



Onderzoek naar het functioneren van Waterpasserende verhardingen in de gemeente Rotterdam

Van

Werkgroep WPV

Datum

juni 2020



Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Doelstelling	5
2	Inventarisatie WPV's	7
2.1	Bekende WPV's en beschikbare informatie	7
2.2	Te registreren gegevens nog aan te leggen WPV's	7
3	Ontwikkeling verbeterde DRI test	8
3.1	Inleiding	8
3.2	Bestaande meetmethoden	8
3.2.1	Handmatige DRI test	8
3.2.2	Full-scale test	9
3.3	Ontwerp verbeterde DRI test	10
3.3.1	Meetfout door lokaal afwijkend gedrag	11
3.3.2	Simulatie aangepaste proef en keuze ringdiameters	11
3.3.3	Eisen afdichting binnenring	15
3.3.4	Eisen afdichting buitenring	16
3.3.5	Praktische uitwerking	16
3.4	Meetresultaten DRI test	17
3.5	Validatie aan de hand van Full-scale test	17
3.5.1	Meetresultaten van uitgevoerde proeven	18
3.5.2	Analyse	19
3.6	Conclusie en aanbevelingen:	19
4	Keuze type WPV	21
4.1	Toepasbaarheid baksteen	21
4.1.1	Inleiding	21
4.1.2	Doorlatendheid testen direct na aanleg	22
4.1.3	Reinigingbaarheid straatbaksteen	23
4.1.4	Schadebeelden	23
4.2	Conclusies en aanbeveling	23
5	Doorlatendheid en reinigingstechnieken	24
5.1	Inleiding	24
5.2	Terugloop doorlatendheid bestaande WPV's	24
5.3	Eerste testen met reinigingsmethoden	25



5.3.1	ZOAB Cleaner	25
5.3.2	Milieu- en Incident Reinigingsmachine – groot materieel	26
5.3.3	Milieu- en Incident Reinigingsmachine – klein materieel	27
5.3.4	Effect heet water	28
5.3.5	Conclusies eerste testen	29
5.4	Methode van der Vleut	29
5.4.1	Uitgevoerde metingen en resultaten	30
5.4.2	Analyse	32
5.5	Conclusies en aanbevelingen	32
5.5.1	Betreffende de noodzaak tot reinigen en frequentie	32
5.5.2	Betreffende de wijze van reinigen:	32
5.5.3	Betreffende de uitgevoerde proeven:	33
6	Geohydrologisch effecten van WPV's	34
6.1	Inleiding	34
6.2	Omschrijving onderzoek	34
6.3	Resultaten	36
6.3.1	Piekvertraging en ledigingstijd	37
6.3.2	WPV met of zonder kolken	38
6.3.3	Infiltratie vanuit WPV berekenen	38
6.3.4	Effecten van drainage	38
6.3.5	Effect achterliggend terrein	39
6.3.6	Effect DIT-riolering op drainage	40
6.3.7	Effect singelpeil	42
6.3.8	De ontwateringsdiepte (verschil grondwaterstand – maaiveld)	42
6.4	Conclusies	43
6.5	Aanbevelingen	45
7	Spoorvormingsmetingen	46
7.1	Inleiding	46
7.2	Uitgevoerde metingen en resultaten	48
7.2.1	Spoorvormingsmetingen met 1 m rei	48
7.2.2	Spoorvormingsmetingen met mobiele scanauto: Methodiek	49
7.3	Conclusies en aanbevelingen	51
8	Conclusies en aanbevelingen	53
8.1	Doorlatendheidsproeven	53
8.2	Reinigen	54



8.3	Geohydrologisch effect WPV	55
8.4	Spoorvorming:	57
9	Literatuur	58
	Bijlage 1 StandaardWegenbouwDetail voor WPV's	59
	Bijlage 2 overzichtskaart WPV's	60
	Bijlage 3 Full-scale test 2018 Wagenbergstraat	61
	Bijlage 4 DRI tests vergelijking met Full-scale 2018	62
	Bijlage 5 DRI tests reinigingstechniek 2019	65
	Bijlage 6 Geohydrologische metingen	66
	Bijlage 7 Achterliggende notities	73

1 Inleiding

Een aantal jaar geleden is in Rotterdam het beleid geformuleerd om, daar waar dat geohydrologisch en verharding technisch mogelijk is, elementenverhardingen aan te brengen met waterpasserende stenen. Dit wordt Waterpasserende Verharding of WPV genoemd. Via een WPV kan regenwater direct in de bodem infiltreren, zodat het dus niet, of in veel mindere mate en vertraagd, in het rioolstelsel terecht komt. Dit zorgt voor een lagere belasting van het rioolsysteem en lagere zuiveringskosten. Tevens is hiermee sprake van extra bergingscapaciteit in de verhardingsconstructie, hetgeen nodig wordt geacht bij het klimaatbestendig maken van de stad Rotterdam.

Rotterdam heeft ondertussen diverse wegvakken met WPV's aangelegd en beproefd, een inventarisatie is weergegeven in hoofdstuk 2. Op basis van een aantal eerdere onderzoeken is tevens een voor Rotterdamse bestekken verplicht toe te passen StandaardWegenbouwDetail voor WPV's opgesteld, zie Bijlage 1. Daarnaast is een Leidraad Ontwerpaspecten WPV's opgesteld met ontwerpcriteria en aandachtspunten bij toepassing in Rotterdam.

Door diverse producenten van straatstenen worden steeds meer verschillende modellen betonnen en gebakken waterpasserende straatstenen aangeboden. In de toekomst zullen er ongetwijfeld nog weer andere varianten door de markt worden ontwikkeld. In het genoemde StandaardWegenbouwDetail is weliswaar een keuze voor een standaardopbouw van de verharding gemaakt, in de Rotterdamse projecten zijn echter ook meerdere proefvakken met andere soorten straatstenen, voegvullingen en funderingstypen toegepast. Uitgangspunt voor dit onderzoek is echter de Rotterdamse opbouw: Betonklinker, split en 75 cm zandcunet.

Aanleiding tot dit onderzoek is het feit dat er op zowel verharding technisch- als geohydrologisch gebied vragen zijn over de effecten van WPV's en over de invloed van onderhoudsschema's hiervan voor de Rotterdamse situatie. Het feit dat er al diverse WPV's in gebruik zijn bood een unieke kans om door monitoring en evaluatie van meetgegevens te komen tot antwoorden.

1.1 Doelstelling

Vaststellen in welke mate de toepassing van WPV's kan bijdragen aan verhoogde neerslaginfiltratie in Rotterdam, en wat daarvan de consequenties zijn voor het onderhoud aan de weg en de levensduur van de wegconstructie.

De uitkomst van het onderzoek kan aanleiding zijn tot een advies om het standaard wegenbouwdetail aan te passen en/ of een bepaald onderhoudsregime toe te passen.

Onderzoeksvragen

- 1) Hoe kan het doorlaatvermogen van een WPV in-situ betrouwbaar worden vastgesteld?

Toelichting:

Tot op heden is veelal de handmatige DRI test toegepast om het doorlaatvermogen in-situ te meten. Uit recent onderzoek door Tauw blijkt de reproduceerbaarheid van deze test matig en blijkt de correlatie met Full-scale testen bovendien slecht.

- 2) Wat is het doorlaatvermogen van verschillende typen WPV's, hoe verandert dat in de tijd en hoe kan het onderhoudsregime bijdragen aan het in stand houden ervan?

Toelichting:

Doel van een WPV in vergelijking met andere typen verharding is om neerslagwater te kunnen infiltreren. Bekend is dat het doorlaatvermogen in de tijd afneemt door vervuiling.

- 3) Wat is het geohydrologisch effect van de WPV?

Toelichting:

Het doel van de infiltratie door de WPV is om de afvoer van de maatgevende regenbui te spreiden in de tijd, en dus pieken in de afvoer te vermijden, waarbij gebruik wordt gemaakt van de bergingscapaciteit van de onderliggende grond door daar de grondwaterstand tijdelijk te verhogen.

- 4) Hoe presteert WPV ten opzichte van traditionele verharding met betrekking tot wegbouwkundige levensduur?

2 Inventarisatie WPV's

2.1 Bekende WPV's en beschikbare informatie

Gedurende de looptijd van het project is een inventarisatie gemaakt van bestaande WPV's in Rotterdam en zijn relevante gegevens daarvan opgeslagen. Op bijlage 2 is de laatst gemaakte overzichtskaart (d.d. 28-9-2017) weergegeven. Het complete dossier is beschikbaar in de map: K:\SO\IR\MRO_projecten\Dossiers 2012\20120279 Hemelwaterwerkgroep afkoppelen\2017 Monitoring WPV\5. Overzicht WPV Rotterdam. In bijlage 2 is tevens een voorbeeldbeschrijving weergegeven van de bestaande WPV's.

2.2 Te registreren gegevens nog aan te leggen WPV's

Teneinde het functioneren van een WPV achteraf te kunnen evalueren, zijn diverse gegevens van belang. In de aanbevelingen van deze rapportage worden een aantal onderzoeksvragen benoemd. Uitgaande daarvan is het tenminste nodig over een minimum aantal gegevens te beschikken. Deze zijn:

- Locatie aanduiding (kaartje)
- Gekozen type straatsteen
- Opbouw van het wegcunet
- Voegvulling
- Locatie en type drain
- Gekozen opbolling weg
- Straatkolken Ja/Nee

3 Ontwikkeling verbeterde DRI test

3.1 Inleiding

Het doel van de toepassing van Waterpasserende verhardingen (WPV's) is het in korte tijd doorlaten van hemelwater. De doorlatendheid van de WPV is daarmee een belangrijke parameter die betrouwbaar moet kunnen worden gemeten. Bovendien is het belangrijk verandering van doorlatendheid in de tijd te kunnen vaststellen, om de effecten van vervuiling en reinigingsmethoden te kunnen evalueren. Omdat de vervuiling zich vooral manifesteert in de voegen van de verharding is vooral de doorlatendheid van de elementenverharding van belang. Er is derhalve behoefte aan een goedkope en betrouwbare in-situ meetmethode van de doorlatendheid van de elementenverharding.

3.2 Bestaande meetmethoden

Veel gebruikte meetmethoden zijn de Full-scale test en de handmatige DRI (Double Ring Infiltrometer) test. Deze worden onderstaand beschreven.

3.2.1 Handmatige DRI test

Een veel gebruikte eenvoudigere proef om de doorlatendheid in-situ te meten is de handmatige DRI test. Deze proef heeft weinig impact op de omgeving en is relatief goedkoop. Omdat het een lokale proef is, zal het water na door de elementenverharding te zijn gepasseerd, in het onderliggende zandpakket in alle richtingen kunnen afstromen. Indien ervan wordt uitgegaan dat zich onder de verharding een goed doorlatend zandpakket bevindt zal het resultaat van de proef vooral een uitspraak doen over de doorlatendheid van de WPV zelf.

In opdracht van de gemeente Rotterdam is door Tauw (Tauw, 2017) een vergelijking gemaakt tussen deze test en de Full-scale test. Een belangrijke conclusie van Tauw is dat de handmatige DRI test slecht correleert met de Full-scale test.

Een belangrijke reden voor de gevonden matige correlatie is het feit dat het resultaat van een Full-scale test niet uitsluitend wordt beïnvloed door de doorlatendheid van de elementenverharding en de handmatige DRI test wel, zoals beschreven in paragraaf 3.2.2.

Daarnaast zijn er echter ook tegen de bestaande handmatige DRI test een aantal bezwaren in te brengen die verbetering behoeven. Onderstaand worden deze kort omschreven, waarna in 3.3 uitgebreider wordt in gegaan op de wijze waarop een nieuwe proefopzet hierin verbetering kan brengen.

Effect van horizontale afstroming

Naast verticale afstroming zal nabij de rand van de ring tevens horizontale stroming in radiale richting naar buiten toe plaatsvinden. Dit leidt ertoe dat het gemeten debiet groter is dan datgene dat zou afstromen indien alleen verticale stroming mogelijk zou zijn. In een praktijksituatie waarbij de regenval regelmatig verdeeld is over een groot oppervlak, is namelijk in het algemeen sprake van uitsluitend verticale stroming. Bij de handmatige DRI test wordt dit bezwaar in principe opgelost door de toepassing van de dubbele ring. Het idee daarbij is dat de horizontale afstroming zich beperkt tot een zone nabij de buitenring en dat binnen de binnenring alleen verticale afstroming plaatsvindt.

Door uitsluitend het debiet te meten binnen de binnenring zou dan een redelijk nauwkeurige doorlatendheid moeten kunnen worden gevonden.

De veronderstelling dat binnen de binnenring geen horizontale afstroming plaatsvindt, is echter alleen juist, indien in de buitenste en binnenste ring exact hetzelfde waterniveau gehandhaafd wordt. Zodra er een verschil in waterniveau is, zal immers water horizontaal, onder de binnenring door, tussen beide ringen stromen. Het gelijk houden van de waterniveaus in beide ringen is in de praktijk een lastige opgave, vooral indien er sprake is van een grote doorlatendheid van de voegen tussen de straatstenen. De ongewenste waterstromen tussen de ringen, en vanuit de buitenring naar buiten worden extra vergroot in gevallen waar de ringen niet volledig rondom aansluiten op de straatstenen en voegen, maar er hier en daar kieren zijn als gevolg van niet vlakke ligging van de verharding. In de bestaande proefopzet wordt dit probleem van de kieren beperkt door het aanbrengen van een ring kneedbare klei langs de omtrek van beide ringen, die vervolgens goed tegen de verharding en de voegen wordt gedrukt. Deze werkwijze is arbeidsintensief en beperkt de dagproductie.

Er kan sprake zijn van lokaal afwijkend gedrag

De proef dient ter bepaling van de gemiddelde verticale doorlatendheid van de WPV. Omdat binnen een ring met beperkte afmetingen wordt gemeten kunnen bij uitvoering van een enkele test in principe afwijkingen ontstaan ten opzichte van de werkelijke gemiddelde doorlatendheid door de volgende oorzaken:

- Lokale variatie in voegvulling en/of voegbreedte.
- Lokale variaties in mate van vervuiling.
- Het aandeel van het voegoppervlak ten opzichte van het totale oppervlak binnen de binnenring wijkt af van het gemiddelde.

Met deze aspecten wordt in de praktijk omgegaan door per meetlocatie meerdere testen (op verschillende sub-locaties) uit te voeren en de resultaten hiervan te middelen. Gebruikelijk is tot op heden een aantal van 3 per meetlocatie.

3.2.2 Full-scale test

Full-scale impliceert het onder water zetten van een compleet wegvak, waarbij tevens alternatieve afvloeiingswegen voor het water worden dichtgezet. Het laatste betekent het aanbrengen van horizontale barrières om het water binnen het bedoelde wegvak te houden en het dichtzetten van straatkolken zodat het water alleen verticaal via de WPV kan afvloeien. Positief aan deze test is dat de proefsituatie lijkt op de werkelijkheid na een extreme regenbui. Ook worden eventuele lokale verschillen in doorlatendheid van het wegdek automatisch gemiddeld, op dezelfde wijze zoals dat gebeurt tijdens een regenbui.

De met behulp van deze proef gevonden doorlatendheid blijkt in praktijkgevallen af te nemen in de tijd. Naarmate er al meer water door het wegdek is opgenomen, passeert er steeds minder water per minuut door de WPV. Zie bij voorbeeld figuur 5. De voor de hand liggende verklaring hiervoor is dat het onderliggende pakket gevuld raakt met water. De hydraulische weerstand neemt toe omdat de door het water af te leggen weg groter wordt, waardoor de afstroming wordt geremd. Het feit dat het effect van deze mate van vulling de meetresultaten beïnvloedt, betekent dat met behulp van deze proef op langere termijn het afvoervermogen van de wegverharding, inclusief het onderliggende

zandpakket wordt onderzocht en niet uitsluitend de doorlatendheid van de elementenverharding. Bij lokale proeven (zoals de besproken DRI testen) zal zich in veel mindere mate hydraulische weerstand opbouwen in het onderliggende zandpakket, omdat het water op grotere diepte in alle richtingen kan en zal afstromen zoals gedemonstreerd in 3.3.2. In dat geval zal de doorlatendheid van vooral de verharding bepalend zijn.

Om het resultaat van de Full-scale proef te kunnen duiden is het van belang na te gaan hoe de gebruikte waterhoeveelheid in de tijd zich verhoudt tot de maatgevende regenbui. De gevonden gemiddelde waterdoorlatendheid tijdens een Full-scale test is correct voor een regenbui die qua omvang gelijk is aan de waterhoeveelheid die gebruikt is in de test. Voor kleinere buien zal de werkelijke waterdoorlatendheid groter zijn, voor grotere buien lager.

Indien aan de hand van deze test het verticale doorlaatvermogen van de WPV als functie van de tijd wordt geregistreerd, zal deze bruikbaar zijn om betrouwbare modelberekeningen te kunnen opzetten.

Nadelen van deze proef zijn de overlast voor gebruikers van de straat door de impact die de proef heeft op de omgeving, de voorbereidingstijd per proef en de relatief hoge kosten.

3.3 Ontwerp verbeterde DRI test

Vanwege de behoefte aan een eenvoudige betaalbare proef waarmee de doorlatendheid van de elementenverharding kan worden bepaald, is onderzocht of een geoptimaliseerde uitvoering van de DRI test tot een betere correlatie met Full-scale testen kan leiden.

Vanwege het bezwaar van het moeilijk gelijk houden van waterniveaus in de binnen- en buitenring is een nieuwe proefopzet bedacht, waarbij beide niveaus elektronisch worden bewaakt en bijgestuurd. Vervolgens wordt het waterdebiet dat vanuit de binnenste ring afvloeit gemeten bij een constante waterhoogte in beide ringen.

Door het (binnen een zeer geringe onnauwkeurigheidsmarge) gelijk houden van de waterniveaus, zal er niet of nauwelijks water in horizontale richting onder de binnenring doorstromen, zodat de aansluiting van de binnenring op de verharding minder kritisch is. De afdichting van de buitenring aan het oppervlak zal ook minder kritisch zijn, omdat het vanuit de buitenring weglekkende water niet met de hand, maar automatisch wordt gecompenseerd. Indien tijdens de uitvoering van de test zou blijken dat het niet lukt om beide niveaus binnen de wenselijke marge gelijk te houden dient ofwel de afdichting van de buitenring alsnog te verbeteren, ofwel een groter debiet te worden ingezet. Omdat de waterniveau's worden geregistreerd, zal achteraf uit de metingen blijken of de meting in dat opzicht goed is verlopen.

Onderstaand wordt aan de hand van stromingsberekeningen nader ingegaan op de relatie tussen meetnauwkeurigheid en benodigde afdichting van de binnenring. Bovendien wordt aan de hand van die berekeningen nagegaan of de bestaande verhouding in diameters tussen binnen- en buitenring (resp. 56 en 30 cm) aanpassing behoeft.

3.3.1 Meetfout door lokaal afwijkend gedrag

Zoals genoemd zal bij uitvoering van een enkele test sprake zijn van variatie in resultaat ten opzichte van een Full-scale proef. Onderstaand worden de oorzaken van deze afwijkingen beschreven, evenals de wijze waarop hiermee in de nieuwe proefopzet zal worden omgegaan:

Lokale variatie in voegvulling en/of voegbreedte.

Dit kan worden opgelost door het doen van genoeg proeven per testlocatie om een representatieve steekproef te verkrijgen. Probleem daarbij is, dat het huidige inzicht in de werkelijke spreiding gering is. Op voorhand is dus nog niet te zeggen hoeveel proeven er per testlocatie zouden moeten worden gedaan om een voldoende nauwkeurig gemiddelde te vinden. Op basis van een statistische beschouwing van eerste meetresultaten dient hier nader inzicht in te worden verworven. De te volgen strategie is dat aanvankelijk per testlocatie relatief veel proeven zullen worden gedaan. Op basis van de statistische beschouwing zal worden beoordeeld of dit aantal kan of moet worden bijgestuurd.

Variatie in aandeel voegoppervlak ten opzichte van het totale oppervlak

Door toevalligheden in de positionering van de ringen zal er een variatie optreden in het aandeel van het voegoppervlak binnen de binnenring. De mate waarin dit kan variëren hangt af van de verhouding tussen de afmetingen van de stenen en de ringdiameter. Als de stenen relatief groot zijn kan de variatie ook erg groot zijn. Uitgaande van stenen met werkende afmetingen 21 cm x 10,5 cm en een binnenring met een diameter van 0,3 m is aan de hand van configuratiebeschouwingen onderzocht hoe groot de variatie maximaal kan zijn. Dit blijkt een maximale afwijking omhoog of omlaag van 5% op te leveren.

3.3.2 Simulatie aangepaste proef en keuze ringdiameters

Omdat de WPV ook in horizontale richting doorlatend is, mag verwacht worden dat nabij de rand van de buitenste ring een horizontale stroming optreedt, die in grootte afneemt met het kleiner worden van de afstand tot het middelpunt van de ring. De straal van de binnenring dient dusdanig klein te worden gekozen dat binnen de binnenring dit randeffect voldoende klein is om acceptabel te zijn. Immers bij uitvoering van een proef wordt het debiet in de binnenste ring gemeten en beoordeeld.

Om het genoemde randeffect te beoordelen en kwantificeren zijn simulaties gemaakt met het stromingsmodel Plaxflow. Hierbij wordt de waterdruk binnen de ring als een belasting op de ondergrond gezet. De werkelijke situatie is uiteraard 3 dimensionaal, maar kan 2D, axiaal symmetrisch, worden benaderd.

Parameterkeuze

Een belangrijke invoerparameter bij deze berekeningen is de doorlatendheid van de verschillende lagen onder de ringen. Er is uitgegaan van achtereenvolgens een laag elementenverharding (de WPV) en direct daaronder goed doorlatend zand. Dit zand is verondersteld een veel hogere doorlatendheid te hebben dan de WPV, waarbij er bovendien vanuit is gegaan dat de grondwaterstand zich altijd dieper dan de bovenkant van deze zandlaag bevindt. Dat betekent dat de zandlaag de verticale afstroming tijdens de proef niet of nauwelijks beïnvloedt. Omdat over de



hoogte van de WPV in de praktijk ook verschillen in doorlatendheid kunnen optreden, is het model zo opgezet dat de WPV laag bestaat uit 2 sublagen, met elk separaat in te voeren eigenschappen.

Indien ervan wordt uitgegaan dat de doorlatendheid van de elementenverharding vooral wordt bepaald door de voegen tussen de stenen, is voor de verticale doorlatendheid dus vooral de totale lengte voeg per m² straatoppervlak van belang. Voor stenen met afmetingen a x b in het horizontale vlak is de gemiddelde verticale doorlatendheid dan recht evenredig met de voeglengte per oppervlak, ofwel:

$$k_{vert;gem} = \theta * \frac{a+b}{a*b} \quad (1)$$

Hierin staat θ voor een nader te bepalen doorlaatvermogen van de voegen in [m²/s]. Voor θ kan aan de hand van de doorlatendheid van het voegmateriaal $k_{vulling}$ en de breedte van de voegen t_{voeg} direct een schatting worden afgeleid:

$$\theta_{schatting} = k_{vulling} * t_{voeg} \quad (2)$$

Indien de stroomsnelheden relatief hoog zijn en / of de breedte van de voegen relatief gering, zal het snelheidsprofiel van de stroming binnen de voeg niet uniform zijn en zal vanwege randeffecten de werkelijke θ lager zijn dan $\theta_{schatting}$. Uiteraard kan vervuiling van de voeg met fijn materiaal hetzelfde effect veroorzaken. Ook kan in de praktijk kort na aanleg een relatief lage dichtheid van de voegvulling voorkomen, waardoor θ in werkelijkheid juist hoger zou kunnen zijn dan $\theta_{schatting}$.

Voor de simulatie is het van belang onderscheid te maken tussen de horizontale en de verticale doorlatendheid. Op basis van het reeds hiervoor gehanteerde uitgangspunt dat alleen water afstroomt via de voegen, is de gemiddelde horizontale doorlatendheid omgekeerd evenredig met de voegafstand. Afhankelijk van de richting in het horizontale vlak is deze doorlatendheid dan respectievelijk:

$$k_{hor;x} = \theta * \frac{1}{a} \quad \text{en} \quad k_{hor;y} = \theta * \frac{1}{b} \quad (3)$$

In ons axiaal symmetrische model gaat het om de doorlatendheid in axiale richting. Omdat er langs de rand van de ring sprake is van een ronde vorm zullen de x- en y- richting zoals gebruikt in (3) in gelijke mate voorkomen en kan worden gesteld dat de gemiddelde doorlatendheid in deze richting recht evenredig is met het gemiddelde van de doorlatendheid langs de korte en lange voegafstand:

$$k_{hor;gem} = \theta * \frac{1}{2} * \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) = \frac{1}{2} \theta * \frac{a+b}{a*b} \quad (4)$$

Uit (1) en (4) kan de verhouding van de gemiddelde verticale en horizontale doorlatendheid worden vastgesteld voor rechthoekige stenen. Deze blijkt onafhankelijk van de afmetingen:

$$k_{vert;gem} = 2k_{hor;gem} \quad (5)$$

Uitgevoerde Plaxflow analyses en resultaten

Opgemerkt wordt dat voor de beschouwing van de zone waarbinnen horizontale afstroming een rol speelt vooral de verhouding tussen horizontale en verticale doorlatendheid in de WPV van belang is en niet de absolute waarde. In alle gevallen is hiervoor de eerder gevonden verhouding uit (5) aangehouden. Ook van belang is of er een verschil in doorlatendheid is over het bovenste en onderste deel van de WPV. Om die reden zijn er 3 analyses uitgevoerd, zoals aangegeven in tabel 1:

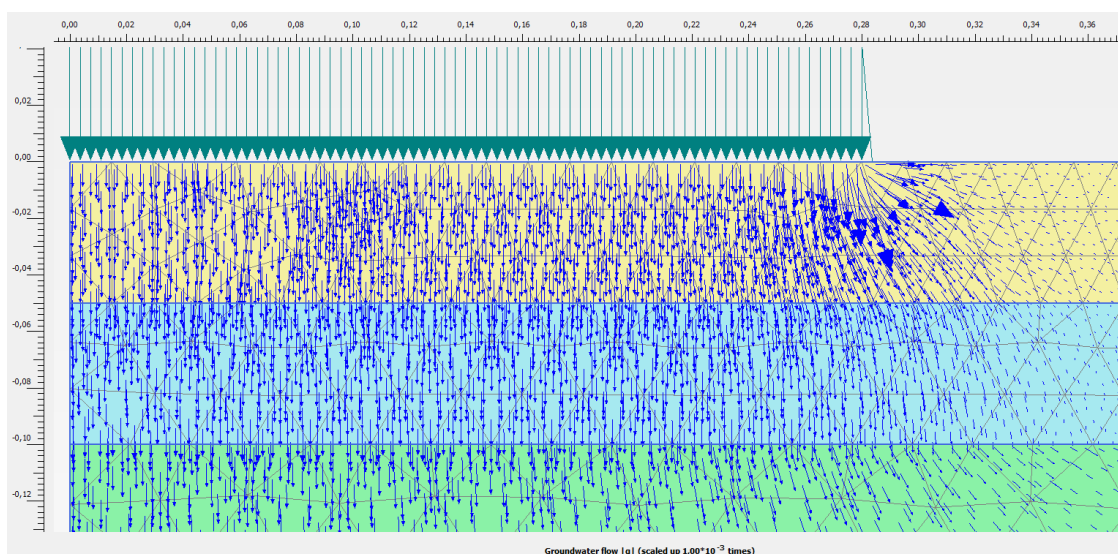
Tabel 1: Doorlatendheid lagen bij de 3 berekeningsgevallen

grondlagen	Berekeningsgevallen					
	A		B		C	
	$k_{\text{vert,gem}}$	$k_{\text{hor,gem}}$	$k_{\text{vert,gem}}$	$k_{\text{hor,gem}}$	$k_{\text{vert,gem}}$	$k_{\text{hor,gem}}$
0 tot -50 mm (WPV)	$k^*)$	$k/2$	$k/10$	$k/20$	k	$k/2$
-50 tot -100 mm (WPV)	k	$k/2$	k	$k/2$	$k/10$	$k/20$
-100 mm tot -1 m (zand **)	10k	10k	10k	10k	10k	10k

*) De ingevoerde doorlatendheid in de berekeningen zijn o.b.v. bovenstaande tabel berekend met $k = 3 \text{ m/dag}$; opgemerkt wordt dat de absolute waarde van k geen invloed heeft op het berekeningsresultaat in figuur 2.

