaat voldoende water af naar de bodem; maar dichtslibbing van het systeem zorgt na enkele jaren voor onvoldoende afvoercapaciteit naar de bodem.* Aan het einde van dit onderzoek valt te stellen dat deze hypothese deels juist en deels onjuist is. In nieuwstaat voeren de verhardingen inderdaad, volgens de richtlijnen van de gemeente Rotterdam (minimale afvoercapaciteit van 25,5 mm/uur), voldoende water af naar de bodem. Dichtslibbing van de open structuur en de voegen van de verhardingen, resulteert vervolgens in een afname van de afvoercapaciteit. Uiteindelijk presteert alleen de Rainaway "Flood Closed", met een gemiddelde infiltratiecapaciteit van 20 mm/uur bij een vervuilingssimulatie van 10 jaar, onder de minimale afvoercapaciteit van 25,5 mm/uur. Alle andere verhardingen behouden een afvoercapaciteit die boven dit minimum ligt.

Waterpasserende verhardingen worden toegepast met als doel het afvoeren van regenwater naar de bodem. Dit past binnen de beleidsstrategie van de gemeente Rotterdam om de stad op een duurzame manier klimaat-adaptief te maken. Door het water naar de bodem af te voeren wordt het rioolstelsel ontlast en neemt de kans op overstromingen tijdens hevige neerslagsituaties af. Echter is het daarbij wel belangrijk dat de waterpasserende verhardingen naar behoren functioneren. Het is daarom noodzakelijk dat gedurende de jaren na aanleg van de verhardingen, adequaat onderhoud wordt gepleegd om de dichtslibbing te beperken. Uiteindelijk staat of valt de waterpasserende functie van waterpasserende verhardingen met goed of slecht beheer en onderhoud.

⁴ De vervuilingssimulatie is gebaseerd op een vervuiling van 200 gram straatvuil per vierkante meter per jaar. Zie hoofdstuk 5 voor verdere informatie over de vervuilingssimulatie.

8. Discussie en aanbevelingen van het onderzoek

In dit rapport is een onderzoek naar de invloed van dichtslibbing op de infiltratiecapaciteit van vijf waterpasserende verhardingen beschreven. Het doel van dit onderzoek was het verkrijgen van inzicht in de invloed die de dichtslibbing uitoefent op de infiltratiecapaciteit van deze verhardingen. De uitkomsten van het onderzoek tonen aan dat dichtslibbing van grote invloed is op de infiltratiecapaciteit. De infiltratiecapaciteit neemt, na een aantal jaar zonder groot onderhoud aan de bestratingen, met minimaal de helft af.

In dit hoofdstuk worden de onderzoekskwaliteit en de onderzoeksresultaten van het uitgevoerde onderzoek besproken. Aan het einde van dit hoofdstuk worden aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan.

8.1 Discussie op de onderzoekskwaliteit van het onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd met twee verschillende methodes, namelijk praktijkonderzoek met een dubbele ring infiltrometer en laboratoriumonderzoek met een zelfgebouwde Rotterdam Infiltrometer. Het praktijkonderzoek met de dubbele ring infiltrometer is uitgevoerd met meetapparatuur met gestandaardiseerde afmetingen van producent Eijkelkamp. Dit heeft als voordeel dat de testen vergelijkbaar zijn met andere nationale en internationale onderzoeken die zijn uitgevoerd met de dubbele ring infiltrometer. Een nadeel van het onderzoek met de dubbele ring infiltrometer is dat de waterhoogte die in de ringen wordt toegepast, van invloed is op de infiltratie van het water naar de bodem. De drukopbouw die ontstaat, zorgt ervoor dat het water sneller naar de bodem zal infiltreren dan in de praktijksituatie wellicht het geval zal zijn. Een ander aandachtspunt bij het onderzoek met de dubbele ring infiltrometer is, dat gedurende de uitgevoerde onderzoeken de ringen niet waterpas konden worden geplaatst. De verkanting in de weg zorgde ervoor dat de ringen altijd onder een kleine hoek geplaatst moesten worden, wat de infiltratie naar de bodem kan hebben beïnvloed.

Het laboratoriumonderzoek is uitgevoerd met de Rotterdam Infiltrometer. De testen die met deze testopstelling zijn gedaan, zijn allen precies op dezelfde manier uitgevoerd. Hierdoor zijn de resultaten onderling vergelijkbaar. Het verschil tussen de praktijksituatie en de laboratoriumsituatie, is dat praktijkomstandigheden met de Rotterdam Infiltrometer maar beperkt gesimuleerd kunnen worden. Dit komt bijvoorbeeld doordat in de laboratoriumopstelling de volgende invloeden niet worden gesimuleerd:

- Wegbewegingen veroorzaakt door zware vrachtwagens;
- Spoorvorming veroorzaakt door verkeersstromen;
- Regulier onderhoud met een veegwagen;
- Aangroei van mos en algen in de voegen van de bestrating;
- Slijtage aan de bestrating door langdurige wegbewegingen;
- Weersinvloeden zoals het bevriezen van de bestrating en ondergrond.

De testen met de laboratoriumopstelling zijn dan ook een simulatie van de praktijk en laten in grote lijnen zien welke invloed de vervuiling van de voegen uitoefent op de infiltratiecapaciteit van de verhardingen. Figuur 28 en 29 geven een voorbeeld van een verschil tussen dichtslibbing in de praktijk en het laboratorium weer.



Dichtslibbing in de praktijksituatie



Dichtslibbing in de laboratoriumsituatie

Figuur 28 & 29: Verschil in dichtslibbing tussen de praktijksituatie en de laboratoriumsituatie (Bron: S. van Toor; J. Advokaat)

De linker foto is genomen bij een waterpasserende bestrating in Rotterdam (Nelly van Moorselhof), die ongeveer 10 jaar geleden in gebruik genomen is. De gefotografeerde steen is uit de straat gehaald om te laten zien in welke mate de bestrating is dichtgeslibd. De rechterfoto is gemaakt in de Rotterdam Infiltrometer. Deze foto is gemaakt nadat een vervuiling van 10 jaar is gesimuleerd op de bestrating. De foto's laten duidelijk zien dat de mate van dichtslibbing in de praktijksituatie verschilt t.o.v. die van de laboratoriumsituatie. De vervuiling dringt in de praktijk dieper in de voegen. Ook groeit in de praktijk mos en gras in de voegen, wat in de laboratoriumsituatie niet het geval is.

Een ander aandachtspunt bij het laboratoriumonderzoek is, dat de testen zijn uitgevoerd met een relatief kleine testopstelling. Het totale oppervlak van de bestrating bedroeg gedurende de testen 0,67 tot 0,70 m². Vanwege dit geringe oppervlak zijn de bestratingen getest met relatief weinig voeglengte. Een risico hierbij is, dat er een foutieve simulatie van de praktijk plaatsvindt wanneer de vervuiling in de voegen niet goed is aangebracht. Bij de testen met de Rotterdam Infiltrometer kan daarnaast ook sprake zijn van zijdelingse afstroom van het grondwater in het ondergrondse pakket. Wanneer het water door de voegen van de geteste verharding dringt, kan het zich via de relatief goed doorlatende straatlaag makkelijk over de gehele bak (1m²) verspreiden. Daarna vult het gehele ondergrondse pakket zich met het water. Dit zorgt voor een foutief beeld van de stijghoogte van het grondwater in het ondergrondse pakket omdat de stijghoogte geldt voor de ondergrond in de gehele bak (1m²) en niet voor alleen de ondergrond direct onder de verharding (0,67-0,70m²).

8.2 Discussie op de uitkomsten van het onderzoek

De uitkomsten van de onderzoeken laten een afname van de gemiddelde infiltratiecapaciteit van de verhardingen zien. Deze afname wordt veroorzaakt door dichtslibbing van de verhardingen in de loop der tijd. De praktijktesten tonen aan dat de gemiddelde infiltratiecapaciteit vijf jaar na aanleg, met ten minste de helft is afgenomen. Een aandachtspunt hierbij is, dat de praktijktesten zijn uitgevoerd op zowel de oude versie van de Rotterdamse waterpasserende betonstraatsteen (Hockeystraat) als op de nieuwe versie van de Rotterdamse waterpasserende betonstraatsteen (Malvastraat). De oude en de nieuwe versie verschillen een weinig van elkaar, maar deze verschillen kunnen weldegelijk van invloed zijn op de gemeten infiltratiecapaciteit van de twee bestratingen.

Met de dubbele ring infiltrometer zijn per locatie drie verschillende testen uitgevoerd, om zo een betrouwbaar gemiddelde van de infiltratiecapaciteit te verkrijgen. De metingen met de dubbele ring

infiltrometer beslaan echter maar een relatief klein gedeelte van het totale straatoppervlak van de geteste straten. Vervuiling en dichtslibbing, en daarmee dus ook de infiltratiecapaciteit, kan per locatie sterk verschillen. De verschillen in infiltratiecapaciteit zijn bijvoorbeeld terug te zien in de metingen die op Hockeystraat zijn gedaan. De hoogst gemeten infiltratiecapaciteit bedroeg daar 399 mm/uur, terwijl de laagst gemeten infiltratiecapaciteit 'maar' 157 mm/uur bedroeg. Dit terwijl de metingen maar enkele meters naast elkaar zijn uitgevoerd. Deze data laat zien dat de dichtslibbing per locatie sterk kan verschillen. De gemeten gemiddelde infiltratiecapaciteit is daarom enkel een voorspelling voor de gemiddelde infiltratiecapaciteit van de gehele straat.

De resultaten van de laboratoriumtesten laten net als die van de praktijktesten, een duidelijke afname van infiltratiecapaciteit veroorzaakt door dichtslibbing zien. Ook tonen de testen aan dat de verhardingen verschillende prestaties leveren bij de verschillende vervuilingssimulaties. De resultaten van de laboratoriumtesten komen in de buurt van de praktijktesten, maar er blijft een duidelijk verschil tussen de gemeten waarden in de praktijk en de gemeten waarden met de Rotterdam Infiltrometer aanwezig.

De resultaten van het laboratoriumonderzoek kunnen beïnvloed zijn door de kleine verschillen in testomstandigheden, zoals de minieme verschillen in voeglengtes van de geteste bestratingen en de verschillende gemeten grondwaterstanden gedurende de testen. Wanneer de totale voeglengte van de ene bestrating korter is dan bij de andere, heeft het water minder mogelijkheden om te infiltreren naar de ondergrond. Hoge grondwaterstanden zorgen juist weer voor een kleinere berging van het water in de ondergrond. De verschillen in testomstandigheden zijn zo volledig mogelijk genoteerd in de rapportage.

Bij zowel het praktijkonderzoek als het laboratoriumonderzoek is de invloed van het weer buiten beschouwing gelaten. De genoteerde weersomstandigheden zijn in de rapportage opgenomen.

8.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Aan de hand van de resultaten van het onderzoek wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen naar de toepassing van de best presterende verhardingen (de Rainaway 'Flood Permeable' en de 'Drainwave' met viltvoeg van Struyk Verwo) in de praktijk. Door de verhardingen in de praktijk toe te passen en te monitoren, kan een beter beeld worden verkregen van de prestaties van de desbetreffende verhardingen. Ook kunnen de resultaten worden vergeleken met de resultaten uit dit onderzoek en kan er een betere afstemming van de laboratoriumtesten op de praktijksituatie worden toegepast.

Verder wordt aanbevolen om onderzoek te doen naar de mogelijkheden tot verbetering van het beheer en onderhoud van en aan waterpasserende verhardingen. Door het beheer en onderhoud aan te passen op de dichtslibbing in de praktijk, kan de dichtslibbing van de verhardingen worden beperkt. Op deze manier kan de waterpasserende functie van de verhardingen worden gegarandeerd en neemt de kans op disfunctioneren af. Een ander belangrijk aspect binnen het beheer en onderhoud van waterpasserende verhardingen is de communicatie met de omwonenden van straten waar waterpasserende verhardingen liggen. De gebruikers van de straten hebben een belangrijke rol bij het voorkomen van de dichtslibbing ervan. Denk hierbij aan het vermijden van het wassen van auto's of het tijdelijk storten van zand en ander bouw materiaal op de waterpasserende

verhardingen. Vervolgonderzoek naar de communicatie met de omgeving/buurt wordt daarom aangeraden.

Ander vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op de verbetering van de Rotterdam Infiltrometer. In het rapport zijn een aantal vergelijkbare nationale en internationale onderzoeken benoemd, waarvan de onderzoeksmethodieken en onderzoeksresultaten beknopt zijn geanalyseerd. Gezien de beperkte tijd voor dit onderzoek is hier verder niets mee gedaan. Vervolgonderzoek kan zich daarom richten op het analyseren van vergelijkbare onderzoeken. Met deze analyses kan de huidige onderzoeksmethodiek mogelijk worden verbeterd, en kan de betrouwbaarheid en de bruikbaarheid van het onderzoek worden verhoogd.

Gedurende het onderzoek met de Rotterdam Infiltrometer rees het vermoeden dat er in de ondergrond van de verharding sprake was van luchtinsluiting. Luchtinsluiting in de ondergrond kan ontstaan wanneer de goed doorlatende straatlaag onder de bestrating zich vult met water, terwijl de slecht doorlatende ondergrond nog niet geheel gevuld is met water. Op deze manier vormt de straatlaag gevuld met water een afdichting die geen lucht meer doorlaat, en wordt de lucht in de ondergrond ingesloten. Dit heeft tot gevolg dat de bergingscapaciteit van de ondergrond beperkt wordt. Vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op de invloed die de luchtinsluiting in de bodem heeft op de bergingscapaciteit van de bodem. Indien dit verschijnsel daadwerkelijk een probleem vormt, kan er naar eventuele maatregelen worden gezocht.

Ook kan er vervolgonderzoek worden gedaan naar het functioneren van andere materialen en verhardingen in en met de Rotterdam Infiltrometer. Door testen te doen met andere materialen zoals bijvoorbeeld split in de straatlaag, of de toepassing van bijvoorbeeld geotextiel in de zandlaag, kunnen de prestaties van de materialen onderling worden vergeleken. Op deze manier kunnen afwegingen worden gemaakt voor het toepassen van de best presterende materialen in de praktijk van de stad Rotterdam.

De genoemde aanbevelingen voor vervolgonderzoek hebben als gezamenlijk doel het verbeteren en het verduurzamen van de toepassing en het gebruik van waterpasserende verhardingen in de stad Rotterdam.

Literatuurlijst

- Aquaflow b.v. (2016). *Aquaflow®: zuiver water bergen in wegen*. Opgehaald van aquaflow.nl: <http://www.aquaflow.nl/body.php?page=157>
- Atelier Groenblauw. (2016). *Waterdoorlatende verhardingsmaterialen*. Opgehaald van groenblauwenetwerken.com: <http://www.groenblauwenetwerken.com/measures/porous-paving-materials/>
- Beecham, S., Pezzaniti, D., Myers, B., Shackel, B., & Pearson, A. (2009). Experience in the application of permeable interlocking concrete paving in Australia. *9th. International Conference on Concrete Block Paving* (pp. 1-8). Buenos Aires, Argentina: Argentinean Concrete Block Association (AABH) - Argentinean Portland Cement Institute (ICPA) - Small Element Paving Technologists (SEPT).
- Berg, N. v. (2014). *Nulmeting waterpasserende bestrating, Nieuwsbrieven, KOACtions 2014, nr 2*. Opgehaald van koac-npc.com: <http://www.koac-npc.com/Flex/Site/Page.aspx?PageID=32529>
- Boerma, E., & Boogaard, F. (2012). *Test waterpasserende verharding 'Drainvast'*. Amsterdam: Tauw bv.
- Boogaard, F., & Lemmen, G. (2007). *De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater*. Utrecht: Stowa, Rapportnummer 2007-021.
- Boogaard, F., Blanksby, J., Ven, F., & Jefferies, C. (2011). Transnational knowledge exchange on SUDS, case study: permeable pavement. (pp. 1-6). Hamburg, Germany: Aquatech 2011.
- Boogaard, F., Lucke, T., Giesen, N. v., & Ven, F. v. (2014, Juli 21). *Evaluating de infiltration performance of eight Dutch permeable pavements using a new full-scale infiltration testing method*. Opgehaald van mdpi.com/journal/water: <http://www.mdpi.com/2073-4441/6/7/2070>
- Castro, D., Gonzalez-Angullo, N., Rodriguez, J., & Calzada, M. (2007). The influence of paving-block shape on the infiltration capacity of permeable paving. *Land Contamination & Reclamation*, 15, 335-344.
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2016, Maart 29). *Bodemgebruik; uitgebreide gebruiksvorm, per gemeente*. Opgehaald van statline.cbs.nl: <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=70262ned&D1=1,5,11,18,24,27,31,41&D2=0-16&D3=a&HD=091111-0945&HDR=G1&STB=T,G2>
- Deltares. (2012). *Effect van droogte op stedelijk gebied, kennisinventarisatie*. Delft: Deltares.
- Dierkes, C., Kuhlmann, L., Kandasamy, J., & Angelis, G. (2002). Pollution Retention Capability and Maintenance of Permeable Pavements. *Global Solutions for Urban Drainage* (pp. 1-13). Oregon, USA: 9th International Conference on Urban Drainage.
- Dierkes, C., Lohmann, M., Becker, M., & Raasch, U. (2005). Pollution retention of different permeable pavements with reservoir structure at high hydraulic loads. *MUNLV* (pp. 1-8). Copenhagen, Denmark: 10th International Conference on Urban Drainage.
- Ernst, L., & Labordus, J. (2004). *Samenvatting onderzoek waterdoorlatende verharding in stedelijk gebied (externe versie)*. Deventer: Tauw bv.
- Gemeente Rotterdam. (2011). *Standaard wegenbouwdetails*. Rotterdam: Ingenieursbureau gemeente Rotterdam.
- Gemeente Rotterdam. (2013a). *Herijking Waterplan 2*. Rotterdam: Gemeente Rotterdam.
- Gemeente Rotterdam. (2013b). *Rotterdamse Adaptatiestrategie*. Rotterdam: Programmabureau duurzaam, Gemeente Rotterdam.

- Gemeente Rotterdam. (2015a). *Gemeentelijk rioleringsplan planperiode 2016-2020*. Rotterdam: Stadsbeheer Rotterdam, afdeling water.
- Gemeente Rotterdam. (2015b). *Rotterdamse stijl, handboek openbare ruimte*. Rotterdam: Gemeente Rotterdam.
- Gemeente Rotterdam. (2016). *Gisweb 2.1*. Opgehaald van gis.rotterdam.nl: www.gis.rotterdam.nl/gisweb2
- Groot, A. d. (2016, Februari 18). Dhr. drs. (J. Advokaat, Interviewer) Rotterdam.
- Holcim Nederland b.v. (2016). *Porodur BKK®-systeem, een bestratingsoplossing van het zuiverste water*. Opgehaald van holcim.nl: http://www.holcim.nl/holcimcms/uploads/NL/31071_folder_A3_p1+p2_WEBSITE.pdf
- HR Wallingford . (2007). *Testing of Permeable Pavement*. Growmarsh Gifford: HR Wallingford .
- ICOR. (2015). Lab op Straat in M4H, ICOR maakt Rotterdam schoner, groener en gezonder. Rotterdam: Gemeente Rotterdam.
- KNMI. (2015). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. De Bilt: KNMI.
- Koudstaal, K. (2016, Maart 8). Dhr. (J. Advokaat, Interviewer) Rotterdam.
- Kumar, K., Kozak, J., Hundal, L., Cox, A., Zhang, H., & Granato, T. (2016). In-situ infiltration performance of different permeable pavements in a employee used parking lot - A four-year study. *Journal of Environmental Management* 167 , 8-14.
- Laan, M. v. (2016, Februari 9). Dhr. (J. Advokaat, Interviewer) Rotterdam.
- Linden, L. v. (2016). *Evaluatie monitoring Schoonegge (Notitie), Resultaten en ervaringen tests waterpasserende verharding*. Rotterdam: Gemeente Rotterdam.
- Lucke, T., Beecham, S., Boogaard, F., & Myers, B. (2013). Are infiltration capacities of clogged permeable pavements still acceptable? (pp. 1-9). Lyon, France: Novatech 2013.
- Lucke, T., Rodriguez-Hernandez, J., Sanundo-Fontaneda, L., & Beecham, S. (2012). The influence of the slope on the infiltration performance of permeable pavements. *XXXIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche* (pp. 1-10). Brescia, Italie: ResearchGate.
- MBI De steenmeesters. (2016). *Waterpasserende bestrating*. Opgehaald van mbi.nl: <http://www.mbi.nl/infra/systemen/waterpasserende-bestrating/>
- Morssinkhof GWW Beton. (2016). *Waterpasserende stenen*. Opgehaald van morssinkhof-groep.nl: <http://www.morssinkhof-groep.nl/images1/TD2012-2.2/Uni-Priora%20Aqua.pdf?r=176450579>
- Mullaney, J., Rikalainen, P., & Jefferies, C. (2012). Pollution profiling and particle size distribution within permeable paving units - With and without a geotextile. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 150-162.
- Pratt, C., & Adams, J. (1981). *Sediment Washoff Into Roadside Gullies*. Urbana: Urban Stormwater Quality, Management and Planning. Proceedings of the Second International Conference on Urban Stormwater Drainage.
- Rainaway. (2016). *Products*. Opgehaald van rainaway.nl: <http://rainaway.nl/products/>
- Ras, M., & Rook, J. (2016). *Handreiking Infiltrerende verhardingsconstructies*. Deventer: Gemeente Deventer; Adviesbureau Tauw.
- Schot, J. (2015, November 30). Samenvatting onderhoudsstrategie hemelwatervoorzieningen, Gemeente Rotterdam . Rotterdam, Zuid-Holland, Nederland.
- Stichting RIONED. (2004). *Leidraad Riolerings; Module C2100 Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren*. Ede: Stichting RIONED.

- Struyk Verwo Infra. (2016). *Drainwave stenen 21x10,5*. Opgehaald van struykverwoinfra.nl:
<http://www.struykverwoinfra.nl/productselector/beperk-wateroverlast/stenen/drainwave-stenen/drainwave-stenen-21x10-5.html>
- Tijms, T. (2016, Maart 10). Dhr. (J. Advokaat, Interviewer) Amsterdam.
- Trouwborst, E. (2014). *Ontwerpaspecten waterpasserende verharding voor ongefundeerde wegen*. Rotterdam: Werkgroep waterpasserende verharding.

Figuren- en tabellenlijst

De onderstaande figuren en tabellen zijn in dit rapport opgenomen:

Figuren:

Figuur 1: Schematisatie van de waterproblematiek bij een extreme neerslagsituatie	17
Figuur 2: Schematisatie van de waterproblematiek gedurende een langdurig droge periode	18
Figuur 3: Schematisatie van de werking van waterpasserende verhardingen	19
Figuur 4, 5 & 6: Voorbeelden van waterpasserende verhardingen (Bron: artstone.be; klostermann-beton.nl & bleijko.be)	20
Figuur 7, 8 & 9: Oorzaken van dichtslibbing door natuurlijke invloeden (Bron: bluegreenpuntbv.nl; krimpenaandenijssel.nl; wijkendordrecht.nl)	25
Figuur 10, 11 & 12: Oorzaken van dichtslibbing door menselijke invloeden (Bron: omroepzeeland.nl; gennepnul.nl; aquaflow.nl)	25
Figuur 13 & 14: Waterpasserende betonstraatsteen 'Rotterdam' (Bron: M.P.V. Laan; J. Advokaat)	27
Figuur 15: De standaardopbouw van de constructie van waterpasserende verharding in Rotterdam (Bron: Gemeente Rotterdam, 2011)	28
Figuur 16, 17 & 18: Voorbeelden van methodes voor infiltratiecapaciteit metingen (Bron: J. Advokaat ; mdpi.com; mdpi.com)	31
Figuur 19: Praktijktest met de regensimulatie testbank (Bron: Dierkes et al., 2002)	32
Figuur 20: Praktijktesten door middel van een buisimulatie met een spuitwagen (Bron: Linden, 2016)	32
Figuur 21: Locaties van de testen met de dubbele ring infiltrometer in het parkeervak	33
Figuur 22, 23 & 24: Opstellingen van laboratoriumtesten met waterpasserende verhardingen (Bron: Castro et al., 2007; HR Wallingford, 2007; Mullaney et al., 2012)	35
Figuur 25 & 26: Opstellingen van laboratoriumtesten met waterpasserende verhardingen (Bron: Lucke et al., 2012; Boerma & Boogaard, 2012)	36
Figuur 27: Schematische weergave van de Rotterdam Infiltrationmeter	37
Figuur 28 & 29: Verschil in dichtslibbing tussen de praktijksituatie en de laboratoriumsituatie (Bron: S. van Toor; J. Advokaat)	46

Tabellen:

Tabel 1: Testresultaten van de praktijkmetingen	40
Tabel 2: Testresultaten van de laboratoriumtesten van de geteste betonstraatstenen	40
Tabel 3: Testresultaten van de laboratoriumtesten van de geteste Rainaway tegels	41

Bijlagen

In het rapport zijn de volgende bijlagen opgenomen:

- Bijlage 1 Verklarende woordenlijst
- Bijlage 2 Lijst geïnterviewde professionals & uitwerkingen interviews
- Bijlage 3 Globale inventarisatie van het marktaanbod van waterpasserende verhardingen
- Bijlage 4 Testlocaties van de praktijkmetingen
- Bijlage 5 Verzamelde data praktijkonderzoek
- Bijlage 6 Fotorapportage van het praktijkonderzoek
- Bijlage 7 Specificaties van de Rotterdam Infiltrometer en de geteste verhardingen
- Bijlage 8 Procesomschrijving van het onderzoek
- Bijlage 9 Zeefkromme van het stofmonster voor de laboratoriumtesten
- Bijlage 10 Tabel met gemeten infiltratiecapaciteiten met de Rotterdam Infiltrometer
- Bijlage 11 Verzamelde data laboratoriumonderzoek
- Bijlage 12 Fotorapportage van het laboratoriumonderzoek

Bijlage 1 Verklarende woordenlijst

Deze bijlage bevat een lijst met begrippen en begripstoelichtingen die in het rapport gebruikt zijn. Vaktermen zijn zo duidelijk mogelijk uitgelegd:

Consolidatie (zetting)	Het proces waarbij de bodem onder haar eigen druk inkrimpt, veroorzaakt door het onttrekken van grondwater.
Constructie-verharding	Verharding van het aardoppervlak, welke in een constructie verwerkt is. Bijvoorbeeld bestratingen als tegels of straatstenen met daaronder een of meerdere funderingsla(a)g(en).
DT-riool	Drainage Transport-riool, en ondergrondse drainagebuis waarmee grondwater kan worden getransporteerd.
Dubbele Ring Infiltrometer	Meetinstrument bestaande uit twee metalen ringen en bijbehorende randapparatuur, waarmee de infiltratiecapaciteit van een bodem of ondergrond bepaald kan worden.
Effectieve porositeit	Het volume van de poriën van een grondsoort, dat beschikbaar is voor transport van een vloeistof, gedeeld door het totale volume van een grondsoort.
Geotextiel	Doorlaatbaar textiel wat voor wegenbouwkundige toepassingen worden gebruikt als filter- drainage- of scheidingsmateriaal.
Hangwater	Water dat zich boven het capillaire water in de bodem bevindt.
Hemelwater	Verzamelnaam voor water dat uit de lucht valt zoals regen, sneeuw en hagel.
Infiltratiecapaciteit	De infiltratiesnelheid of infiltratie intensiteit van water dat aan het grondoppervlak de grond binnentreedt, per eenheid van tijd en per eenheid van horizontaal oppervlak.
Inklinking	Daling van het grondoppervlak veroorzaakt door een daling van de grondwaterstand.
K-waarde	Een eenheid voor de doorlatendheid van een grondpakket. De K-waarde geeft weer hoe snel water door een grondpakket kan stromen.
Ontwateringsdiepte	Afstand tussen het maaiveld en de grondwaterstand.

Paalrot	Schimmelaantasting aan houten funderingen, veroorzaakt door droogstand. Door het weggroten van het bovenste deel van het funderingshout (houten heipalen) gaat het erop staande bouwdeel zakken.
Rotterdam Infiltrometer	Testopstelling waarmee de infiltratiecapaciteit van waterpasserende en waterdoorlatende verhardingen kan worden getest. Met de testopstelling kan ook een vervuilingsscenario worden gesimuleerd, zodat de invloed die de vervuiling uitoefent op de infiltratiecapaciteit van de verhardingen kan worden onderzocht.
Spoorvorming	Een beschadiging aan de weg veroorzaakt door (zwaar) verkeer wat diepe sporen in het asfalt achterlaat.
Steen­slag 2/6	Fijn grind bestaande uit gebroken steen (van zowel natuursteen als puin) met een diameter die ligt tussen 2 en 6 millimeter.
Straatlaag	Laag bestaande uit split of zand welke direct onder een bestrating wordt aangebracht. Deze laag wordt aangebracht om een goede ‘inbedding’ van de bestratingselementen te waarborgen.
Verkanting	De lichte dwarshelling die is toegepast bij een weg. Verkanting wordt toegepast om de middelpuntvliedende krachten te compenseren en om de afwatering van het wegdek te verzekeren.
Verzilt­ing	Het geleidelijk toenemen van het zoutgehalte in bodem of water. Dit kan komen door overstromingen vanuit zee, door zoute kwel waarbij zeewater via de ondergrond het land binnendringt, of door onzorgvuldige irrigatiemethoden.
Vorstindringing	Het binnendringen van vorst in de bodem. Dit kan tot gevolgen hebben dat de bodem gaat uitzetten.
Waterdoorlatende verharding	Verharding van het aardoppervlak, met een functie waarbij water via de poriën in de verharding naar de bodem getransporteerd kan worden.
Water op straat	Wateroverlast waarbij (regen)water op het maaiveld blijft staan en/of dat water uit het riool op straat stroomt.
Waterpasserende verharding	Verharding van het aardoppervlak, met een functie waarbij water via de voegen van de verharding naar de bomen getransporteerd kan worden.
Wegcunet	Een uitgegraven gedeelte in een niet draagkrachtige grondlaag van de fundering van een weg.
ZOAB-reiniger	Een reinigingsmachine waarmee, door toepassing van hogedruk- en vacuümtechniek, een wegoppervlak gereinigd kan worden.

Bijlage 2 Lijst geïnterviewde professionals & uitwerkingen interviews

In deze bijlage zijn de voor het onderzoek geïnterviewde professionals genoemd. Van de professionals zijn de volgende gegevens beschikbaar gesteld: Naam, datum, bedrijf/organisatie, functie en emailadres. Op de volgende pagina's zijn de voor deze rapportage gebruikte interviews uitgewerkt in rapportages. Dit betreft de interviews van Dhr. M. v. Laan, Dhr. Drs. A. de Groot, Dhr. C.P. Koudstaal & Dhr. T. Tijms. De andere interviews zijn gebruikt ter ondersteuning van het onderzoek en zijn verder niet in deze rapportage uitgewerkt.

Dhr. J. Peters	08-02-2016	Gemeente Rotterdam	Projectleider Lab op straat j.peters@rotterdam.nl
Mevr. L.L. v.d. Linden	09-02-2016	Gemeente Rotterdam	Adviseur stedelijk water ll.vanderlinden@rotterdam.nl
Dhr. M.P.C. Laan	09-02-2016	Gemeente Rotterdam	Adviseur stadsbeheer wegen mpc.laan@rotterdam.nl
Dhr. S.P.A. Duinmeyer	16-02-2016	Gemeente Rotterdam	Adviseur afvalwatertransport spa.duinmeijer@rotterdam.nl
Dhr. A. de Groot	18-02-2016	Aquaflow	Directeur Aquaflow adegroot@aquafLOW.nl
Dhr. A.E. Kemeling	04-03-2016	Gemeente Rotterdam	Adviseur stedelijk water ae.kemeling@rotterdam.nl
Dhr. C.P. Koudstaal	08-03-2016	Gemeente Rotterdam	Adviseur stadsbeheer wegen cp.koudstaal@rotterdam.nl
Dhr. W. van Bommel	08-03-2016	Gemeente Rotterdam	Projectleider MRO-VLG w.vanbommel@rotterdam.nl

Dhr. T. Tijms	10-03-2016	Waternet	Assetbeheerder sector afvalwater torben.tijms@waternet.nl
Dhr. A. Houtepen	21-03-2016	Gemeente Rotterdam	Adviseur wegenbouw asm.houtepen@rotterdam.nl
Dhr. S. van Toor	06-04-2016	Gemeente Rotterdam	Medewerker objectbeheer OR s.vantoor@rotterdam.nl
Dhr. F. Boogaard	06-04-2016	Tauw/TU Delft	Adviseur & Onderzoeker floris.boogaard@tauw.com

Interview dhr. M.P.C. Laan (gemeente Rotterdam)

Datum: 9 februari 2016

Tijdstip: 13:30-15:30

Plaats: Rotterdam

Onderwerp: Beleid van gemeente m.b.t. water passerende verhardingen

Geïnterviewde: Dhr. M.P.C. Laan

Interviewer: Dhr. J. Advokaat

Type interview: half gestructureerd interview

Toelichting: Dit interview is gehouden met de heer M.P.C. Laan van de afdeling Stadsbeheer – Stedelijk Beheer – wegen bij de gemeente Rotterdam. Het doel van het interview was het verkrijgen van inzicht in de Rotterdamse ervaringen met water passerende verhardingen. Daarnaast was het hoofddoel het verkrijgen van inzicht in het beleid wat de gemeente handhaaft m.b.t. het toepassen van waterpasserende verhardingen. Het interview is afgenomen als half gestructureerd interview. Een aantal vragen zijn vooraf opgesteld en er was daarnaast veel verdieping mogelijk. Dit verslag beschrijft de onderwerpen die tijdens het interview zijn besproken en die relevant zijn voor het afstudeeronderzoek. Persoonlijke aspecten en irrelevante informatie zijn achterwege gelaten.

Interview:

Interviewer: U bent werkzaam bij de afdeling Stadsbeheer - Stedelijk Beheer - wegen bij de gemeente Rotterdam, hoe is het gebruik van constructieverhardingen hier geregeld?

Geïnterviewde: Binnen de gemeente Rotterdam gebruiken we een aantal vaste verhardingstypes. Deze zijn opgenomen in het Handboek Rotterdamse Stijl. De verhardingen in Rotterdam bestaan uit grofweg 25% asfaltverhardingen uit 75% elementenverhardingen. In totaal heeft de gemeente grofweg 25 miljoen m² aan verharding te beheren en onderhouden. Voor standaard bestratingen hebben we twee soorten, namelijk de betonstraatsteen (BSS) en de straatbaksteen (SBS). Voor heel Rotterdam zijn kaarten opgesteld waar welke bestratingstypen toegepast (moeten) worden.

Voor het toepassen van waterpasserende verhardingen in Rotterdam wordt gebruikt gemaakt van de Hemelwatermatrix. In dit schema is, door middel van een stappenplan, een keuze te maken voor een type hemelwatervoorziening in Rotterdam. Afhankelijk van de locatie, functie en ondergrond kan bepaald worden of een waterpasserende verhardingen toepasbaar is.

Belangrijk is dat ook de grondwaterstand voldoende onder het maaiveld ligt. In het peilbesluit is opgenomen dat een minimale grondwaterstand van 0,75m onder maaiveld moet worden gehanteerd.

De opbouw van de constructieverhardingen in Rotterdam en het wel of niet toepassen van (weg)funderingen, is opgenomen in het Handboek Standaard Wegbouwdetails (SWD). Ook wordt bij nieuwe aanleg van verhardingen in Rotterdam een op de locatie toegespitst verhardingsadvies opgesteld die aangeeft welke constructie en welke diktes van de constructie worden voorgeschreven. De voorgeschreven constructie wordt berekend voor het huidige gebruik (belasting) als ik de verwachte ontwikkelingen in het gebruik (de belasting) in de toekomst.

Interviewer: Zijn er in het Handboek Rotterdamse Stijl ook waterpasserende verhardingen opgenomen?

Geïnterviewde: Op dit moment is in het handboek de betonstraatsteen “Rotterdam” waterpasserend opgenomen. Deze betonstraatsteen heeft een waterpasserende inkeping die opgevuld kan worden met split. We zijn op dit moment samen met marktpartijen bezig met het ontwikkelen van een waterpasserende straatbaksteen dan wel een lookalike variant daarvan. De granito betonstraatsteen (waterpasserende variant) staat ook opgenomen in de Standaard Wegbouw Details (SWD).

Naast de opname in het Handboek Rotterdamse Stijl hebben we op een aantal plekken een “drainbrick” van het bedrijf Drainvast liggen. Dit afvoerputje van klinkerformaat is toepasbaar op plekken waar plasvorming ontstaat. De “drainbrick” is erg duur (circa 150 euro). Een proef met 20 exemplaren door heel de stad loopt najaar 2016 af. Dan wordt het gebruik en de effectiviteit van de “drainbrick” geëvalueerd. De “drainbrick” lost overigens alleen een lokaal probleem met een vervelende plas op. De “drainbrick” is absoluut geen alternatief voor de waterpasserende verharding van band tot band.

Interviewer: Wat zijn aandachtspunten bij waterpasserende verhardingen ten opzichte van de standaardverhardingen?

Geïnterviewde: Allereerst de verkanting van het wegdek. Bij reguliere verhardingen ligt de weg onder een kleine helling, zodat het water kan worden afgevoerd naar de kolken. Bij waterpasserende verhardingen is dit in principe niet nodig, omdat er geen kolken aanwezig zijn.

Daarnaast moet rekening worden gehouden met de opbolling van het grondwater. Om voldoende water in de ondergrond te bergen is een ontwateringdiepte van minimaal 0,75m benodigd. Indien dit niet haalbaar is, kan een drain worden toegepast. Belangrijk is ook dat er zand met een uniforme korrelgrootte wordt toegepast in de funderingen van de wegen. Dit voorkomt spanning in de funderingen.

Interviewer: Is de waterpasserende variant van de betonstraatsteen al ergens in Rotterdam toegepast?

Geïnterviewde: Ja, op meerdere locaties in Rotterdam zijn waterpasserende verhardingen aangelegd. In Nesselande ligt een waterpasserend systeem wat zo'n 15 jaar geleden is aangelegd. In Hillegersberg ligt een waterpasserend systeem wat zo'n 10 jaar geleden is aangelegd. In Schoonegge is in 2013 een waterpasserend systeem aangelegd. Dit systeem wordt op dit moment ook gemonitord door de gemeente Rotterdam (zie rapportage).

Interviewer: Wat zijn de ervaringen met de waterpasserende verhardingen in Rotterdam?

Geïnterviewde: Het grote vraagstuk bij het gebruik van waterpasserende verhardingen is het onderhoud van het systeem. Bij waterpasserende verhardingen is het belangrijk dat de k-waardes in het systeem voldoende zijn om het water naar de bodem te transporteren. De zwakste schakel in het systeem is bepalend voor het gehele systeem. Als de toplaag dichtslibt door straatvuil, zorgt dit voor een beperkte waterafvoer naar de bodem toe, dichtslibbing moet dus voorkomen worden.

Een ander potentieel probleem bij waterpasserende verhardingen, is het openbreken van straten in Rotterdam. Het gebeurt vaak in Rotterdam dat bestratingen worden opengebroken om bijvoorbeeld nieuwe kabels te trekken. Omdat de grond dan wordt omgewoeld, gemengd en vervuild, bijvoorbeeld door slibvorming bij opspuiten, zorgt dit voor mindere kwaliteit van het systeem.

Van de waterpasserende verhardingen in Nesselande en Hillegersberg zijn geen specifieke data beschikbaar over de werking en het functioneren. De relatief nieuwe waterpasserende verharding in Schoonegge wordt op dit moment gemonitord door de gemeente Rotterdam en hier zijn dus meer gegevens over beschikbaar.

Interviewer: Hoe wordt het onderhoud van waterpasserende verhardingen door de gemeente Rotterdam uitgevoerd?

Geïnterviewde: In principe wordt op waterpasserende verhardingen hetzelfde (reguliere) onderhoud uitgevoerd dat ook op standaard, niet waterpasserende elementenverhardingen wordt uitgevoerd. Daarnaast zou op waterpasserende verhardingen ongeveer eens in de ongeveer vijf jaar de

voegen leeggezogen moeten worden met een ZOAB reiniger en daarna met nieuw split worden gevuld. Dit laatste gebeurt In Rotterdam (nog) niet op structurele basis.

De levensduur van elementen verhardingen is in theorie 45 jaar. Elke 5 jaar moeten de voegen in principe worden leeggezogen en opnieuw worden bijgevuld. Daarnaast moeten indien nodig de bestratingen worden recht gelegd en waterschade worden gerepareerd. Belangrijk is dat de levensduur elke vijf jaar iets wordt verlengd door het toepassen van dit onderhoud. Na 45 jaar gaat de gehele bestrating op de schop en wordt de bestrating opgehoogd, vervangen en opnieuw gestraat.

Interview dhr. A. de Groot (Aquaflow)

Datum: 18 februari 2016

Tijdstip: 13:30-14:30

Plaats: Rotterdam

Onderwerp: Ervaringen met waterpasserende verhardingen in de praktijk

Geïnterviewde: Dhr. Drs. A. de Groot

Interviewer: Dhr. J. Advokaat

Type interview: half gestructureerd interview

Toelichting: Dit interview is gehouden met dhr. A. de Groot van Aquaflow. Het doel van het interview was het verkrijgen van inzicht in landelijke ervaringen en ontwikkelingen met waterpasserende verhardingen. Het interview is afgenomen als half gestructureerd interview. Een aantal vragen zijn vooraf opgesteld en er was daarnaast veel verdieping mogelijk. Dit verslag beschrijft de onderwerpen die tijdens het interview zijn besproken en die relevant zijn voor het afstudeeronderzoek. Persoonlijke aspecten en irrelevante informatie zijn achterwege gelaten.

Interview:

Interviewer: U bent de oprichter van het bedrijf Aquaflow, wat is de doelstelling van het Aquaflow systeem en hoe wordt deze doelstelling bereikt?

Geïnterviewde: Het Aquaflow systeem is ontworpen om hemelwater te bergen en te zuiveren en eventueel horizontaal te transporteren (net als in een sloot). De berging loopt leeg middels infiltratie in de bodem (verticaal) of vertraagde afvoer (horizontaal). Bergen is om wateroverlast te voorkomen en het rioolstelsel te ontlasten. Tevens wordt voorkomen dat relatief schoon hemelwater gemengd wordt met vuilwater en in de zuivering weer gereinigd moet worden. Het waterschap hoeft dus minder relatief schoon hemelwater te zuiveren in haar rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI).

Interviewer: U bent al sinds 2000 bezig met het ontwikkelen van waterpasserende verhardingen, wat zijn de grootste uitdagingen met betrekking tot waterpasserende verhardingen?

Geïnterviewde: In het begin was het grootste probleem het ontwikkelen van een goede fundering voor de wegen. Om water te bergen in de fundering, is materiaal met holle ruimte nodig. Dit is gecreëerd door de fijne fractie in een steenslagmengsel weg te laten. Het water moet immers spanningsloos in de

fundering kunnen worden geborgen (waterspanning is vergelijkbaar met drijfzand). Anders zou de levensduur van de wegen sterk beperkt worden. Om dit probleem op te lossen is er gekozen voor een speciaal mengsel van een zeer hard gesteente voor de fundering, waarbij men goed kan verdichten, zonder dat er verbrijzeling optreedt, wat niet afschuift en waar water spanningsloos door kan bewegen.

Tegenwoordig is tegengaan van dichtslibbing van de waterpasserende verhardingen het grootste probleem. Vuil wat op de straat terecht komt zorgt voor dichtslibbing van de bovenste laag van het water passerende systeem (de voegen tussen de stenen), waardoor het functioneren afneemt. De enige manier op dit op te lossen is het toepassen van regelmatig en grondig onderhoud.

Interviewer: Hoe kan dergelijk onderhoud in uw ogen het beste worden toegepast?

Geïnterviewde: Traditioneel onderhoud wordt uitgevoerd met veegwagens welke het straatvuil opvegen. Dit gaat het best met droog weer, omdat het vuil dan los ligt en gemakkelijk wordt opgezogen door de veegwagens. Bij nat weer smeren de veegwagens het vuil juist uit. Verder moet men op het toerental letten, zodat men de voegvulling niet tussen de stenen wegzuigt. Onderhoudsschema's worden echter niet op droog of nat weer afgestemd. Verder is het geven van een korte werkinstructie aan de bestuurder lastig, omdat deze vaak wisselen. Dus dat is lastig plannen.

Een andere manier om het onderhoud uit te voeren, is met de zogenaamde ZOAB reiniger. Deze zuigt het straatvuil door toepassing van hogedruk- en vacuümtechniek van de straat af. Echter heeft deze techniek ook nadelen, zoals de relatief hoge kosten, het grote ruimtebeslag en geluidsoverlast. De machine werkt het best op een vlakke ondergrond, maar straten liggen meestal niet vlak, maar met enige tonrondte, waardoor de zuigbalk valse lucht zuigt en minder goed zijn werk doet. Ook zuigt de ZOAB reiniger een deel van het split uit de voegen, waardoor men daarna het straatwerk opnieuw moet insplitten.