**) De straatlaag direct onder de WPV en de zandlaag daaronder zijn als één laag gemodelleerd omdat het onderscheid geen invloed heeft op het model zolang de maximale waterberging nog niet is bereikt.

- Geval A komt overeen met een WPV die kort geleden is aangelegd en waar de voegen gevuld zijn met split. Omdat bij een gelijkmatige vervuiling over de volle hoogte van de voeg alleen de absolute waarde van de doorlatendheid afneemt, is het resultaat ook voor een dergelijke situatie van toepassing.
- Geval B zou overeen kunnen komen met de situatie dat in het bovenste deel van de voeg vervuiling is opgetreden waardoor over de bovenste helft de doorlatendheid sterk is afgenomen.
- Geval C zou overeen kunnen komen met de situatie na een (matig gelukte) schoonmaakactie, waarbij de doorlatendheid in de bovenste helft van de voegen is verbeterd, maar daaronder niet.



Figuur 1: Resultaat voor case A; de pijltjes geven de stroming aan in richting en grootte.

Om de invloed van het randeffect te kunnen beoordelen is de verticale stroomsnelheid vergeleken op 2 dieptes, namelijk 1 cm onder de bovenkant van de WPV en in de top van het zandpakket hieronder. Het relatieve verschil tussen beide snelheden is in figuur 2 uitgezet als functie van de afstand tot het middelpunt van de cirkel R . Uitgezet is hier:

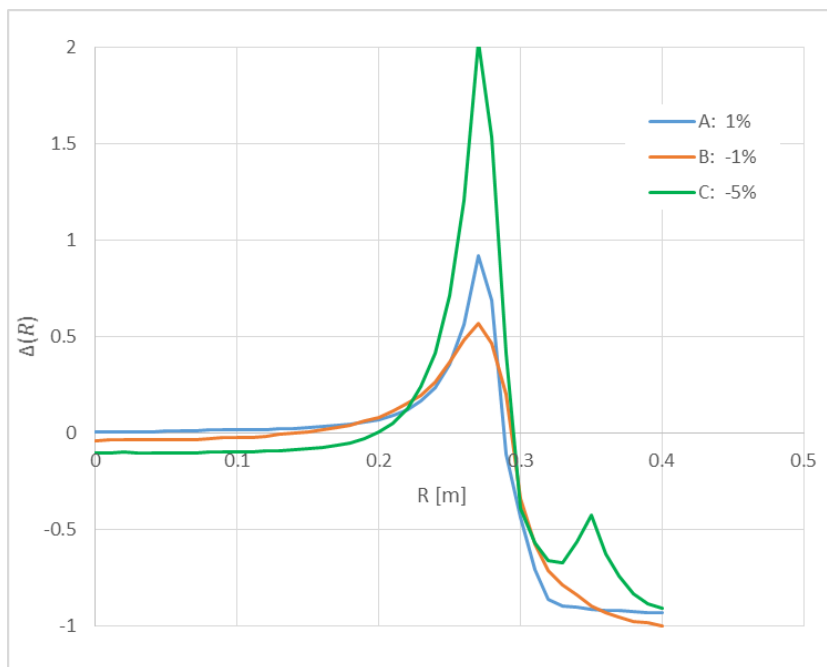
$$\Delta(R) = \frac{u_{1cm}(R) - u_{11cm}(R)}{u_{max;11cm}} \quad (6)$$

met:

$u_{1cm}(R)$ en $u_{11cm}(R)$ de gevonden verticale snelheid op resp. 1 en 11 cm diepte

$u_{max;11cm}$ de gevonden maximale snelheid op 11 cm diepte

Indien Δ gelijk is aan nul, zijn de snelheden op 1 en 11 cm diepte aan elkaar gelijk en is er dus geen meetfout door randeffecten.



Figuur 2: Resultaten voor de 3 cases als $R_{buiten} = 0,28m$; De legenda geeft tevens de meetfout aan, uitgaande van $R_{binnen} = 0,15m$.

Er is sprake van een zuivere verticale stroming binnen de zone waarin gevonden wordt dat $\Delta = 0$. Afwijkingen van deze nullijn wijzen op een meetfout door het randeffect. Zoals blijkt uit de grafieken lijkt de bestaande proef, met $R_{binnen} = 0,15$ een redelijke keus, omdat in de zone van $R = 0$ tot 15 cm de lijnen redelijk constant zijn. De totale meetfout kan worden berekend door Δ te integreren over het grondoppervlak van de binnenring en vervolgens te delen door het totale oppervlak van de hiermee omsloten cirkel:

$$meetfout = \left[\pi \int_0^{R_{binnen}} \Delta(R) dR \right] * \frac{1}{\pi * R_{binnen}^2} = \frac{1}{R_{binnen}^2} \int_0^{R_{binnen}} \Delta(R) dR \quad (7)$$

De numeriek vastgestelde meetfout bedraagt voor de cases A en B slechts 1%. In het geval van een minder doorlatende onderste helft van de WPV, case C, zal uit de proef een te hoge waarde voor de

doorlatendheid worden gevonden. Uitgaande van een 10x minder doorlatende onderste helft is de afwijking van het resultaat 5%. Gelet op het doel van de metingen wordt dit als acceptabel beschouwd.

3.3.3 Eisen afdichting binnenring

Tijdens uitvoering van de DRI test is er sprake van 2 met water gevulde compartimenten, namelijk binnen de binnenring en tussen de binnen- en buitenring.

De afdichting van de binnenring moet ervoor zorgdragen dat binnen de regelnauwkeurigheid van de bijsturing van waterniveau's het debiet dat tussen de 2 compartimenten stroomt qua orde van grootte ondergeschikt is aan het verticaal door het wegdek wegstromende debiet. Stroming tussen beide compartimenten kan bestaan 2 componenten:

1. Horizontale stroming via de voegen
2. Stroming door een spleet tussen binnenring en straatoppervlak.

Ter kwantificering van het eerste punt is een analyse met Plaxflow uitgevoerd, uitgaande van een waterstand binnen de ringen van 0,1 m en een waterstandverschil tussen beide compartimenten van maximaal 1 mm. Hieruit blijkt dat de horizontale stroming via de voegen in dat geval ordes lager is dan de verticale via de WPV.

Betreffende het 2^e punt, de lekkage via een eventuele spleet, is bepaald welke spleetgrootte tussen de binnenring en het straatoppervlak nog acceptabel is. Hiertoe is er (vereenvoudigd) van uitgegaan dat sprake is van een constante spleetgrootte over de volledige omtrek van de binnenring.

Op basis van uitwerking van de Navier Stokes vergelijkingen kan, uitgaande van een ruw oppervlak waardoor er sprake is van een snelheid nul ter plaatse van de randen en een volledig ontwikkelde Poiseuille stroming, voor het totale debiet door een spleet het volgende worden afgeleid:

$$Q_{spleet} = \frac{\Delta p * L * t_{kier}^3}{12 * \mu_{water} * t_{ring}} \quad (8)$$

Met:

- Δp = drukverschil over de spleet ($0,1\text{mm} * 10 \text{ kN/m}^3 = 1 \text{ Pa}$)
- L = Lengte spleet loodrecht op de stromingsrichting, in dit geval de omtrek van de binnenring: $L = 2 \pi R_{binnenring}$
- t_{kier} = spleetgrootte (grootte opening)
- t_{ring} = lengte van de spleet, ofwel minimaal de ringdikte (3 mm)
- μ_{water} = dynamische viscositeit van water (1 centiPoise = $0,1 \text{ Pa*s}$)

Het debiet dat afstroomt door het wegdek is afhankelijk van de waterhoogte binnen de ring h en de hydraulische weerstand van de WPV, C_{WPV} :

$$Q_{WPV} = \frac{\pi * h}{C_{WPV}} R_{binnenring}^2 \quad \text{met: } C_{WPV} = \frac{\text{dikte WPV}}{k_{vert,gem}} \quad (9)$$

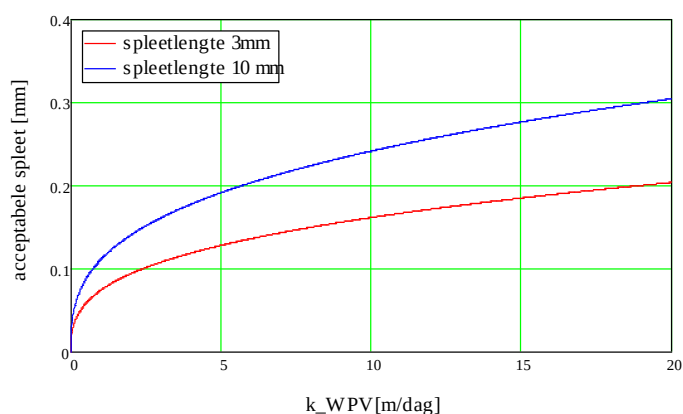
De nauwkeurigheid van de doorlatendheidsmeting wordt bepaald door de verhouding:

$$r = Q_{spleet} / Q_{WPV} \quad (10)$$

De toelaatbare spleetgrootte $t_{kier,max}$ kan worden bepaald op basis van een voor r te accepteren waarde en hangt dan af van de doorlatendheid van de WPV:

$$t_{kier,max} = \sqrt[3]{\frac{6 \mu_{water} t_{ring} R_{binnenring} h r k_{WPV}}{\Delta p \cdot (dikte \text{ WPV})}} \quad (11)$$

Uitgaande van een acceptabele nauwkeurigheid van 10% dient de verhouding $r = 1/10$ te zijn. Op basis van dit uitgangspunt, een maximaal regelbaar waterstandsverschil van 1 mm tussen beide compartimenten en een dikte van de WPV van 75 mm is het resultaat geplot in figuur 3.



Figuur 3: De acceptabele kier, het resultaat van (11), geplot als functie van de doorlatendheid van de WPV

De werkelijke doorlatendheid van een pas aangelegde WPV is in de orde van 15 m/dag. Ervan uitgaande dat deze na vervuiling maximaal een factor 10 terugloopt, zou een maximale kier van 0,13 mm juist acceptabel zijn bij een spleetlengte (in de stromingsrichting) van 10 mm. Hierop dient de afdichting te worden gebaseerd. Dit betekent in de praktijk dat de afdichting dusdanig moet worden gekozen dat deze goed op het wegdek aansluit.

3.3.4 Eisen afdichting buitenring

De afdichting van de buitenring aan het wegdek moet dusdanig zijn dat de gewenste waterstand in het compartiment tussen de beide ringen constant kan worden gehouden. Als dat niet slaagt mislukt de proef, echter omdat de waterstand tijdens de proef continu wordt gemeten is dit altijd achteraf controleerbaar.

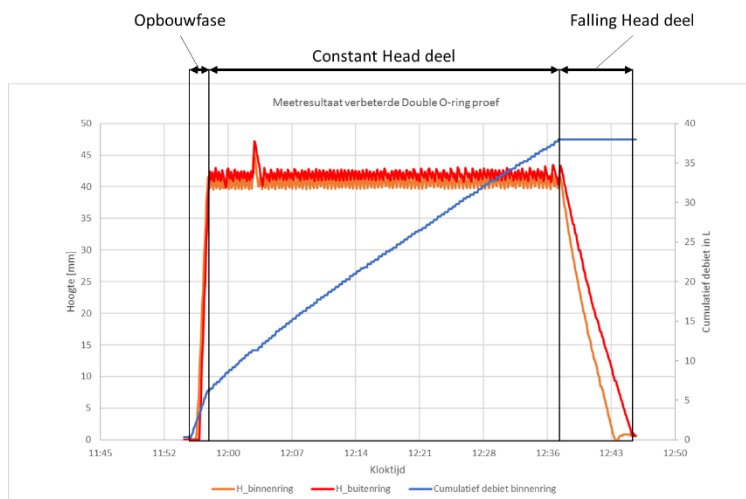
3.3.5 Praktische uitwerking

Bij de uitwerking van de proefopstelling is gebleken dat een waarde van 2 mm verschil in waterstand tussen binnen- en buitenring praktisch haalbaar is. In de eerder uitgevoerde voorgaande berekeningen is uitgegaan van een waarde van 1 mm. Dat betekent dat de afdichting tussen binnen- en buitenring nog belangrijker is dan al in 3.3.3 geconcludeerd. Omdat bij de opzet van de verbeterde proef uiteindelijk niet is uitgegaan van een rubber rand maar van klei in de aansluiting van

binnenring op de verharding, zal deze zeker voldoen, mits de rand van klei voldoende zorgvuldig is aangebracht.

3.4 Meetresultaten DRI test

In figuur 4 is het typische resultaat van een DRI test weergegeven.



figuur 4: Grafisch weergegeven resultaat DRI test

Zoals blijkt uit de figuur bestaat het verloop van de proef uit 3 delen: De Opbouwfase, waarin de beide compartimenten binnen de ringen worden gevuld, de constant head-fase waarin de niveaus in de compartimenten gelijk worden gehouden en de falling head fase, waarin het binnencompartiment niet meer wordt bijgevoerd zodat het niveau daalt. Theoretisch kan voor alle 3 de fasen een doorlatendheid worden bepaald, doch voor de opbouwfase zal de nauwkeurigheid bijzonder gering zijn, gelet op de beperkte waarnemingen. Wat opvalt is dat tijdens de de falling head fase de waterstand in het buitencompartiment hoger is dan in het binnencompartiment. Dat blijkt bij de meeste proeven het geval. Dat was op voorhand niet verwacht, omdat het 3-D effect aanleiding zou moeten geven tot een grotere lekkage naar buiten toe. Kennelijk spelen andere effecten, zoals toevallige verschillen in voegoppervlak een grotere rol. Dat betekent dat het falling-head fase niet zondermeer bruikbaar is voor de bepaling van de doorlatendheid, omdat deze vereist dat de niveau's in binnen- en buitencompartiment gelijk zijn.

Om bovengenoemde redenen dient te worden uitgegaan van de meetresultaten tijdens de constant head fase. Uit testen blijkt dat de uit die fase verkregen meetresultaten reproduceerbare resultaten oplevert.

3.5 Validatie aan de hand van Full-scale test

Uit de theoretische beschouwing hierboven is geconcludeerd dat de nieuwe opzet zal kunnen leiden tot een betrouwbare proef, met een beperkte meetfout. Op basis van meetresultaten zal worden

vastgesteld hoe de theorie zich verhoudt tot de praktijk en hoe groot de afwijking ten opzichte van Full-scale tests in werkelijkheid zal zijn.

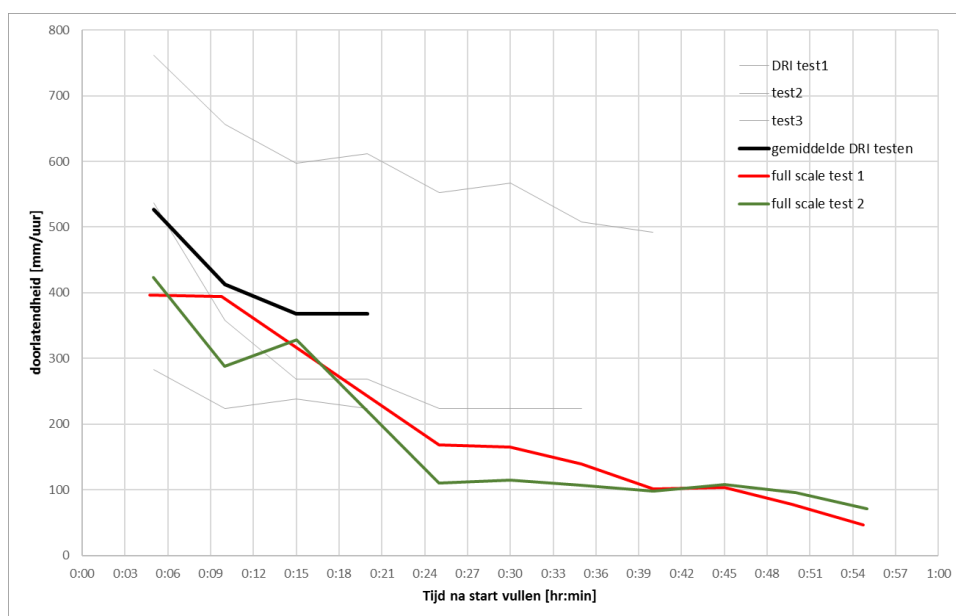
3.5.1 Meetresultaten van uitgevoerde proeven

Op 26 juni 2018 heeft samen met de Hogeschool Rotterdam een Full-scale test plaatsgevonden in de Wagenbergstraat. Hierbij is een wegvak afgesloten en afgedamd, zijn de aanwezige straatkolken dichtgezet en is vanuit een tankwagen gedurende circa 15 minuten een grote hoeveelheid water op het straatoppervlak geloosd, terwijl met behulp van divers op verschillende locaties het waterniveau op straat is gepeild. Een dergelijke proef is opeenvolgend 2x uitgevoerd, waarbij de start van de 2^e proef circa 1,5 uur na het droogvallen van de straat is uitgevoerd.

In bijlage 3 zijn de kenmerkende gegevens van de test weergegeven.

Ter vergelijking zijn op 20 september 2018 3 verbeterde DRI testen uitgevoerd op dezelfde locatie. Het resultaat daarvan is weergegeven op bijlage 4

Met beide typen proeven wordt een doorlatendheid gevonden die blijkt af te nemen in de tijd, zoals zichtbaar gemaakt in figuur 5.



figuur 5: Vergelijking DRI testen en Full-scale test

Opgemerkt wordt dat de doorlatendheid in geval van een Full-scale test normaliter wordt vastgesteld voor de situatie dat het vullen klaar is. In die situatie is de zakking van de waterstand rechtstreeks te meten en kan de doorlatendheid daar ook direct uit worden berekend, omdat er geen water wordt toegevoerd. Het moment waarop het vullen klaar is, is voor de uitgevoerde proeven bereikt op een tijdstip van circa 15 minuten na de start. De in de figuur weergegeven doorlatendheid voor het tijdsinterval hieraan voorafgaand, is berekend uit het verschil in stijgsnelheid van het waterniveau op de straat en het vuldebiet. Hierbij is het vuldebiet van het straatvak vanuit de tankwagen constant

verondersteld en berekend door de totale geloosde waterhoeveelheid te delen door de tijd waarin dat heeft plaatsgevonden.

3.5.2 Analyse

Zoals beschreven in 3.2.2 is de afname van doorlatendheid in de tijd verklaarbaar uit het feit dat de droge voeg zich langzaam vult met water. De snelheid waarmee het waterpeil zakt is namelijk afhankelijk van de drukgradiënt van het water, en deze zal afnemen naarmate een groter deel van de voeg zich heeft gevuld. In geval van de Full-scale test raakt, nadat de voeg geheel is gevuld, tevens het ondergelegen zandpakket steeds verder gevuld met het verstrijken van de tijd, waardoor de doorlatendheid blijft afnemen in de tijd. Dat betekent dat de gevonden doorlatendheid tijdens de eerste minuten van de proef vooral een maat is voor de doorlatendheid van de elementenverharding en de waarden op latere tijdstippen iets zeggen over de afvoercapaciteit van het gehele systeem bij een extreme bui. Opgemerkt wordt dat in de uitgevoerde Full-scale proef, de omvang van de in dit geval geloosde waterhoeveelheid gelijk is geweest aan 168 mm in 15 minuten, hetgeen veel meer is dan een extreme regenbui. Dat roept de vraag op of de gevonden waarde voor de doorlatendheid in het 2^e deel van de proef daarmee niet lager is dan de werkelijkheid in geval van te verwachten extreme regenbuien.

Uit figuur 5 blijkt dat een behoorlijke correlatie wordt gevonden tussen de doorlatendheid uit de DRI testen en de Full-scale testen voor het tijdsinterval tot circa 15 minuten. De werkelijke doorlatendheid van de WPV kan op basis van de beide Full-scale tests worden geschat op 320 mm/uur en op basis van de 3 DRI tests op 368 mm/uur. Wel wijst de gevonden spreiding in de DRI testen erop dat een aantal van 3 een minimum is, en het aanbevelenswaardig er meer te doen.

3.6 Conclusie en aanbevelingen:

- De verbeterde DRI test biedt een relatief eenvoudige en uitstekend uitvoerbare proef waarmee de doorlatendheid van een elementenverharding kan worden bepaald.
- Voor het bepalen van de afvoercapaciteit van het gehele systeem van elementenverharding en onderliggend zandpakket bij een extreme bui is een Full-scale test een betere test.
- Gelet op de gevonden spreiding dienen er per locatie voldoende DRI tests te worden uitgevoerd om een betrouwbaar gemiddelde te verkrijgen. Het tot op heden gebruikelijke aantal van 3 lijkt aan de krappe kant, aanbevolen wordt er tenminste 4 te doen.
- De doorlatendheid uit de DRI test dient te worden bepaald tijdens de constant-head fase waarin de waterstand in de ringen constant wordt gehouden. Deze fase dient per proef tenminste 10 minuten te duren.
- Indien uit een Full-scale test verkregen resultaten voor de doorlatendheid worden toegepast in modelberekeningen, dient rekening te worden gehouden met het eventuele verschil van de omvang van de waterlozing tijdens de proef en de extreme regenbui waar de modelberekeningen voor zijn bedoeld. Een manier om hier rekening mee te houden is het beoordelen van de doorlatendheid als functie van de tijd en daarmee als functie van het door de WPV gepasseerde debiet.
- Bij een vergelijkende test is een goede match gevonden tussen een Full-scale- en een verbeterde DRI test. Het is aanbevelenswaardig deze vergelijking te herhalen op meer locaties.



- Bij het vergelijken van Full-scale en DRI tests, dient in acht te worden genomen dat ook het eerste deel van de meting van de Full-scale test (tijdens het vullen van het straatvak) moet worden uitgewerkt tot een doorlatendheid en dat juist de meting tijdens deze periode moet worden vergeleken met de DRI tests.

4 Keuze type WPV

4.1 Toepasbaarheid baksteen

4.1.1 Inleiding

De waterpasserende betonstraatsteen is onderdeel van de Rotterdamse Stijl en kan daarom worden toegepast in al die gebieden waar een betonstraatsteen gewenst is. Hiermee is inmiddels ervaring opgedaan en uit eerder onderzoek is bekend dat de doorlatendheidseis met deze typen straatstenen goed haalbaar is.

In sommige stadswijken is vanuit uitstraling echter de toepassing van een gebakken straatsteen gewenst. Daarom is besloten een pilot met diverse soorten (waterpasserende) straatbakstenen uit te voeren. Doel is om te bepalen of er een type straatbaksteen bestaat dat voldoet aan beeld-, technische- en functionele kwaliteit.

Besloten is om twee soorten waterpasserende straatbaksteen te testen en de Rotterdamse Stijl (RS) straatbaksteen. Per straat is één soort (waterpasserende) straatbaksteen toegepast met brekerzand als voegvulling en straatlaag. De toegepaste typen straatstenen zijn: Huwa, Wylandt en Drainflow.

Daarnaast zijn in één gebied (Hoekersingel) ook 4 proefvakken ingericht met dezelfde waterpasserende straatbaksteen, waarbij in ieder vak een andere type voegvulling is toegepast, maar wel allemaal op eenzelfde straatlaag van split 2/6.

Om de proefvakken met de (waterpasserende) straatbakstenen te beoordelen zijn een aantal vragen geformuleerd. De belangrijkste vragen was wat de doorlatendheid van de voegen van deze soort WPV zou zijn. Hieraan gerelateerd waren de volgende vragen:

- Hoe snel vervuild de verharding;
- Hoe vaak of hoe snel moet er gereinigd worden;
- Is reiniging van de voegen mogelijk.

Om op deze vragen antwoord te geven was de inzet van zowel Full-scale-, als DRI tests gepland.



figuur 6: Reiniging WPV's

4.1.2 Doorlatendheid testen direct na aanleg

Full-scale testen

Bij deze testen is telkens een wegvak over een lengte van circa 25 m over de volle breedte van de straat afgedamd. Hierna is het vak gevuld met water tot bovenzijde trottoirband en is vervolgens gemeten hoe lang het duurt voordat het water is geïnfiltreerd door de waterpasserende verharding. In de Hoevebuurt zijn drie straten gemeten en in de Hoekersingel alle vier vakken met verschillende voegvulling. De uitkomsten staan in tabel 2:

tabel 2: Meetresultaat Full-scale testen

Straat	Voegvulling	type straatsteen	Doorlatendheid [mm/h]
Baljuwplein	Brekerzand	Huwa, Wylandt en Drainflow	134
Harddraverstraat	Brekerzand		117
Hoevestraat	Brekerzand		154
Hoekersingel	2 x vilt en brekerzand	Eenzelfde type	107
Hoekersingel	Split 1/3		56
Hoekersingel	1 x vilt en brekerzand		74
Hoekersingel	Split 2/6		124

In Rotterdam wordt als norm gehanteerd dat de waterpasserendheid van een WPV tenminste 194 mm/uur (= 540 l/s/ha) moet bedragen. Dat betekent dat alle geteste type stenen en ook de geteste voegvullingen hier al direct na aanleg ruim onder blijven, dus niet voldoen. Overigens kan, conform verwachting, worden geconcludeerd dat de doorlatendheid toeneemt met een grovere voegvulling.