Interviewer: En hoe kunnen gemeenten hier het beste mee omgaan?

Geïnterviewde: Allereerst is het belangrijk dat de aanvoer van vuil naar het waterpasserende systeem wordt beperkt. Dit is deels communicatie met bewoners, zodat zij bijvoorbeeld het vuil van hun erf niet naar de straat vegen of hun auto op straat wassen. Anderzijds is het ook het maken van een goed ontwerp, waardoor de vuillast verminderd wordt. Dus bijvoorbeeld het voorkomen van het bovengronds afvoeren van hemelwater van woningen (afzagen van regenpijpen), waardoor er veel fijn vuil uit de tuinen naar de straat spoelt.

Interviewer: Wat kunnen naast het auto wassen en het afspoelen van grond uit de tuintjes nog meer oorzaken zijn van het dichtslibben van het waterpasserende systeem?

Geïnterviewde: Er zijn meerdere aspecten die hier invloed op hebben. Een voorbeeld is het afvoeren van 'bruin water' naar het systeem. Bruin water is het hemelwater dat "onderweg" allerlei zeer fijne vuildeeltjes van daken en uit tuinen meevoert. Deze zwevende delen zijn erg fijn (< 125 µm) en zijn de belangrijkste bron van verstopping van met name de voegvulling tussen de waterpasserende stenen of de porositeit van de poreuze steen.

Een ander euvel kan ontstaan als het straatwerk losjes wordt gestraat of slecht opgesloten in combinatie met zwaar of draaiend verkeer. De stenen kunnen dan bewegen en zullen op den duur de voegvulling vernalen. De voegvulling spoelt dan naar beneden waardoor de steen los komt te liggen en de vlijlaag vervuult en 'dichtkoekt'. Het fixeren van het straatwerk is best een aandachtspunt. Zo is het onder andere van belang dat de grootte van de voegvulling wordt afgestemd op de breedte van de voeg. Een civieltechnische vuistregel is dat de breedte van de voeg maximaal twee keer zo groot is als de grootste korrel in de voegvulling.

Om de dichtslibbing van het systeem door fijn stof en vuil tegen te gaan, moet er een afweging worden gemaakt tussen twee keuzes: Enerzijds kan het systeem worden aangelegd met een grove filter/voeg, die het water makkelijker kan infiltreren naar de bodem, maar waar de kans op instroom van (fijn) vuil naar beneden groter is. Anderzijds kan het systeem worden aangelegd met een fijne filter/voeg, die het water moeilijker kan infiltreren naar de bodem, maar waar de kans op instroom van (fijn) vuil naar beneden ook minder groot is. Dit heeft weer tot gevolg dat bij grondige reiniging het vuil niet zo diep uit de voegen gehaald hoeft te worden, maar dat de infiltratiecapaciteit minder groot is dan bij een grove voeg. Een dilemma van korte en lange termijn: hoe beter (fijner) het filter hoe eerder verstopt (korte termijn) hoe grover het filter, hoe langer het duurt, de hele vlijlaag kan immers ook gevuld worden, maar daarna is reinigen moeilijk en moet men herstraten (lange termijn)

Interviewer: Wat zijn op dit moment de conclusies m.b.t. de effectiviteit van waterpasserende verhardingen?

Geïnterviewde: Waterpasserende verhardingen zijn een passende maatregel om water verantwoord af te voeren naar de bodem. Waterpasserende verhardingen dragen bij aan kosten besparingen in het proces van water zuiveren in waterzuiveringsinstallaties. Daarnaast bieden de waterpasserende verhardingen oplossingen zoals het voorkomen van wateroverlast bij piekbuien en het aanvullen van het grondwater in droge periodes. Echter is het regelmatig onderhouden van waterpasserende verhardingen cruciaal voor het functioneren ervan. Om waterpasserende verhardingen effectief te onderhouden is jaarlijks onderhoud nodig dat op de juiste manier wordt uitgevoerd. Onderhoud kost geld en de budgetten van de gemeenten laten afwijkingen van de standaard vaak niet toe, omdat dat vaak iets duurder uitvalt of niet in de procedures past. Wat je momenteel merkt is dat

waterpasserende verhardingen worden aangelegd met daarnaast ook straatkolken (Aquaflow WT kolk) als extra zekerheid. Hierdoor is de afhankelijk van regulier onderhoud voor het goed functioneren van het systeem bij grote regenbuien niet meer zo groot. Dit zorgt voor dubbele zekerheid en daardoor een groter draagvlak bij met name de wegbeheerders voor aanleg van de waterbergende weg en doorlatende verhardingen.

Interview dhr. K. Koudstaal (gemeente Rotterdam)

Datum: 8 maart 2016

Tijdstip: 10:30-12:00

Plaats: Rotterdam

Onderwerp: Beleid van gemeente m.b.t. water passerende verhardingen

Geïnterviewde: Dhr. K. Koudstaal

Interviewer: Dhr. J. Advokaat

Type interview: half gestructureerd interview

Toelichting: Dit interview is gehouden met dhr. K. Koudstaal van de het cluster Stadsbeheer, afdeling Water bij de gemeente Rotterdam. Het doel van het interview was het verkrijgen van inzicht in de Rotterdamse ervaringen met water passerende verhardingen. Daarnaast was het hoofddoel het verkrijgen van inzicht in het beleid van de gemeente m.b.t. het toepassen van waterpasserende verhardingen. Het interview is afgenomen als half gestructureerd interview. Een aantal vragen zijn vooraf opgesteld en er was daarnaast veel verdieping mogelijk. Dit verslag beschrijft de onderwerpen die tijdens het interview zijn besproken en die relevant zijn voor het afstudeeronderzoek. Persoonlijke aspecten en irrelevante informatie zijn achterwege gelaten.

Interview:

Interviewer: U bent werkzaam bij het cluster Stadsbeheer, afdeling Water bij de gemeente Rotterdam, hoe is het gebruik van waterpasserende verhardingen bij de gemeente Rotterdam geregeld?

Geïnterviewde: De gemeente heeft een aantal documenten waarin het toepassen van waterpasserende verhardingen mogelijk wordt gemaakt. In de Rotterdamse Stijl is de beeldkwaliteit vastgelegd en het Handboek Riolering is het technische document. Daarnaast zijn tools ontwikkeld om een maatwerk te leveren als de hemelwatermatrix, waterpasserende kansenkaart, afwegingscriteria en factsheets.

In Rotterdam zijn op enkele plekken al waterpasserende verhardingen aangelegd. In Sportdorp is bijvoorbeeld het Aquaflow systeem aangelegd en in Ibizahof is het Holcim systeem aangelegd. In Schoonegge is een wijkdeel aangelegd met een DIT riool in combinatie met waterpasserende verhardingen en morene split.

Interviewer: Waarom is er maar 1 type waterpasserende verhardingen met (zand) fundering in de Rotterdamse Stijl opgenomen? en waarom zijn oplossingen zoals infiltratiekratten niet in de Rotterdamse stijl opgenomen?

Geïnterviewde: Dit komt door het feit dat we er in Rotterdam vanuit gaan dat er eens in de vijf jaar de straat wordt opengebroken door een kabelaar. Wanneer een kabelaar het systeem openbreekt treedt vermenging van de bodem op en zorgt dit voor vervuiling van de ondergrond. Dit heeft tot gevolg dat de waterpasserende functie van de ondergrond afneemt. Daarnaast moet het dure systeem ook weer opnieuw worden aangelegd.

Met directe infiltratie naar de ondergrond kan in principe 90 procent van het regenwater wat valt in Rotterdam worden afgevoerd naar de bodem.

Interviewer: Wat is de gangbare opbouw van de ondergrond voor waterpasserende verhardingen?

Geïnterviewde: We spreken nu over waterpasserende verhardingen op ongefundeerde wegen. De opbouw bestaat uit een waterpasserende betonstraatsteen, 0,05m straatlaag (split) en daaronder circa 0,75m zand.

Echter blijkt dat de toepassing van 0,75m zand in de praktijk niet altijd werkt en dat er ook situaties zijn waar minder zandhoogte wordt toegepast. In principe kan dit geen kwaad voor de waterberging, die is meestal voldoende aanwezig. Wel kan het problemen opleveren voor de krachten die op de constructie komen te staan, maar ook dat is vaak minimaal.

Interviewer: Hoe is het onderhoud van de waterpasserende verhardingen in Rotterdam vastgesteld?

Geïnterviewde: Dit staat beschreven in de Eindnotitie waterpasserende verhardingen van de gemeente Rotterdam. Het komt neer op regulier veegonderhoud in combinatie met eens in circa vijf jaar een reiniging van de voegen met een ZOAB reiniger en het opnieuw invegen van de voegvulling.

Het is ontzettend belangrijk dat er draagvlak wordt gecreëerd bij de wegbeheerder en dat de wegbeheerder het onderhoud consistent uitvoert. Per situatie, afhankelijk van bijvoorbeeld bladval, moet vooraf worden vastgesteld wat voor onderhoud er wordt toegepast en hoe vaak dit moet worden gedaan.

Op dit moment is het de grote vraag wat waterpasserende verhardingen in de tijd doet. Wat is de invloed van dichtslibbing en vervuiling op de infiltratiecapaciteit en wanneer is deze dermate beperkt dat er maatregelen moeten worden genomen?

Interviewer: Wat is naast onderhoud nog meer belangrijk bij de aanleg van waterpasserende verhardingen?

Geïnterviewde: Bewustwording bij de omwonenden. Door zichtbaar scheiden van schoon- en vuilwater worden de bewoners bewust gemaakt van de situatie. Daarnaast is het belangrijk dat bewoners worden geïnformeerd over het niet wassen van auto's op waterpasserende verhardingen en het feit dat bij waterpasserende verhardingen geen gladheidsbestrijding wordt toegepast.

Interviewer: Op dit moment hoor je dat veel waterpasserende verhardingen wordt aangelegd in combinatie met kolken. Dit is eigenlijk dubbelop, omdat bij waterpasserende verhardingen kolken per definitie niet meer nodig zijn. Hoe komt het dat er dubbel werk wordt toegepast?

Geïnterviewde: Dit komt doordat de werking van waterpasserende verhardingen nog niet volledig wordt vertrouwd. Niet goed uitgevoerd beheer en onderhoud kan al snel grote gevolgen hebben op de waterpasserende functie van het systeem. Om zekerheid te hebben worden er vaak kolken naast de waterpasserende verhardingen aangebracht. Dit is echter een dubbele kostenpost en zorgt voor een duur systeem. Meer vertrouwen in de waterpasserende verhardingen en duidelijkere afspraken kunnen hier verandering in brengen.

Interview dhr. T. Tijms (Waternet)

Datum: 10 maart 2016

Tijdstip: 11:00-12:00

Plaats: Amsterdam

Onderwerp: Monitoring Granudrain Argonautenstraat

Geïnterviewde: Dhr. T. Tijms

Interviewer: Dhr. J. Advokaat

Type interview: half gestructureerd interview

Toelichting: Dit interview is gehouden met dhr. T. Tijms van Waternet. Het doel van het interview was het verkrijgen van inzicht in de monitoring van, en de ervaringen met de Granudrain op de Argonautenstraat in Amsterdam. Het interview is afgenomen als half gestructureerd interview. Een aantal vragen zijn vooraf opgesteld en er was daarnaast veel verdieping mogelijk. Dit verslag beschrijft de onderwerpen die tijdens het interview zijn besproken en die relevant zijn voor het afstudeeronderzoek. Persoonlijke aspecten en irrelevante informatie zijn achterwege gelaten.

Interview:

Interviewer: Wat is de achterliggende gedachte voor de monitoring van de Granudrain op de Argonautenstraat?

Geïnterviewde: Het doel is het verkrijgen van meer inzicht in het functioneren van de infiltratiestrook. Welke bui kan de infiltratiestrook verwerken, welke invloed heeft de infiltratiestrook in combinatie met DIT-riool op de grondwaterstand en welke onderhoudsfrequentie behoort er bij de infiltratiestrook. Deze vragen willen we door middel van de monitoring beantwoordt zien.

Interviewer: Hoe is de monitoring van de Granudrain op de Argonautenstraat opgezet?

Geïnterviewde: Middels het jaarlijks uitvoeren van proeven zullen wij de werking van de infiltratiestrook gaan monitoren. Op de locatie zijn aanwezig: peilbuizen met loggers en camera's. De gegevens worden vergeleken met een referentiestraat in de buurt.

Interviewer: Hoe zijn de bewoners van de Argonautenstraat betrokken bij het onderzoek?

Geïnterviewde: De bewoners zijn ingelicht over het onderzoek en we blijven de bewoners op de hoogte stellen m.b.t. de voortgang hiervan.

Interviewer: Wat wordt er gedaan met de data die met de monitoring van de Granudrain wordt verzameld?

Geïnterviewde: Hieruit zal blijken hoe de infiltratiestrook functioneert en we zullen de wegbeheerder hiermee een onderbouwd advies kunnen geven m.b.t. het onderhoud en de frequentie van het onderhoud.

Interviewer: Waarom wordt de monitoring uitgevoerd met een bui type 8?

Geïnterviewde: Het systeem is aangelegd en gedimensioneerd om een bui 8 te kunnen bergen. We testen dus eigenlijk of het systeem nog naar behoren werkt.

Interviewer: Wat zijn mogelijke oorzaken van beperkte berging in de Granudrain?

Geïnterviewde: Dit kan meerdere oorzaken hebben. Allereerst zijn er wat fouten gemaakt bij de aanleg van de Granudrain. Het systeem is aangelegd door een andere aannemer i.p.v. de producent zelf. Plastic zeil wat tijdens de aanleg te lang op het systeem heeft gelegen is destijds onvoldoende verwijderd en kan verstopping veroorzaken. Daarnaast ligt de grindbak te laag in de weg. Al het vuil kan nu direct naar de grindbak stromen en blijft daar in liggen. Als de grindbak iets hoger had gelegen dan de omliggende bestrating had dit probleem zich niet of minder voorgedaan. Verder is er geen speciaal onderhoud uitgevoerd, dit is gedaan om te kijken wat het systeem doet bij regulier onderhoud. Als laatste kan een van de oorzaken het uitspoelen van grond uit de boomvakken zijn. De boomvakken staan direct naast de straat en het grond kan bij harde regen naar de Granudrain stromen. Dit kan verstopping van het systeem veroorzaken.

Bijlage 3 Globale inventarisatie van het marktaanbod van waterpasserende verhardingen

Hieronder is een kort overzicht weergegeven met op de markt beschikbare waterpasserende en waterdoorlatende verhardingen. Belangrijk gegeven is dat deze lijst beperkt is, en dat lang niet alle aanbieders van waterpasserende en waterdoorlatende verhardingen vermeld worden.

Waterpasserende verhardingen zijn in verschillende varianten beschikbaar op de Nederlandse markt. Voorbeelden zijn de Rainaway tegels van het bedrijf Rainaway, welke waterpasserende en waterdoorlatende varianten aanbiedt (Rainaway, 2016), de Drainwave steen in combinatie met een speciale viltvoeg van het bedrijf Struyk Verwo (Struyk Verwo Infra, 2016), de Drainsteen van het bedrijf MBI b.v. (MBI De steenmeesters, 2016) en de UNI-Piora Aqua stenen van het bedrijf Morssinkhof GWW Beton (Morssinkhof GWW Beton, 2016).

Enkele producenten die naast waterpasserende verhardingen ook de bijbehorende ondergrondse pakketten leveren, zijn het bedrijf Aquaflow b.v. (Aquaflow b.v., 2016) en het bedrijf Holcim Nederland b.v. (Holcim Nederland b.v., 2016).

Bijlage 4 Testlocaties van de praktijkmetingen

Hieronder zijn de locaties waar de praktijkmetingen met de dubbele ring infiltrometer zijn uitgevoerd weergegeven. De rode cirkel geeft de precieze locatie van de praktijkmetingen in beide straten weer.



Figuur 1: Locatie praktijkmetingen Malvastraat in Rotterdam (Bron: Gemeente Rotterdam, 2016)



Figuur 2: Locatie praktijkmetingen Hockeystraat in Rotterdam (Bron: Gemeente Rotterdam, 2016)

Bijlage 5 Verzamelde data praktijkonderzoek

De tabellen op de volgende pagina's geven de met de praktijktesten verzamelde data weer. Deze gegevens zijn verkregen door de testen uit te voeren met een dubbele ring infiltrometer. Hieronder is aanvullende informatie over de praktijktesten en de geteste bestratingen weergegeven:

Malvastraat	Wijk: IJsselmonde Aanlegjaar bestrating: 2016 Totale straatoppervlakte: 397 m ² Straatmateriaal: BSS Rotterdam 'waterpasserend' (nieuwe model) Voegmateriaal: Steenslag 2/6 Ondergrond: Veen Uitgevoerd onderhoud: Regulier veegonderhoud, geen ZOAB-reiniger Geschatte gebruiksintensiteit: 300 verkeersbewegingen per etmaal, waarvan circa 10 vrachtwagens
Hockeystraat	Wijk: Hillegersberg-Schiebroek Aanlegjaar bestrating: 2010 Totale straatoppervlakte: 604 m ² Straatmateriaal: BSS Rotterdam 'waterpasserend' (oude model) Voegmateriaal: Steenslag 2/6 Ondergrond: Klei Uitgevoerd onderhoud: Regulier veegonderhoud, geen ZOAB-reiniger Geschatte gebruiksintensiteit: 250 verkeersbewegingen per etmaal, waarvan circa 10 vrachtwagens

Hieronder is aanvullende informatie over de testomstandigheden weergegeven:

Malvastraat	Weer: Droog en bewolkt Temperatuur: 19/20 graden Gemeten voegoppervlak bij test 1/2/3: 26,88 cm ² /26,88 cm ² /25,2 cm ²
Hockeystraat	Weer: Droog en zonnig Temperatuur: 23/24 graden Gemeten voegoppervlak bij test 1/2/3: 43,52 cm ² /38,08 cm ² /43,52 cm ²

Test 1.1						Test 1.2				
10-5-2016 12:52 Malvastraat						10-5-2016 13:38 Malvastraat				
Tijd (min)	Hoogte (cm)	Duur (min)	Duur (sec)	Intensiteit (mm/uur)		Tijd (min)	Hoogte (cm)	Duur (min)	Duur (sec)	Intensiteit (mm/uur)
0,00	5,0					0,00	5,0			
3,16	2,5	00:03:16	196	459		3,08	2,5	00:03:08	188	479
<i>bijvullen</i>						<i>bijvullen</i>				
4,01	5,0					3,49	5,0			
6,12	2,5	00:02:11	131	687		6,37	2,5	00:02:48	168	536
<i>bijvullen</i>						<i>bijvullen</i>				
6,40	5,0					7,11	5,0			
8,52	2,5	00:02:12	132	682		10,07	2,5	00:02:56	176	511
<i>bijvullen</i>						<i>bijvullen</i>				
9,25	5,0					11,16	5,0			
11,30	2,5	00:02:05	125	720		13,49	2,5	00:02:33	153	588
<i>bijvullen</i>						<i>bijvullen</i>				
12,10	5,0					14,22	5,0			
14,46	2,5	00:02:36	156	577		17,24	2,5	00:03:02	182	495
<i>bijvullen</i>						<i>bijvullen</i>				
15,15	5,0					17,58	5,0			
17,51	2,5	00:02:36	156	577		20,06	2,5	00:03:48	168	536
<i>bijvullen</i>						<i>bijvullen</i>				
18,20	5,0					20,38	5,0			
20,35	2,5	00:02:15	135	667		23,28	2,5	00:02:40	170	529
	Gemiddeld:	00:02:27	147	624			Gemiddeld:	00:02:59	172	525

Test 1.3		10-5-2016	14:20	Malvastraat						
Tijd (min)	Hoogte (cm)	Duur (min)	Duur (sec)	Intensiteit (mm/uur)						
0,00	5									
3,19	2,5	00:03:19	199	452						
<i>bijvullen</i>										
3,59	5									
6,15	2,5	00:02:56	176	511						
<i>bijvullen</i>										
6,49	5									
9,03	2,5	00:02:54	174	517						
<i>bijvullen</i>										
9,36	5									
12,23	2,5	00:02:47	167	539						
<i>bijvullen</i>										
13,02	5									
15,40	2,5	00:02:38	158	570						
<i>bijvullen</i>										
16,12	5									
18,58	2,5	00:02:46	166	542						
<i>bijvullen</i>										
19,24	5									
22,03	2,5	00:02:39	159	566						
	Gemiddeld:	00:02:51	171	528						
Totaal gemiddelde intensiteit (mm/uur):				559						

Meetgegevens:

Oppervlakte kleine ring (m2): 0,071

Volume kleine ring bij 2,5 cm waterhoogt 1,767

Benodigd aantal kleine ringen voor 1 m2: 14,1471

Test 2.1						Test 2.2				
11-5-2016						11-5-2016				
10:51						11:44				
Hockeystraat						Hockeystraat				
Tijd (min)	Hoogte (cm)	Duur (min)	Duur (sec)	Intensiteit (mm/uur)		Tijd (min)	Hoogte (cm)	Duur (min)	Duur (sec)	Intensiteit (mm/uur)
0,00	5,0					0,00	5,0			
1,38	2,5	00:01:38	98	918		3,43	2,5	00:03:43	223	404
<i>bijvullen</i>						<i>bijvullen</i>				
2,25	5,0					4,28	5,0			
5,38	2,5	00:03:13	193	466		12,18	2,5	00:07:50	470	191
<i>bijvullen</i>						<i>bijvullen</i>				
6,26	5,0					13,36	5,0			
10,43	2,5	00:04:17	257	350		26,06	2,5	00:12:30	750	120
<i>bijvullen</i>						<i>bijvullen</i>				
11,54	5,0					27,15	5,0			
16,57	2,5	00:05:03	303	297		42,38	2,5	00:15:23	923	98
<i>bijvullen</i>						<i>bijvullen</i>				
18,05	5,0					43,36	5,0			
23,45	2,5	00:05:40	340	265		63,38	2,5	00:20:02	1202	75
<i>bijvullen</i>						<i>bijvullen</i>				
24,42	5,0					64,20	5,0			
31,45	2,5	00:07:03	423	213		76,40	2,5	00:12:20	740	122
<i>bijvullen</i>						<i>bijvullen</i>				
32,20	5,0					77,12	5,0			
37,35	2,5	00:05:15	315	286		93,16	2,5	00:16:04	964	93
	Gemiddeld:	00:04:36	276	399			Gemiddeld:	00:12:33	753	157

Test 2.3		11-5-2016	13:22	Hockeystraat						
Tijd (min)	Hoogte (cm)	Duur (min)	Duur (sec)	Intensiteit (mm/uur)						
0,00	5									
3,21	2,5	00:03:21	201	448						
<i>bijvullen</i>										
3,49	5									
8,05	2,5	00:04:56	496	181						
<i>bijvullen</i>										
9,49	5									
18,03	2,5	00:08:54	534	169						
<i>bijvullen</i>										
19,36	5									
27,43	2,5	00:08:07	487	185						
<i>bijvullen</i>										
28,12	5									
35,40	2,5	00:07:28	448	201						
<i>bijvullen</i>										
36,12	5									
43,58	2,5	00:07:46	466	193						
<i>bijvullen</i>										
44,34	5									
52,48	2,5	00:08:14	494	182						
	Gemiddeld:	00:06:58	447	223						
Totaal gemiddelde intensiteit (mm/uur):				260						

Meetgegevens:	
Oppervlakte kleine ring (m2):	0,071
Volume kleine ring bij 2,5 cm waterhoogt	1,767
Benodigd aantal kleine ringen voor 1 m2:	14,1471

Bijlage 6 Fotorapportage van het praktijkonderzoek

Hieronder is een korte fotorapportage van het praktijkonderzoek met de dubbele ring infiltrometer weergeven:



- 1) Locatie bepalen en afzetten. Materialen klaarzetten voor de testen.



- 4) De meting starten en vervolgens na elke 2,5 cm waterdaling het waterniveau weer bijvullen tot 5 cm.



- 2) De dubbele ring infiltrometer plaatsen en afdichten bij de naden.

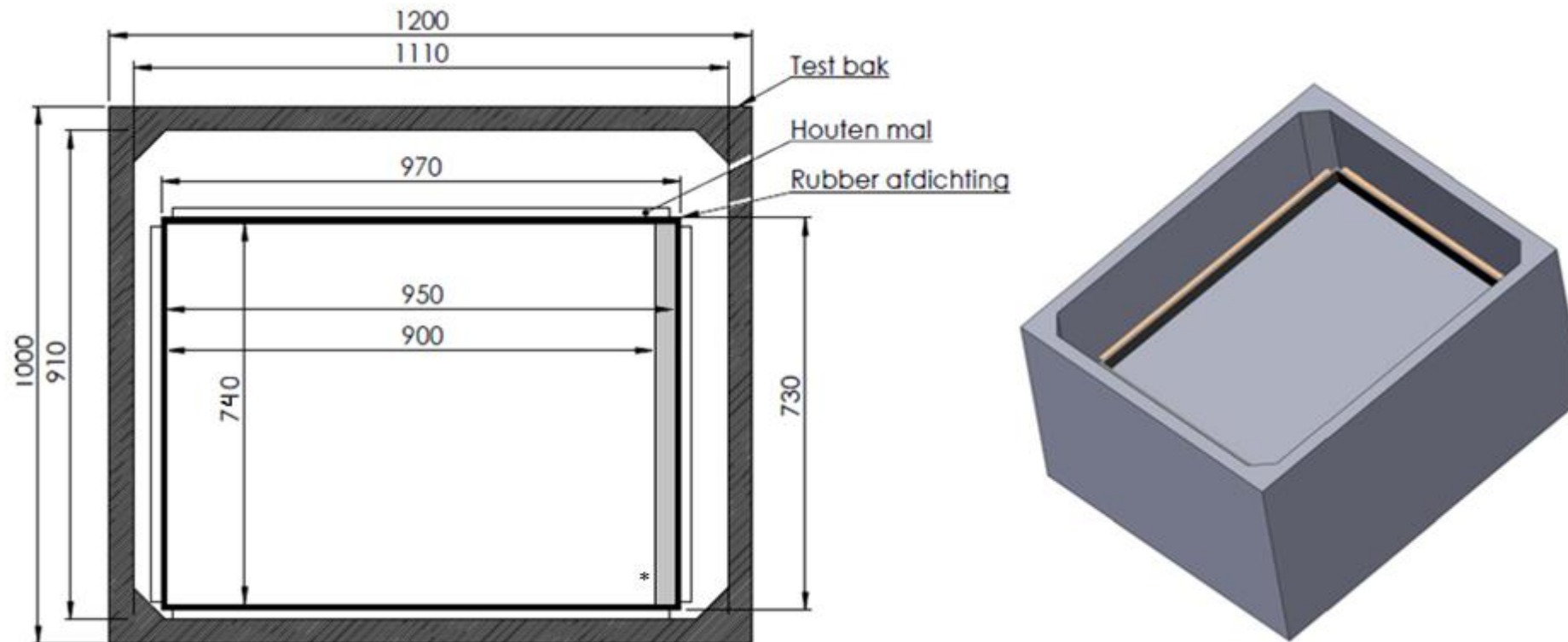


- 3) Beide ringen vullen met een waterniveau van 5 cm.

Bijlage 7 Specificaties van de Rotterdam Infiltrometer en de geteste bestratingen

Hieronder zijn de specificaties van de Rotterdam Infiltrometer en de geteste bestratingen weergegeven. Onder andere de afmetingen van de testopstelling, de afmetingen van de bestratingen, de gemeten voegoppervlakken, en de productspecificaties van de potgrond en het zand zijn weergegeven:

Afmetingen Rotterdam Infiltrometer (allen in mm):



*De lichtgrijze rand in de afbeelding staat voor de houten rand die bij de Rainaway tegels is toegepast. Omdat de Rainaway tegels niet nauwkeurig aansluiten op de rubberen rand en de houten mal, is er een houten rand van 5 cm breed en 74 cm lang achter de rubber rand geplaatst. Op deze manier is de loze ruimte tussen de rubberen rand en de houten mal opgevuld. Het totale testoppervlak van de Rainaway tegels is daarom iets kleiner dan dat van de klinkerverhardingen van de gemeente Rotterdam en Struyk Verwo, namelijk 0,67 m² t.o.v. 0,70 m².

Afmetingen geteste bestratingen:

	Betonstraatsteen 'Rotterdam' waterpasserend	Drainwave (Struyk Verwo & Drainvast)	
lengte	211 mm	210 mm	
breedte	105 mm	105 mm	
hoogte	80 mm	80 mm	
bron: Handboek Rotterdamse stijl; www.struykverwoinfra.nl			
	Rainaway 'flood open'	Rainaway 'flood closed'	Rainaway 'flood permeable'
lengte	300 mm	300 mm	300 mm
breedte	300 mm	300 mm	300 mm
hoogte	100 mm	100 mm	100 mm
bron: www.rainaway.nl			

Gemeten voeglengtes en voegoppervlak bij de testen:

Bestratingstype	Geteste oppervlak	Totale voeglengte	Totale voegoppervlak	Opmerkingen
BSS 'Rotterdam' waterpasserend	0,70 m ²	8,64 meter	314,16 cm ²	<i>Voegen gevuld met steenslag 2/6</i>
Struyk Verwo 'Drainwave'	0,70 m ²	8,64 meter	192,15 cm ²	<i>Voegen gevuld met stukjes vilt</i>
Rainaway 'Flood Open'	0,67 m ²	3,28 meter	57,26 cm ²	<i>Speciale ronde voegopeningen, geen vulling</i>
Rainaway 'Flood Closed'	0,67 m ²	3,28 meter	-	<i>Dichte steen zonder brede voegen</i>
Rainaway 'Flood Permeable'	0,67 m ²	3,28 meter	-	<i>Steen is in zijn geheel doorlatend</i>

Productspecificaties van de/het voor het onderzoek gebruikte potgrond en zand:

Potgrond: Central Park - universele potgrond, 40L (prijs +- 4 euro), EAN: 8711216397113

(Praxis bouwmarkt)

Zilverzand: Decor – zilverzand, 25 kg (prijs +-2,5 euro), EAN: 8711434432047

(Praxis bouwmarkt)

Bijlage 8 Procesomschrijving van het onderzoek

Gedurende het onderzoek zijn er verschillende proeftesten gedaan en uiteindelijk is tot het huidige ontwerp van de onderzoeksmethode en de testopstelling gekomen. Deze bijlage beschrijft welk proces is doorlopen om tot het uiteindelijke ontwerp van de Rotterdam Infiltrometer en de toegepaste onderzoeksmethode te komen. De beschrijving is opgebouwd uit verschillende fasen en onderbouwd met enkele afbeeldingen.

De beginfase

Gedurende de beginfase van het onderzoek was (nog) niet bekend wat er precies zou worden onderzocht en hoe de testopstelling zou worden opgebouwd. Het enige wat vaststond, was het feit dat er een testopstelling zou worden gebouwd en dat hiermee waterpasserende verhardingen zouden worden getest op technisch functioneren.

Aan de hand van interviews met professionals en literatuuronderzoek, is geïnterviewd welke praktijkproblemen er spelen bij waterpasserende verhardingen. Om het onderzoek af te bakenen is, in overleg met de opdrachtgevers, bepaald dat het onderzoek zich zou focussen op de dichtslibbing van waterpasserende verhardingen. Na deze afbakening is er een onderzoeksmethode bepaald. Vervolgens is een ontwerp gemaakt voor de testopstelling (de uiteindelijke Rotterdam Infiltrometer), en is deze opgebouwd.

Voor het onderzoek werd een testopstelling gebouwd, waarmee een regenbui (bui 8 uit de Leidraad riolering) kon worden gesimuleerd. Deze regenbui kon over een bestrating in de testopstelling worden gespreid. Vervolgens kon worden vastgesteld of er een 'water op straat situatie' zou optreden en met een stopwatch kon worden gemeten hoe lang het water op straat zou blijven staan. De regenbui kon worden gesimuleerd over straten met verschillende vervuilingsgraden, zodat een beeld kon worden verkregen van de invloed die de vervuiling uitoefent op de waterafvoer naar de ondergrond. Het water wat naar de bodem van de bak werd getransporteerd kon vervolgens met een slangenpomp uit het systeem worden gepompt, en de testen konden weer herhaald worden. Door testen uit te voeren met verschillende typen bestratingen, konden de bestratingen met elkaar vergeleken worden. Bij deze onderzoeksmethode zouden geen praktijktesten worden uitgevoerd en kon er dus geen directe vergelijking met de praktijksituatie worden gemaakt.



Figuur 1: Testopstelling met het sproeisysteem

Figuur 1 geeft de opstelling van de Rotterdam Infiltrometer met het sproeisysteem weer.

Na een aantal proeftesten met deze methode was de ervaring dat het enkel meten van de duur van de waterhoogte op straat te beperkt was. De testen met verschillende vervuilingsgraden gaven te weinig harde data om goede conclusies te kunnen trekken over de waterafvoer bij de verschillende vervuilingsgraden. Daarom werd besloten dat er ook twee druksensoren in de ondergrond moesten worden aangebracht. Met deze twee druksensoren kon de stijging van het grondwater worden gemeten, en zo kon inzicht worden verkregen in de waterstromen in de ondergrond. Na het aanpassen van de testopstelling en het plaatsen van de twee druksensoren, zijn weer een aantal proeftesten uitgevoerd.

NB. De opbouw van bak van de Rotterdam Infiltrometer (bestaande uit: de fundering van de bestratingen in de bak, de bestratingen in de bak, de rubberen rand, de houten mal en de peilbuizen), is gedurende het gehele proces hetzelfde gebleven. Hier zijn geen verdere aanpassingen in aangebracht, enkel de manier van meten en de manier van water toevoeren zijn gedurende het proces aangepast.

De middenfase

Na deze proeftesten waren de ervaringen met het sproeisysteem niet positief. De slangetjes raakten snel verstopt, de aansluiting op de slangenpomp raakte snel los en er kon geen goede piekafvoer met de slangenpomp worden gesimuleerd. Na een aantal proeftesten werd daarom bepaald dat er een andere manier van watertoevoer moest worden toegepast, om de testen betrouwbaarder te maken. Hierbij ontstond het besef dat het onderzoek een stuk betrouwbaarder en waardevoller zou zijn wanneer de vergelijking met een of meerdere praktijksituatie(s) in Rotterdam kon worden gemaakt. Dit heeft geleid tot twee aanpassingen in de onderzoeksmethode: 1) Het regensysteem is vervangen door een 'full-scale'⁵ watertoevoer, 2) Naast de laboratoriumtesten zijn nu ook een aantal praktijktesten op twee straten in Rotterdam uitgevoerd.

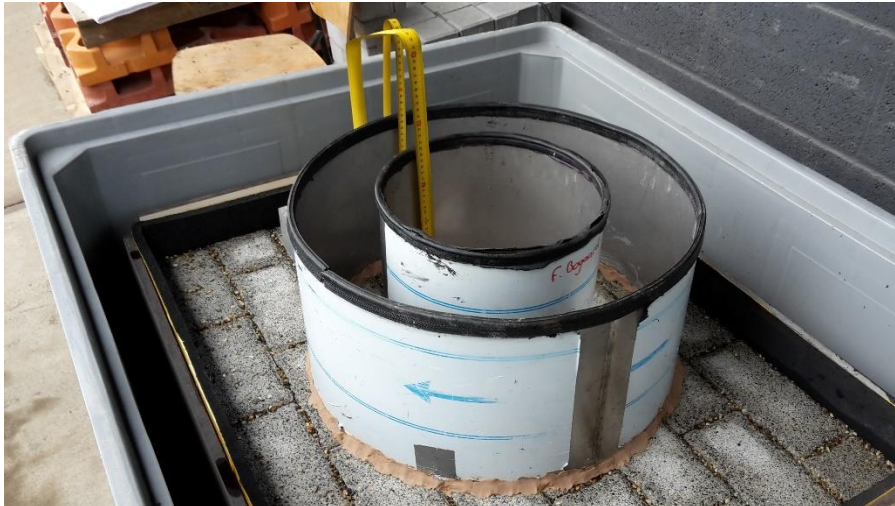


Figuur 2: De plaatsing van de druksensoren in de voegen

De vervanging van het regensysteem door de 'full-scale' watertoevoer heeft een aantal veranderingen met zich meegebracht. Allereerst zijn er nu ook twee druksensoren in de voegen van de geteste bestratingen geplaatst. Deze sensoren meten heel nauwkeurig de waterhoogte op straat en de afname van deze waterhoogte in een bepaalde tijdsperiode. Verder moest er een oplossing worden gevonden voor het voorkomen van uitspoeling van de voegen wanneer water op de bestrating werd gegoten. Dit is gedaan door een dubbelgevouwen handdoek op de bestrating te leggen, waarop het water kon worden gegoten zonder daarbij de voegvulling uit te spoelen.

Figuur 2 geeft de plaats van de druksensoren in de voegen weer.

⁵ Met de 'full scale' watertoevoer wordt het toevoeren van de totale waterhoeveelheid in een kort tijdsbestek bedoeld. In de beschreven testmethode is dit het gieten van 30 liter water in de Rotterdam Infiltrometer, in een tijdsbestek van anderhalve minuut.



Figuur 3: Proeftesten met de dubbele ring infiltrometer in de Rotterdam Infiltrrometer

Het uitvoeren van praktijktesten met een dubbele ring infiltrometer heeft er toe geleid dat er ook enkele proeftesten met de dubbele ring infiltrometer in de Rotterdam Infiltrrometer zijn gedaan. Dit is gedaan om de vervuilingsgraden waarmee in de testopstelling wordt gewerkt, af te stemmen op de vervuiling in de praktijk. Door verschillende proeftesten uit te voeren met verschillende vervuilingsgraden, is de hoeveelheid vervuiling voor de simulatie van de praktijksituatie bepaald op 200 gram/m²/jaar.

Figuur 3 geeft de plaatsing van de dubbele ring infiltrometer in de testopstelling van de Rotterdam Infiltrrometer weer.

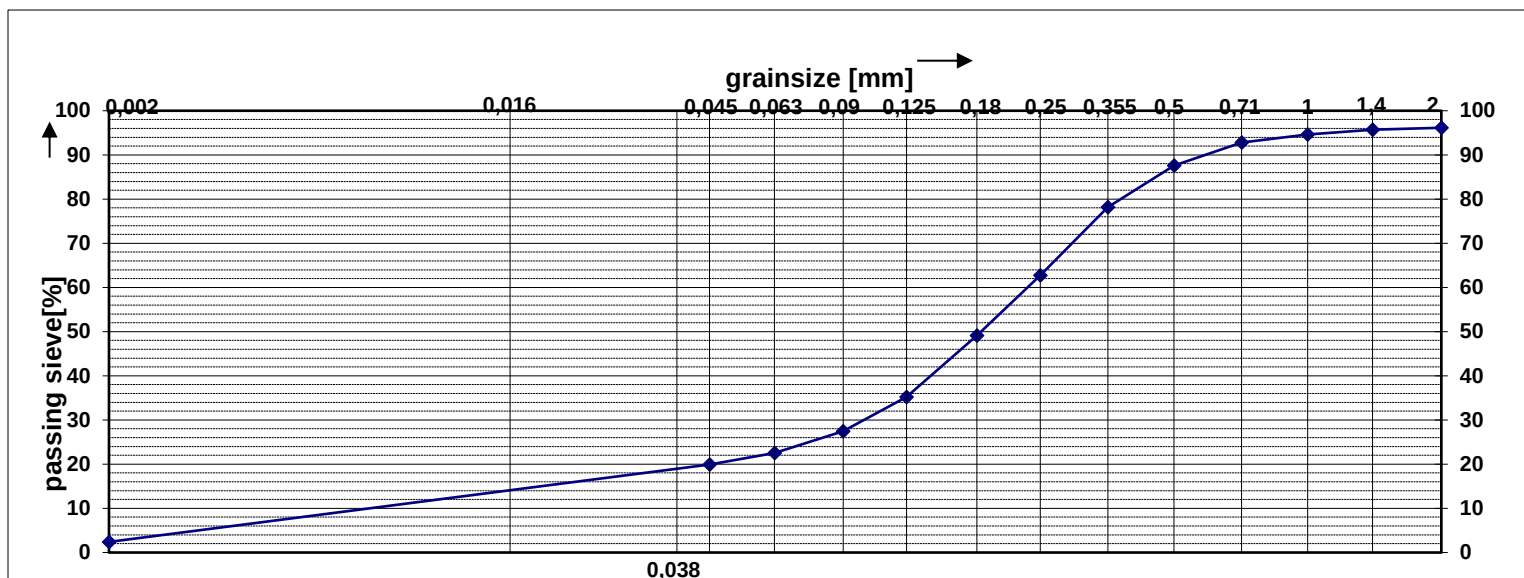
De eindfase

Nadat de definitieve onderzoeksmethodiek was bepaald, traden er nog wat kleine problemen naar op. Dit zijn bijvoorbeeld problemen zoals het op maat zagen van de Rainaway tegels, moeite met het voldoende leegpompen van de Rotterdam Infiltrrometer na de testen en het voorkomen van luchtballen in de druksensoren. Ook het definiëren van het gebruikte vervuilmengsel was lastig, omdat hiervoor willekeurig stof uit de loods van de VLG afdeling van de gemeente Rotterdam is gebruikt. Dit is opgelost door een korrelverdeling van het stofmonster te maken, welke in bijlage 9 is bijgevoegd.

Bij de testen zijn verder weinig problemen naar voren gekomen. Een enkele keer waren de sensoren verstopt of zaten er luchtballen in de sensoren, zodat er een foutieve meting werd gedaan. Echter gaf in alle gevallen de tweede sensor dan alsnog de benodigde data. Uiteindelijk zijn alle problemen verholpen en zijn de testen met de vijf verschillende verhardingen uitgevoerd.

Bijlage 9 Zeefkromme van het stofmonster voor de laboratoriumtesten

Hieronder is de zeefkromme van het gebruikte stofmonster voor de laboratoriumtesten weergegeven. De korrelverdeling is bepaald aan de hand van de NEN9331 methode. Het bepalen van het Lutum-gehalte in het stofmonster is bepaald aan de hand van de NEN5753 methode. Het onderzoek is uitgevoerd door het laboratorium van het ingenieursbureau van de gemeente Rotterdam.



sample identification	gravel	sand	silt	lutum	organic material	CaCO3	M50	D60/D10			
	>2 mm	0.063-2mm	0.002-0.063mm	<0.002 mm			(0.063-2mm)	(0.063-2mm)			
	%	%	%	%	%	%	mm				
Stofmonster loads	3,8	73,7	20,1	2,4			0,230	2,74			

customer	J. Advokaat	sampleclass :	3	date:	0-1-1900	number:	0
laborant:	E.Drinkwaard	projectleider:	-	filenr.:	0	level:	0
GEMEENTE ROTTERDAM				project:	Stofmonster loads		
INGENIEURSBUREAU-LABORATORIA							
GRAINSIZE DISTRIBUTION							

Bijlage 10 Tabel met gemeten infiltratiecapaciteiten met de Rotterdam Infiltrometer

De tabel hieronder geeft de gemiddelde gemeten infiltratiecapaciteiten van de met de Rotterdam Infiltrometer geteste verhardingen weer.

Geteste verharding & testscenario	Infiltratie test 1 (mm/uur)	Infiltratie test 2 (mm/uur)	Gemiddelde infiltratie (mm/uur)
<i>BSS 'Rotterdam' waterpasserend 0-scenario</i>	> 1716	> 1716	> 1716
<i>BSS 'Rotterdam' waterpasserend 1-scenario</i>	960	900	930
<i>BSS 'Rotterdam' waterpasserend 5-scenario</i>	64	43	54
<i>BSS 'Rotterdam' waterpasserend 10-scenario</i>	60	64	62
<i>Struyk Verwo 'Drainwave' 0-scenario</i>	> 1716	> 1716	> 1716
<i>Struyk Verwo 'Drainwave' 1-scenario</i>	> 1716	> 1716	> 1716
<i>Struyk Verwo 'Drainwave' 5-scenario</i>	293	259	276
<i>Struyk Verwo 'Drainwave' 10-scenario</i>	36	38	37
<i>Rainaway 'Flood Open' 0-scenario</i>	> 1792	> 1792	> 1792
<i>Rainaway 'Flood Open' 1-scenario</i>	1000	1200	1100
<i>Rainaway 'Flood Open' 5-scenario</i>	81	86	84
<i>Rainaway 'Flood Open' 10-scenario</i>	69	39	54
<i>Rainaway 'Flood Closed' 0-scenario</i>	>1792	>1792	>1792
<i>Rainaway 'Flood Closed' 1-scenario</i>	316	298	307
<i>Rainaway 'Flood Closed' 5-scenario</i>	62	56	59
<i>Rainaway 'Flood Closed' 10-scenario</i>	26	15	20
<i>Rainaway 'Flood Permeable' 0-scenario</i>	> 1792	> 1792	> 1792
<i>Rainaway 'Flood Permeable' 1-scenario</i>	> 1792	> 1792	> 1792
<i>Rainaway 'Flood Permeable' 5-scenario</i>	> 1792	> 1792	> 1792
<i>Rainaway 'Flood Permeable' 10-scenario</i>	> 1792	> 1792	> 1792

Toelichting tabel: Bij elke test is, direct na het aanvoeren van het water (30 liter), de waterhoogte op straat genoteerd. Vervolgens is genoteerd hoelang het duurde voordat al het water via de voegen naar de ondergrond was afgevoerd. Aan de hand van deze gegevens is de bovenstaande data gegenereerd. Wanneer het water gedurende de aanvoer direct werd afgevoerd, is de minimale infiltratie genoteerd, namelijk: 30 liter binnen 1,5 minuut: >1716 mm/uur bij een testoppervlak van 0,7m² en >1792 mm/uur bij een testoppervlak van 0,67m².