DRI testen

Op de vakken van de Full-scale metingen zijn tevens handmatige Dubbele Ring Infiltrometingen uitgevoerd. Eerder is al geconcludeerd dat deze handmatige metingen niet voldoende betrouwbaar zijn geweest, om die reden wordt het resultaat ervan hier niet gepresenteerd.

4.1.3 Reinigingbaarheid straatbaksteen

Om tevens de reinigbaarheid van de verschillende typen straatbaksteen te testen is gebruik gemaakt van een wegdekreiniger.

De conclusie van de reinigingsproef is dat de gebakken steen zich niet met alleen zuigkracht laat reinigen; in vergelijking met een betonnen straatsteen komt de voegvulling minder makkelijk los. Vermoedelijk het directe gevolg van de smallere voegen in geval van een straatbaksteen. Na reinigen (onder hoge druk leegspuiten van de voegen en het uitkomende materiaal direct opzuigen) geeft in dit geval het naar omstandigheden beste resultaat.

4.1.4 Schadebeelden

In de Hoevebuurt zijn uit visuele inspectie lokaal schadebeelden aangetroffen, maar die zijn eerder aan de ondergrond dan aan het type steen te herleiden. Ten opzichte van de 'normale' gebakken steen zijn niet meer of minder schadebeelden waargenomen.

4.2 Conclusies en aanbeveling

- De uitkomst van de pilot met de waterpasserende straatbaksteen is dat geen van de geteste typen stenen aan de eis voldoet qua waterdoorlatendheid indien de voegen zijn gevuld met brekerzand.
- Een grovere voegvulling leidt tot betere resultaten, althans voegen gevuld met split 2/6 geeft iets betere resultaten dan voegen gevuld met brekerzand.
- Het verschil in waterdoorlatendheid tussen gebakken en betonnen stenen is vermoedelijk te wijten aan de smallere voegen tussen de gebakken stenen. Er is geen aanleiding te veronderstellen dat de doorlatendheid van de steen zelf anders zou zijn.
- De reinigbaarheid van de voegen van de waterpasserende bakstenen is minder goed dan van waterpasserende betonstenen, hetgeen eveneens het gevolg is van de krappere voegen.
- Omdat al direct na aanleg geen van de geteste typen waterpasserende straatbaksteen voldoet aan de gestelde eis kunnen deze niet worden toegepast in Rotterdam.

Opgemerkt wordt dat, om toch aan de wens van beeld en klimaatadaptatie te voldoen inmiddels een alternatief is gevonden in een kleurechte waterpasserende betonstraatsteen. Dit type steen wordt inmiddels veelvuldig toegepast, onder andere in Middelland.

5 Doorlatendheid en reinigingstechnieken

5.1 Inleiding

In de praktijk blijkt dat WPV's in de tijd minder doorlatend worden. Dit wordt veroorzaakt door het dichtslibben van de voegen tussen de stenen met een mengsel van organisch materiaal van planten en bomen, rubber van banden, etc.. Zowel eerder uitgevoerd praktijkonderzoek als uitgevoerd laboratoriumonderzoek tonen aan dat 5 jaar na aanleg van de verhardingen, de dichtslibbing tot ten minste een halvering van de infiltratiecapaciteit leidt (Advokaat, 2016).

Om die reden is het belangrijk te beschikken over een effectieve reinigingsmethode waarmee de doorlatendheid na enige tijd weer vergroot kan worden. Vanaf 2015 is in Rotterdam reiniging van WPV's toegepast, waarbij verschillende technieken zijn gebruikt.

Omdat pas vanaf 2019 kon worden beschikt over een methode om de verandering in doorlatendheid goed te meten, heeft de beoordeling van de effectiviteit van de gehanteerde reinigingsmethoden voor die datum vooral visueel plaatsgevonden. Onderstaand worden de verschillende gebruikte technieken globaal beschreven.

5.2 Terugloop doorlatendheid bestaande WPV's

In de loop van de afgelopen jaren zijn er veel metingen gedaan met de handmatige DRI test, met een matig resultaat. Hierdoor is tot vóór 2019 nooit een gestructureerde opzet mogelijk geweest van reproduceerbare metingen over de jaren heen om het functioneren van de infiltrerende verharding op lange termijn te kunnen beoordelen, alhoewel enkele meetresultaten voldoende inzicht bieden om te kunnen vaststellen of er sprake is van terugloop van doorlatendheid in de tijd.

Onderstaand wordt het resultaat van enkele van die handmatige metingen beschreven.

De meeste metingen zijn uitgevoerd in de wijk Charlois, omgeving Schoonegge. In 2014 is in combinatie met rioolvervanging, in diverse straten waterpasserende verharding (8.500 m²) aangelegd. De doorlatendheidsmetingen zijn beperkt tot een zestal locaties. Alle vakken zijn gestraat en ingeveegd met split 2/6. De resultaten zijn vermeld in tabel 3.

tabel 3: Meetresultaat handmatige DRI testen

Straat	Gemiddelde doorlatendheid (o.b.v. 3 metingen): [mm/uur]	Voldoet aan de norm van 194 mm/uur (=540 l/s/ha)
Elsenhoek	986	Ja
Lemsterhoek	179	Nee
Schoonegge *)	67	Nee, maar ook geen WPV
Steenvoorde	447	Ja
Boekenrode	419	Ja
Ruigenhoek	81	Nee

*) geen waterpasserende verharding

Geconcludeerd kan worden dat op 2 van de 5 locaties met WPV's al na 2 jaar een dusdanige verslechtering van doorlatendheid is opgetreden dat er dient te worden ingegrepen.

5.3 Eerste testen met reinigingsmethoden

5.3.1 ZOAB Cleaner

In 2015 is begonnen met de oudste projecten (2003 en 2005) in Nesselande te reinigen m.b.v. een standaard ZOAB cleaner. In oktober 2016 is dit herhaald op de locatie Luntershoek in Charlois en in 2018 in Schoonegge.

Bij deze techniek wordt onder hoge druk (koud) water in de voegen gespoten. Direct daarna wordt het water, inclusief het losgekomen vuil ook weer opgezogen. Deze cyclus wordt één of meerdere keren herhaald over hetzelfde wegvak.

Het resultaat is visueel beoordeeld. Er was sprake van een zeer wisselend resultaat, de ene locatie was niet te reinigen en de tweede is wel zodanig gereinigd dat de voegen visueel schoon waren. Onderstaand enkele beelden van het resultaat.



figuur 7: Reiniging WPV's: Voorbeelden van een slecht (links) en een goed resultaat (rechts)

Enkele conclusies over deze wijze van schoonmaken:

- Veelal blijft in het onderste gedeelte van de voegen een zwarte substantie zitten. Dit duidt erop dat de voegen nog niet geheel leeggezogen waren.
 - Spoorvorming en oneffenheden hebben een ongunstig effect; hierdoor is het contact tussen de balk van het voertuig en de verharding niet optimaal waardoor het resultaat tegen kan vallen.
 - Sterk onkruid en mossen blijven meestal zitten.
 - Smallere voegen blijken minder vaak goed leeggezogen te worden.

Nadelen:

- In veel gevallen nauwelijks of onvoldoende resultaat.
- Een ongelijkmatig maaiveld door zakkingsverschillen of spoorvorming, zoals veel voorkomend in Rotterdam, beïnvloedt het resultaat bovendien ook nog in sterke mate ongunstig.

5.3.2 Milieu- en Incident Reinigingsmachine – groot materieel

De eerste test met de Milieu- en Incident reinigingsmachine is uitgevoerd in december 2016 op de Beumershoek in Rotterdam Charlois. Deze straat is aangelegd in 2013 en de voegen zijn gevuld met split 2/6. Op een later moment zijn er ook testen geweest in Schoonegge.

Met de Milieu- en Incident reinigingsmachine wordt onder hoge (onder)druk de voegvulling uit de voegen gezogen. Hierbij kan optioneel koud/heet water worden toegevoegd aan het reinigingsproces. Onderstaand een beschrijving van de testen gedaan waarbij al dan niet water is gebruikt. Tijdens de testen heeft de machine elk wegvak telkens één keer behandeld.

De testen zijn visueel succesvol uitgevoerd.

Enkele conclusies over deze wijze van schoonmaken:

- Een belangrijk nadeel is de grootte van het equipment; zie op onderstaande foto's het verschil in formaat in vergelijking met een ZOAB cleaner. Gevolg hiervan is dat deze zich niet leent voor smalle straten en dat ook parkeervakken niet te reinigen zijn met deze methode.
- Het vuil en de voegvulling wordt, zowel met als zonder gebruik van water, gemiddeld circa 2 tot 5 centimeter uit de voeg gezogen. Over het algemeen is dit meer dan bij de ZOAB cleaner.
- Gebruik van koud water onder hoge druk lijkt vooral nadelen te hebben. Het schoonmaakresultaat is vergelijkbaar, maar de machine, die 5 m³ water bevat, moet regelmatig worden bijgevuld en bovendien moet er een grote hoeveelheid vervuild water gemengd met vuil split worden afgevoerd, dus dat is nadelig voor milieu, maar ook voor de productiesnelheid. Bij droog zuigen behoeft alleen de (droge) vervuilde split te worden afgevoerd.
- Een deel van het onkruid / mos blijft in de voegen zitten. Dit komt vermoedelijk omdat de testen in een relatief natte periode zijn uitgevoerd. De werknemers van de firma Wilchem

gaven aan de voorkeur te hebben voor een droge periode, omdat de methode dan beter zou werken. De conclusie is dus dat de reiniging best plaatsvindt in een droge periode.

- De effectiviteit van het leegzuigen is in sommige gevallen ook lokaal (dus binnen dezelfde straat) sterk wisselend gebleken. Op sommige plekken, met name tussen de rijsporen, blijft mos en vuil soms in de voegen zitten, terwijl op andere plekken de voegen zo sterk worden leeggezogen, dat zelfs een deel van de onder de voegen aanwezige straatlaag wordt meegezogen.

Betreffende het laatst punt kan worden opgemerkt dat het voor de hand liggend is dat de benodigde zuigdruk sterk afhankelijk is van de mate waarin het vuil zich heeft vastgehecht aan de voeg, hetgeen kennelijk lokaal nogal kan schelen. De zuigdruk is bij dit equipment niet op basis van het resultaat regelbaar.



Milieu- en Incident Reinigingsvoertuig



ZOAB cleaner

figuur 8: Reinigingsvoertuigen

5.3.3 Milieu- en Incident Reinigingsmachine – klein materieel

In 2017 is circa 5.000 m² waterpasserende verharding gereinigd met een kleiner type Milieu- en Incident Reinigingsvoertuig, dat nog wel wendbaar genoeg is voor normale woonstraten. Er is voor gekozen het voertuig in te zetten samen met een waterwagen en een vuilwaterwagen. Hierdoor hoeft het reinigingsvoertuig het werkvak niet te verlaten. De reiniging met deze drie voertuigen heeft een week geduurd. Aansluitend zijn de voegen met split ingeveegd.

Omdat deze machine een geringere zuigkracht heeft is aansluitend reinigen met water nodig om toch voldoende resultaat te krijgen. De ervaring van afgelopen jaar was dat het bovendien regelmatig nodig was om achtereenvolgens 2 tot 3 maal hetzelfde stuk rijweg te reinigen.

Nadelen:

- Vanwege de omvang van de machine zijn de parkeervakken nog steeds niet of nauwelijks te reinigen.
- Hoge kosten (€ 8,- per m²) en lange benodigde tijd door de inzet van 3 wagens en herhaaldelijk reinigen alvorens het resultaat acceptabel was.



Opnieuw aanbrengen split
figuur 9: Reiniging

5.3.4 Effect heet water

Er zijn enkele testen gedaan waarbij heet water is gebruikt om te zien of dat het verwijderen van onkruid en mos zou vergemakkelijken.

Een eerste test met heet water is uitgevoerd op de Luntershoek in Rotterdam Charlois in 2016. De voegen waren bij aanleg in 2013 gevuld met split 2/6. Gedurende de test is een wegvak besproeid met heet (kokend) water, om mossen en onkruidgroei in de waterpasserende verharding te doden, hetgeen zichtbaar gelukt is. Het water is onder atmosferische druk op het wegdek gespreid; dus niet met hoge druk. Vervolgens heeft een dag later behandeling met de ZOAB cleaner plaatsgevonden. Er bleek geen aantoonbaar verschil terug te zien in de mate van reiniging met het wegvak in dezelfde omgeving dat niet was behandeld met heet water.

Daarnaast heeft een test met de Milieu incident wagen plaatsgevonden waarbij heet water onder lage druk is gebruikt en vervolgens tijdens dezelfde passage van het equipment de voegen zijn leeg gezogen. De werking van het hete water valt tegen, er wordt geen beter resultaat bereikt dan zonder water of met koud water onder hoge druk. De conclusie was dat het water kennelijk onvoldoende de kans krijgt om in de verharding te trekken en om de mossen en onkruid te doden.

Toepassing van heet water is mogelijk effectief wanneer heet water als voorbehandeling wordt gebruikt en enkele dagen later in een droge situatie, de voegen droog worden gereinigd met een milieu incident wagen. Dit is nog niet getest.

5.3.5 Conclusies eerste testen

- De keuze van equipment een afweging is tussen kwaliteit van reiniging versus met dat equipment ook in staat te zijn op elke locatie het gehele oppervlak te kunnen reinigen:
 - Inzet van een Milieu- en Incident Reinigingsmachine leidt visueel tot de beste reiniging, echter deze machine is in veel gevallen te groot om te kunnen worden ingezet en bereikt ook niet de volledige straat
 - Inzet van een standaard ZOAB cleaner leidt tot een zichtbaar minder goed resultaat, maar de afmetingen zijn dusdanig dat deze wel de meeste plaatsen kan bereiken. Het resultaat kan wel worden verbeterd door opvolgende reinigingscycli uit te voeren.
- Visueel goede resultaten zijn bereikt met droog leegzuigen van de voegen met de Milieu- en Incident Reinigingsmachine. Waarschijnlijk wordt het beste resultaat bereikt tijdens een droge periode, omdat dan de voegvulling makkelijker loskomt. De combinatie van toepassing van water onder hoge druk met het gelijktijdig leegzuigen levert een nauwelijks beter resultaat en heeft diverse nadelen, zoals het hoge waterverbruik, meer afvoerkosten en lagere productiesnelheid.
- Inzet van heet water om mos en onkruid te doden is waarschijnlijk uitsluitend zinvol indien de behandeling separaat, enkele dagen voorafgaand aan het leegzuigen plaatsvindt.

5.4 Methode van der Vleut

Voor de reiniging van 2019 is gezocht naar een alternatief, dat is gevonden bij de firma van der Vleut. Deze firma reinigt al jaren waterpasserende verharding. Tot nu altijd met waterdruk, maar sinds kort is ook een methode beschikbaar die werkt met luchtdruk.

Bij deze methode wordt de voeg met perslucht leeg gespoten, waarna het materiaal wordt opgezogen.



figuur 10: Uitvoering van de reiniging met luchtdruk.

De uitkomsten van een uitgevoerde pilot geeft veel vertrouwen. De voegen zijn leeg en de straatlaag is zichtbaar. De prijs is goed en de overlast voor de omgeving is niet groot. Hele grote afzettingen zijn niet nodig, in noodgevallen kan het verkeer erlangs. Nadeel is dat de snelheid van reinigen laag is.



De stenen voor en na reiniging.
figuur 11

Op de bovenstaande wijze zijn 5 straten gereinigd, evenals de pilot locatie. Van de pilot locatie is de nul-situatie bepaald, de doorlatendheid van het cunet en de doorlatendheid na reiniging. De reiniging met water leek in de pilot minder goede resultaten te geven vanwege de vervuiling die reinigen met water geeft

Na een proefreiniging is besloten om een aantal straten te laten reinigen. De resultaten zien er visueel veelbelovend uit.

5.4.1 Uitgevoerde metingen en resultaten

Er zijn verbeterde DRI metingen uitgevoerd om het effect van de reinigingstechniek inzichtelijk te maken. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de aantallen uitgevoerde metingen. Een totaaloverzicht inclusief individuele meetresultaten is weergegeven op bijlage 5.

tabel 4: Overzicht uitgevoerde metingen

Locatie	Meetdatum	Aantal metingen			Reinigings-techniek
		Voor reiniging	Na reiniging	Cunet	
Schermlaan	2/7/2019	3	3	3	waterdruk
Schermlaan	2/7/2019	3	3	0	luchtdruk
Jan Porcellistraat	9/9/2019	0*)	4	0	luchtdruk
Jan Sonjéstraat	9/9/2019	1	4	0	luchtdruk
Bellevoystraat nz	9/9/2019	0*)	4	0	luchtdruk
Jan van Vuchtstraat	9/9/2019	1	4	0	luchtdruk
Bellevoystraat zz	9/9/2019	0*)	4	0	luchtdruk

*) De situatie vóór reiniging kon vanwege de problemen voor het krijgen van een wegafzetting niet in alle worden bepaald.

Het resultaat van de metingen is weergegeven in tabel 5.

tabel 5: Gemiddelde meetresultaten (doorlatendheid [mm/uur])

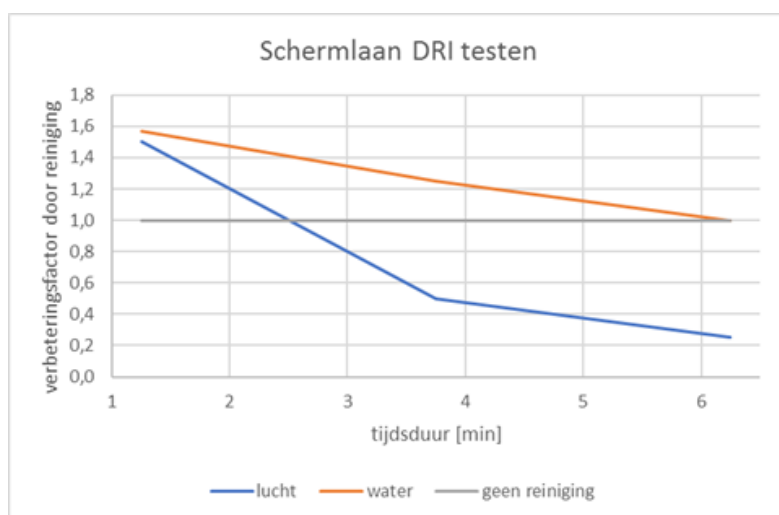
Locatie	0-situatie	Water gereinigd	Lucht gereinigd	Cunet
Schermlaan	153	184	106	622
Jan Porcellistraat			462	
Jan Sonjéstraat	1.353		607	
Bellevoestraat nz			459	
Jan van Vuchtstraat	455		468	
Bellevoestraat zz			1.012	

Op basis van de metingen is een vergelijking gemaakt tussen de waargenomen doorlatendheid na reiniging en zonder en de oorspronkelijke doorlatendheid, als functie van de tijd na start proef. Hiertoe wordt de volgende factor geïntroduceerd:

$$\text{verbeteringsfactor} = k_{\text{voor}} / k_{\text{na}}$$

Waarin k_{voor} en k_{na} de doorlatendheid resp. vóór en na reiniging

De verbeteringsfactor blijkt te variëren in de tijd. Voor de locatie Schermlaan is deze weergegeven in figuur 12.



figuur 12: Verbeteringsfactor uit DRI proeven

Opgemerkt wordt dat eerder is vastgesteld dat tenminste 3 metingen nodig zijn om een voldoende representatief beeld van de gemiddelde doorlatendheid van de WPV te krijgen, gelet op lokale variaties. De data voor de locatie Schermlaan voldoen daar aan, de data voor de Jan Sonjéstraat en de Jan van Vuchtstraat zeker niet. Om die reden is de locatie Schermlaan nader uitgewerkt.

Overigens blijkt het zandcunet in alle gevallen ca. 4x zo doorlatend als de WPV.

5.4.2 Analyse

De waargenomen doorlatendheid varieert in de tijd. Vanuit theoretische overwegingen kunnen hiervoor de volgende redenen worden aangedragen:

- Bij een volledig droog wegdek en uitgedroogde voegvulling moet de waterdruk op het wegdek de oppervlaktespanning van het water overwinnen alvorens het water penetreren in de poriën. Dit leidt tot een aanvankelijk hogere hydraulische weerstand.
- De hydraulische weerstand van de voegvulling is omgekeerd evenredig met de drukgradiënt $\Delta p/\Delta h$, ofwel het (hydrostatische) drukverschil gedeeld door de afstand waarover deze werkt. De hydraulische weerstand is in aanvang nul, omdat de afstand aanvankelijk nul is. Naarmate de voeg zich vult neemt de hydraulische weerstand dus toe.

Zoals blijkt uit figuur 12 is er in het begin van de proeven een duidelijke verbetering van doorlatendheid te zien voor de gereinigde WPV, maar neemt deze verbetering snel af in de tijd. Als er met lucht is gereinigd, is het na 2,5 minuut al slechter dan zonder reiniging en als er met water is gereinigd, is het na ca. 6 minuten weer even slecht als daarvoor.

Een logische verklaring zou zijn dat de reiniging de vervuiling vooral naar onderen verplaatst. De aanvankelijke verbetering is dan het gevolg van de toegenomen bergende capaciteit van het bovenste deel van de voegvulling en de hogere doorlatendheid van het bovenste deel van de voegvulling. Zodra die voegvulling echter gevuld is met water wreekt zich de matige doorlatendheid van het onderste deel van de voegvulling, of van een laagje direct onder de voegen.

Zoals eerder vermeld blijkt het zandcunet in alle gevallen ca. 4x zo doorlatend als de WPV. Dat deze doorlatendheid kennelijk niet negatief wordt beïnvloed door de verontreiniging uit de voegen, is eenvoudig verklaarbaar als wordt aangenomen dat die vervuiling zich blijft concentreren direct onder de voegen. Zodra de stenen weg zijn kan het water daar gemakkelijk omheen stromen.

Uit de vergelijkingen in de Jan Sonjéstraat en de Jan van Vughtstraat volgt ook een verslechtering na reiniging, dus deze metingen bevestigen het hierboven beschreven beeld. Deze resultaten zijn echter statistisch minder bruikbaar, omdat in die gevallen er slechts één proef is gedaan vóór reiniging.

5.5 Conclusies en aanbevelingen

5.5.1 Betreffende de noodzaak tot reinigen en frequentie

- In eerder onderzoek was geconcludeerd dat na 5 jaar gemiddeld de doorlatendheid van een WPV met circa de helft is teruggelopen.
- Uit uitgevoerde doorlatendheidsproeven blijkt dat in sommige gevallen al circa 2 jaar na aanleg de doorlatendheid dusdanig is afgenomen dat niet meer wordt voldaan aan de gestelde eis.
- Aanbevolen wordt om meer gestructureerd de doorlatendheid van WPV's te bewaken.

5.5.2 Betreffende de wijze van reinigen:

- De keuze van equipment is een afweging tussen kwaliteit van reiniging versus de mogelijkheid om met dat equipment ook in staat te zijn op elke locatie het gehele oppervlak te kunnen reinigen:

- Inzet van een Milieu- en Incident Reinigingsmachine leidt visueel tot een goede reiniging, echter deze machine is in veel gevallen te groot om te kunnen worden ingezet en bereikt ook niet de volledige straat
 - Inzet van een standaard ZOAB cleaner leidt tot een zichtbaar minder goed resultaat, maar de afmetingen zijn dusdanig dat deze wel de meeste plaatsen kan bereiken. Het resultaat kan wel worden verbeterd door opvolgende reinigingscycli uit te voeren.
 - Het beste compromis tot dusver is gevonden in het equipment van de firma van der Vleut, een handzaam equipment met visueel het beste resultaat.
- Visueel goede resultaten zijn bereikt met droog leegzuigen van de voegen. Waarschijnlijk wordt het beste resultaat bereikt tijdens een droge periode, omdat dan de voegvulling makkelijker loskomt. De combinatie van toepassing van water onder hoge druk met het gelijktijdig leegzuigen levert een nauwelijks beter resultaat en heeft diverse nadelen, zoals het hoge waterverbruik, meer afvoerkosten en lagere productiesnelheid.
 - Inzet van heet water om mos en onkruid te doden is waarschijnlijk uitsluitend zinvol indien de behandeling separaat, enkele dagen voorafgaand aan het leegzuigen plaatsvindt.
 - De conclusie op basis van de metingen in de Schermklaan is dat de te bereiken verbetering door de reiniging tegenvalt, ondanks een op het eerste oog goed resultaat. Het lijkt erop dat het risico op natte straten voor zeer korte regenbuitjes wordt verminderd na reiniging, maar niet voor serieuze regenval en juist bij zwaardere regenval dient de WPV goed te functioneren.
 - Het loont de moeite de toegepaste reinigingstechnieken te optimaliseren of te zoeken naar betere reinigingstechnieken.
 - Aanbevolen wordt de metingen te herhalen, om uit te sluiten dat het ongunstige gevonden resultaat in de Schermklaan een toevalstreffer zou zijn.

5.5.3 Betreffende de uitgevoerde proeven:

- DRI metingen zijn een uitstekend middel om te onderzoeken of reinigingstechnieken effectief zijn.
- Van belang is dat de proefduur per DRI test voldoende lang is. Er is momenteel ervaring met een proefduur van het constant head deel tot 6 minuten en dat lijkt te kort; geadviseerd wordt dit te verlengen tot 10 minuten. Het falling head deel van de test blijkt minder bruikbaar en zou om die reden kunnen vervallen om tijd te besparen per proef.
- Eerder is geconstateerd dat, gelet op lokale variatie in resultaten, het aantal proeven per wegdek tenminste 3 zou moeten bedragen.

6 Geohydrologisch effecten van WPV's

6.1 Inleiding

De meetopstelling van het geohydrologisch WPV monitoringsprogramma loopt sinds mei 2017. De opzet is om door grondwatermetingen op verschillende WPV-locaties met elkaar te vergelijken, antwoord te krijgen op de vragen die spelen rondom infiltratie in stedelijk gebied en waterpasserende verharding in het bijzonder. Met de resultaten kan beter onderbouwd worden aangegeven wat beheerders en bewoners kunnen verwachten met betrekking tot vertraagde afvoer en grondwatereffecten, en wanneer waterpasserende verharding wordt toegepast.

Waterpasserende verharding is één van de bouwstenen om regenwater te infiltreren in plaats van af te voeren via een leiding. Hiermee wordt het riool ontlast en wordt regenwater vertraagd afgevoerd naar het watersysteem. Vragen die hieruit voortvloeien zijn:

- Wordt regenwater geïnfiltreerd?
- Wordt de afvoer vertraagd?
- Blijft er voldoende ontwateringsdiepte?
- Welke aspecten van de uitvoeringswijze zijn van invloed op het goed functioneren van de WPV?

Opgemerkt wordt dat tevens een uitgebreide rapportage over de Grondwatermonitoring bij WPV is uitgegeven. Zie hiervoor hoofdstuk 9. Onderstaande beschrijving is hiervan een samenvatting.