Bijlage 11 Verzamelde data laboratoriumonderzoek

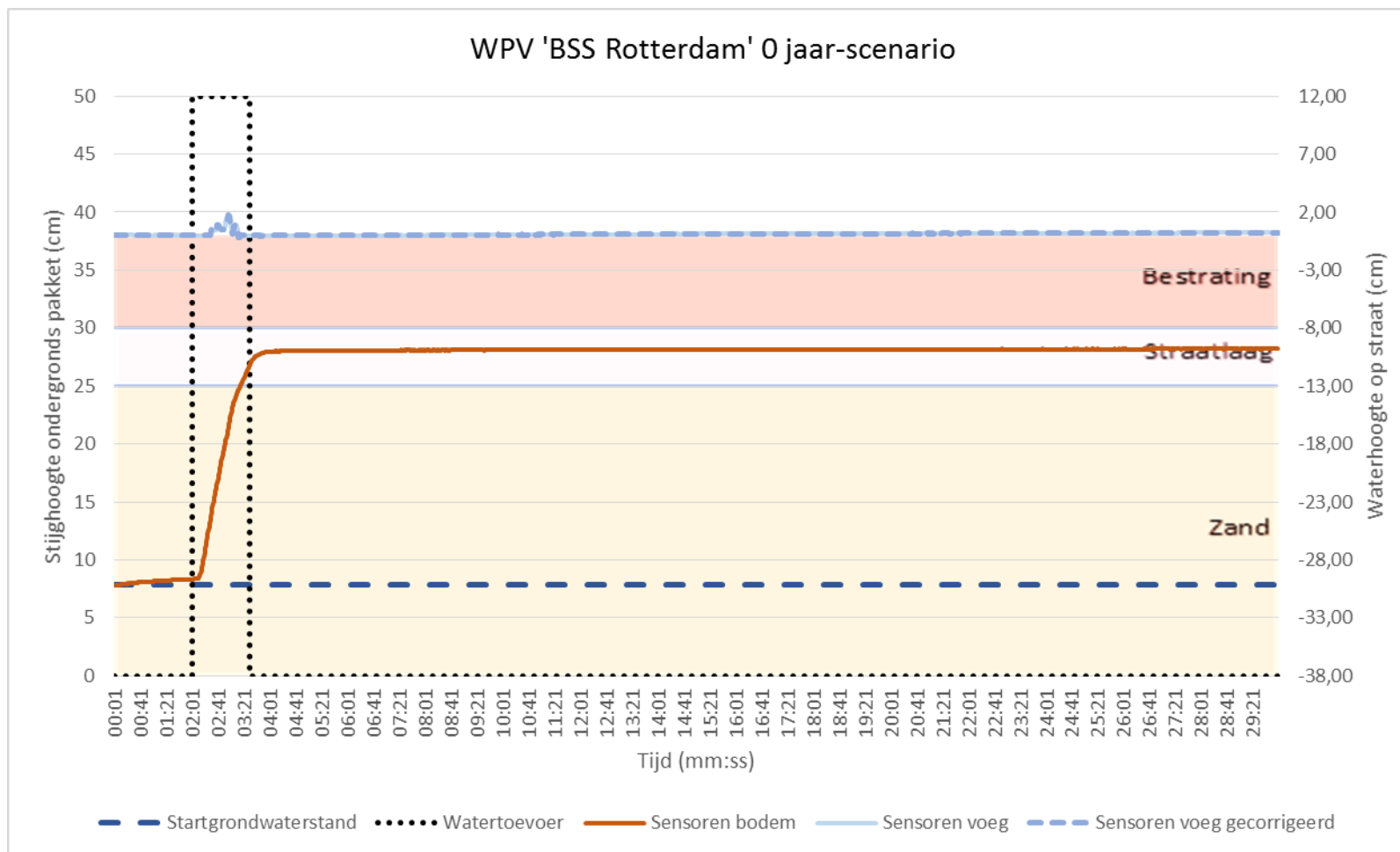
Hieronder zijn de grafieken met de uit het laboratoriumonderzoek verkregen data weergegeven. Van de testen met de verschillende verhardingen zijn telkens vier grafieken bijgevoegd. Per verharding zijn het 0-jaarscenario, 1-jaarscenario, 5-jaarscenario en 10-jaarscenario weergegeven. Onder de grafieken zijn test-specifieke gegevens zoals de weersomstandigheden en bijzonderheden vermeld. In totaal zijn er 20 grafieken weergegeven met als volgorde: 4 grafieken van de Betonstraatsteen Rotterdam 'waterpasserend', 4 grafieken van de Struyk Verwo Drainwave, 4 grafieken van de Rainaway 'flood open', 4 grafieken van de Rainaway 'flood closed' en 4 grafieken van de Rainaway 'flood permeable'. Hieronder volgt nog een korte toelichting op de grafieken.

Toelichting grafieken:

De grafieken geven de opbouw van de bestrating met fundering in de Rotterdam Infiltrometer weer. Op de achtergrond van de grafiek is de gelaagde opbouw van de opstelling te zien. De opbouw is als volgt: 25 cm straatzand, 5 cm straatlaag (split 2/6) en een bestrating variërend van 8-10 cm hoogte. De grafieklijnen die op deze opbouw worden geprojecteerd geven de data verkregen uit de metingen met de druksensoren weer. De doorgetrokken oranje en lichtblauwe lijn vertegenwoordigen beide een gemiddelde van 2 metingen met 2 sensoren, dus in totaal vier metingen. Naast de data verkregen uit de metingen met de druksensoren zijn ook de startgrondwaterstand (onderbroken donkerblauwe lijn) en het moment van watertoevoer (onderbroken zwarte lijn) weergegeven.

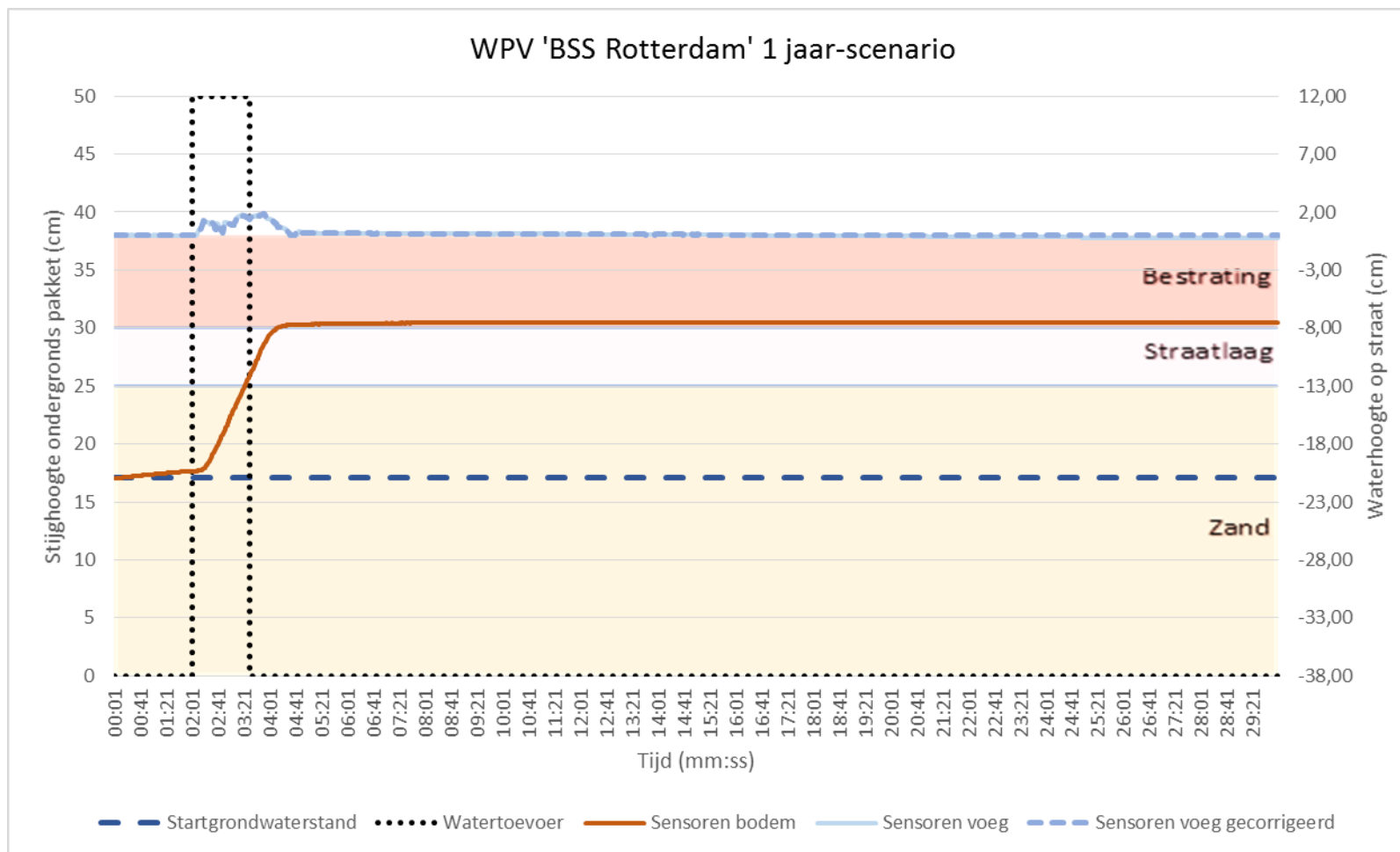
Bij enkele van de metingen met de druksensoren in de voeg zijn complicaties opgetreden. Dit is ontstaan door bijvoorbeeld een luchtbel in de sensor of het onbedoeld onder water komen te staan van de sensor. Tijdens de metingen is tot op de seconde nauwkeurig de periode waarop water op straat stond, genoteerd in een logboek. De notaties uit dit logboek zijn gebruikt om een correctie op deze data door te voeren. De gecorrigeerde lijn is eveneens weergegeven in de grafiek (onderbroken lichtblauwe lijn).

De grafieklijnen van de data verkregen met de druksensoren in de voegen (doorgetrokken lichtblauwe en onderbroken lichtblauwe lijn), zijn gekoppeld aan de rechter-as van de figuur. De andere grafieklijnen zijn verbonden aan de linker-as van de figuur.



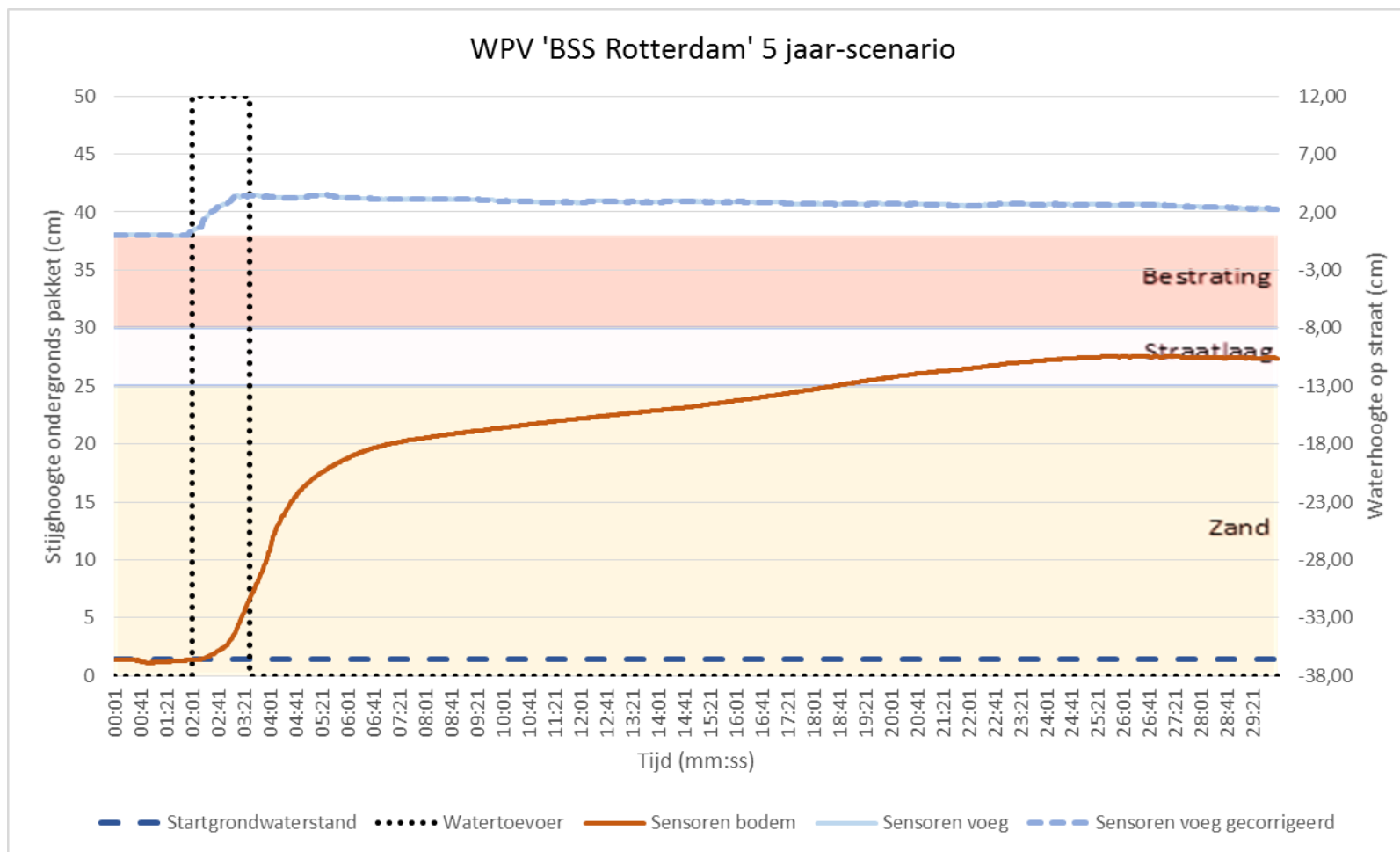
Datum: 31-05-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en bewolkt, 18-19° **Bijzonderheden:** -

Analyse: Directe waterafvoer door de voegen, waarbij geen 'water op straat' situatie optreedt. De grafiek laat zien dat het water in de ondergrond zeer snel stijgt tot halverwege de straatlaag. Daarna blijft de grondwaterstand op een constant niveau staan. De lichte stijging in de eerste twee minuten komt door horizontale grondwaterstroming. Deze wordt veroorzaakt door het wegnemen van de 'grondwaterpomp' uit de testopstelling.



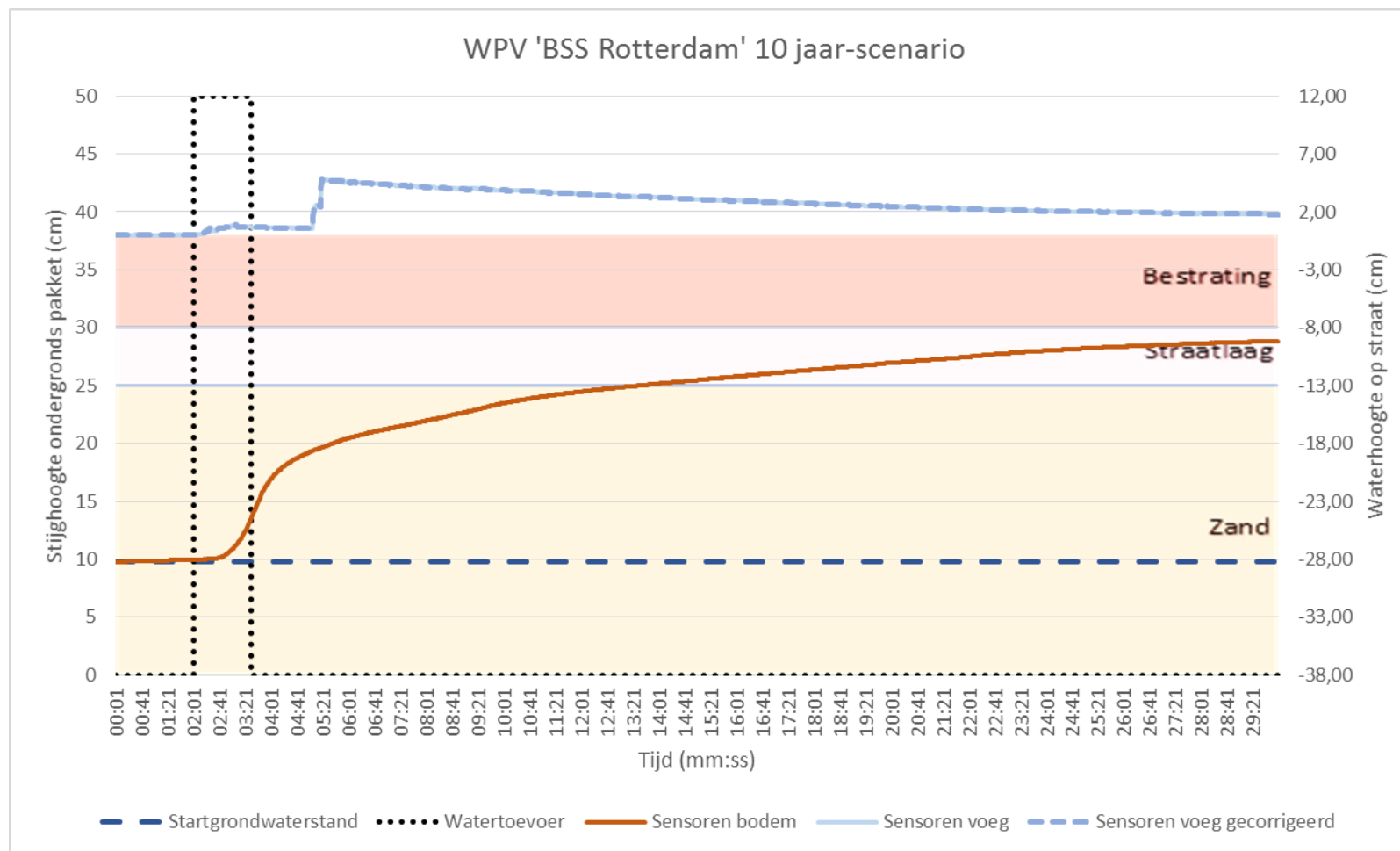
Datum: 31-05-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en zonnig, 20-21° **Bijzonderheden:** -

Analyse: Bijna directe waterafvoer door de voegen, waarbij maximaal een minuut een 'water op straat' situatie optreedt. De grafiek laat zien dat het water in de ondergrond zeer snel stijgt tot aan de onderkant van de bestrating. Daarna blijft de grondwaterstand op een constant niveau staan.



Datum: 31-05-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en zonnig, 20-21° **Bijzonderheden:** Bij deze test heeft zowel in de voeg als in de peilbuis een sensor niet gewerkt. Beide lijnen zijn daarom gebaseerd op twee metingen.

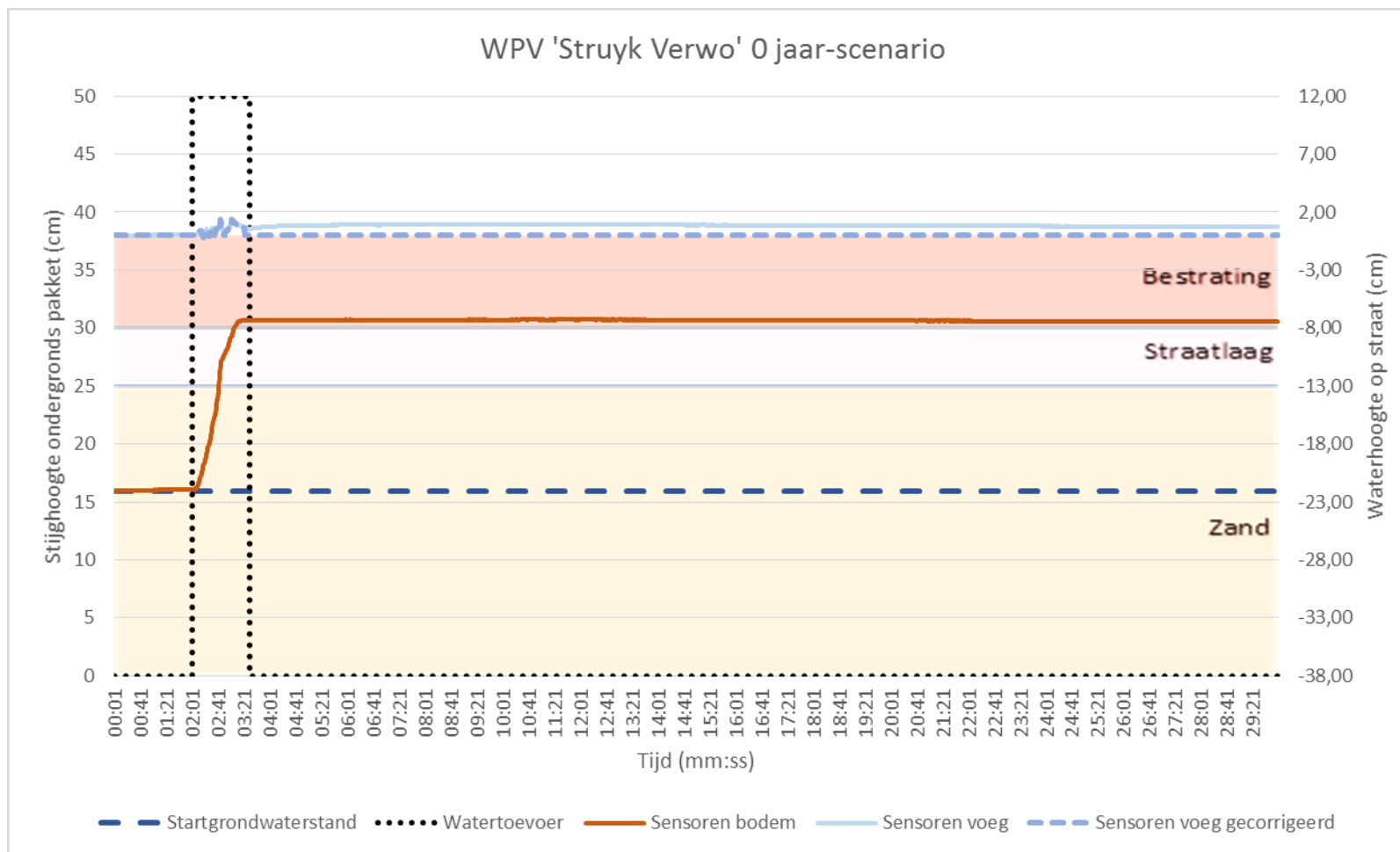
Analyse: Situatie waarbij tot het einde van de meting water op straat blijft staan. De grafiek laat zien dat het waterniveau op straat heel langzaam afneemt en dat het grondwaterniveau langzaam stijgt. Aan de oranje grafieklijn is te zien dat het water vertraagd wordt afgevoerd naar de bodem.



Datum: 01-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en bewolkt, 20-21°

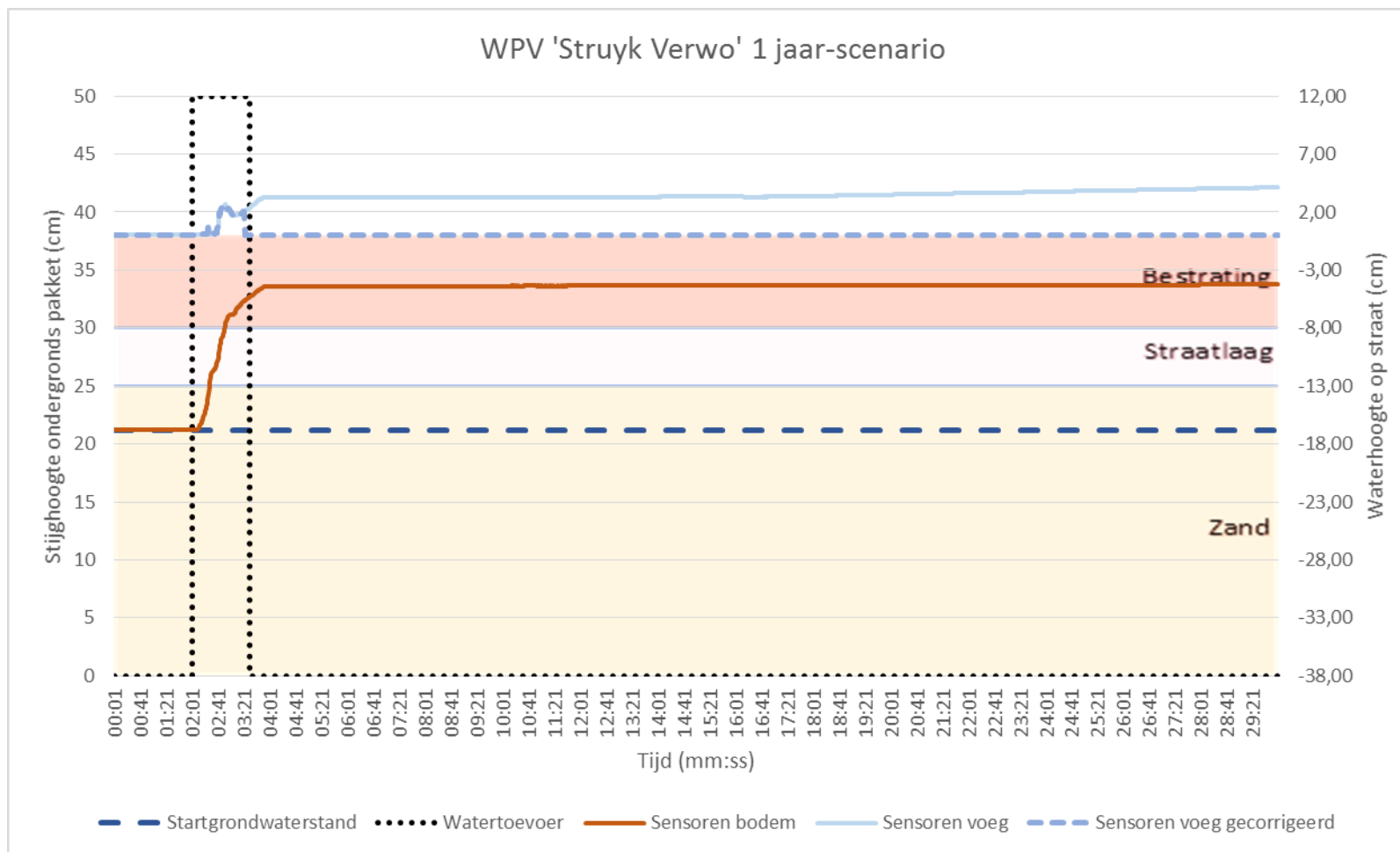
Bijzonderheden: Bij deze test heeft een sensor in de voeg niet gewerkt. Ook waren de sensoren gedurende vijf minuten verstopt (hoek in de grafieklijn).

Analyse: Situatie waarbij tot het einde van de meting water op straat staat. De grafiek laat zien dat het waterniveau op straat langzaam afneemt en dat gelijk aan deze afname het grondwaterniveau, na eerst een snelle stijging, langzaam stijgt.



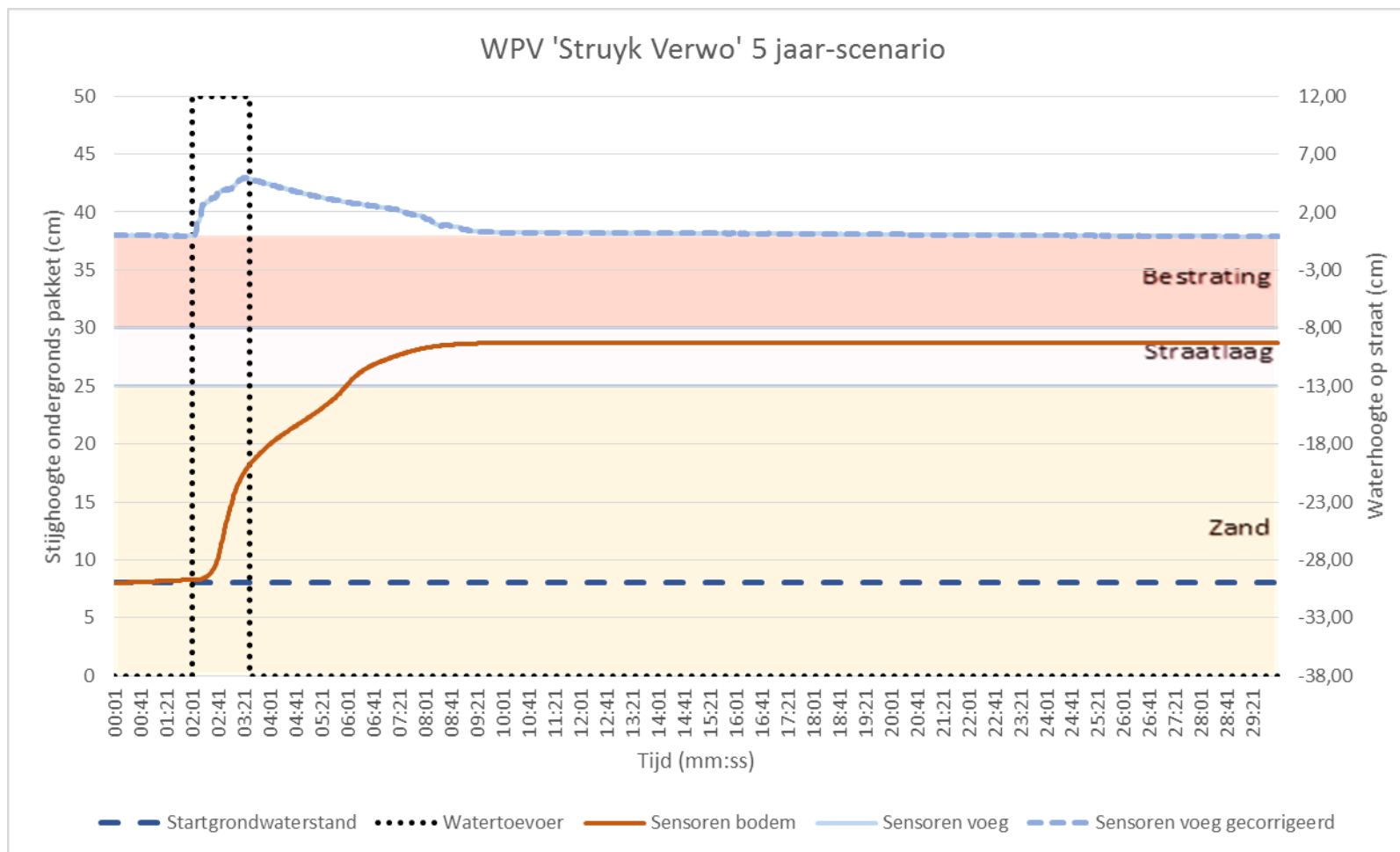
Datum: 25-05-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en bewolkt, 12-13° **Bijzonderheden:** Sensoren voeg gecorrigeerd.

Analyse: Directe waterafvoer door de voegen, waarbij geen 'water op straat' situatie optreedt. De grafiek laat zien dat het water in de ondergrond zeer snel stijgt tot zelfs in de voegen van de bestrating. Daarna blijft de waterstand op een constant niveau staan.



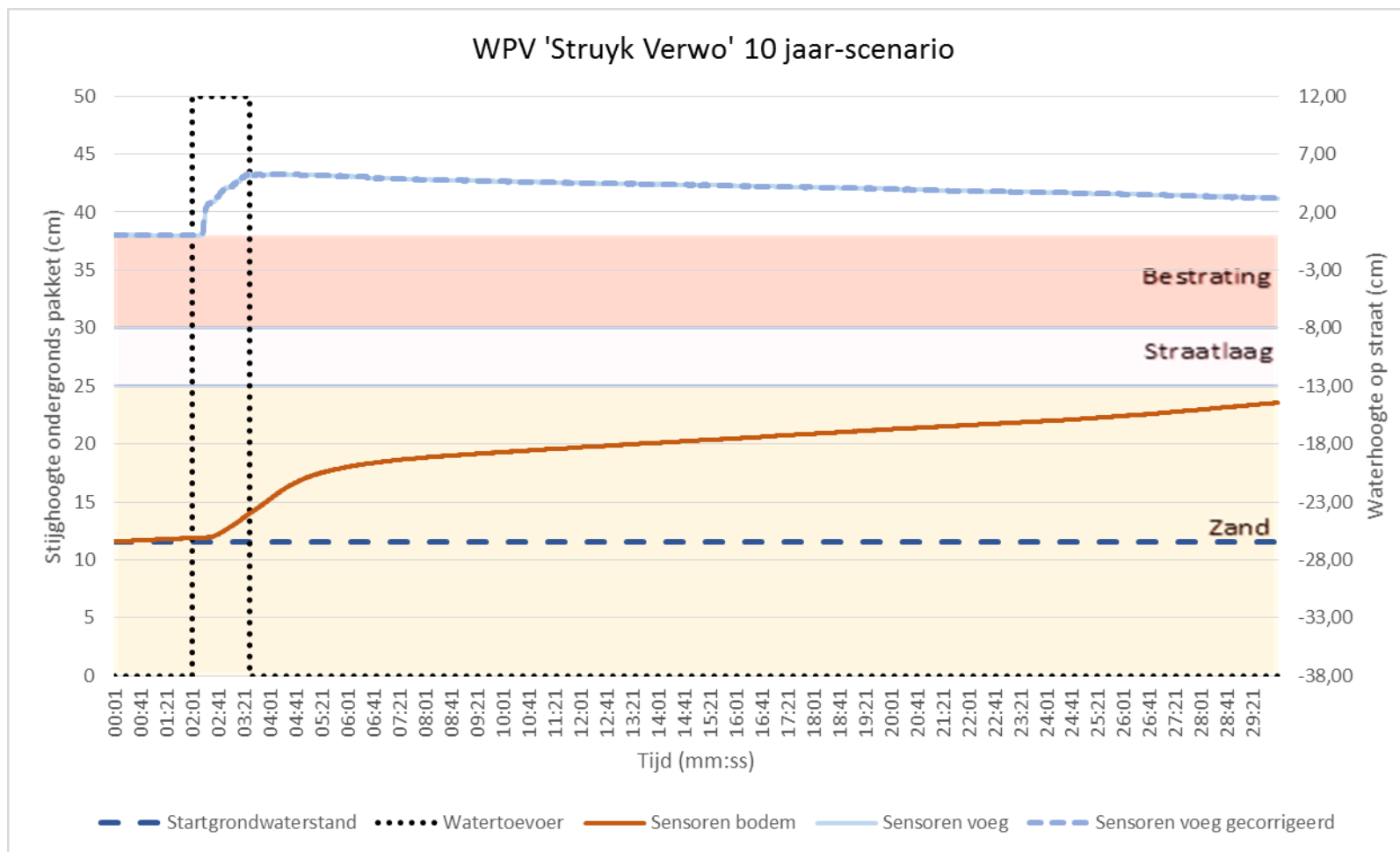
Datum: 26-05-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en zonnig, 15-16° **Bijzonderheden:** Hoge startgrondwaterstand; Sensoren voeg gecorrigeerd.

Analyse: Directe waterafvoer door de voegen, waarbij kort water op straat blijft staan. De grafiek laat zien dat het water in de ondergrond, mede door de hoge startgrondwaterstand, zeer snel stijgt tot halverwege de voegen van de bestrating. Daarna blijft de waterstand op een constant niveau staan.



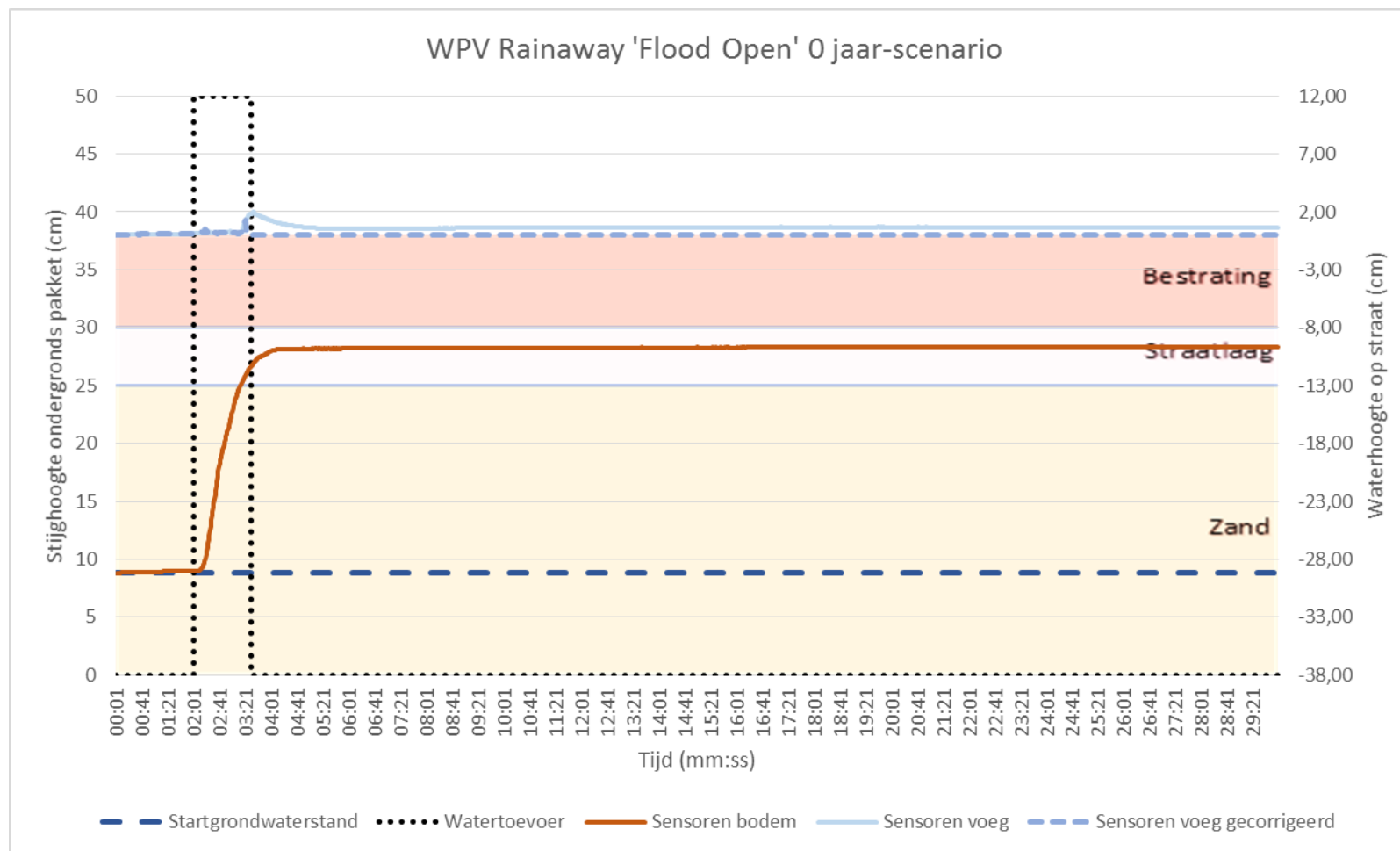
Datum: 26-05-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en zonnig, 16-17° **Bijzonderheden:** -

Analyse: Situatie waarbij kort water op straat blijft staan. De grafiek laat zien dat het water in de ondergrond eerst snel stijgt en dat de grafiek daarna langzaam afvlakt. Wanneer al het water door de voegen is afgevoerd blijft de waterstand, vlak onder de bestrating, op een constant niveau staan.



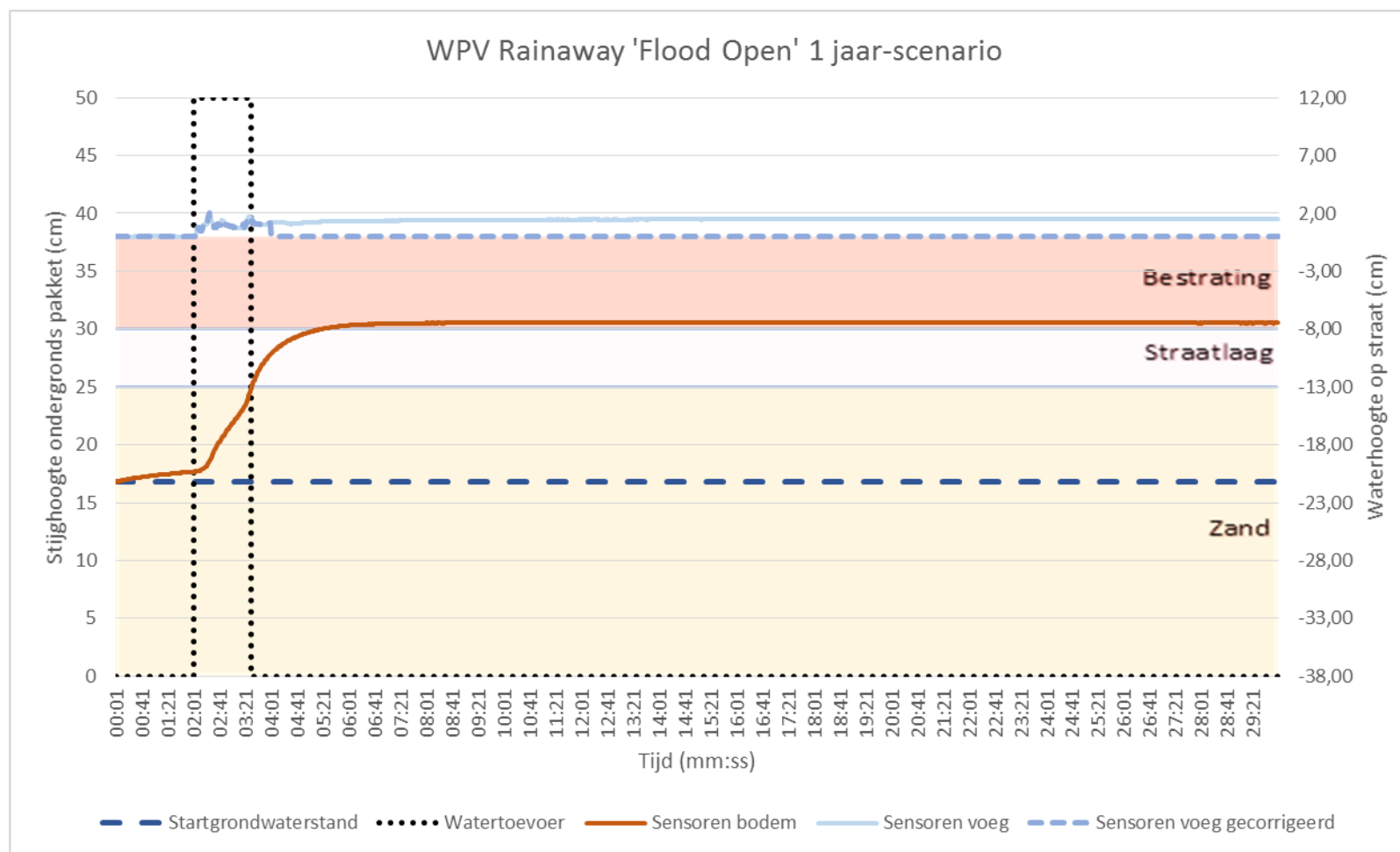
Datum: 27-05-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en bewolkt, 17-18° **Bijzonderheden:** Bij deze test heeft een van de sensoren in de voeg niet gewerkt. De grafieklijn is gebaseerd op 2 metingen.

Analyse: Situatie waarbij tot het einde van de meting water op straat blijft staan. De grafiek laat zien dat het waterniveau op straat langzaam afneemt en dat gelijk aan deze afname het grondwaterniveau langzaam stijgt.