6.2 Omschrijving onderzoek

Het onderzoeksprogramma heeft zich in 3 jaar verder ontwikkeld. In de loop van het project zijn enkele aanvullingen en aanpassingen gedaan om de resultaten beter te kunnen verklaren. Het huidige programma bestaat uit vier locaties waar waterpasserende verharding is aangelegd op basis van de Ontwerpaspecten uit 2014; de Bellevoysstraat, Wagenbergstraat, Steenvoorde en van Kinsbergenstraat (weergegeven in Figuur 13). Daarnaast is als referentielocatie zonder WPV de Pluimhoefstraat toegevoegd en is er 1 peilbuis in de rijbaan van de Wagenbergstraat zonder WPV geplaatst. Op alle locaties zijn peilbuizen geplaatst om het grondwatergedrag te meten en zijn niveaumeters geplaatst in het schoonwater afvoersysteem (DIT, drainage of HWA-riool) wanneer aanwezig, om ook hier het effect te meten. In de Bellevoysstraat is de drain aangesloten op het gemengd riool met een terugslagklep, hier wordt als enige ook in de vuilwaterput gemeten. Daarnaast is bij alle locaties een peilbuislocatie gezocht achter de bebouwing, in de tuinen.

Kenmerken verschillende locaties

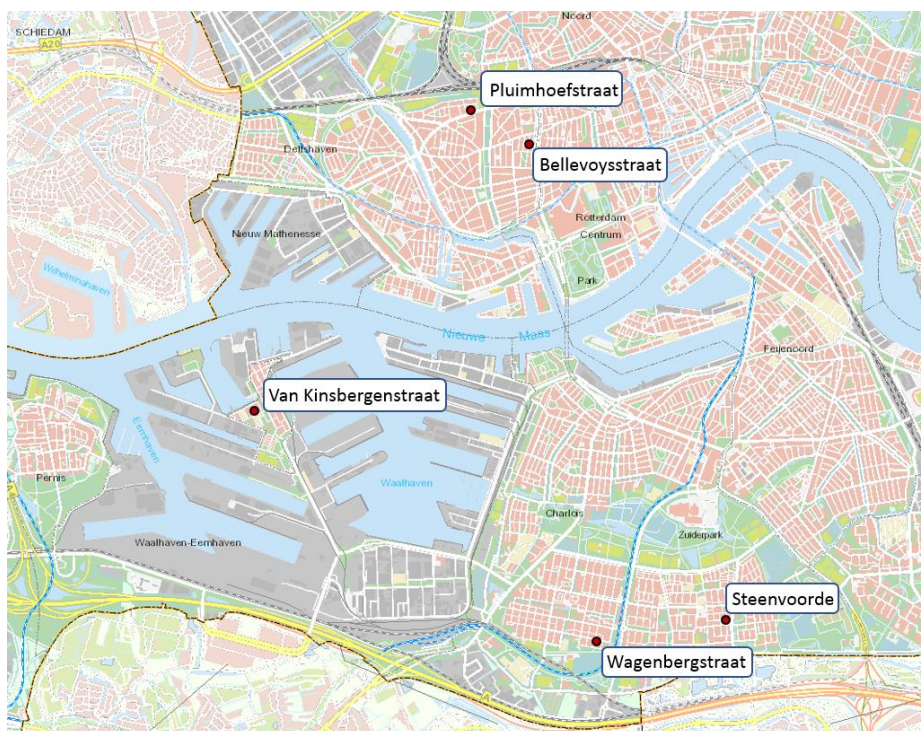
locatie	Bellevoysstraat	Wagenbergstraat	Steenvoorde	Van Kinsbergenstraat	Pluimhoefstraat
WPV	wel	wel	wel	wel	niet (referentie)
Afvoersysteem	drainage Ø160 mm naar gemengd riool (via slechte keerklep)	drainage Ø315 mm open verbinding met oppervlaktewater	DIT Ø315 mm open verbinding met oppervlaktewater	geen drainage	geen drainage
Kolken	ja, op gemengd riool	geen	ja, op DIT	geen	ja
Afschot	3%	nvt	1,50%	nvt	3%

De vijf locaties verschillen op details in uitvoeringwijze en watersysteem; in de Bellevoysstraat en de Steenvoorde zijn kolken toegepast en in de van Kinsbergenstraat en de Wagenbergstraat niet. In de Bellevoysstraat en de Wagenbergstraat is drainage toegepast, in de van Kinsbergenstraat niet en in Steenvoorde is DIT-riolering toegepast. De drainage en DIT-riolering in de Wagenbergstraat en Steenvoorde staan vrij in verbinding met oppervlaktewater, de drainage in de Bellevoysstraat is aangesloten op de gemengde riolering in dezelfde straat (met een terugslagklep). De locaties liggen allen in een andere wijk in Rotterdam en verschillen daarom ook in ondergrond, bebouwing en historie van het watersysteem.

Op de meetlocaties zijn drie of vier peilbuizen in een raai over het wegprofiel gezet, zodat het grondwatergedrag zichtbaar werd vanaf de gevel (in de stoep), via parkeervak tot aan ontwateringmiddel in de weg. In de Pluimhoefstraat is dit niet gebeurd; omdat hier geen drainage of DIT-riool in de weg ligt, is ontwatering in de breedte van de weg niet te verwachten. De peilbuizen zijn zowel in de lengterichting van de weg (ontwateringrichting) geplaatst als in de breedte richting. De Van Kinsbergenstraat is (vanaf 20 augustus 2019) uit het meetprogramma gehaald vanwege bouwwerkzaamheden op de locatie.

Bij de monitoringsresultaten is gekeken naar 1 droge periode (5/8/2019 tot 19/8/2019) met korte hevige buien. Daarnaast zijn 2 langdurige natte periodes bekeken (25/9/2019 tot 9/10/2019 en 2/3/2019 tot 17/3/2019) waarin veel neerslag viel (respectievelijk 148 en 106 mm). Van deze periodes zijn de meetreeksen in grafieken bij elkaar gebracht om gedrag te vergelijken. Verder zijn de resultaten van de totale meetreeksen gebruikt om een aantal gegevens in tabel te brengen, zoals de grondwaterstand (gemiddelde, maximale en 95%-waarde) en ontwateringdiepte.

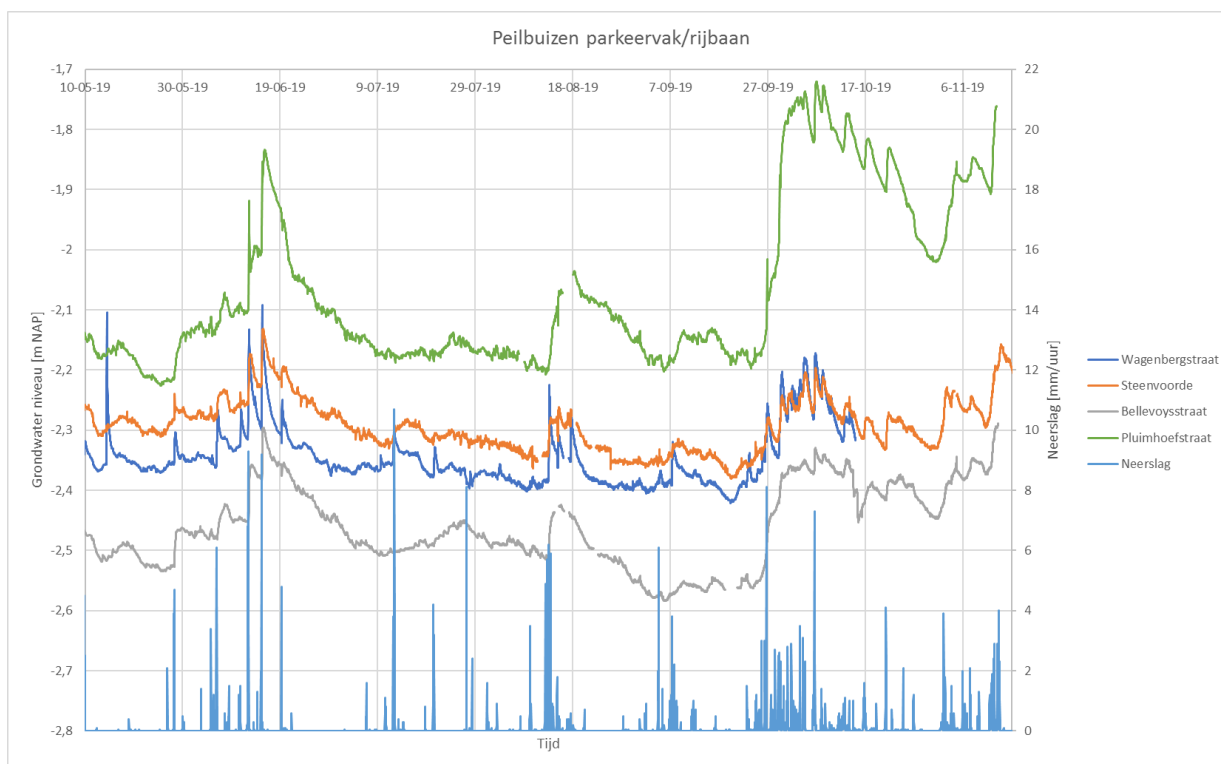
Het onderzoek heeft zich specifiek gericht op het grondwatergedrag bij het afvoeren van regenwater. Hierbij is gezocht naar locaties en kenmerken die in basis te vergelijken zijn, omdat overal waterpasserende verharding is toegepast met dezelfde ontwerprichtlijnen. Van de verschillende locaties is geen waterbalans opgesteld en de (geo-) hydrologische grens en afvoerend oppervlak zijn niet bepaald. Als indicatie voor neerslag en de intensiteit van de bui is gebruikgemaakt van het meetstation Zestienhoven van KNMI (uur waarden). Het station is meer dan 5 km van de meetlocaties verwijderd en geeft dus geen exacte gebeurtenissen of hoeveelheden weer.



Figuur 13: Monitoringslocaties WPV en referentielocatie straat

6.3 Resultaten

De meetresultaten zijn in 2 workshops met geohydrologen en rioleurs besproken. In deze sessies en de voorbereiding ervan is het grondwatergedrag geanalyseerd en zijn de verschillen tussen de locaties besproken. Geconstateerd is dat de reactie op neerslag duidelijk zichtbaar is in de grondwaterstand (zie figuur 14).



Figuur 14: Natte en droge periodes Wagenbergstraat, Steenvoorde, Bellevoystraat en Pluimhoefstraat

Bij de straat zonder drain en kolken (Van Kinsbergenstraat) is te zien dat de grondwaterstand onder de rijbaan sterker reageert dan onder de stoep, dit is de bijdrage van de WPV. Bij de straten met drain en zonder kolken (Wagenbergstraat en Steenvoorde) is de afstand tot de drain bepalend voor de grondwaterstijging.

6.3.1 Piekvertraging en ledigingstijd

De gemiddelde piekvertraging (tijd tussen optreden van de piek van de bui en de piek in de grondwaterstand) van de meest representatieve locatie (Wagenbergstraat) is 3,4 uur. In andere straten is er relatief meer aanvoer vanuit naastgelegen groen, waardoor de piekvertraging groter lijkt te worden. De grondwaterverhoging veroorzaakt door de WPV is afhankelijk van de hydrologische uitgangssituatie, hieronder vallen de ontwateringdiepte, afstand tot de drain en de duur en intensiteit van de bui. Als het al een paar dagen geregend heeft is de grondwaterstand in zijn geheel wat hoger. In droge tijden is in de Wagenbergstraat te zien dat de grondwaterstand onder de parkeervakken eerder en hoger piekt dan die in de stoep: in de parkeervakken wordt vooral het effect van de infiltratie door WPV gemeten en in de stoep is een effect van afstroming vanuit de tuinen en groengebieden zichtbaar (Figuur 15). In nattere perioden zijn beide effecten moeilijk te scheiden, al lijkt de piek wel grotendeels door de WPV veroorzaakt te worden (zie infiltratieberekening).

De ledigingstijd van het wegcunet (herstel van de grondwaterstand tot de waarde van vóór de bui) hangt vooral van de grootte van de bui af. Bij grotere buien (>20 mm) wordt de ledigingstijd al snel >2 dagen (ca. 3,75 dagen). Door toestroom vanuit de omgeving duurt het langer voordat de grondwaterstand in het wegcunet is hersteld. In straten met veel toestroom vanuit onverharde gebieden is het daardoor moeilijk om de vertraging in de afvoer die met WVP gerealiseerd wordt, te bepalen.

6.3.2 WPV met of zonder kolken

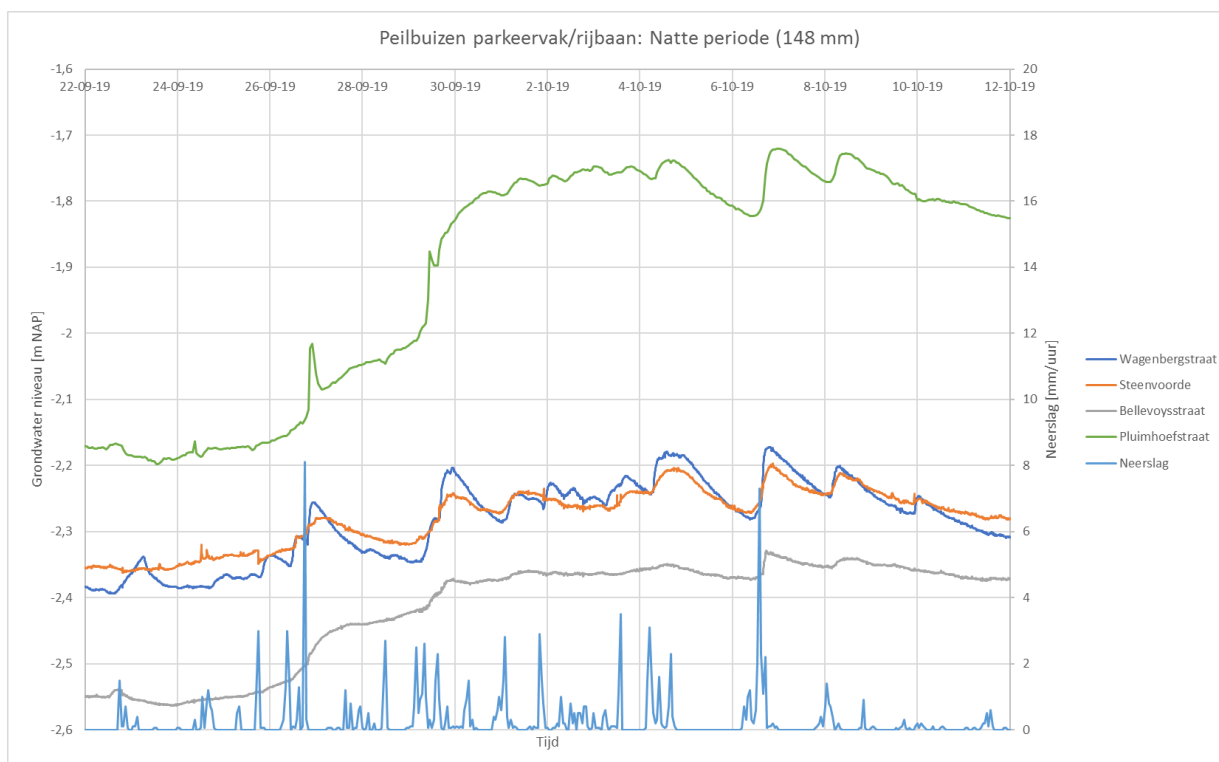
Op de referentielocatie zonder WPV (Pluimhoefstraat) is ook het effect van neerslag te zien in de grondwaterstand. In vergelijking met de Bellevoysstraat is te zien dat de grondwaterreactie van de twee straten over het algemeen weinig verschilt en dat wanneer er wel een verschil is, de Pluimhoefstraat (zonder WPV) sterker reageert. Het toepassen van kolken bij WPV vermindert de infiltratie. Wordt de Bellevoysstraat met Steenvoorde vergeleken, dan laat de grondwaterstand in Steenvoorde veel meer kleinere pieken zien. De verkanting van het wegprofiel is een belangrijk verschil tussen Steenvoorde (1,5%) en de Bellevoysstraat (3%), dit veroorzaakt waarschijnlijk de verschillen in de kortdurende grondwaterreacties.

6.3.3 Infiltratie vanuit WPV berekenen

Door de gemeten pieken in de grondwaterstand onder de parkeervakken en de rijbaan te vergelijken met een theoretische stijging gerelateerd aan de hoeveelheid neerslag, kan het geïnfiltreerde volume ruw geschat worden (bijlage 6). Bij de vergelijking van 10 buien in de Wagenbergstraat (100% infiltratie verwacht, geen kolken toegepast), is een afwijking tussen de gemeten en berekende verhoging van -27% tot +21% gevonden. De gemiddelde afwijking is maar +1,6%, de berekende stijging komt goed overeen met de berekende stijging bij 100% infiltratie. Aangezien het neerslagstation relatief ver weg ligt (> 9 km), kan dit veel van de afwijking verklaren. In de Bellevoysstraat zijn de verschillen tussen de gemeten en berekende stijging veel groter, gemiddeld -43,5%. Dit betekent dat er maar een gedeelte van het water infiltreert (gemiddeld 56%). Hier is duidelijk het effect van kolken zichtbaar, bijna de helft van het regenwater wordt hierdoor afgevoerd in plaats van geïnfiltreerd. Ook voor Steenvoorde is een infiltratieberekening gedaan, al is deze veel minder zeker doordat (1) de peilbuizen in de kleilagen onder het zandcunet staan, (2) de grondwaterstandsstijging ook deels in de klei optreedt en (3) er een groenstrook direct aan de weg grenst, waar vanuit ook water naar de drain stroomt. Volgens deze berekening infiltreert circa 80% van het hemelwater in Steenvoorde. Hoewel er kolken zijn toegepast, zorgt de kleinere verkanting voor een grotere infiltratie. In de Van Kinsbergstraat infiltreert naar verwachting ook 100% van het water, het water kan alleen niet snel genoeg worden afgevoerd waardoor de ontwateringsdiepte niet gehaald wordt.

6.3.4 Effecten van drainage

De langdurige stijging van de grondwaterstand in een natte periode is in de Pluimhoefstraat het grootste, dit komt doordat hier geen drainage ligt (zie figuur 15). In de Van Kinsbergenstraat is geen drainage aangebracht. Hierdoor, maar ook door de kleilagen in het wegcunet, is de grondwaterstand sterk gestegen en moest de weg opnieuw aangelegd worden. Om voldoende ontwateringsdiepte te garanderen, moet er drainage worden gelegd bij WPV en mogen er geen slecht doorlatende lagen in het wegcunet liggen.



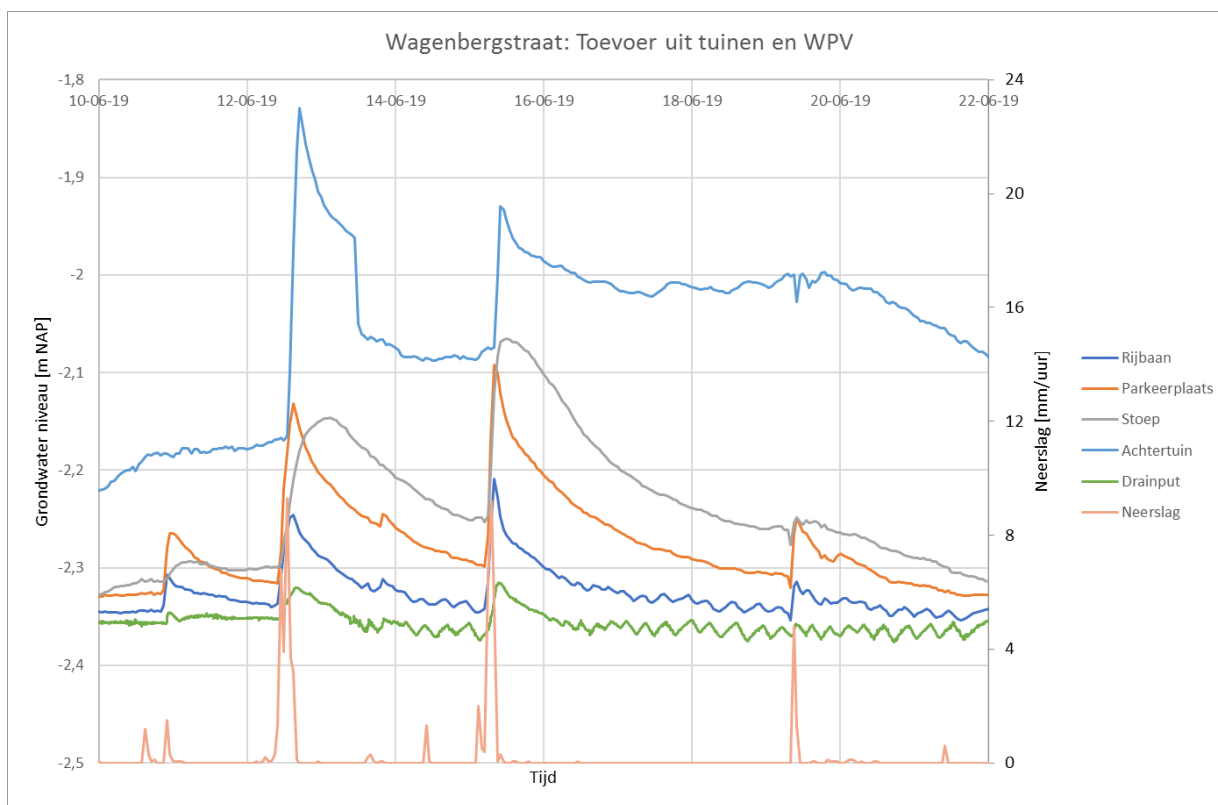
Figuur 15: Natte periode Wagenbergstraat, Steenvoorde, Bellevoystraat en Pluimhoefstraat

6.3.5 Effect achterliggend terrein

De grondwaterstand is in de achtertuinten vrijwel altijd hoger dan in de weg, met uitzondering van zeer droge periodes door transpiratie van de vegetatie. Ook is de stijging van de grondwaterstand in de achtertuinten na een bui meestal groter dan of gelijk aan de stijging in het cunet. Dit is te verklaren doordat de bodemopbouw in de tuinen veel minder zandig is dan het wegcunet, en verder van de drainage af ligt. Het lijkt erop dat vooral de omgeving en de werking van het ontwateringsmiddel de grondwaterstand in het zandcunet op de langere termijn bepalen (dagen en maanden), en de WPV de grondwaterstanden op korte termijn (uren).

Een tijdelijke stijging van de grondwaterstand in het wegcunet door de WPV (10 cm) tegelijk met de stijging van het oppervlaktewaterpeil en dus het drainagepeil (5 cm) verminderden het verhang van de grondwaterstand van de tuinen naar de drain. Dit zal naar verwachting tijdelijk (uren) de ontwatering van de tuinen vertragen. Door de toepassing van de drain worden over het jaar heen de tuinen minder nat, omdat de afstand tot het ontwateringsmiddel (de drain) korter is.

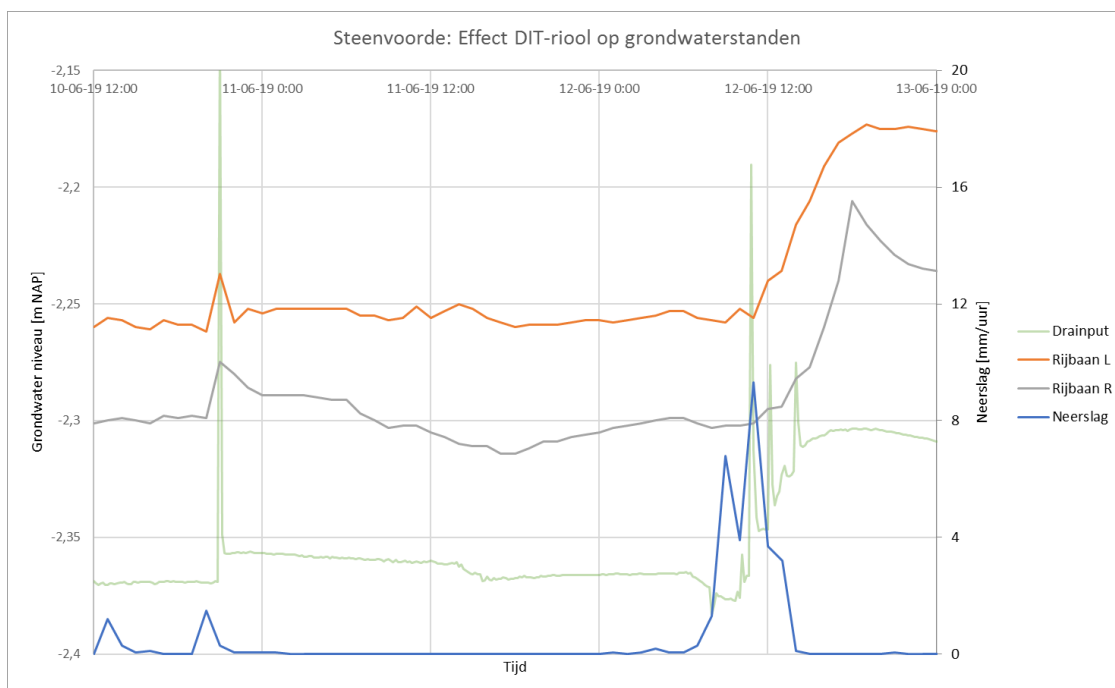
Bij heftige buien met vooraf droge periodes treedt er een stijging van de grondwaterstand in de stoep op terwijl deze in het cunet al aan het dalen is (Figuur 16); dit kan worden verklaard door toestroming uit achtertuinten. Het grondwatergedrag in de stoep wordt hier meer beïnvloed door het gedrag in de achtertuinten dan door de infiltratie in de rijbaan. Dit was te verwachten, aangezien het grondwater richting de drainage stroomt. In natte condities is het lastig de piek van de aanvoer vanuit de tuinen te scheiden van de piek door de WPV. In Figuur 16 is dit duidelijk te zien, na elke bui ligt de piek in de stoep steeds dicht bij de piek in de parkeerplaats.



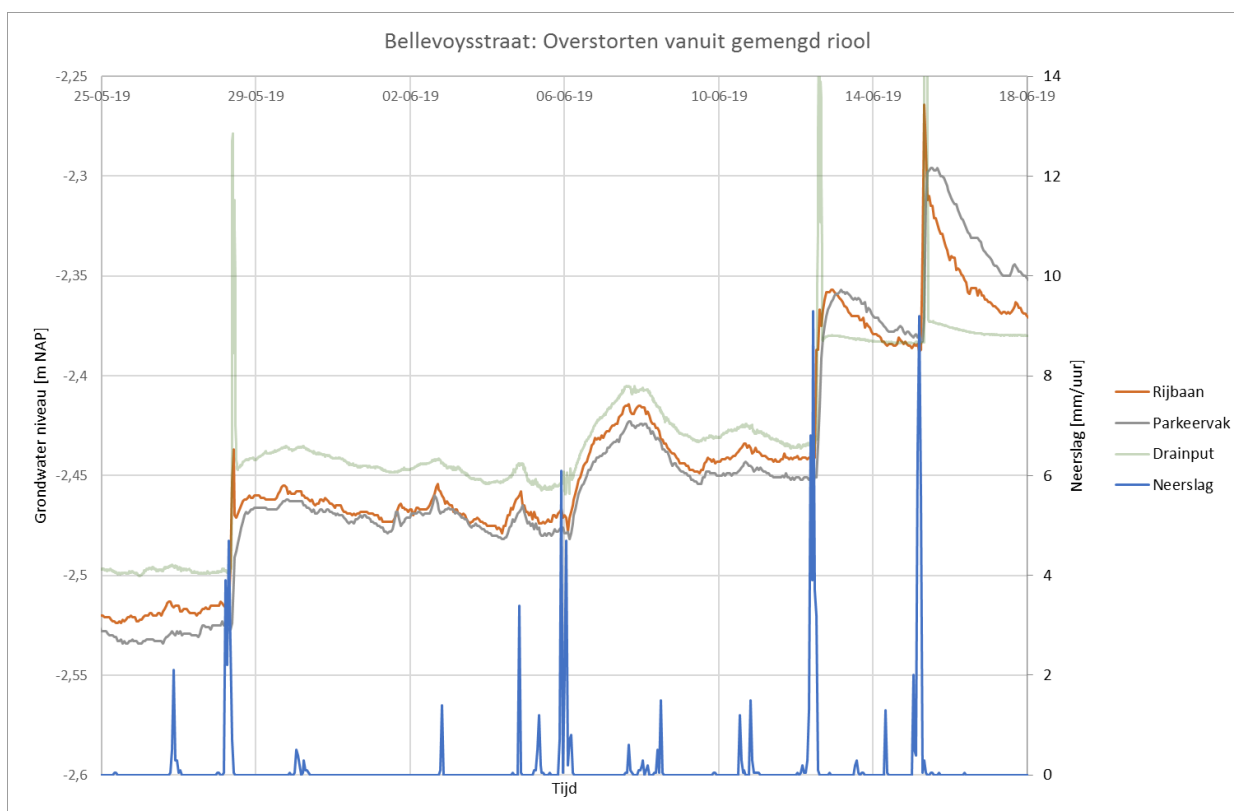
Figuur 16: Wagenberstraat; grondwaterstanden bij korte buien in droge start conditie

6.3.6 Effect DIT-riolering op drainage

In de DIT leiding in de Steenvoorde is een directe reactie op de neerslag zichtbaar in de waterstand. De piek in de waterdruk is heel kort (ca 10 minuten) en komt boven de grondwaterstand in de rijbaan uit. In het grondwater is vaker geen dan wel een reactie te zien, en deze is altijd klein (2,5 cm) en kort (één tot enkele uren). Hieruit is op te maken dat de drainerende functie van de DIT-leiding nauwelijks beïnvloed wordt door de transportfunctie. Een kanttekening hier is dat de filters van de peilbuizen in de klei staan en korte reacties dus waarschijnlijk niet goed worden weergegeven. De Bellevoysstraat laat hetzelfde effect zien na (ongewenste) overstorten van het gemengd riool naar de drainagebuis; ook hier treedt bij grote pieken een korte periode water uit de drain in het cunet. In de Bellevoysstraat is deze reactie vaker te zien dan in Steenvoorde; er treedt 1x een reactie van 5 cm op. Hier staan alle peilbuizen wel in het zandcunet.



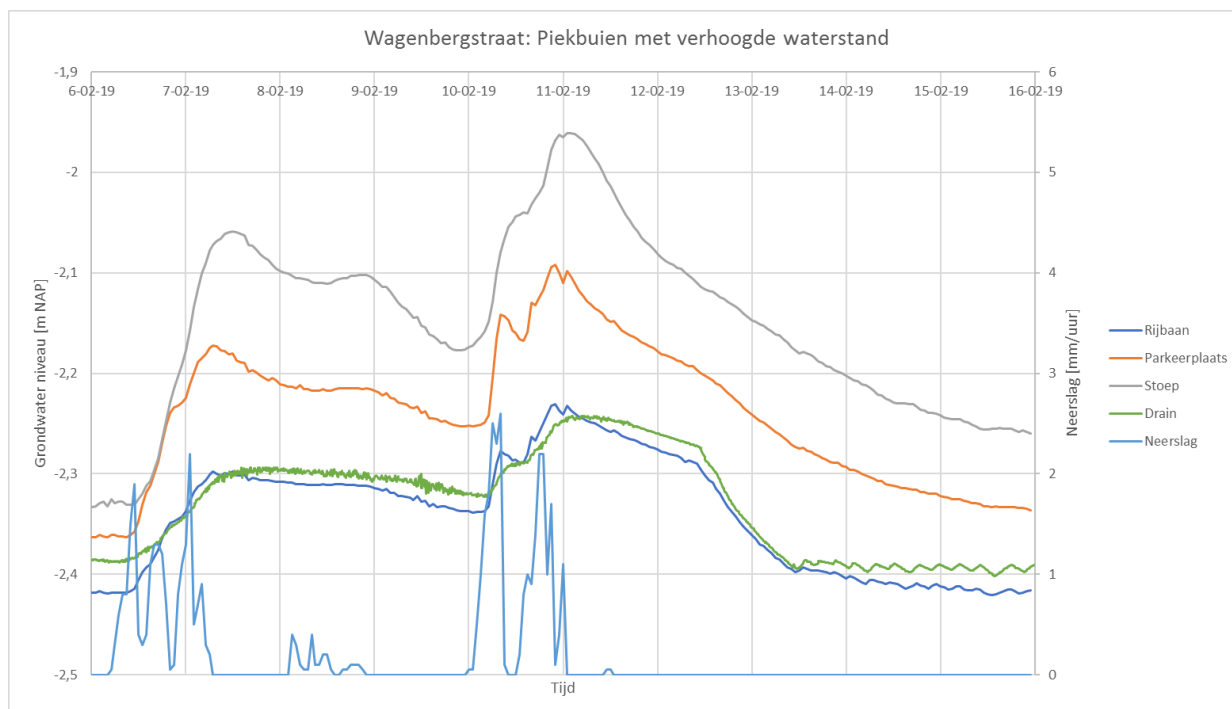
Figuur 17: Effect transportfunctie DIT-riool op drainage



Figuur 18: Bellevoystraat: effect overstorten op de grondwaterstand onder de rijbaan

6.3.7 Effect singelpeil

Het singelpeil bepaalt het drainageniveau van de drain en is hierdoor van invloed op de grondwaterstand. Bij de Wagenbergstraat en Steenvoorde is dit effect goed te zien, hier konden de waterstanden wel 14 cm stijgen bij een flinke bui in natte condities. Bij kleinere buien bleef de stijging onder de 5 cm. Een voorbeeld is weergegeven in Figuur 19 hieronder, waar het singelpeil (drainageniveau) voor langere tijd hoog bleef.



Figuur 19: Wagenbergstraat; verhoogd singelpeil (groene lijn: singelpeil = drainagepeil)

6.3.8 De ontwateringsdiepte (verschil grondwaterstand – maaiveld)

In Bijlage 6 zijn van 5 meetlocaties de grondwaterstanden en ontwateringsdiepte van alle meetpunten in een tabel gezet. Hierbij is zowel naar de gehele meetreeks gekeken als naar de periodes met veel neerslag. Hierin is te zien dat de gemiddelde grondwaterstand in de 2 natte periodes (van ieder 2 weken) hoger ligt dan gemiddeld (+13 cm). Zowel drainage als infiltratie door de WPV lijkt een rol te spelen in deze verhoging. De straat met drain en effectieve WPV (Wagenbergstraat) laat namelijk dezelfde stijging zien als de straat met slechter functionerende WPV zonder drain (Bellevoystraat). De straat met zowel minder effectieve WPV als drainage (Stenvoorde) laat de kleinste stijging zien (+5 cm en + 8 cm). Zolang de wegen op uitgiftepeil liggen, is de ontwateringsdiepte vrijwel altijd voldoende. Alleen in het trottoir wordt hij vaak niet gehaald in natte periodes, dit is eerder een effect van toevoer uit de tuinen dan van WPV. Deze toevoer zorgt ook voor een groot deel voor de gemiddelde grondwaterstandverhoging in natte periodes.

6.4 Conclusies

In antwoord op de onderzoeksvragen zijn uit de meetresultaten de volgende conclusies te trekken:

- 1) Wordt regenwater geïnfiltreerd?
 - Er infiltreert water door WPV. Het effect op het grondwater is het sterkst op de parkeervakken en is minder sterk in de rijbaan (vlakbij de drain).
 - Bij een profiel zonder kolken is de sterkste reactie van het grondwater te zien.
 - Met een vlakker profiel is meer reactie van grondwater te zien, ook met kolken
- 2) Wordt regenwaterafvoer vertraagd?
 - Waterpasserende verharding draagt bij aan vasthouden-bergen-vertraagd afvoeren;
 - a. Kleinere bui wordt ongemerkt verwerkt via WPV, bodem en grondwater
 - b. Grotere bui wordt enkele uren vertraagd (piekvertraging)
 - c. Grotere buien worden verspreid over enkele dagen geheel afgevoerd (piekreductie), hierbij is het echter moeilijk om onderscheid te maken tussen afvoer vanaf de WPV en de onverharde omgeving
 - WPV bepaalt het gedrag over de korte duur (uren) van het grondwater.
 - De (goedwerkende) drain en toevoer vanuit de omgeving bepaalt de grondwaterstand op langere termijn.
 - Pieken zijn kortdurend, binnen een paar uur is de stijging door WPV weg.
 - Vertraging van neerslagpiek tot effectpiek in grondwaterstand is 3,5 tot 4,5 uur bij een bui van 30 mm.
 - Door afvoer van water vanuit onverharde gebieden is het moeilijk om de vertraging goed te bepalen.
- 3) Wordt er voldoende ontwateringsdiepte gerealiseerd?
 - Wanneer het maaiveld op uitgiftepeil ligt, wordt er onder de rijbaan altijd voldoende ontwateringsdiepte gerealiseerd (ook in de natte periodes).
 - De ontwateringsdiepte onder de stoep wordt niet altijd gehaald in natte periodes, dit wordt veroorzaakt door de toestroming uit de omgeving.
- 4) Welke uitvoeringsaspecten zijn van invloed op het goed functioneren van WPV?
 - De betrouwbaarheid van het cunet en de goede werking van de drainage zijn de meest bepalende factoren voor het functioneren van het systeem
 - Bij DIT-riolering is alleen bij een paar neerslaggebeurtenissen vastgesteld dat regenwater uit de DIT-leiding in het zandcunet treedt en de grondwaterstand direct naast de drain kortdurend met een paar centimeter stijgt.
 - Bij slecht doorlatende tuinen met hogere grondwaterstand dan in het zandcunet wordt het grondwatergedrag bij de gevel meer beïnvloed door het grondwatergedrag in de omgeving (afstroming vanuit achtertuinten) dan door WPV. De WPV heeft tijdelijk invloed op ontwatering van de tuinen.
 - Bij goed werkende drainage is het gedrag van oppervlaktewater goed terug te zien in het wegcunet. In de metingen in de Wagenbergstraat is bijvoorbeeld de reguliere bemaling (zaagtand) in lange droge periode terug te zien evenals het voorbemalen vooraf aan een verwachtte intensieve bui. Ook zijn verhoogde waterstanden bij heftige neerslag gezien.



- Het toepassen van een terugslagkleppen tussen drainage en gemengd riool is risicovol. Bij de terugslagklep in de Bellevoysstraat is duidelijk te zien dat het gemengd riool ondanks de terugslagklep de drainage instroomt, dit is zeer ongewenst. Grondwater stroomt daarentegen niet via de terugslagklep het gemengde riool in. Op momenten dat de grondwaterstand boven het drainage niveau uitkwam, vond er geen uitstroom plaats van de drain naar het gemengde riool.
- Het toepassen van kolken en de verkanting van het wegprofiel zijn beide van invloed op de infiltrerende werking van de verharding.

6.5 Aanbevelingen

- Bij toepassen WPV altijd een vorm van drainage toepassen.
- Zorgen voor goede doorlatendheid tussen infiltrerend oppervlak en drainage (het water moet het ontwateringsmiddel kunnen bereiken). Hiervoor de doorlatendheid wegcunet toetsen op een minimale doorlatendheid van 2 m/d.
- Indien aansluiten drainage op gemengd riool echt noodzakelijk is, het aantal aansluitpunten tot het minimum beperken en een extra tussenput toepassen. Negatieve instroming geschiedt dan op 1 punt, met een extra opvang, terugslagkleppen en reinigingspunt voordat het vervuilde water de drain in kan lopen.
- Bij voorkeur DIT riolering toepassen in plaats van drainage, zodat eventuele kolken hierop kunnen worden aangesloten. Vooral belangrijk wanneer er toch op het gemengd riool moet worden aangesloten (de waterstand in het gemengde riool stijgt daardoor minder).
- Kolken toepassen is vanuit geohydrologisch oogpunt niet nodig. Wanneer om andere reden toch gekozen wordt voor toepassing van kolken de volgende richtlijn hanteren:
 - o Zo vlak mogelijk straten (max 1%)
 - o Maximaal de helft van het regulier aantal kolken toepassen, dat wil zeggen 300 tot 400 m² afvoerend oppervlak per kolk.
- Om nog meer zicht te krijgen op de werking van waterpasserende verharding en onderliggende drainage kan het interessant zijn:
 - o De afvoer te meten van de drains (in de uitstroomleiding) in combinatie met een Full-scale test;
 - o (Op enkele locaties) ook de lokale neerslag te meten;
 - o In de Van Kinsbergen de monitoring te continueren en hiervoor een goede referentiesituatie te zoeken;
 - o De wisselwerking tussen aanvulling van de grondwaterstand in het cunet vanuit de WPV en de tuinen te modelleren;
 - o De doorlatendheid van het cunet op verschillende locaties te meten met zowel DRI-testen als zeefanalyses.

Voorstel proces toepassen WPV

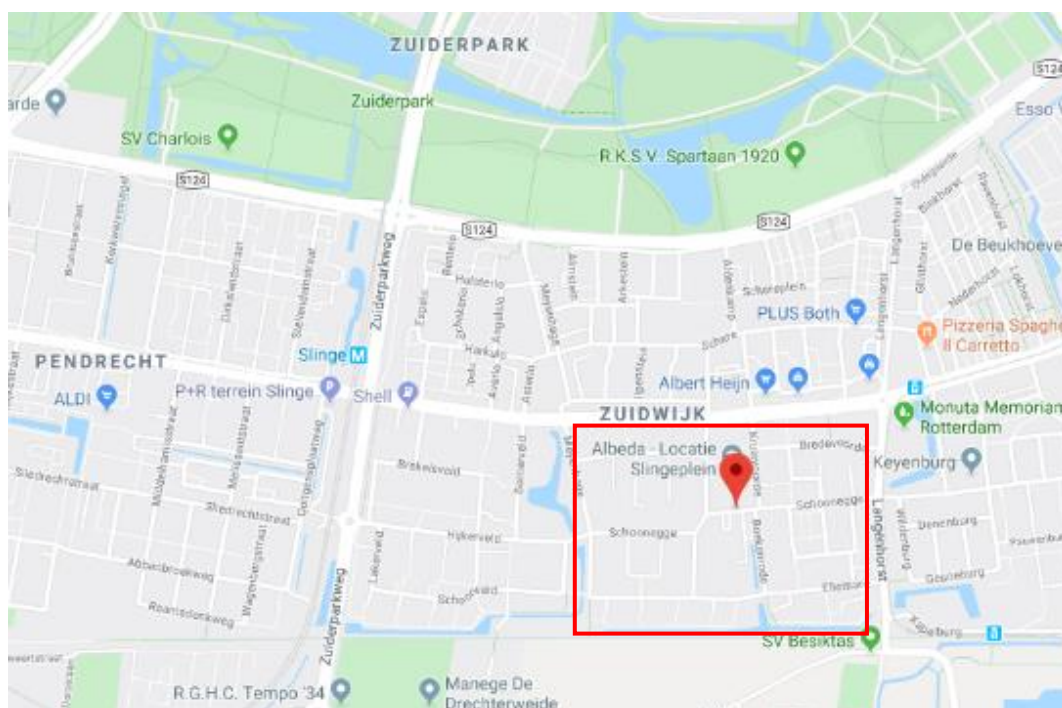
- In Inventarisatie/Variantenstudie fase 1 wordt bepaald dat het gebied geschikt is voor infiltratie van regenwater en voor toepassen WPV. Dit gebeurt op basis van geohydrologisch onderzoek (bureaustudie) en veldwerk.
- Het veldwerk bestaat uit een aantal boringen in het wegcunet. Boringen buiten wegcunet zijn niet nodig, omdat voortaan altijd drainage wordt toegepast onder WPV.
- De boringen worden getoetst op een minimale doorlatendheid $k_s = 2$ m/dag, te bepalen met zeefkrommes, evt. aangevuld met K_{sat} proeven in de onverzadigde zone.
- Het nieuw toe te passen zand (bijvoorbeeld t.b.v. ophogen of herprofilieren) moet voldoen aan de classificatie drainzand of zand in zandbed.
- Vanuit het geohydrologisch advies wordt aangegeven welke maatregelen nodig zijn om regenwater te kunnen infiltreren in het wegcunet. Dit advies zal altijd bestaan uit het toepassen van een vorm van drainage.
- Deze bouwsteen wordt daarna in variantenstudie fase 2 en FA-fase verder uitgewerkt. Daarbij dient in beeld gebracht te worden hoeveel oppervlak afstroomt op de WPV.

7 Spoorvormingsmetingen

7.1 Inleiding

De draagkracht van zand is afhankelijk van het vochtgehalte. Dit vochtgehalte heeft een optimum waarbij de draagkracht maximaal is. Te veel water in het zand gaat ten koste van de draagkracht ervan; er is dan als het ware sprake van weinig draagkrachtig drijfzand. Omdat het vochtgehalte in het zandbed bij waterpasserende bestratingen groter is dan bij niet-waterpasserende bestratingen is de mogelijke invloed van het water in het zandbed onderzocht door middel van spoorvormingsmetingen.

In 2014-2015 zijn in de Zuidwijk in Rotterdam-zuid (ten noorden en zuiden van Schoonegge) rioleringswerkzaamheden uitgevoerd. Tegelijkertijd met deze rioolvervangings is in een groot aantal straten een waterpasserende elementenverharding aangelegd. In onderstaande figuur 20 is het betreffende gebied weergegeven.



Figuur 20. Onderzoeksgebied Zuidwijk

Bij de aanleg van de waterpasserende verhardingen is een aantal varianten in de verhardingsconstructie toegepast, met als doel te onderzoeken wat het effect is van deze variaties op de waterdoorlatendheid van de verharding en diens gevolge logischerwijze ook op de spoorvormingsgevoeligheid van de verharding; de draagkracht van een (over)verzadigd zandbed is immers geringer dan van een 'normaal' zandbed. De volgende variaties zijn aangebracht:

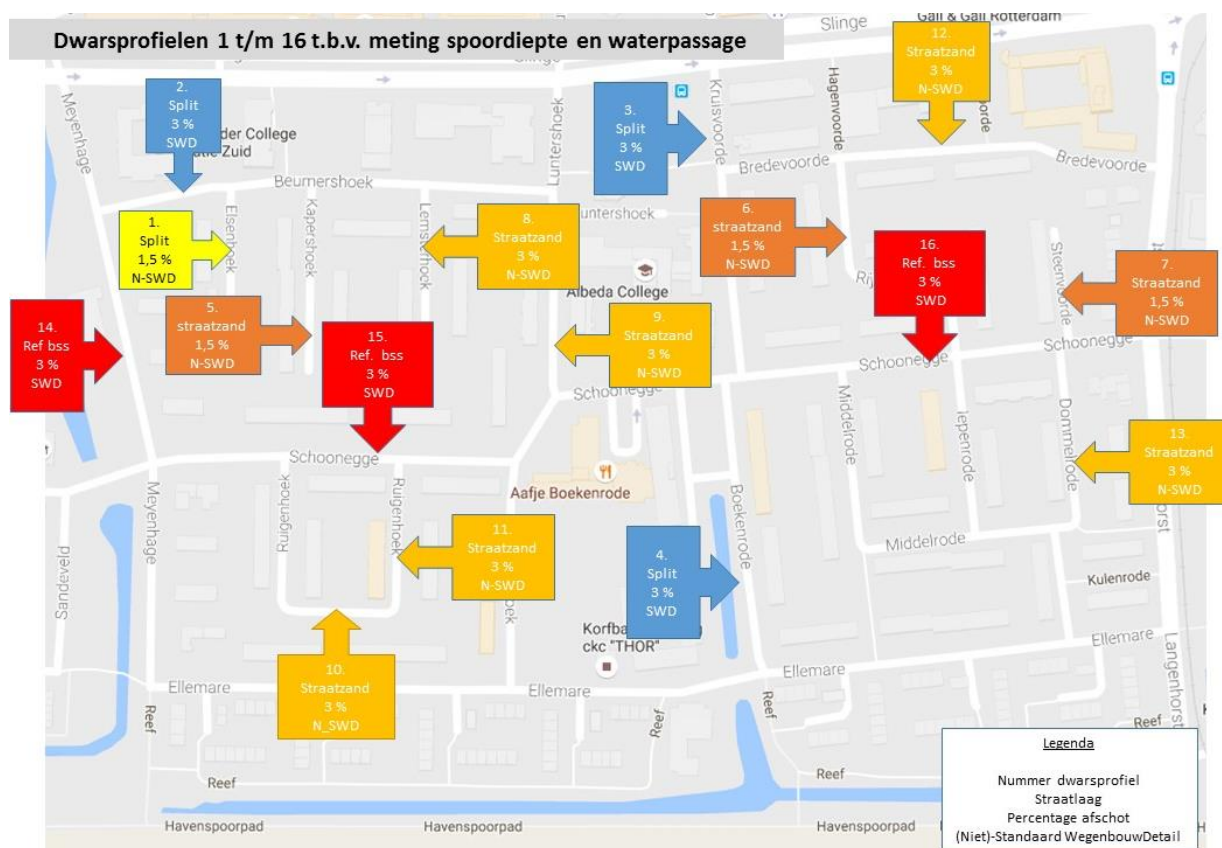
- variatie in opbolling: 1,5% en 3% dwarshelling;
- variatie in materiaal van de straatlaag: straatzand 0/2 en split 2/6;

c. variatie in breedte van het verbeterde zandbed¹; verbeterd zandbed alleen ter hoogte van de rioolsleuf of verbeterd zandbed over de volledige breedte van de verharding.

In totaal zijn 16 verschillende straten onderzocht met 4 verschillende combinaties van variaties. Tevens is een 5de variatie onderzocht, zijnde een verharding zonder waterpasserende elementen. De onderzochte variaties zijn:

- Blauw: split 2/6, 3% opbolling, aangepast zand onder volledige breedte (SWD)²
- Geel: split 2/6, 1,5 % opbolling, aangepast zand t.h.v. rioolsleuf (N-SWD)
- Bruin: straatzand, 1,5% opbolling, aangepast zand t.h.v. rioolsleuf (N-SWD)
- Oranje: straatzand, 3% opbolling, aangepast zand t.h.v. rioolsleuf (N-SWD)
- Rood: (referentie, normale BSS), straatzand, 3% opbolling, aangepast zand onder volledige breedte (SWD).

In figuur 21 zijn de straten en de bijbehorende variatie weergegeven.



Figuur 21. Onderzochte straten en daarin voorkomende variaties.

¹ In een verbeterd zandbed is een drainerend, grover, zand aangebracht met een fractie op 250 µm tussen de 25% en 50%. Normaal zand voor zandbed mag een fractie op 250 µm bezitten van maximaal 40%.

² SWD = constructie zoals opgenomen in de Standaard Wegenbouw Details Rotterdam (met verbeterd zand over hele breedte van de verharding).

N-SWD= constructie niet volgens SWD, met alleen verbeterd zand in de rioolsleuf.

Op alle 16 gedefinieerde straten is op enkele momenten in de tijd de spoorvorming gemeten.³

7.2 Uitgevoerde metingen en resultaten

7.2.1 Spoorvormingsmetingen met 1 m rei

In december 2016 en maart 2019, dus met een tussenpoos van 26 maanden⁴ is met een 1 meter lange rei de spoorvorming in de 16 straten in Zuidwijk gemeten. In figuur 22 wordt het principe van de meting getoond.



Figuur 22. Spoorvormingsmeting met 1m rei

In december 2016 is op 24 plaatsen in het linkerspoor en 24 (andere) plaatsen in het rechterspoor de spoordiepte gemeten op de 16 onderscheiden straten. De resultaten van die metingen zijn weergegeven in tabel 6. De gemeten spoordiepten kunnen worden gezien als de visueel waarneembare diepste sporen en kuilen over een te overziene weglengte (5 – 10 m).

³ In eerste instantie is van diverse straten de waterdoorlatendheid gemeten met de Dubbele Ring Infiltrometer (DRI). Vanwege de grote spreiding in resultaten is in 2017-2018 nader onderzoek verricht naar automatisering van de DRI. Er zijn in Zuidwijk na 2016 géén aanvullende DRI-metingen meer uitgevoerd.

⁴ De periode van 26 maanden is niet specifiek gekozen, maar vloeide voort uit de voortgang van het onderzoek naar het meten van de spoorvorming met een mobiele scanauto.

Tabel 6. Samenvatting spoordiepten (in mm) in de verschillende straten (dec. 2016)

	blauw	geel	bruin	oranje	rood
	split, 3%, SWD	split, 1,5 %, N-SWD	straatzaand, 1,5 %, N-SWD	straatzaand, 3 %, N-SWD	referentie bss, 3 %, SWD
aantal metingen	15	3	6	19	5
gemiddelde	13,5	16,7	8,7	8,7	14,4
min	2	14	6	2	7
max	35	20	16	25	29
standaardafwijking	8,66	3,06	3,88	5,88	8,56

De tabel laat zien dat het erop lijkt dat de met straatzaand gevoegde WPV 's minder spoorvorming tonen dan de met split gevoegde WPV's. Tevens is er bij de WPV's niet meer spoorvorming geconstateerd dan bij de als referentie gebruikte niet-WPV.

In maart 2019, na 26 maanden, zijn de metingen herhaald en werd op (ongeveer) 25 gelijke plaatsen als in december 2016 opnieuw de spoorvorming bepaald. Het resultaat hiervan is weergegeven in tabel 7. De toename van de spoorvorming is in deze periode voor alle straten met ongeveer hetzelfde percentage toegenomen, waarmee deze metingen de eerdere conclusie bevestigen.