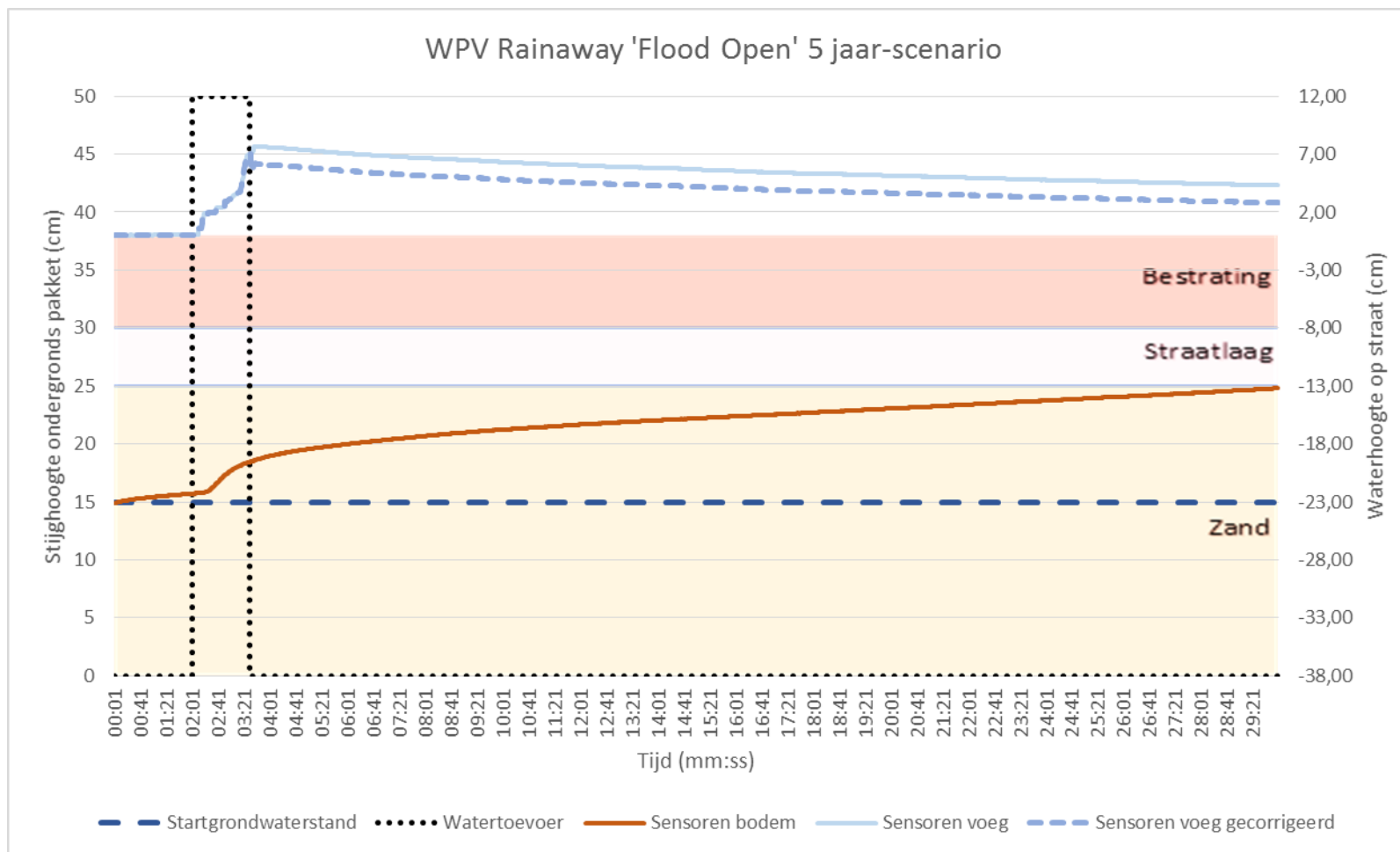
Datum: 06-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en zonnig, 23-24° **Bijzonderheden:** Sensoren voeg gecorrigeerd.

Analyse: Situatie waarbij geen water op straat blijft staan en waar al het water direct via de voegen naar de ondergrond wordt afgevoerd. De grafiek laat zien dat het water zich bijna direct bij het grondwater voegt. Het grondwaterpeil blijft uiteindelijk op enkele cm onder de bestrating staan.



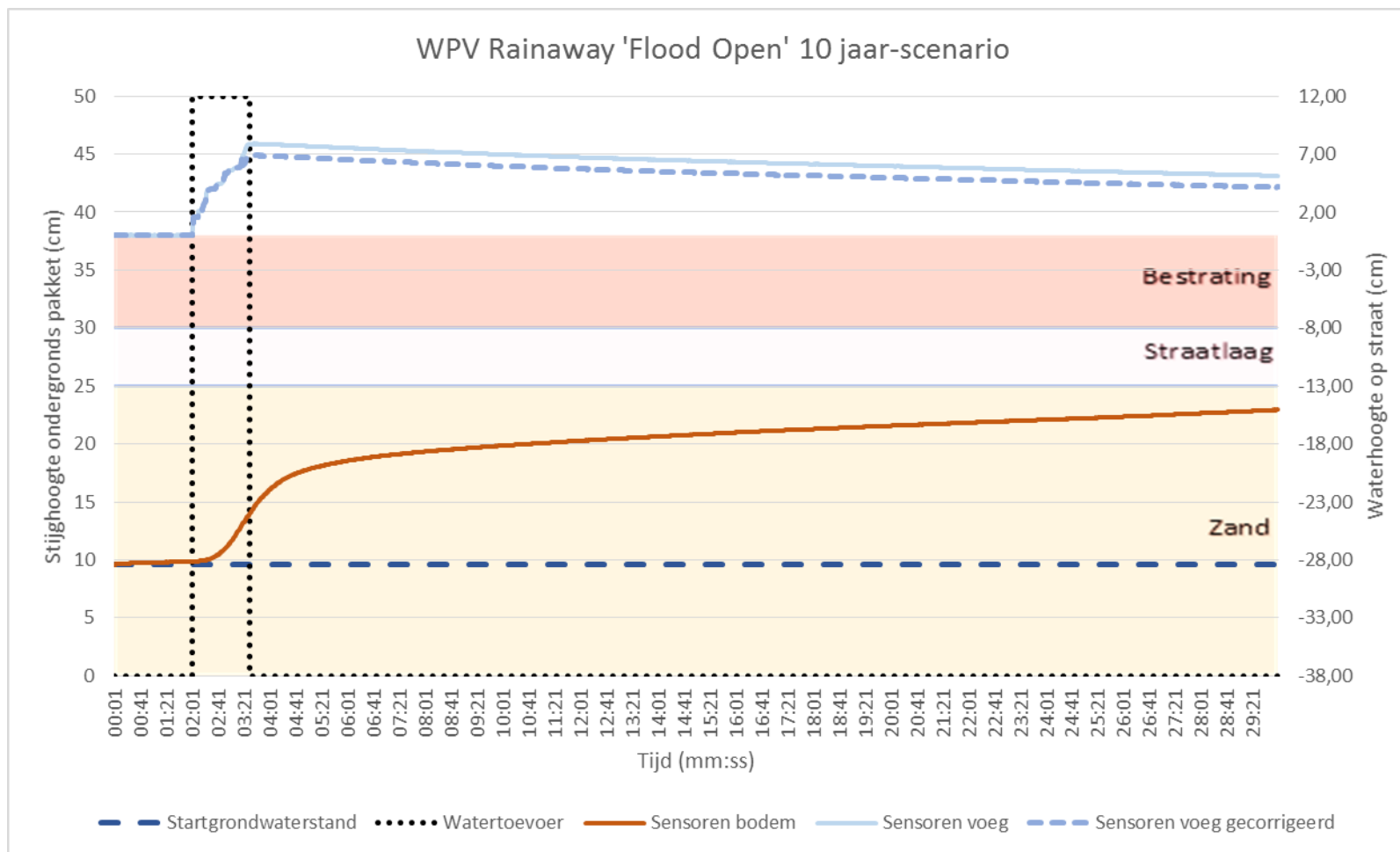
Datum: 06-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en zonnig, 24-25° **Bijzonderheden:** Sensoren voeg gecorrigeerd.

Analyse: Situatie waarbij het water in ongeveer 30 seconden via de voegen wordt afgevoerd. Door de vertraagde afvoer stijgt het grondwaterpeil ook iets minder snel dan bij het 0-jaar scenario. Uiteindelijk blijft het grondwater net aan de onderkant van de bestrating staan. De lichte stijging in de eerste twee minuten komt door horizontale grondwaterstroming. Deze wordt veroorzaakt door het wegnemen van de grondwaterpomp uit de testopstelling.



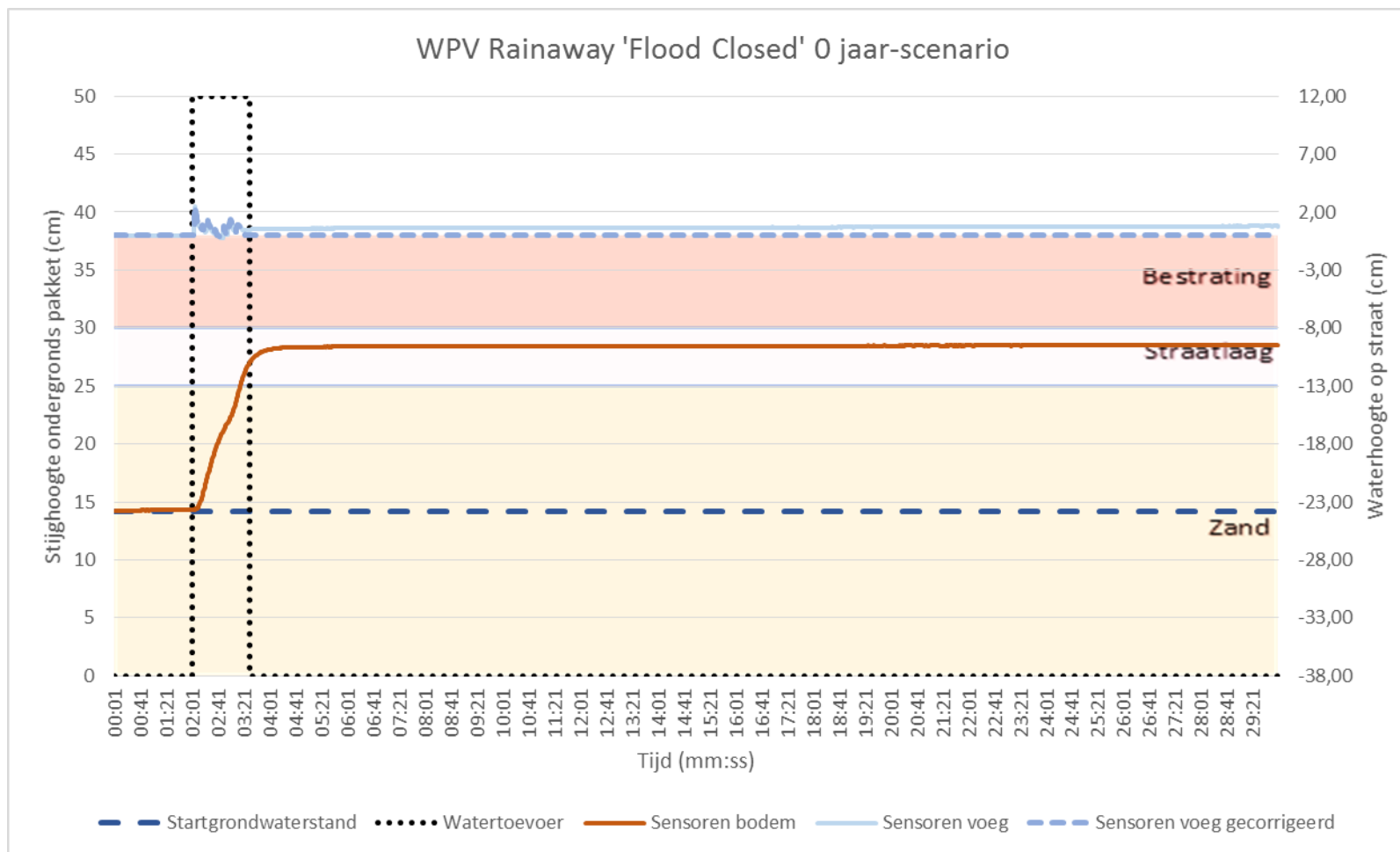
Datum: 06-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en zonnig, 24-25° **Bijzonderheden:** Sensoren voeg gecorrigeerd.

Analyse: Situatie waarbij tot het einde van de meting water op straat blijft staan. De grafiek laat zien dat het waterniveau op straat langzaam afneemt en dat gelijk aan deze afname het grondwaterniveau langzaam stijgt. De lichte stijging in de eerste twee minuten komt door horizontale grondwaterstroming. Deze wordt veroorzaakt door het wegnemen van de grondwaterpomp uit de testopstelling.



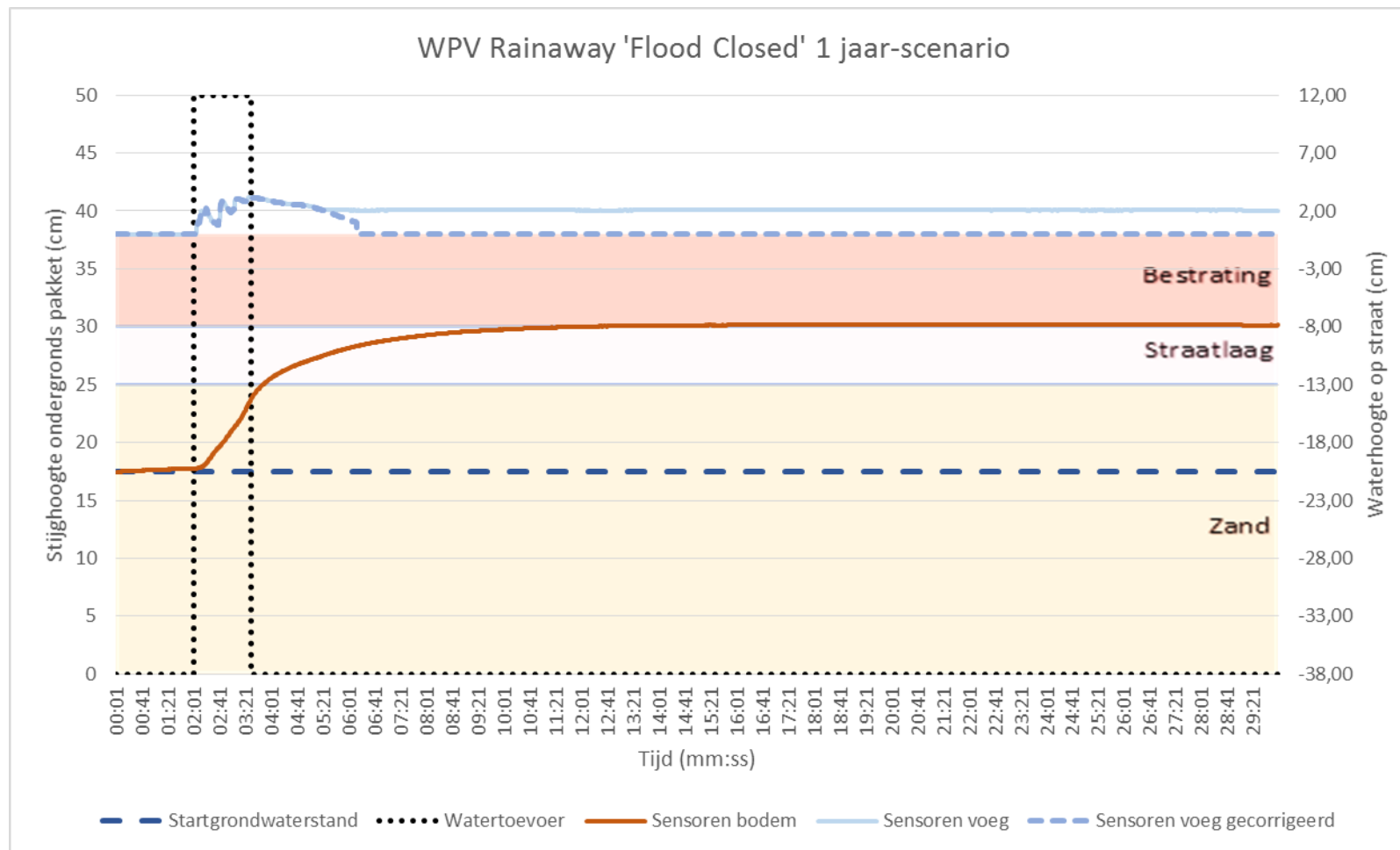
Datum: 07-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en zonnig, 23-24° **Bijzonderheden:** Sensoren voeg gecorrigeerd.

Analyse: Situatie waarbij gedurende de gehele meetperiode water op straat blijft staan. De grafiek laat zien dat het waterniveau op straat langzaam afneemt en dat gelijk aan deze afname het grondwaterniveau langzaam stijgt.



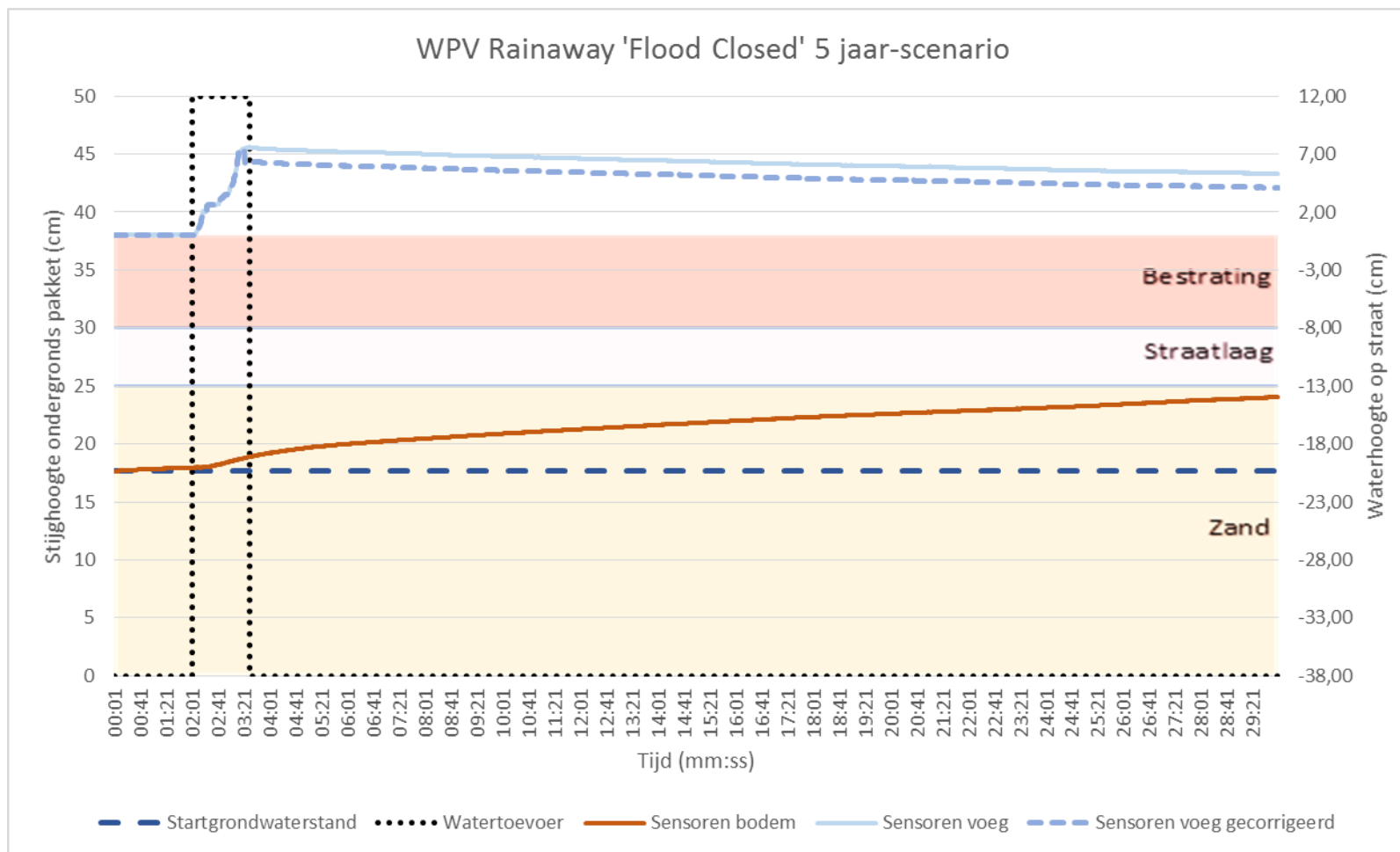
Datum: 10-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en zonnig, 14-15° **Bijzonderheden:** Sensoren voeg gecorrigeerd.

Analyse: Situatie waarbij niet langer dan 10 seconden water op straat blijft staan en waar al het water bijna direct via de voegen van de bestrating wordt afgevoerd. Het grondwater stijgt direct na het aanvoeren van het water tot in de straatlaag. Daarna blijft het grondwater op een constant niveau staan.



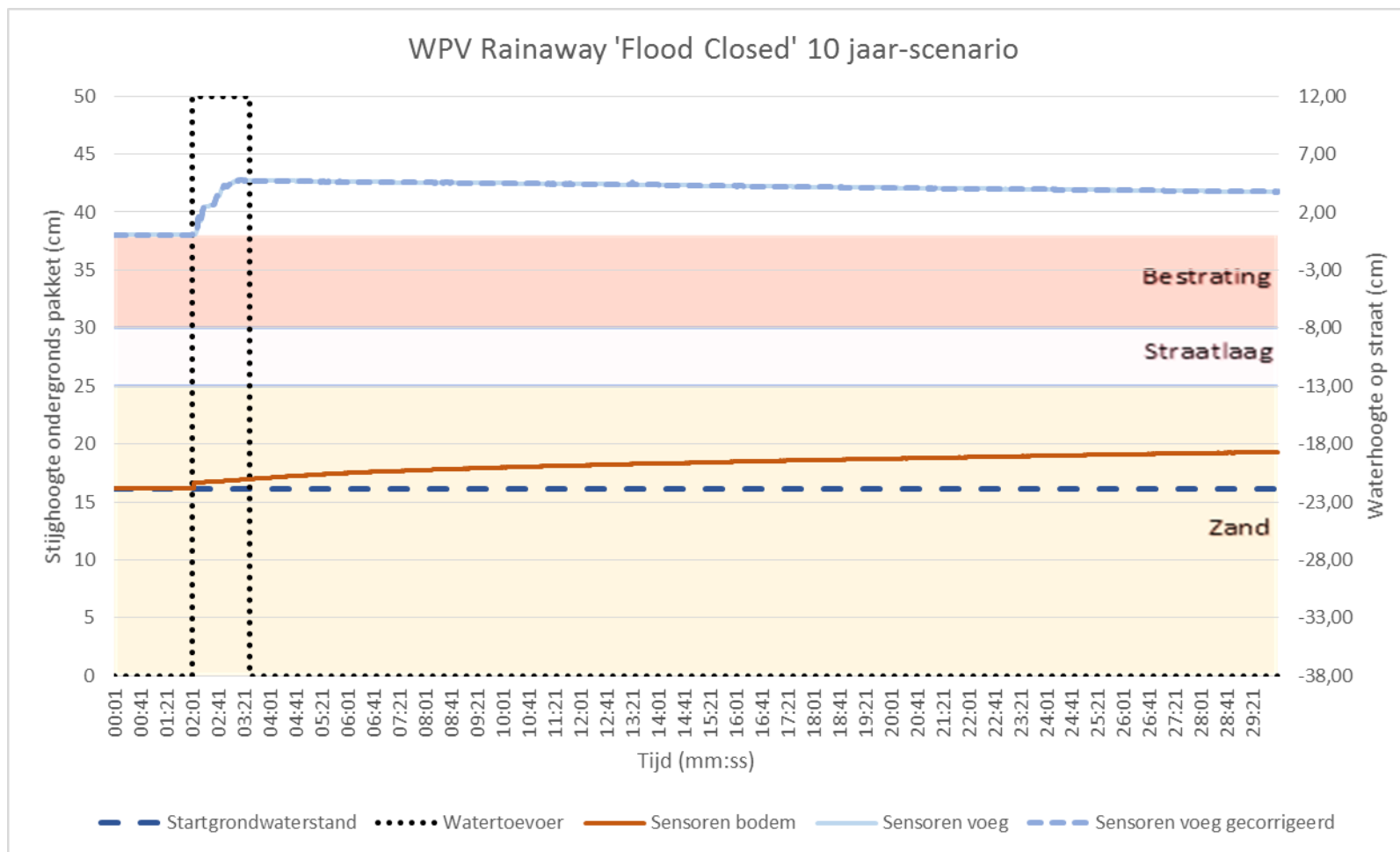
Datum: 10-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en zonnig, 16-17° **Bijzonderheden:** Sensoren voeg gecorrigeerd.