Tabel 7. Toename spoorvorming van dec. 2016 tot maart 2019

	blauw	geel	bruin	oranje
	split, 3%, SWD	split, 1,5 %, N- SWD	straatzaand, 1,5 %, N-SWD	straatzaand, 3 %, N-SWD
aantal metingen	9	1	4	11
Gemiddelde (%)	117	114	106	125
min	25		16	13
max	350		233	400

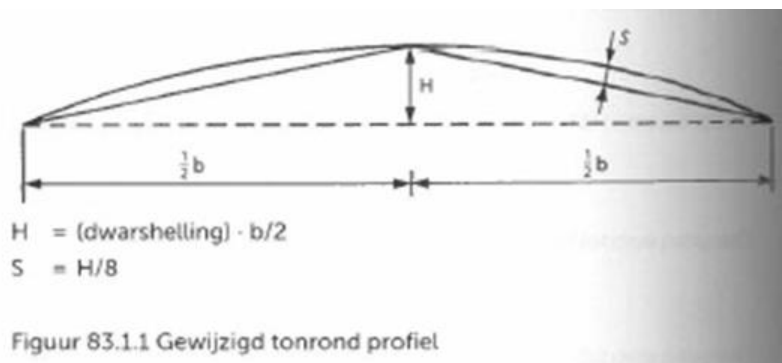
Geconcludeerd wordt dat er eigenlijk geen reden is om aan te nemen dat er een verschil bestaat tussen de spoorvorming bij waterpasserende en niet-waterpasserende elementenverhardingen.

Probleem van de meting van de spoordiepten met een rolrei is dat de meetplaatsen selectief zijn gekozen, daar waar visueel een spoor of kuil in de bestrating werd waargenomen. Bij herhaling van de meting is niet vastgelegd waar elke meting poreceis had plaatsgevonden, zodat het lastig is de toename van spoordiepte per meting te volgen. Om die reden is er gezocht naar een objectievere alternatieve mogelijkheid, zie 7.2.2.

7.2.2 Spoorvormingsmetingen met mobiele scanauto: Methodiek

Al na de eerste serie spoorvormingsmetingen met de rei in december 2016, zie ook paragraaf 3, werd onderkend dat de spoordiepten op selecte plaatsen waren gemeten en dus eigenlijk geen

Methode A als nul-referentie is hierbij de methode waarbij het hoogste punt tussen 1/3 en 2/3 van de breedte van de straat wordt aangenomen als de kruinhoogte. Tussen de trottoirbanden en deze kruinhoogte wordt een rechte lijn aangenomen. Bij de theoretische methode wordt een fictieve kruinhoogte getrokken aan de hand van de theoretische helling van de straat met de kruin in het midden. e.e.a. zoals gedefinieerd in de standaard 2015. Zie figuur 24.



Figuur. 24. Theoretische helling volgens Standaard 2015. (= verworpen meetmethode)

De juistheid van de twee profielen is visueel beoordeeld. De resultaten van 'methode A' komen voor wat betreft de 'rode verzakkingen' (= diepe verzakkingen) overeen met wat buiten wordt waargenomen. De minder grote verzakkingen en opbollingen (oranje resp. groen en geel) kunnen niet visueel worden waargenomen.

De resultaten van het theoretische profiel matchen niet met de visueel waargenomen vervormingen. Deze referentie is derhalve verworpen.

Spoorvormingsmetingen met mobiele scanauto: Meetresultaten Ook uit de resultaten van de mobiele scanauto kan niet worden geconcludeerd dat er significante verschillen zijn in spoordiepte tussen waterpasserende en niet-waterpasserende elementenverhardingen van ongeveer dezelfde leeftijd.. Na één meetronde (maart 2019) kan dus niet worden geconcludeerd dat waterpasserende bestratingen sneller spoorvorming vertonen dan niet waterpasserende bestratingen en of er verschil is tussen de hiervoor genoemde constructievarianten.

Niet te min worden de spoordieptemetingen met de mobiele scanauto hoopvol geacht voor verdere ontwikkeling. Deze ontwikkeling vindt thans in eigen beheer door de afdeling Basisinformatie plaats. In de eerste helft van 2020 worden 'eigen' metingen door Basisinformatie uitgevoerd op waterpassende en niet-waterpasserende elementenverhardingen. De metingen dienen nog gedurende een aantal jaren te worden herhaald.

7.3 Conclusies en aanbevelingen

Geconcludeerd is dat de spoorvormingsmetingen met de rei niet tot objectief vergelijkbare resultaten leiden. De in samenwerking met de afdeling Basisinformatie van de gemeente ontwikkelde meetmethode met een (mobiele) scanner biedt hoopvolle en betere resultaten.



Uit de tot nu toe uitgevoerde metingen met rei en met de mobiele scanner blijkt dat er geen aanwijzingen zijn dat er een verschil is in spoorvorming tussen WPV's en niet-WPV's. De nauwkeurigheid van deze conclusie is echter beperkt vanwege het beperkte aantal metingen. Het voorstel is om nader onderzoek te doen, waarbij de uitgevoerde spoordieptemetingen met de mobiele scanner nog tenminste 2 x worden herhaald, met een tussenpoos van telkens circa 1 jaar. Op basis van de meerjarige resultaten kan het eventuele verschil in spoordiepte tussen de constructievarianten en spoordiepten tussen waterpasserende en niet-waterpasserende verhardingen betrouwbaarder worden vastgesteld. De eerstkomende meting staat voor het voorjaar van 2020 gepland.

8 Conclusies en aanbevelingen

Onderstaand worden de conclusies en aanbevelingen gerangschikt op basis van de oorspronkelijke onderzoeksvragen.

8.1 Doorlatendheidsproeven

Onderzoeksvraag:

Hoe kan het doorlaatvermogen van een WPV in-situ betrouwbaar worden vastgesteld?

Conclusies:

- De verbeterde DRI test biedt een relatief eenvoudige en uitstekend uitvoerbare proef waarmee de doorlatendheid van de elementenverharding van een straat kan worden bepaald.
- Voor het vaststellen van de invloed van vervuiling op de waterdoorlatendheid van de elementenverharding is de verbeterde DRI test daarmee uitstekend bruikbaar.
- Voor het bepalen van de afvoercapaciteit van het gehele systeem van WPV en onderliggend zandpakket bij een extreme bui is een Full-scale test een betere test.
- DRI metingen van het wegcunet hebben in alle gevallen een doorlatendheid opgeleverd die aanmerkelijk hoger bleek dan die van de elementenverharding. De test biedt een goed inzicht in de doorlatendheid van dit cunet.
- DRI metingen van het wegcunet om het effect van verontreiniging vast te stellen zijn minder zinvol gebleken. Vaststellen of verontreiniging onderin de voeg van de wegverharding terechtkomt is met een DRI test op het wegcunet niet goed mogelijk, omdat bij deze test het gehele oppervlak wordt gebruikt terwijl de vervuiling zich uitsluitend manifesteert onder de voegen.
- Indien uit een Full-scale test verkregen resultaten voor de doorlatendheid worden toegepast in modelberekeningen, dient rekening te worden gehouden met het eventuele verschil van de omvang van de waterlozing tijdens de proef en de extreme regenbui waar de modelberekeningen voor zijn bedoeld. Een manier om hier rekening mee te houden is het beoordelen van de doorlatendheid als functie van de tijd en daarmee als functie van het door de WPV gepasseerde debiet.
- Bij een vergelijkende test is een goede match gevonden tussen een Full-scale- en een verbeterde DRI test. Het is aanbevelenswaardig deze vergelijking te herhalen op meer locaties. Hierbij is van belang dat ook het eerste deel van de meting van de Full-scale test (tijdens het vullen van het straatvak) moet worden uitgewerkt tot een doorlatendheid en dat juist de meting tijdens deze periode moet worden vergeleken met de DRI tests.

Aanbevelingen:

- Aanbevolen wordt de vergelijking verbeterde DRI tests en Full-scale tests te herhalen voor nog tenminste 2 locaties. Mogelijk kan dit weer in samenspraak met de Hogeschool Rotterdam worden opgepakt. Hierbij is het zinvol de DRI tests langer te laten duren dan bij eerdere tests is gedaan; bij voorkeur gelijk aan de duur van de full-scale test.
- Bij het vaststellen van de doorlatendheid van een elementenverharding met verbeterde DRI proeven moet:

- Per locatie in alle gevallen tenminste 4 tests worden gedaan.
 - De doorlatendheid worden bepaald tijdens de constant-head fase waarin de waterstand in de ringen constant wordt gehouden.
 - Deze constant-headfase moet per proef tenminste 10 minuten duren.
 - De falling headfase kan worden overgeslagen.
- Het standaard uitvoeren van een test op het onder de elementenverharding aanwezige zandpakket is minder zinvol en kan worden overgeslagen, tenzij er specifieke redenen zijn om te twijfelen aan de doorlatendheid van dit zandpakket.

8.2 Reinigen

Onderzoeksvraag:

Wat is het doorlaatvermogen van verschillende typen WPV's, hoe verandert dat in de tijd en hoe kan het onderhoudsregime bijdragen aan het in stand houden ervan?

Conclusies:

- Uit onderzoek is gebleken dat Huwa, Wylandt en Drainflow door de relatief smalle voegen al direct na aanleg geen van alle voldoen aan de in Rotterdam gehanteerde eis met betrekking tot waterdoorlatendheid. Bovendien zijn deze stenen door de smalle voeg moeilijker te reinigen dan betonstenen. Om deze redenen kunnen deze typen in Rotterdam niet worden toegepast. Opgemerkt wordt dat er inmiddels wel een alternatief beschikbaar is in de vorm van een kleurechte waterpasserende betonstraatsteen die een vergelijkbare uitstraling heeft als een baksteen.
- In eerder onderzoek is geconcludeerd dat het doorlaatvermogen van WPV's van waterpasserende betonstraatstenen direct na aanleg ruim voldoen aan de eis van 540 l/s/ha, maar dat na 5 jaar gemiddeld de doorlatendheid van een WPV met circa de helft is teruggelopen. Uit in het kader van het huidige onderzoek uitgevoerde doorlatendheidsproeven blijkt zelfs dat in sommige gevallen al circa 2 jaar na aanleg de doorlatendheid al dusdanig is afgenomen dat niet meer wordt voldaan aan de gestelde eis. De afname van waterdoorlatendheid in de tijd is daarmee een belangrijk aandachtspunt.
- De keuze van reinigingsequipment is een afweging tussen kwaliteit van reiniging versus de mogelijkheid om, gelet op afmetingen, met dat equipment ook in staat te zijn op elke locatie het gehele oppervlak te kunnen reinigen. Tijdens het onderzoek is het beste compromis tot dusver gevonden in het equipment van de firma van der Vleut, een handzaam equipment met visueel het beste resultaat. Qua methodiek van reinigen is het beste resultaat bereikt:
 - Na een droge periode (geen regenval), door droog leeg te zuigen
 - Na een natte periode, door een combinatie van nat leegspuiten en opzuigen van het uitkomende materiaal.
 - Met heet water voorbehandelen blijkt weinig meerwaarde te hebben.
- Op basis van meting blijkt echter dat de bereikte verbetering van doorlatendheid ook na gebruik van de visueel beste reinigingsmethode ernstig tegenvalt. Er is geen verbetering in doorlaatvermogen opgetreden. Dit wordt geweten aan het risico dat vervuild materiaal zich mogelijk tijdens het reinigingsproces zou kunnen afzetten aan de onderkant van de gereinigde voegen. Om die reden dient de methodiek van reinigen nader te worden

ontwikkeld. Indien hier geen verbetering in wordt bereikt zou dit namelijk betekenen dat de WPV al na enkele jaren niet meer functioneert.

Aanbevelingen:

- Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar ervaringen bij andere partijen, met name naar gevallen waarbij het effect op de doorlatendheid van de verharding ook is gemeten.
- Aanbevolen wordt in samenspraak met één of meer uitvoerende partijen enkele proeflocaties op te zetten, waar wordt geëxperimenteerd met de uitvoeringsmethode van het reinigen. Dit is alleen zinvol indien zowel direct vóór als direct ná reiniging verbeterde DRI testen worden uitgevoerd. Op basis van het resultaat van deze proeven kan worden geprobeerd de reinigingsmethode te optimaliseren.
- Aanbevolen wordt om meer gestructureerd de doorlatendheid van WPV's te gaan bewaken. Hierbij wordt het volgende voorgesteld:
 - Op basis van jaarlijkse visuele inspectie van vervuiling vaststellen welke straten kritisch zouden kunnen zijn.
 - Met een frequentie van eens per 2 tot 5 jaar verbeterde DRI tests uitvoeren op elke aangebrachte WPV om op basis van het meetresultaat vast te stellen waar reiniging dient plaats te vinden.
 - Kort na reiniging het effect hiervan meten door opnieuw DRI metingen uit te voeren.

8.3 Geohydrologisch effect WPV

Onderzoeksvraag:

Wat is het geohydrologisch effect van de WPV?

Conclusies:

- Aangetoond is dat regenwater infiltreert door WPV's, dat de grondwaterstand stijgt tijdens regenbuien en dat hierdoor de afvoer van regenwater wordt vertraagd. De mate van vertraging is afhankelijk van de grootte van de bui, waarbij grotere buien enkele uren worden vertraagd.
- De ontwateringsdiepte wordt onder de rijbaan altijd gehaald indien het maaiveld op uitgiftepeil ligt. Onder de stoepen is dat niet altijd het geval.
- De waterdoorlatendheid van het cunet en de goede werking van de drainage zijn de meest bepalende factoren voor het functioneren van het systeem
- Bij slecht doorlatende tuinen met hogere grondwaterstand dan in het zandcunet wordt het grondwatergedrag bij de gevel meer beïnvloed door het grondwatergedrag in de omgeving (afstroming vanuit achtertuinen) dan door WPV. De WPV heeft tijdelijk invloed op ontwatering van de tuinen.
- Het toepassen van terugslagkleppen tussen drainage en gemengd riool blijkt risicovol. Bij de terugslagklep in de Bellevoysstraat is duidelijk te zien dat het gemengd riool ondanks de terugslagklep de drainage instroomt, dit is zeer ongewenst. Grondwater stroomt daarentegen niet via de terugslagklep het gemengde riool in. Op momenten dat de grondwaterstand

boven het drainage niveau uitkwam, vond er geen uitstroom plaats van de drain naar het gemengde riool.

- Het toepassen van kolken en verkanting van het wegprofiel veroorzaken beide een vermindering van de infiltrerende werking van de verharding.

Aanbevelingen voor de aanleg:

Bij toepassen WPV altijd een vorm van drainage toepassen.

- Zorgen voor goede doorlatendheid tussen infiltrerend oppervlak en drainage (het water moet het ontwateringsmiddel kunnen bereiken). Hiervoor de doorlatendheid wegcunet toetsen op een minimale doorlatendheid van 2 m/d.
- Indien aansluiten drainage op gemengd riool echt noodzakelijk is, het aantal aansluitpunten tot het minimum beperken en een extra tussenput toepassen. Negatieve instroming geschiedt dan op 1 punt, met een extra opvang, terugslagkleppen en reinigingspunt voordat het vervuilde water de drain in kan lopen.
- Bij voorkeur DIT riolering toepassen in plaats van drainage, zodat eventuele kolken hierop kunnen worden aangesloten. Vooral belangrijk wanneer er toch op het gemengd riool moet worden aangesloten (de waterstand in het gemengde riool stijgt daardoor minder).
- Kolken toepassen is vanuit geohydrologisch oogpunt niet nodig. Wanneer om andere reden toch gekozen wordt voor toepassing van kolken de volgende richtlijn hanteren:
 - Zo vlak mogelijk straten (max 1%)
 - Maximaal de helft van het regulier aantal kolken toepassen, dat wil zeggen 300 tot 400 m² afvoerend oppervlak per kolk.
- Om nog meer zicht te krijgen op de werking van waterpasserende verharding en onderliggende drainage kan het interessant zijn:
 - De afvoer te meten van de drains (in de uitstroomleiding) in combinatie met een Full-scale test;
 - (Op enkele locaties) ook de lokale neerslag te meten;
 - In de Van Kinsbergen de monitoring te continueren en hiervoor een goede referentiesituatie te zoeken;
 - De wisselwerking tussen aanvulling van de grondwaterstand in het cunet vanuit de WPV en de tuinen te modelleren;
 - De doorlatendheid van het cunet op verschillende locaties te meten met zowel DRI-testen als zeefanalyses.

Voorstel proces toepassen WPV:

- In Inventarisatie/Variantenstudie fase 1 wordt bepaald dat het gebied geschikt is voor infiltratie van regenwater en voor toepassen WPV. Dit gebeurt op basis van geohydrologisch onderzoek (bureaustudie) en veldwerk.
- Het veldwerk bestaat uit een aantal boringen in het wegcunet. Boringen buiten wegcunet zijn niet nodig, omdat voortaan altijd drainage wordt toegepast onder WPV.
- De boringen worden getoetst op een minimale doorlatendheid $k_s = 2$ m/dag, te bepalen met zeefkrommes, evt. aangevuld met K_{sat} proeven in de onverzadigde zone.
- Het nieuw toe te passen zand (bijvoorbeeld t.b.v. ophogen of herprofilieren) moet voldoen aan de classificatie drainzand of zand in zandbed.

- Vanuit het geohydrologisch advies wordt aangegeven welke maatregelen nodig zijn om regenwater te kunnen infiltreren in het wegcunet. Dit advies zal altijd bestaan uit het toepassen van een vorm van drainage.
- Deze bouwsteen wordt daarna in variantenstudie fase 2 en FA-fase verder uitgewerkt. Daarbij dient in beeld gebracht te worden hoeveel oppervlak afstroomt op de WPV.

8.4 Spoorvorming:

Onderzoeksvraag:

Hoe presteert WPV ten opzichte van traditionele verharding met betrekking tot wegbouwkundige levensduur?

Conclusies:

- Spoorvormingsmetingen met de rei leiden niet tot objectief vergelijkbare resultaten. De in samenwerking met de afdeling Basisinformatie van de gemeente ontwikkelde meetmethode met een (mobiele) scanner biedt hoopvolle en betere resultaten.
- Uit de tot nu toe uitgevoerde metingen blijkt dat er geen aanwijzingen zijn dat er een verschil is in spoorvorming tussen WPV's en niet-WPV's. De nauwkeurigheid van deze conclusie is echter beperkt vanwege het beperkte aantal metingen.

Aanbeveling:

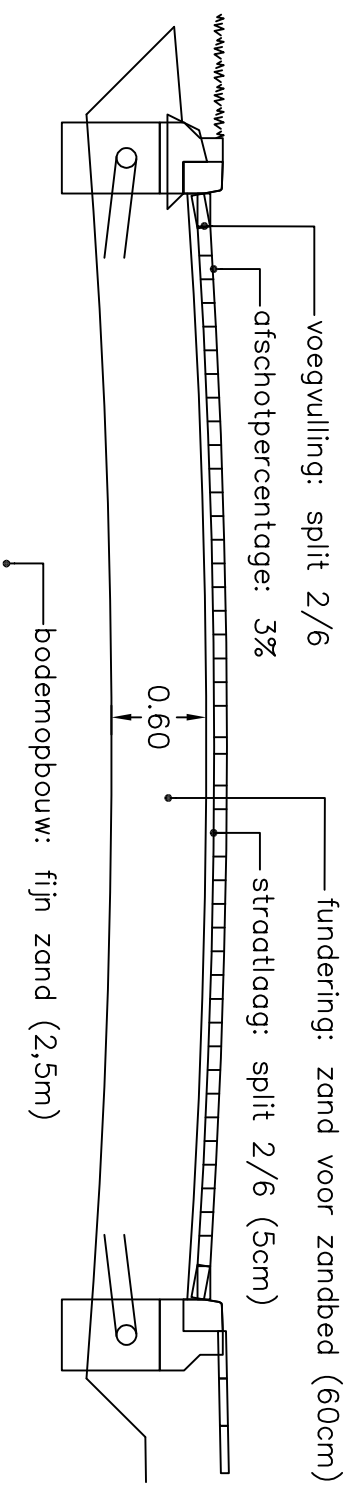
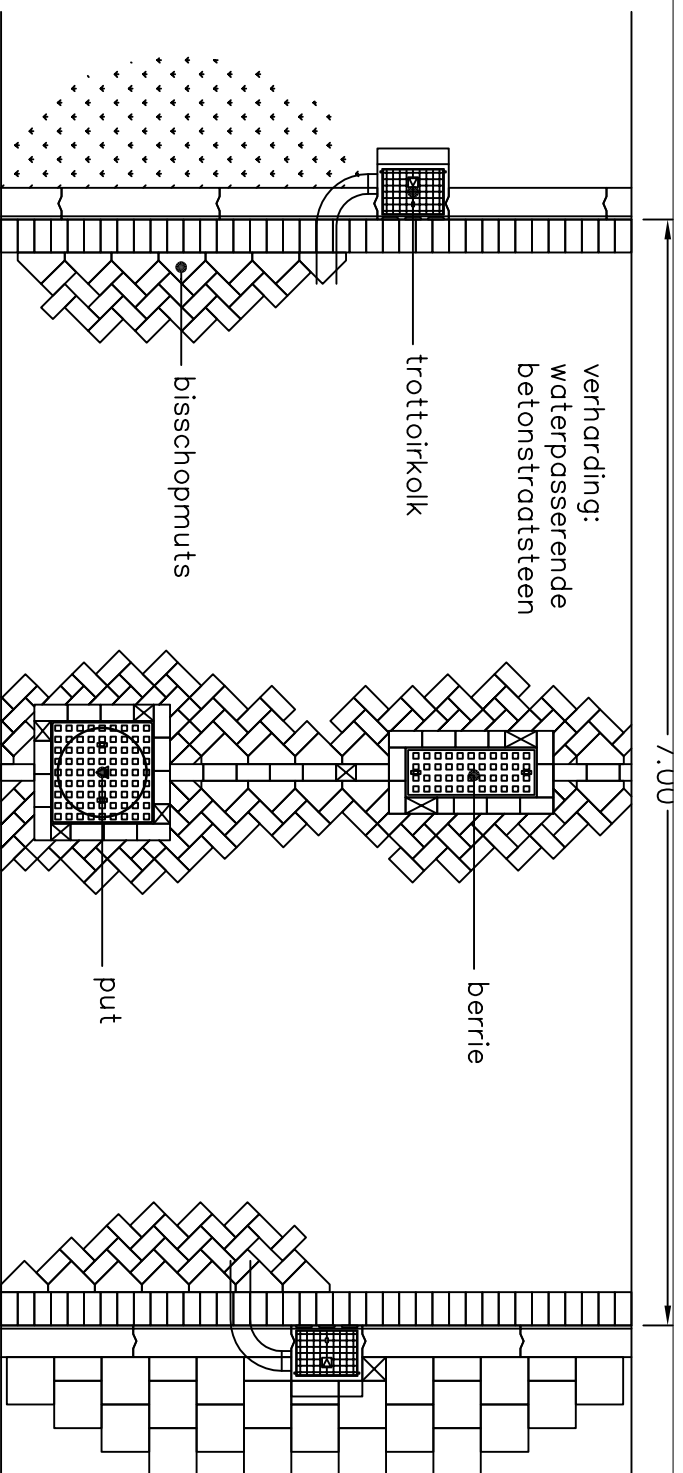
- Aanbevolen wordt om nader onderzoek te doen, waarbij de uitgevoerde spoordieptemetingen met de mobiele scanner nog tenminste 2 x worden herhaald, met een tussenpoos van telkens circa 1 jaar. Op basis van de meerjarige resultaten kan het eventuele verschil in spoordiepte tussen de constructievarianten en spoordiepten tussen waterpasserende en niet-waterpasserende verhardingen betrouwbaarder worden vastgesteld.

9 Literatuur

- Advokaat, J., Het waterpasserend vermogen van waterpasserende verhardingen Bachelor thesis Hogeschool Rotterdam, juni 2016
- Tauw 2017: Full-scale proeven 2 locaties Rotterdam, R001-1243090RWE-lhl-V01-N, d.d. 4 oktober 2017
- Rotterdam SO 2020: Grondwatermonitoring bij WPV, vergelijking 5 monitoringslocatie, IBR, IB-2018-311.01, 16 maart 2020 [K:\SO\IR\IB-dossiers\2018\IB-2018-0311_Monitoring Waterpasserende Verharding\Rapportages_Notities\Eindrapport grondwatermetingen\IB-2018-311.01 Rapportage grondwatermetingen monitoring WPV 16-03-2020.pdf](K:\SO\IR\IB-dossiers\2018\IB-2018-0311_Monitoring_Waterpasserende_Verharding\Rapportages_Notities\Eindrapport_grondwatermetingen\IB-2018-311.01_Rapportage_grondwatermetingen_monitoring_WPV_16-03-2020.pdf)
- Diverse notities door Rotterdam SO, zie bijlage 7



Bijlage 1 StandaardWegenbouwDetail voor WPV's





Bijlage 2 overzichtskaart WPV's



- Locaties:**
- M4H - Marconistraat (LoS)
 - Centrum - Hoevebuurt
 - Charlois - Schoonegge
 - Delfshaven - Middelland
 - Feijenoord - Hefkwartier
 - Hillegersberg/Schiebroek - Noord
 - Hillegersberg/Schiebroek - Zuid
 - Hoek van Holland - Dorp
 - IJsselmonde - Sportdorp
 - IJsselmonde - Tuinenhoven
 - Nesselande - Ibizahof
 - Nesselande - Nelly van Moorselhof
 - Oud Mathenesse - Hoekersingel



Bijlage 3 Full-scale test 2018 Wagenbergstraat

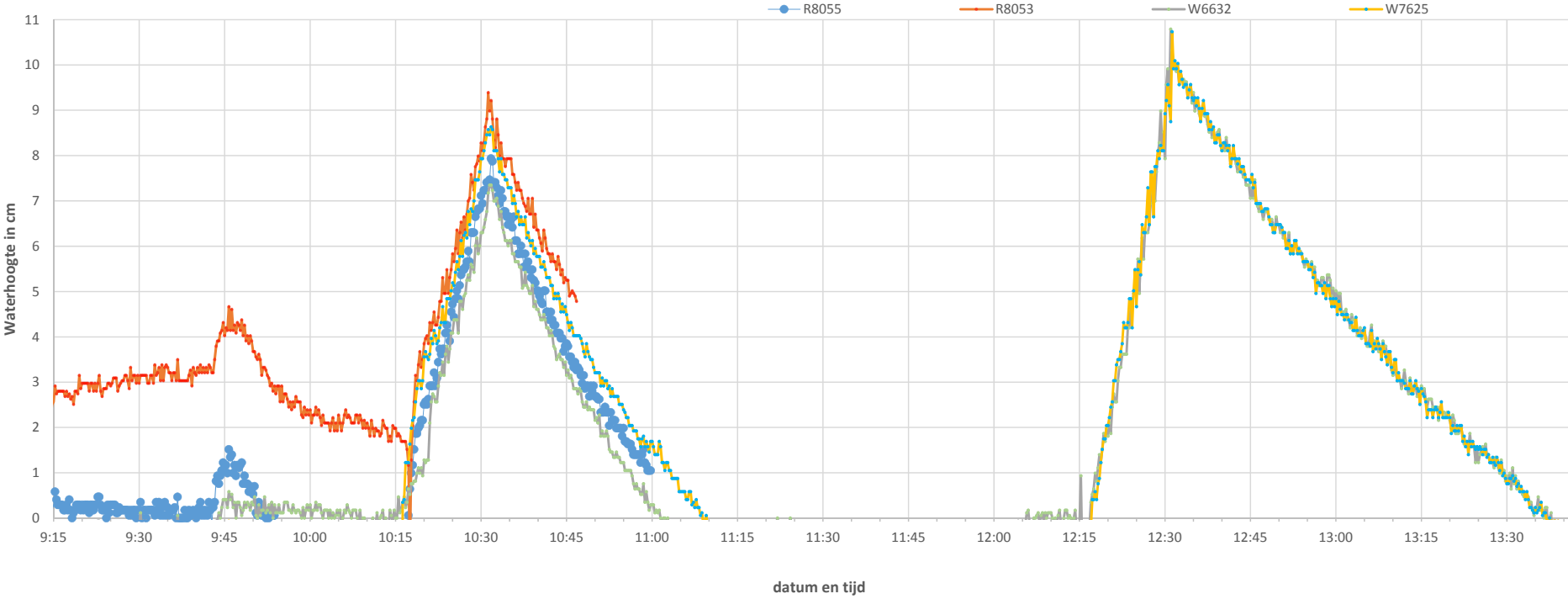
Test 1	Oppervlakte plot:	41,472 m2
	Inhoud plot:	7000 liter
	Starttijd vullen:	0,427083 uur
	Stoptijd vullen:	0,438194 uur
	Droogvallen plot:	0,460417 uur
	Totale tijdsduur:	0,033333 uur
	Totale duur na vullen:	0,022222 uur
	Totaal mm water:	168,7886 mm
	Waterniveau na vullen:	8,283333 cm
	Waterniveau bij droogvallen:	0,379167 cm
	Verschil in waterniveau:	7,904167 cm

Methode 1	Infiltratiecapaciteit:	211 mm/uur
Methode 2	Infiltratiecapaciteit:	148 mm/uur

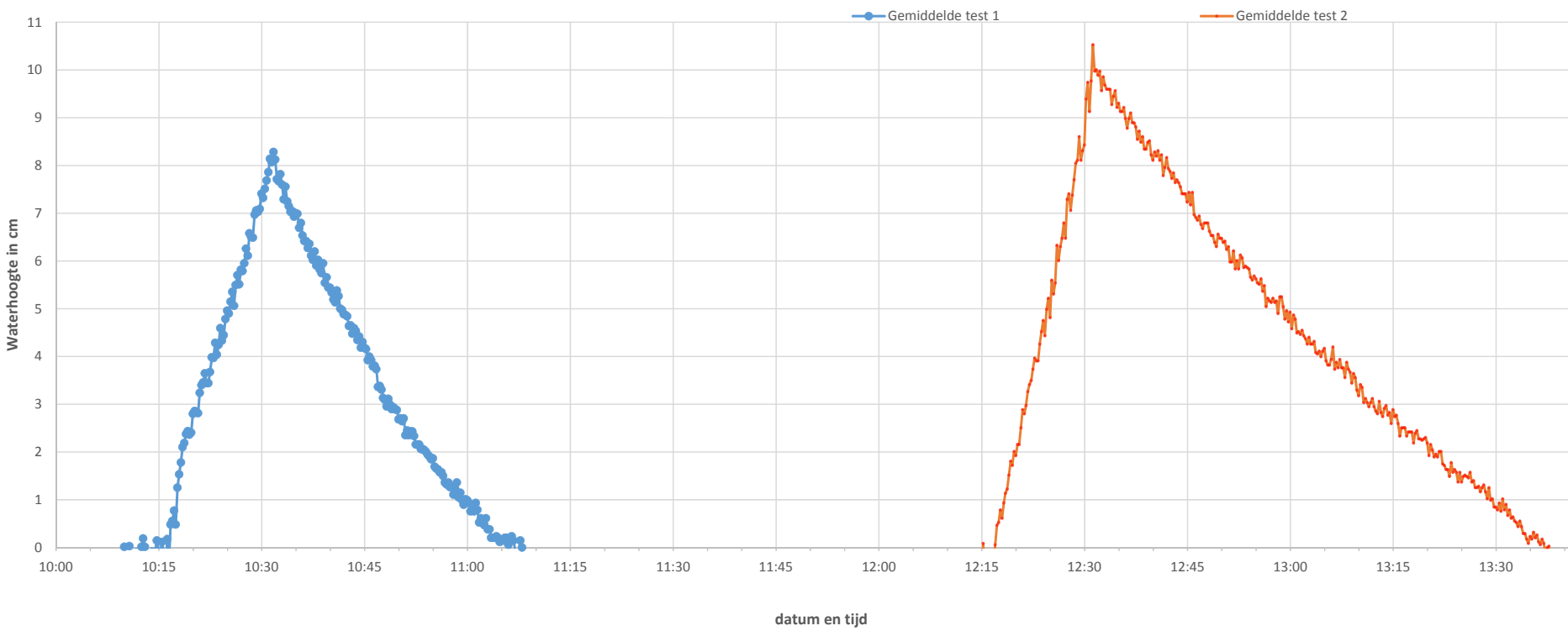
Test 2	Oppervlakte plot:	41,472 m2
	Inhoud plot:	6134 liter
	Starttijd vullen:	0,511806 uur
	Stoptijd vullen:	0,521528 uur
	Droogvallen plot:	0,570833 uur
	Totale tijdsduur:	0,059028 uur
	Totale duur na vullen:	0,049306 uur
	Totaal mm water:	147,907 mm
	Waterniveau na vullen:	10,52917 cm
	Waterniveau bij droogvallen:	0 cm
	Verschil in waterniveau:	10,52917 cm

Methode 1	Infiltratiecapaciteit:	104 mm/uur
Methode 2	Infiltratiecapaciteit:	89 mm/uur

Full-scale proef @ 26.06 waterdoorlatende verharding Wagenbergstraat



Full-scale proef @ 26.06 waterdoorlatende verharding Wagenbergstraat



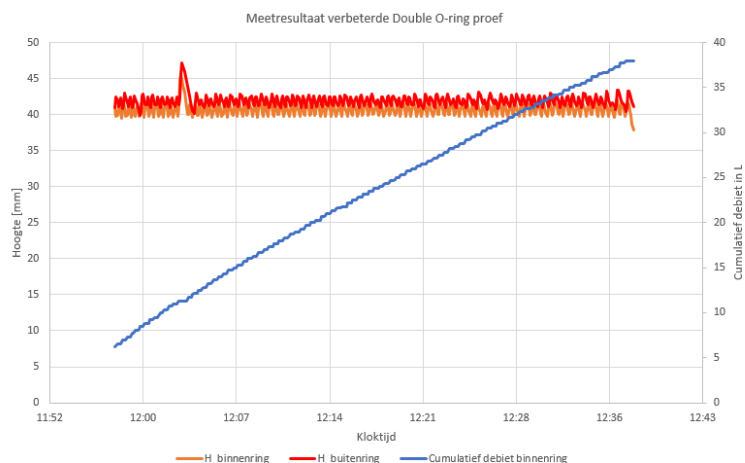


Bijlage 4 DRI tests vergelijking met Full-scale 2018



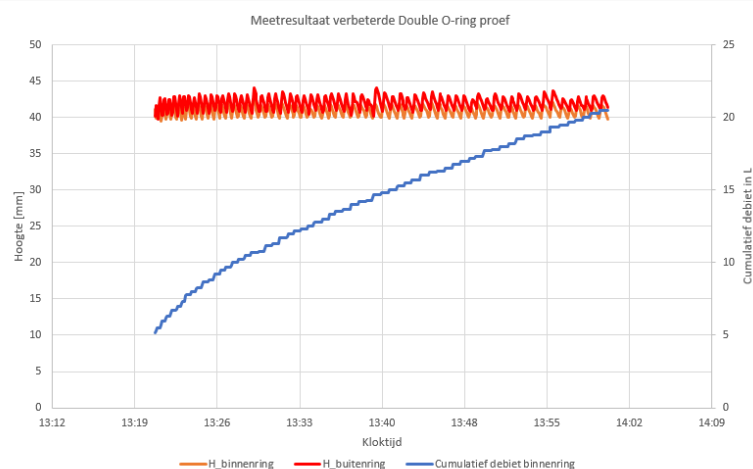
DRI-proef 1

A =	8,042477 dm2				
	kloktijd	tijd	Q_cum. [l]	q [l/dag]	doorl. H. [mm/hr]
5	11:57:50	0	6,2		
65	12:02:50	0:05:00	11,3	1468,8	760,9596
125	12:07:50	0:10:00	15,7	1267,2	656,5141
185	12:12:50	0:15:00	19,7	1152	596,831
245	12:17:50	0:20:00	23,8	1180,8	611,7518
305	12:22:50	0:25:00	27,5	1065,6	552,0687
365	12:27:50	0:30:00	31,3	1094,4	566,9895
425	12:32:50	0:35:00	34,7	979,2	507,3064
485	12:37:50	0:40:00	38	950,4	492,3856
545					
605					
665					



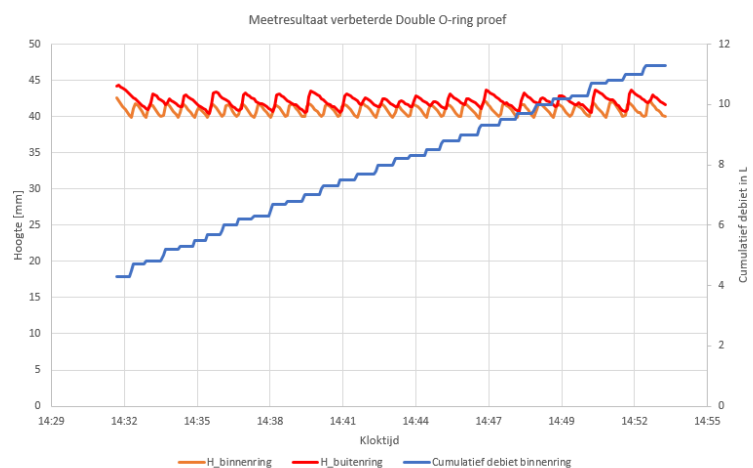
DRI-proef 2

A =	8,042477 dm2				
	kloktijd	tijd	Q_cum. [l]	q [l/dag]	doorl. H. [mm/hr]
5	13:21:00	0	5,2		
65	13:26:00	0:05:00	8,8	1036,8	537,1479
125	13:31:00	0:10:00	11,2	691,2	358,0986
185	13:36:00	0:15:00	13	518,4	268,574
245	13:41:00	0:20:00	14,8	518,4	268,574
305	13:46:00	0:25:00	16,3	432	223,8116
365	13:51:00	0:30:00	17,8	432	223,8116
425	13:56:00	0:35:00	19,3	432	223,8116
485					
545					
605					
665					

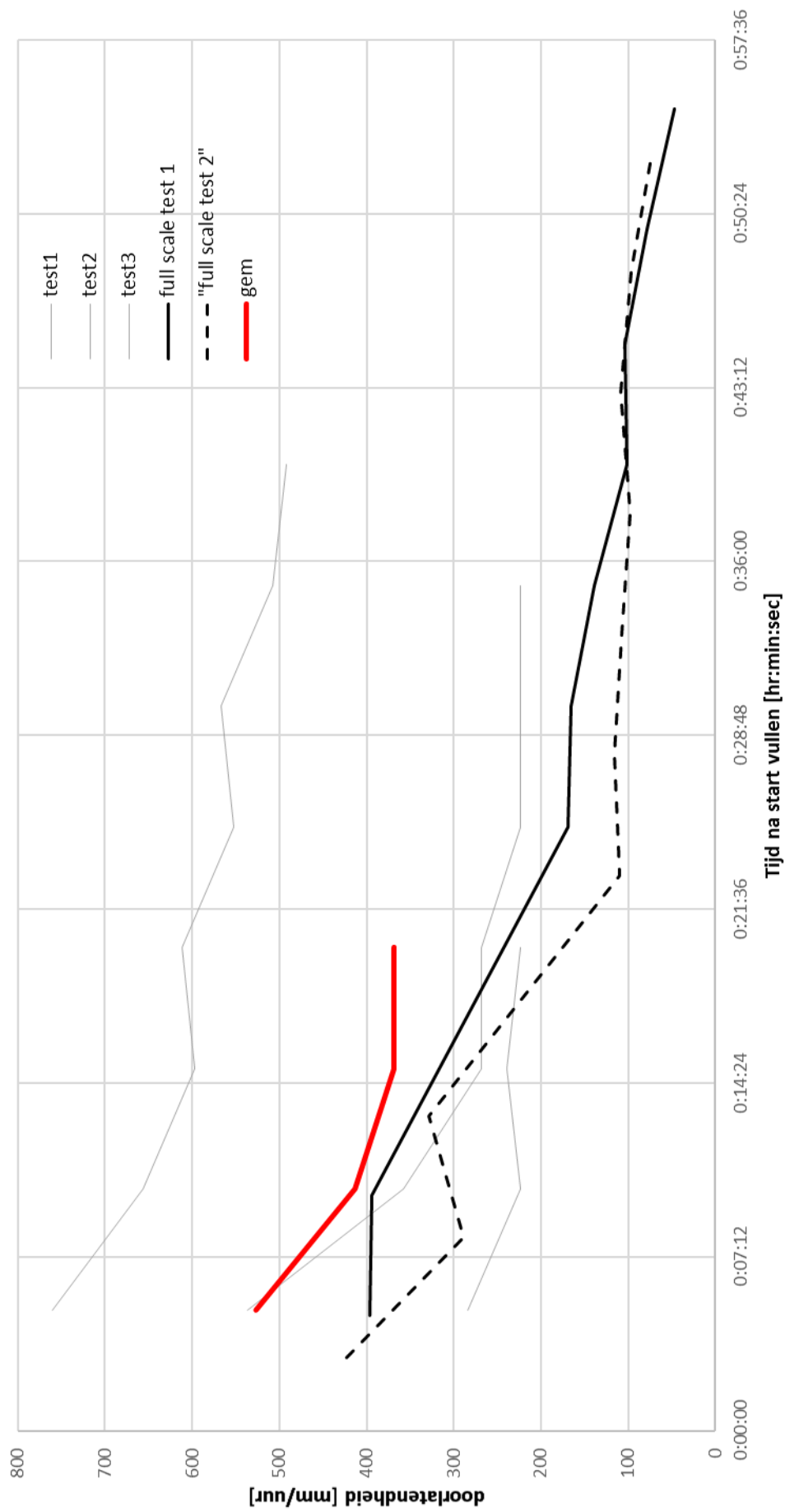


DRI-proef 3

A =	8,042477 dm2				
	kloktijd	tijd	Q_cum. [l]	q [l/dag]	doorl. H. [mm/hr]
5	14:32:20	0	4,3		
65	14:37:20	0:05:00	6,2	547,2	283,4947
125	14:42:20	0:10:00	7,7	432	223,8116
185	14:47:20	0:15:00	9,3	460,8	238,7324
245	14:52:20	0:20:00	10,8	432	223,8116
305					
365					
425					
485					
545					
605					
665					



Vergelijking 20 ring en Full scale test





Bijlage 5 DRI tests reinigingstechniek 2019

Schermlaan water-, lucht- en niet gereinigd

[illegible][illegible]



Bijlage 6 Geohydrologische metingen

Vergelijking straten

De Bellevoysstraat geeft een gemiddelde verhoging van +12 cm en +13 cm in natte periodes (2 weken). Ondanks het verzakte maaiveld leidt dit niet tot onvoldoende ontwateringsdiepte over deze periodes (inclusief 95-percentiel waarde, al is dit wel krap). Voldoende is 80 cm onder uitgiftepeil. De Wagenbergstraat daarentegen haalt de ontwateringsdiepte nooit, in natte periodes (+13 cm en +6 cm gemiddeld) wordt de ontwateringsdiepte zelfs 0,57 cm. Dit is wel toe te schrijven aan het lagergelegen maaiveld (34 cm onder uitgiftepeil). In de achtertuinen kan de gemiddelde grondwaterstand stijgen met +33 cm, de ontwateringsdiepte loop dan terug tot gemiddeld 29 cm (over 2 weken).

In Steenvoorde stijgt de gemiddelde grondwaterstand in natte periodes met +17 cm en +18 cm, hier is wel sprake van bijdrage uit een naastgelegen groenstrook. In de rijbaan zelf is de stijging +5 cm en +8 cm, in het trottoir +10 en +30 cm. In het trottoir wordt de ontwateringsdiepte niet gehaald in natte periodes. In de achtertuinen treedt een stijging op van +34 cm en +55 cm, ook hier wordt de ontwateringsdiepte niet gehaald in natte periodes.

In de Van Kinsbergenstraat wordt de ontwateringsdiepte nergens gehaald, dit is te wijten aan kleilagen in het wegcunet. In de natte periode treedt er een stijging op van +32 cm.

In de Pluimhoefstraat (geen WPV) zuid (verder van het drainagemiddel) ligt het grondwater in de natte periodes hoger onder de rijbaan (+27 cm en +21 cm), en wordt de ontwateringsdiepte niet meer gehaald. De gemiddelde grondwaterstijging is hier kleiner in het trottoir (+19 cm en +15 cm). In natte periodes wordt de ontwateringsdiepte niet gehaald, ook met het maaiveld op uitgiftepeil zou dit niet het geval zijn.

Van Kinsbergenstraat

Tijdstempel	PB 17 rijbaan	PB 18 parkeervak	PB 19 trottoir	PB 23 rijbaan nabij rivier
Uitgiftepeil	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte
3,22	3,21	3,19	3,33	3,22
max	3,21	3,24	3,02	2,08
95-percentiel	2,91	2,87	2,83	1,87
gemiddelde	2,63	2,59	2,54	1,44
ontwateringsdiepte				
max	0,00	-0,03	0,19	1,14
95-percentiel	0,30	0,34	0,38	1,34
gemiddelde	0,58	0,62	0,67	1,77
natte periode 2	7-3-2019 00:00	21-3-2019 00:00		
max	3,12	3,10	3,02	2,08
95-percentiel	3,07	3,04	2,99	2,07
gemiddelde	2,95	2,91	2,86	1,85
ontwateringsdiepte				
max	0,09	0,11	0,19	1,14
95-percentiel	0,14	0,17	0,22	1,14



gemiddelde	0,26	0,30	0,35	1,36
------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Bellevoysstraat

Tijdstempel	PB 7 rijbaan	PB 6 parkeervak	PB 8 trottoir
Uitgiftepeil	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte
-1,05	-1,46	-1,39	-1,17
max	-2,26	-2,26	-2,13
95-percentiel	-2,35	-2,35	-2,26
gemiddelde	-2,48	-2,47	-2,39
ontwateringsdiepte			
max	0,87	0,87	0,74
95-percentiel	0,96	0,96	0,87
gemiddelde	1,09	1,08	1,00
natte periode 1	13-10-2019 00:00	30-9-2019 00:00	
max	-2,33	NAN	-2,24
95-percentiel	-2,34	NAN	-2,25
gemiddelde	-2,36	NAN	-2,27
ontwateringsdiepte			
max	0,94	NAN	0,85
95-percentiel	0,95	NAN	0,86
gemiddelde	0,97	NAN	0,88
natte periode 2	21-3-2019 00:00	7-3-2019 00:00	
max	-2,26	-2,30	-2,19
95-percentiel	-2,28	-2,32	-2,20
gemiddelde	-2,32	-2,34	-2,24
ontwateringsdiepte			
max	0,87	0,91	0,80
95-percentiel	0,89	0,93	0,81
gemiddelde	0,93	0,95	0,85
natte periode 3	20-11-2019 00:00	6-11-2019 00:00	
max	-2,27	-2,27	-2,19
95-percentiel	-2,29	-2,29	-2,20
gemiddelde	-2,35	-2,35	-2,26
ontwateringsdiepte			
max	0,88	0,88	0,80
95-percentiel	0,90	0,90	0,81
gemiddelde	0,96	0,96	0,87



Wagenbergstraat

Tijdstempel	PB 01 rijbaan	PB 02 parkeervak	PB 03 trottoir	PB 32 achtertuin	PB 101 Referentie
Uitgiftepeil	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte
-1,25	-1,68	-1,59	-1,27	-1,24	-1,44
max	-2,04	-1,88	-1,96	-2,00	-1,83
95-percentiel	-2,36	-2,31	-2,27	-2,18	-2,08
gemiddelde	-2,42	-2,38	-2,38	-2,30	-2,18
ontwateringsdiepte					
max	0,36	0,20	0,28	0,32	0,15
95-percentiel	0,68	0,63	0,59	0,50	0,40
gemiddelde	0,74	0,70	0,70	0,62	0,50
natte periode 1	30-9-2019 00:00	13-10-2019 00:00			
max	-2,25	-2,17	NAN	-1,85	-2,16
95-percentiel	-2,28	-2,19	NAN	-1,91	-2,17
gemiddelde	-2,34	-2,25	NAN	-1,97	-2,24
ontwateringsdiepte					
max	0,57	0,49	NAN	0,17	0,48
95-percentiel	0,60	0,51	NAN	0,23	0,49
gemiddelde	0,66	0,57	NAN	0,29	0,56
natte periode 2	7-3-2019 00:00	21-3-2019 00:00			
max	-2,37	-2,25	-2,09	NAN	-2,05
95-percentiel	-2,39	-2,27	-2,11	NAN	-2,09
gemiddelde	-2,43	-2,32	-2,22	NAN	-2,13
ontwateringsdiepte					
max	0,69	0,57	0,41	NAN	0,37
95-percentiel	0,71	0,59	0,43	NAN	0,41
gemiddelde	0,75	0,64	0,54	NAN	0,45



Steenvoorde

Tijdstempel	PB 33 trottoir	PB 34 rijbaan	PB 35 rijbaan drain	PB 36 parkeervak	PB37 achterkant
Uitgiftepeil	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte
-1,25	-1,25	-1,41	-1,38	-1,47	-1,31
max	-1,71	-2,13	-2,12	-1,61	-1,30
95-percentiel	-1,85	-2,21	-2,30	-2,04	-1,48
gemiddelde	-2,11	-2,30	-2,35	-2,29	-2,10
ontwateringsdiepte					
max	0,46	0,88	0,87	0,36	0,05
95-percentiel	0,60	0,96	1,05	0,79	0,23
gemiddelde	0,86	1,05	1,10	1,04	0,85
natte periode 1	30-9-2019 00:00	13-10-2019 00:00			
max	-1,91	-2,20	-2,30	-2,02	-1,42
95-percentiel	-1,92	-2,21	-2,31	-2,03	-1,49
gemiddelde	-2,01	-2,25	-2,33	-2,11	-1,76
ontwateringsdiepte					
max	0,66	0,95	1,05	0,77	0,17
95-percentiel	0,67	0,96	1,06	0,78	0,24
gemiddelde	0,76	1,00	1,08	0,86	0,51
natte periode 3	6-11-2019 00:00	20-11-2019 00:00			
max	-1,71	-2,16	-2,12	-1,61	-1,30
95-percentiel	-1,72	-2,17	-2,27	-1,93	-1,31
gemiddelde	-1,81	-2,23	-2,32	-2,12	-1,55
ontwateringsdiepte					
max	0,46	0,91	0,87	0,36	0,05
95-percentiel	0,47	0,92	1,02	0,68	0,05
gemiddelde	0,56	0,98	1,07	0,87	0,30



Pluimhoefstraat

Tijdstempel	PB 29 rijbaan Noord	PB 30 rijbaan Zuid	PB 31 trottoir Zuid
Uitgiftepeil	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte	maaiveldhoogte
-1,05	-1,12	-1,12	-0,99
max	-2,04	-1,26	-1,79
95-percentiel	-2,07	-1,78	-1,88
gemiddelde	-2,18	-2,05	-2,07
ontwateringsdiepte			
max	0,92	0,14	0,67
95-percentiel	0,95	0,66	0,76
gemiddelde	1,06	0,93	0,95
natte periode 1	30-9-2019 00:00	13-10-2019 00:00	
max	-2,05	-1,72	-1,81
95-percentiel	-2,05	-1,73	-1,82
gemiddelde	-2,07	-1,78	-1,88
ontwateringsdiepte			
max	0,93	0,60	0,69
95-percentiel	0,93	0,61	0,70
gemiddelde	0,95	0,66	0,76
natte periode 3	6-11-2019 00:00	20-11-2019 00:00	
max	-2,04	-1,66	-1,79
95-percentiel	-2,05	-1,70	-1,81
gemiddelde	-2,10	-1,84	-1,92
ontwateringsdiepte			
max	0,92	0,54	0,67
95-percentiel	0,93	0,58	0,69
gemiddelde	0,98	0,72	0,80



Wagenbergstraat

Porositeit: 0,35 [-]

Factor afstromend-oppervlak/infiltrerend-oppervlak: 1,90 [-]

Tijdstempel	Neerslag	Parkeervak	Parkeervak	Berekend	afwijking	afwijking
Wagenbergstraat	[mm]	Stijging gws [mm]	min stijging in de drain [mm]	theoretische stijging gws [mm]	stijging tov theor. stijging	stijging min drain tov theor. stijging
12-6-2019	29	183	159,6	157,1	16,5	1,6
15-6-2019	24,6	216	161,9	133,2	62,1	21,5
19-6-2019	6,1	55	-	33,0	66,5	
25-8-2018	29,9	140	133,3	161,9	-13,5	-17,7
6-2-2019	20,8	190	111,5	112,6	68,7	-1,0
10-2-2019	12,5	110	86,4	67,7	62,5	27,6
6-10-2019	19,25	110	76,3	104,3	5,5	-26,8
7-12-2019	15,3	106	78,4	82,9	27,9	-5,4
27-1-2019	22,35	132	99,1	121,0	9,1	-18,1
13-8-2019	25,65	159	144,3	138,9	14,5	3,9
Gemiddelde					31,97	-1,60

Bellevoysstraat

Porositeit: 0,35 [-]

Factor afstromend-oppervlak/infiltrerend-oppervlak: 2,31 [-]

Tijdstempel	Neerslag	Parkeervak	Berekend	afwijking
Bellevoysstraat	[mm]	GW stijging [mm]	GW stijging [mm]	[%]
12-6-2019	29	92	191,7	-52,0
15-6-2019	24,6	136	162,6	-16,4
28-5-2019	14,2	61	93,9	-35,0
5-6-2019	15,3	55	101,2	-45,6
5-9-2018	37,2	100	245,9	-59,3
10-8-2018	8,6	70	56,9	
12-8-2019	24,45	90	161,6	-44,3
24-8-2019	31,85	105	210,6	-50,1
29-5-2018	17,85	60	118,0	-49,2
6-2-2019	20,8	83	137,5	-39,6
Gemiddelde				-43,5



Steenvoorde

Porositeit: 0,328 [-]

Factor afstromend-oppervlak/infiltrerend-oppervlak: 1,83 [-]

Tijdstempel	Neerslag	Parkeervak	Parkeervak	Berekend	afwijking	afwijking
Wagenbergstraat	[mm]	Stijging gws [mm]	min stijging in de drain [mm]	theoretische stijging gws [mm]	stijging tov theor. stijging	stijging min drain tov theor. stijging
12-6-2019	29	84	62,6	161,80	-48,1	-61,3
15-6-2019	24,6	150	82,4	137,25	9,3	-40,0
6-10-2019	19,2	70	40,5	107,12	-34,7	-62,2
29-9-2019	14,7	73	32,7	82,02	-11,0	-60,1
12-11-2019	14,55	91	-	81,18	12,1	
21-10-2019	12,1	57	24	67,51	-15,6	-64,4
4-10-2019	16,8	60	27,7	93,73	-36,0	-70,4
2-11-2019	14,25	79	-	79,50	-0,6	
26-9-2019	16,45	80	27,5	91,78	-12,8	-70,0
6-6-2019	15,3	43	35,4	85,36	-49,6	-58,5
Gemiddelde					-18,7	-60,9



Bijlage 7 Achterliggende notities



Stadsontwikkeling

Bezoekadres: De Rotterdam
Wilhelminakade 179, Rotterdam
Postadres: Postbus 6575
3002 AN Rotterdam
Internet: rotterdam.nl

Van: Johan Advokaat
Telefoon: 06-21160942
E-mail: j.advokaat@rotterdam.nl

Aan : Andre Houtepen
Kopie aan : Arjen Oostra
Datum : 2 mei 2017
Betreft : Terugblik op reinigen WPV Schoonegge

Inleiding

Deze notitie beschrijft kort de uitgevoerde reinigingstesten op de waterpasserende verharding (WPV) in Rotterdam Charlois (Schoonegge). De Gemeente Rotterdam past sinds enkele jaren actief WPV toe om regenwater tijdelijk en lokaal te bergen en af te voeren naar de ondergrond. Het principe van de WPV werkt uitstekend, echter in de praktijk blijkt dat de verhardingen dichtslibben met een mengsel van organisch materiaal van planten en bomen, rubber van banden, etc. Om een snelle degradatie van het systeem tegen te gaan, is een goede reinigingsmethode noodzakelijk. De Gemeente Rotterdam doet daarom onderzoek naar de meest geschikte reinigingsmethode voor het areaal aan WPV in de stad.