Analyse: Situatie waarbij het water ongeveer 4 minuten op straat blijft staan. Het grondwaterpeil stijgt gelijk aan de daling van het waterniveau op straat. Uiteindelijk blijft het grondwaterpeil vlak onder de bestrating op een constant niveau hangen.



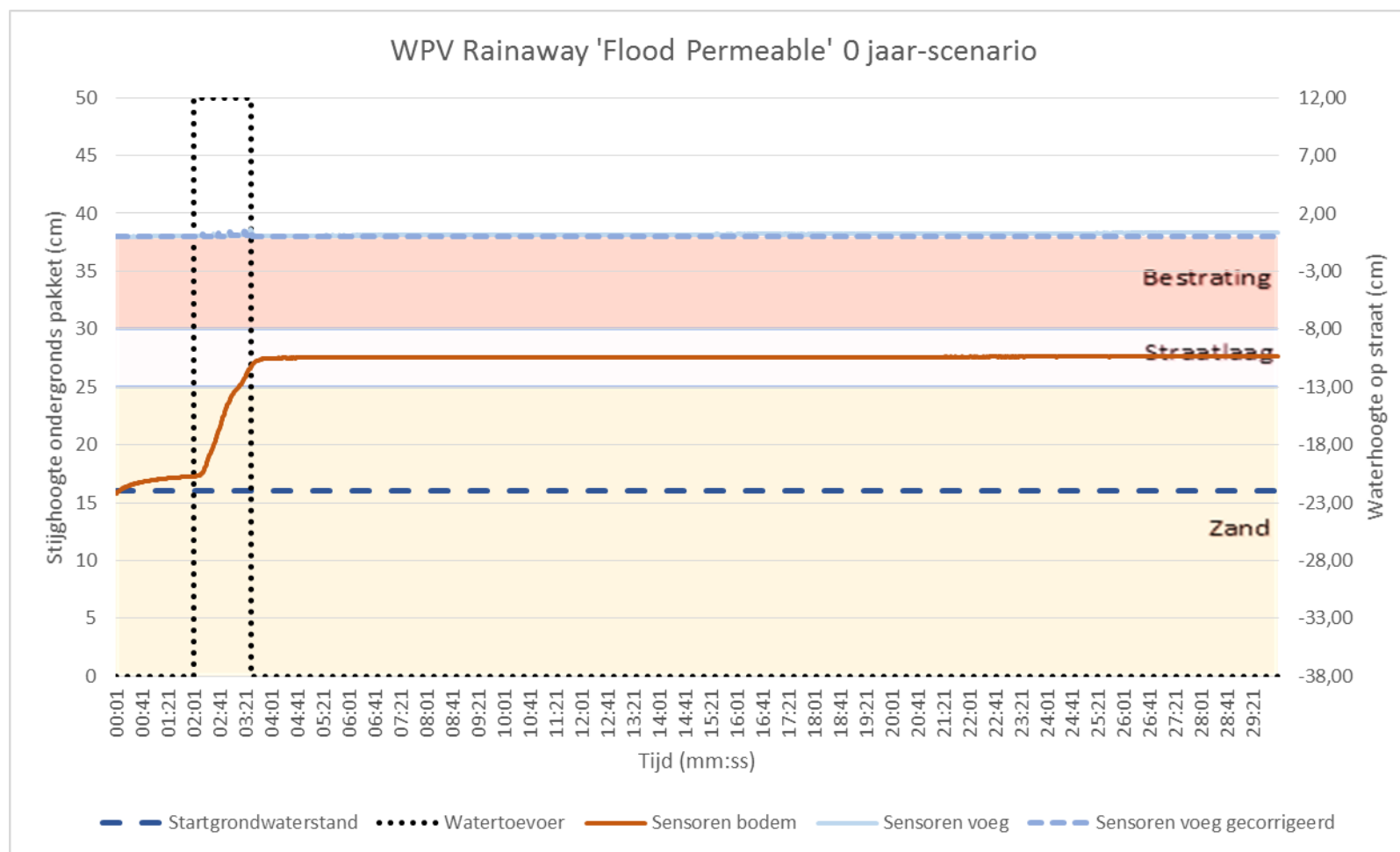
Datum: 10-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en bewolkt, 15-16° **Bijzonderheden:** Sensoren voeg gecorrigeerd.

Analyse: Situatie waarbij het water gedurende de gehele meetperiode op straat blijft staan. De grafiek laat zien dat het waterniveau op straat langzaam afneemt en dat gelijk aan deze afname het grondwaterniveau langzaam stijgt.



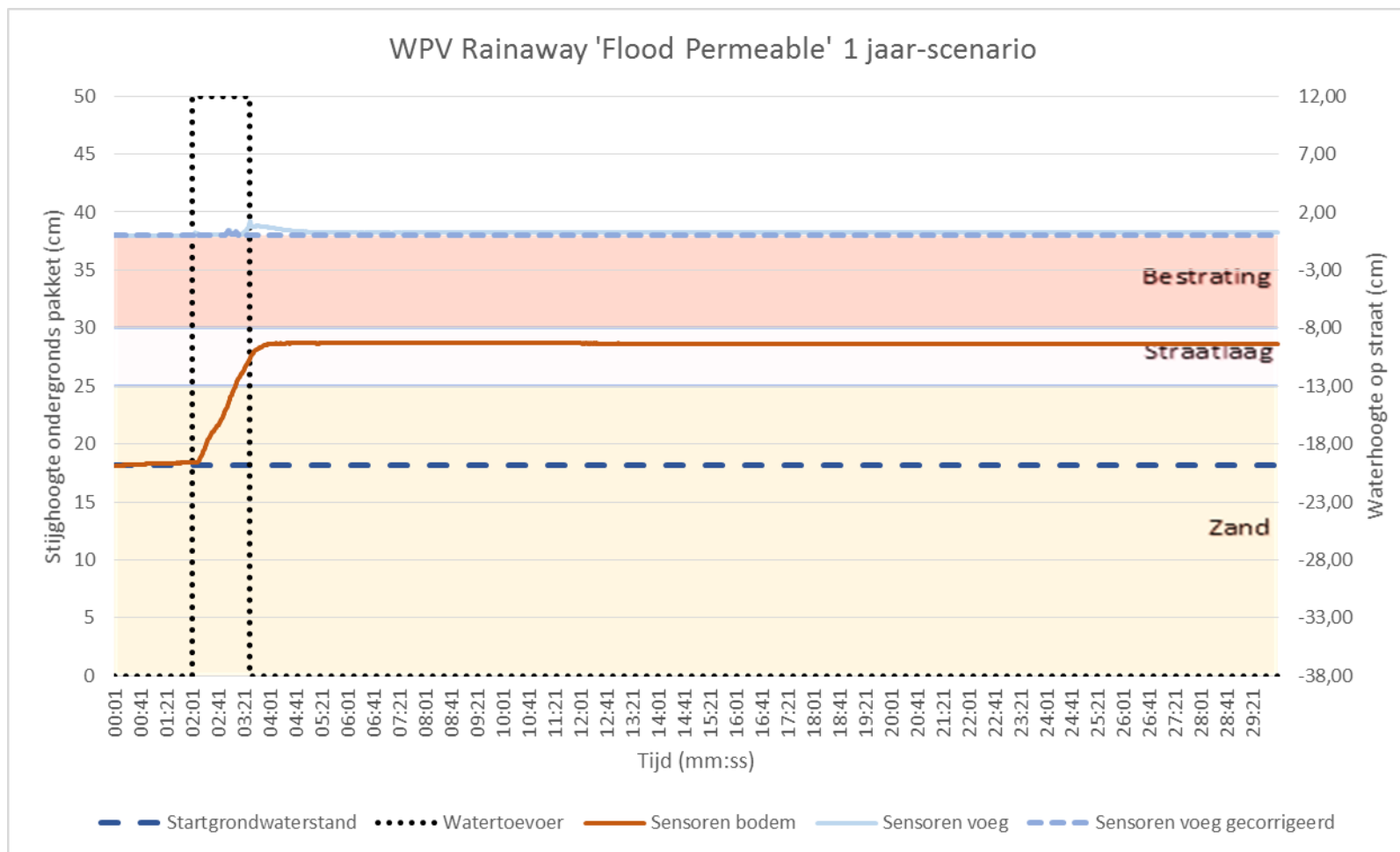
Datum: 10-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en bewolkt, 16-17° **Bijzonderheden:** -

Analyse: Situatie waarbij gedurende de gehele meetperiode water op straat blijft staan. De grafiek laat zien dat het waterniveau op straat langzaam afneemt en dat gelijk aan deze afname het grondwaterniveau langzaam stijgt.



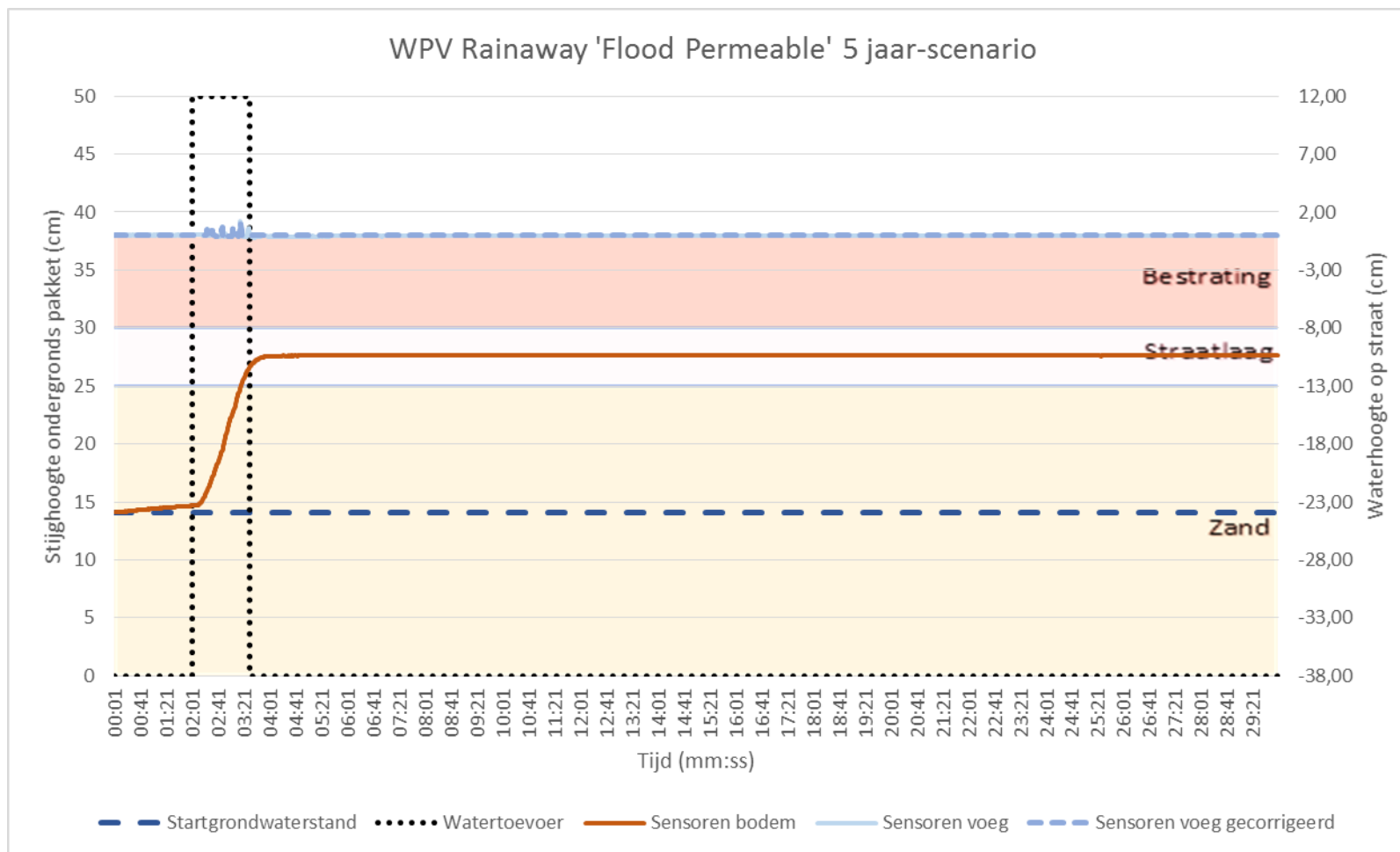
Datum: 08-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en bewolkt, 17-18° **Bijzonderheden:** -

Analyse: Situatie waarbij geen water op straat blijft staan en waar al het water direct via het poreuze gesteente wordt afgevoerd. Het grondwater stijgt tot halverwege de straatlaag. De lichte stijging in de eerste twee minuten komt door horizontale grondwaterstroming. Deze wordt veroorzaakt door het wegnemen van de grondwaterpomp uit de testopstelling.



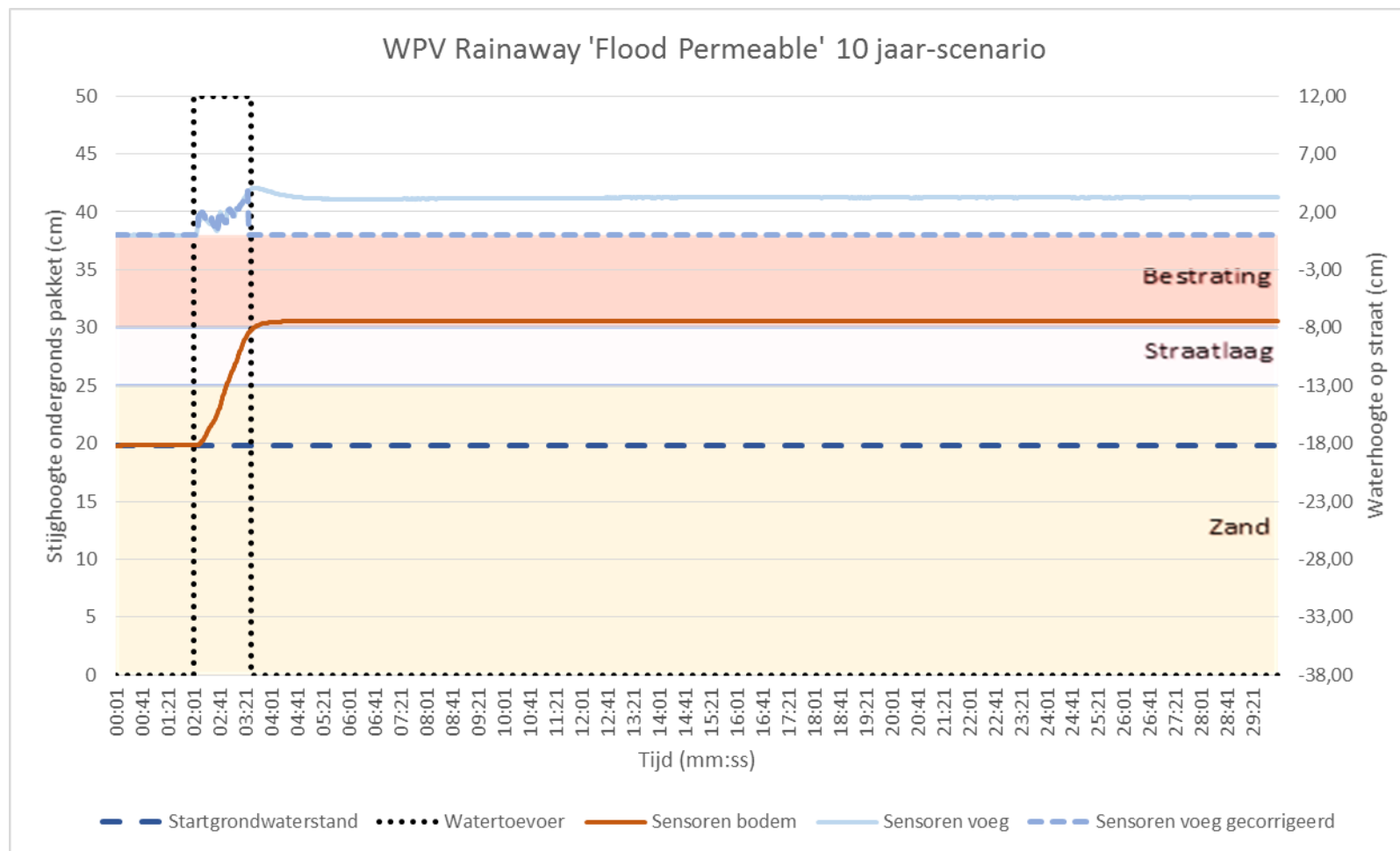
Datum: 08-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en zonnig, 18-19° **Bijzonderheden:** Sensoren voeg licht gecorrigeerd.

Analyse: Situatie waarbij al het water direct via het poreuze gesteente wordt afgevoerd. Er blijft geen water op straat staan. Het grondwater stijgt tot bovenin de straatlaag en na de aanvoer van het water blijft de grondwaterstand op een constante waarde staan.



Datum: 08-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en zonnig, 19-20° **Bijzonderheden:** -

Analyse: Situatie waarbij al het water direct via het poreuze gesteente wordt afgevoerd. Het grondwaterpeil stijgt tot halverwege de straatlaag, waar het op een constante waarde blijft hangen. De lichte stijging in de eerste twee minuten komt door horizontale grondwaterstroming. Deze wordt veroorzaakt door het wegnemen van de grondwaterpomp uit de testopstelling.



Datum: 08-06-2016 **Weersomstandigheden:** Droog en bewolkt, 19-20° **Bijzonderheden:** Sensoren voeg gecorrigeerd.

Analyse: Situatie waarbij al het water direct via het poreuze gesteente wordt afgevoerd en waarbij geen water op straat blijft staan. Het grondwater blijft na aanvoer van het water op een constante waarde onder de bestrating staan.

Bijlage 12 Fotorapportage van het laboratoriumonderzoek

Hieronder is een korte fotorapportage van het laboratoriumonderzoek met de Rotterdam Infiltrometer weergegeven:



1) De totale testopstelling van de Rotterdam Infiltrometer, opgebouwd op het VLG terrein van de gemeente Rotterdam.



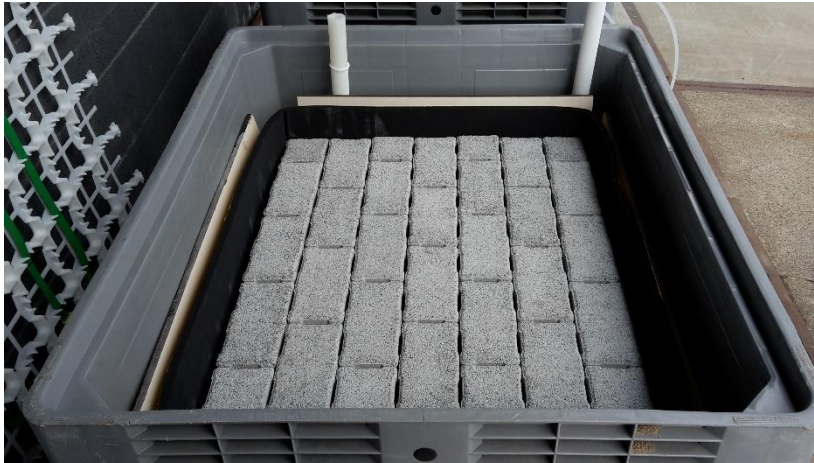
2) Allereerst wordt de bak gevuld met 25 cm zand en worden de peilbuizen geplaatst.



3) Vervolgens wordt een laag van 5 cm split 2/6 aangebracht.



4) Hierop wordt de bestrating waterpas aangelegd.



5) Om de bestrating worden een rubber rand en een houten mal geplaatst. Deze worden met een spanband om de bestrating geklemd.



6) Vervolgens wordt er 30 liter water in de bak gegoten, en wordt gemeten hoe lang het duurt voordat het water via de voegen wordt afgevoerd.



7) De test wordt met verschillende vervuilingsgraden herhaald, om inzicht te verkrijgen in de invloed van de vervuiling op de afvoer.



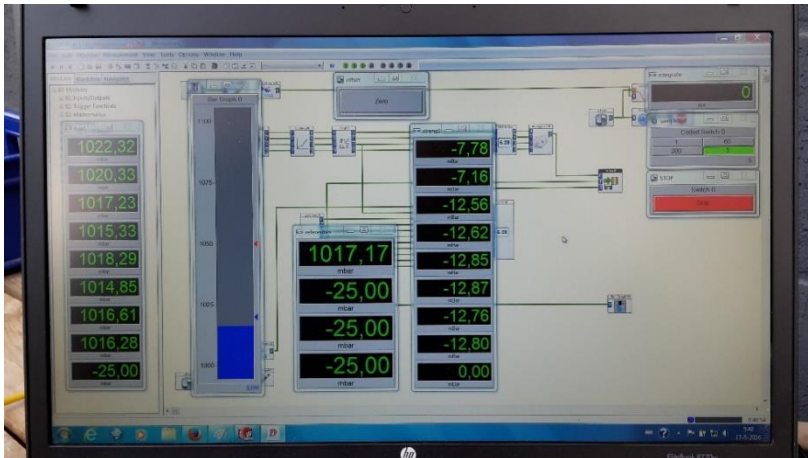
8) De testen worden uitgevoerd met in totaal 5 verschillende verhardingen. Alle testen worden op dezelfde manier uitgevoerd.



9) Met druksensoren wordt de benodigde data verzameld.



10) De druksensoren worden geplaatst in de peilbuizen (2) en in de voegen (2).



11) De data wordt verzameld op de laptop en kan verwerkt worden.