De testen die in deze notitie worden beschreven zijn uitgevoerd in opdracht van de dienst Stadsbeheer van de Gemeente Rotterdam. Het doel van de testen was het inzicht verkrijgen in de beschikbare reinigingsmethodes van WPV. Hierbij lag de focus op specialistische reinigingsmethodes, dus geen reinigingsmethode d.m.v. een reguliere veeg-zuigmachine welke in Rotterdam wordt toegepast.

In de winter van 2016 is daarom een drietal verschillende testen uitgevoerd:

- 1 test met heet water door Groen-aannemingsbedrijf Punt BV
- 1 test met een ZOAB cleaner van firma Van Doorn
- 1 test met een Milieu- en Incident reinigingsmachine van firma Wilchem

Hieronder is per test een korte beschrijving met terugblik gegeven:

1 test met heet water door Groen-aannemingsbedrijf Punt BV (13-10-2016)

De test met heet water is uitgevoerd op de Luntershoek in Rotterdam Charlois. De voegen zijn bij aanleg in 2013 gevuld met split 2/6. Gedurende de test is een wegvak besproeid met heet (kokend) water, om mossen en onkruidgroei in de waterpasserende verharding te doden. Het water is onder atmosferische druk op het wegvak gespreid; dus niet met hoge druk. De dag na het besproeien is het wegvak geschouwd. Zie de foto's hieronder voor een impressie van de uitgevoerde testen.



Foto 1: Het besproeien van de weg met heet water



Foto 2: Het wegvak direct na de behandeling met heet water

Analyse:

De testen met heet water zijn succesvol uitgevoerd. Een deel van de mossen en het onkruid in de verharding werd gedood door deze behandeling. Langs de randen van de weg bleef een deel van de mossen en het onkruid in leven. Door het besproeien van de weg (zie foto 1), werd een deel van de vervuiling uit de voegen gespoeld (zie foto 2). Echter bleef het grootste deel van de vervuiling in de voegen zitten.

1 test met een ZOAB cleaner van firma Van Doorn (14-10-2016)

De test met een ZOAB cleaner is ook uitgevoerd op de Luntershoek in Rotterdam Charlois. Gedurende deze test is met een ZOAB cleaner meerdere keren over een wegvak heen gereden en zijn de voegen gereinigd. Bij de ZOAB cleaner wordt onder hoge druk (koud) water in de voegen gespoten. Direct daarna wordt het water, inclusief het losgekomen vuil opgezogen door de reinigingsmachine. Zie de foto's hieronder voor een impressie van de uitgevoerde testen.



Foto 3: Het reinigen van het wegvak met een ZOAB cleaner

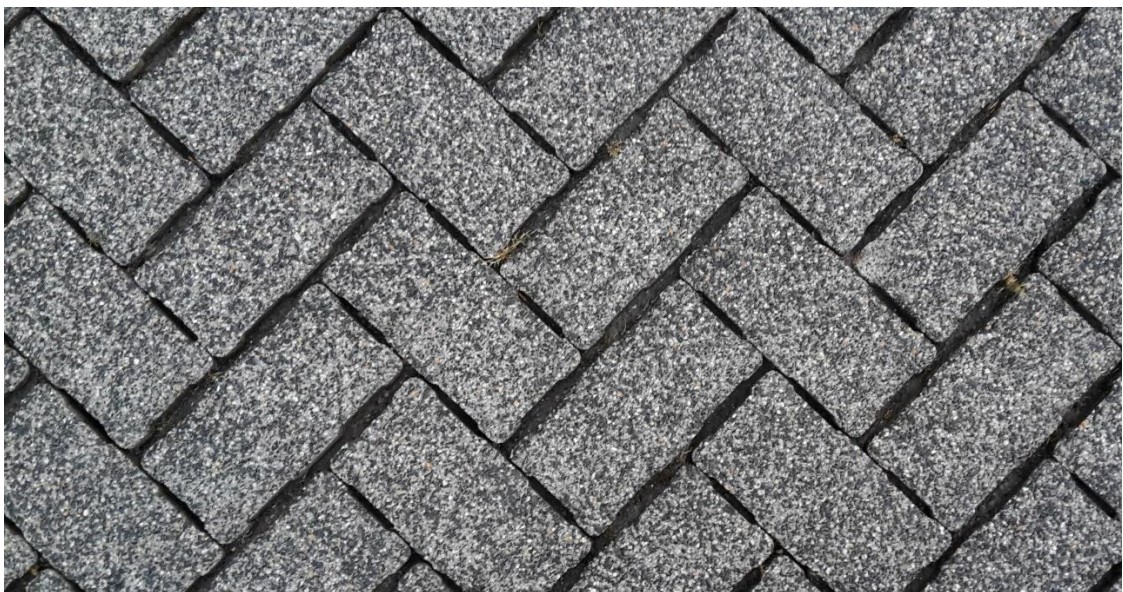


Foto 4: Het wegvak direct na de reiniging met een ZOAB cleaner

Analyse:

Ook de testen met de ZOAB cleaner zijn succesvol uitgevoerd. Het effect van het reinigen was goed terug te zien in de leeggezogen voegen. De eerste paar centimeter was de voeg leeggezogen (zie foto 4). Enkel sterk onkruid bleef zitten. Wel bleef in het onderste gedeelte van de voegen een zwarte substantie zitten. Dit duidt erop dat de voegen nog niet geheel leeggezogen waren. Daarnaast bleek dat de smallere voegen vaak niet goed leeggezogen waren, omdat de vervuiling tussen de stenen ingeklemd zat.

De testen met de ZOAB cleaner zijn ook gedaan op het wegvak waar een dag eerder een behandeling was gedaan met heet water. Er was echter geen aantoonbaar verschil terug te zien in de mate van reiniging met het wegvak wat niet was behandeld met heet water.

1 test met een Milieu- en Incident reinigingsmachine van firma Wilchem (14-12-2016)

De test met de Milieu- en Incident reinigingsmachine is uitgevoerd op de Beumershoek in Rotterdam Charlois. Deze straat is aangelegd in 2013 en de voegen zijn gevuld met split 2/6. Gedurende deze test is met de Milieu- en Incident reinigingsmachine eenmaal over een deel van het wegvak gereden en zijn de voegen gereinigd. Met de Milieu- en Incident reinigingsmachine wordt onder hoge (onder)druk de voegvulling uit de voegen gezogen. Hierbij kan optioneel koud/heet water worden toegevoegd aan het reinigingsproces. In totaal zijn er drie testen gedaan op drie delen van het wegvak: 1 test met enkel lucht, 1 test met lucht i.c.m. koud water & 1 test met lucht i.c.m. heet water. Zie de foto's hieronder voor een impressie van de uitgevoerde testen.



Foto 5: Het reinigen van het wegvak met een Milieu- en Incident reinigingsmachine

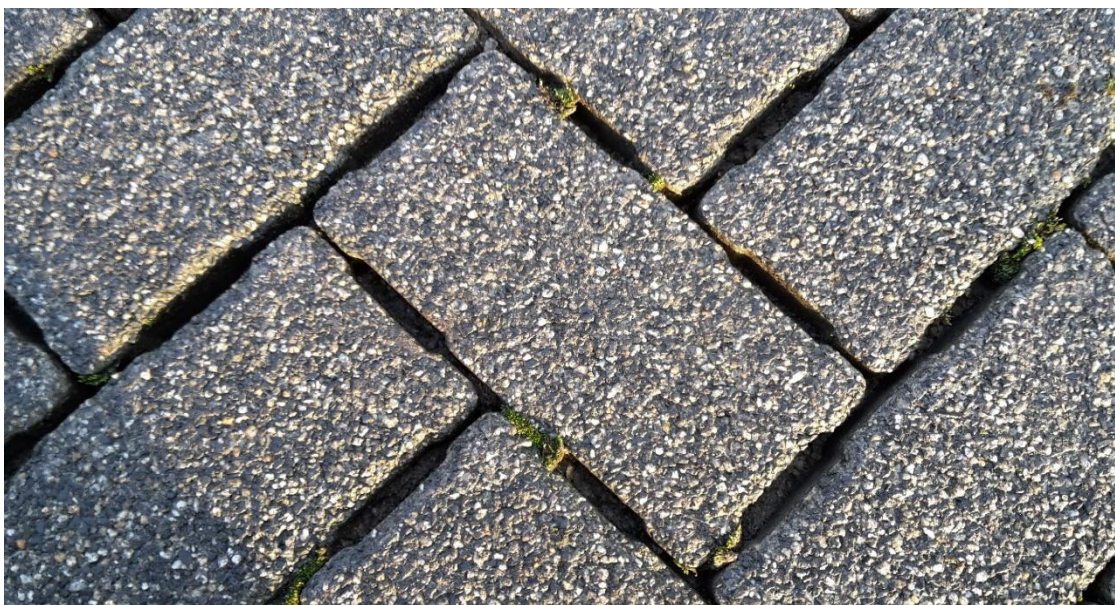


Foto 6: Het wegvak na 1x reinigen (zuigen met hoge (onder)druk, dus zonder water)

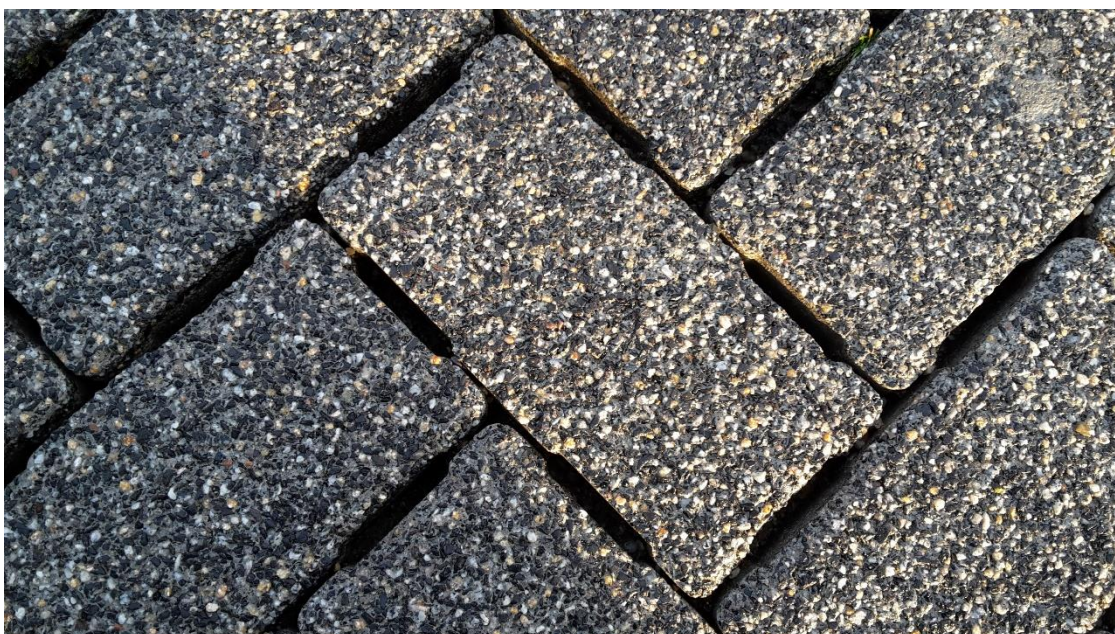


Foto 7: Het wegvak na 1x reinigen (zuigen met hoge (onder)druk en koud water spuiten onder hoge druk)

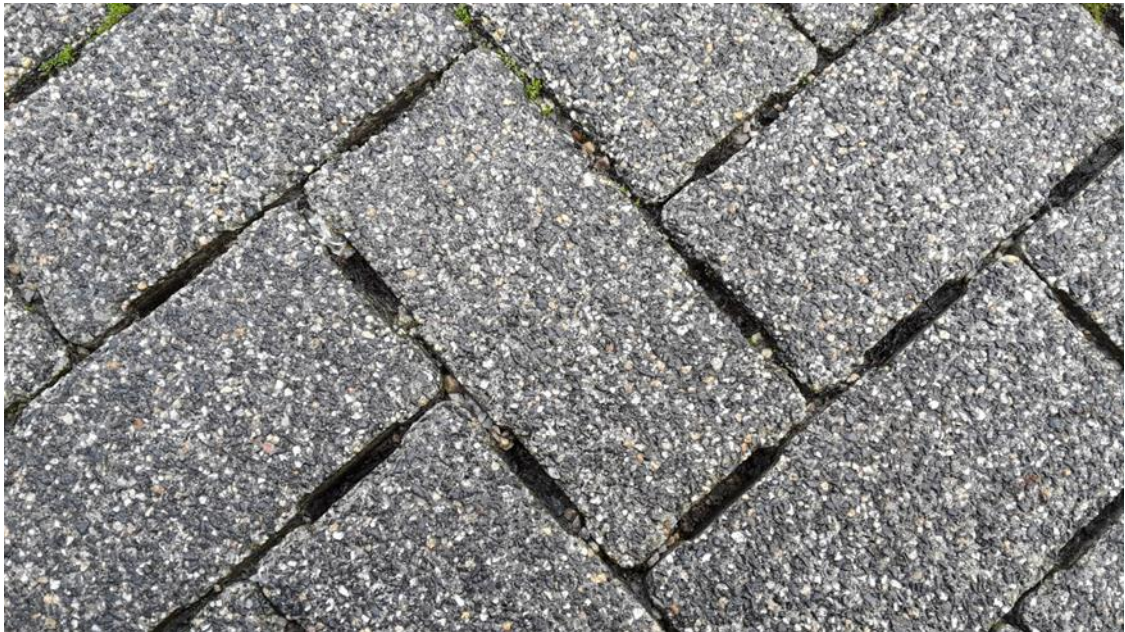


Foto 8: Het wegvak na 1x reinigen (zuigen met hoge (onder)druk en warm water spuiten onder atmosferische druk)

Analyse:

De testen met de Milieu- en Incident reinigingsmachine zijn succesvol uitgevoerd. Het vuil en de voegvulling worden bij alle 3 soorten reiniging circa 2-5 centimeter uit de voeg gezogen. Over het algemeen is dit meer dan bij de ZOAB cleaner. Het grootste deel van de vervuiling wordt op deze manier verwijderd. Op sommige plekken, vooral tussen de rijsporen van de weg in, blijft mos en vuil in de voegen zitten. Op andere plekken worden de voegen zo sterk leeggezogen dat zelfs een deel van de straatlaag onder de stenen wordt meegezogen. Bij een behandeling met enkel zuigen (zie foto 6) worden de voegen goed leeg gezogen. Het meeste vuil wordt zo verwijderd. Wel blijft een deel van het onkruid in de voegen zitten. Dit komt mogelijk omdat de testen in een relatief natte periode zijn uitgevoerd. De werknemers van de firma Wilchem gaven aan de voorkeur te hebben voor een droge periode, omdat de methode dan beter zou werken.

Bij een behandeling met zuigen i.c.m. koud water onder hoge druk, worden de voegen eveneens goed schoon gezogen. Ook ziet de straat er schoon uit. Nadeel bij deze methode is dat de machine (5 kuub water) regelmatig moet worden bijgevuld en dat er veel vuil (vervuild water en split) wordt afgevoerd.

Ook bij een behandeling met zuigen i.c.m. heet water onder lage druk worden de voegen redelijk goed schoon gezogen, maar minder dan met koud water onder hoge druk. Echter valt de werking van het hete water tegen. Het water krijgt niet de kans om in de verharding te trekken en om mossen en onkruid te doden. Doordat direct na het besproeien met heet water de voegen worden leeggezogen heeft deze behandeling nauwelijks effect. Deze methode is waarschijnlijk alleen effectief wanneer op dag 1 enkel heet water wordt toegepast (zoals gedaan bij de test met Punt B.V.) en enkele dagen later, in een droge situatie, de voegen met enkel hoge druk zuigen worden gereinigd (zoals gedaan met firma Wilchem). De vraag die dan nog wel rest is of deze combinatie beter is dan de combinatie waarbij koud water onder hoge



druk wordt gespoten i.c.m. het direct zuigen onder hoge (onder)druk van de losgekomen materie.

Algemene terugblik

De uitgevoerde testen zijn allen uitgevoerd in een relatief natte periode. Dit houdt in dat er enkele dagen voor de testen nog neerslag is gevallen en de ondergrond en de voegen nog relatief vochtig zijn. Dit kan effect hebben op het resultaat van de testen. De vervuiling in de voegen 'kleeft' dan als het ware vast aan de stenen en is daarom lastiger uit de voegen te zuigen. Ook mossen en onkruid zouden in een vochtige situatie vaster zitten in de voegen. Dit is echter wel een aanname. Er moet ook rekening mee worden gehouden dat de situatie per straat verschillend kan zijn (meer en sterkere mossen en onkruid).

De uitgevoerde metingen zijn praktijkmetingen waarbij visueel het schoon zijn van de gereinigde voegen is beoordeeld. Om in kwantitatieve zin wat over het reinigingseffect te kunnen zeggen is het daarom wenselijk om zowel voor als na de testen waterdoorlatendheidsmetingen met een Dubbele Ring Infiltrometer uit te voeren. Op deze manier kan namelijk inzicht worden verkregen of de waterdoorlatendheid van de verharding door de testen wel/niet is verbeterd.

De testen zijn ca. 2-3 jaar na aanleg van de straten uitgevoerd. In dit geval zijn de voegen van de verharding dus al deels dichtgeslibd. De uitdaging ligt in het bepalen van het juiste moment om de verharding te reinigen. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met het feit dat elke situatie anders is (omgeving, opbouw weg etc.) en dat daarom maatwerk altijd noodzakelijk is.

Conclusies

Na deze reeks testen bestaat de voorkeur voor twee reinigingsmethoden:

1. Het reinigen d.m.v. het zuigen onder hoge (onder)druk, zonder het spuiten van water (test 1 firma Wilchem), bij voorkeur in droge omstandigheden.
2. Het reinigen d.m.v. het zuigen onder hoge (onder)druk, in combinatie met koud water wat onder hoge druk in de voegen wordt gespoten.

Echter kan pas na het vervolgonderzoek met de Dubbele Ring Infiltrometer, kwalitatief bepaald worden welke reinigingsmethode het beste eindresultaat levert. Daarbij moeten andere aspecten zoals omgevingsoverlast, financiële aspecten, etc. eveneens worden geanalyseerd voordat een definitieve keuze voor een reinigingsmethode gemaakt kan worden.



Stadsontwikkeling

Aan : Arjen Oostra, Koos Dooremalen

Kopie aan : Henny Amatsari

Datum : 28 september 2017

Betreft : Voorstel voor te reinigen straten met WPV

Bezoekadres: De Rotterdam
Wilhelminakade 179, Rotterdam

Postadres: Postbus 6575
3002 AN Rotterdam

Internet: rotterdam.nl

Van: Johan Advokaat

Telefoon: 06-21160942

E-mail: j.advokaat@rotterdam.nl

Inleiding

Deze notitie geeft een overzicht van een aantal straten in Rotterdam Charlois, waar WPV (Water Passerende Verhardingen) zijn toegepast. Afgelopen juni 2017 zijn deze straten geschouwd. Tijdens de schouw bleek dat op verschillende locaties de voegen zijn dichtgeslibd met vuil, waardoor de waterpasserende werking van de verharding in het geding komt. Daarom is besloten om deze te laten reinigen. Omdat in Rotterdam nog geen standaard reinigingsmethode voor het reinigen van water passerende verhardingen is vastgesteld, wordt voorgesteld de straten te reinigen met een zuigmachine (bv. ZOAB-reiniger). Dat kan gedaan worden in de vorm van een (test)pilot.

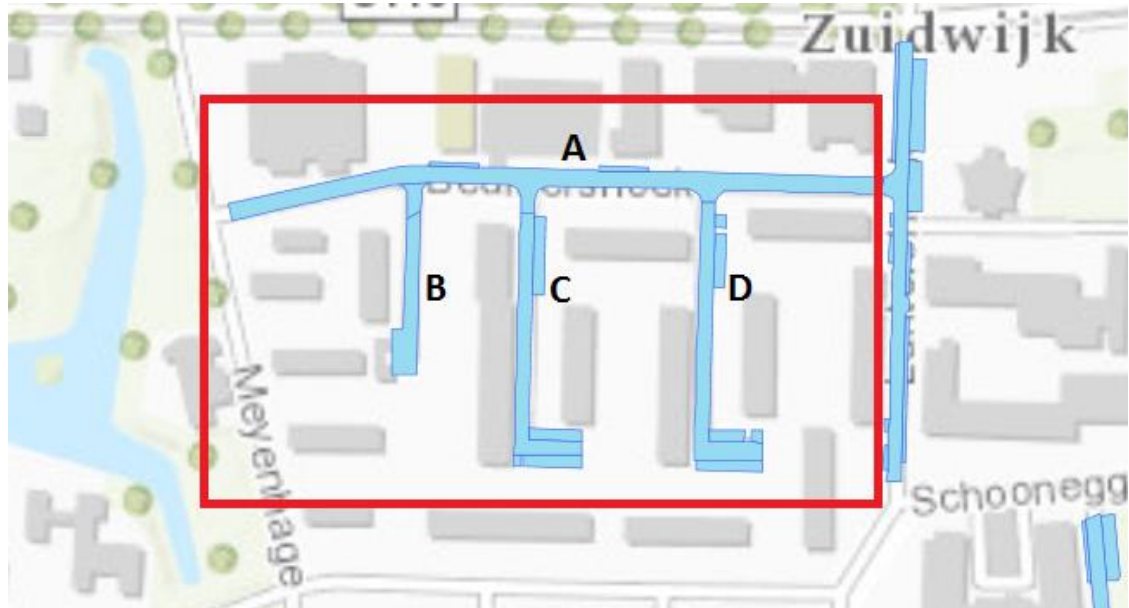
Te reinigen locaties

De betreffende straten liggen ten zuiden van de Slinge en concentreren zich rondom de Schoonegge. De straten zijn allen omstreeks medio 2013 aangelegd en uitgevoerd met de BSS Rotterdam 'WPV'. De constructie van de wegen verschilt per straat in onder andere: materiaal van de fundering; dikte van het zandbed en verkanting van het wegdek. Voor zover bekend zijn alle wegen ingeveegd met split 2/6. Figuur 1 hieronder geeft een overzicht van de straten waar WPV zijn toegepast.



Figuur 1: Overzicht van de straten rondom de Schoonegge waar WPV zijn toegepast.

De figuren 2 en 3 hieronder geven kort weer welke straten gereinigd moeten worden. Onder de figuren is aanvullende informatieve gegeven over de desbetreffende straten.



Figuur 2: Straten met WPV ten noorden van de Schoonegge (linker deel)

- A. Beumershoek (oppervlakte ca. 2000 m² incl. parkeren)
- B. Elsenhoek (oppervlakte ca. 600 m² incl. parkeren)
- C. Kapershoek (oppervlakte ca. 1000 m² incl. parkeren)
- D. Lemsterhoek (oppervlakte ca. 1100 m² incl. parkeren)



Figuur 3: Straten met WPV ten noorden van de Schoonegge (rechter deel)



- E. Kruisvoorde (oppervlakte ca. 1300 m² incl. parkeren)
- F. Rijnvoorde (oppervlakte ca. 1100 m² incl. parkeren)

Aandachtspunten bij het reinigen:

De volgende aspecten zijn van belang bij het reinigen van de straten:

- De reiniging moet bij voorkeur tijdens een droge periode plaats vinden. Het vuil in de voegen laat dan sneller los omdat er minder sprake is van 'kleef';
- Bij voorkeur moet er 'droog' gereinigd worden. Voorgaande testen toonden aan dat testen waarbij water onder hoge druk in de voegen worden gespoten niet een gewenst resultaat behalen;
- De straten zijn soms erg smal. Bij het reinigen met een grote en brede wagen is het belangrijk dat hier rekening mee wordt gehouden. Ook is het belangrijk dat steenslag bij geparkeerde auto's wordt voorkomen;
- Tijdens de reiniging zullen de standaard veiligheidsmaatregelen moeten worden toegepast;
- Parkeervakken zijn over het algemeen lastig te bereiken. Bij voorkeur moeten deze ook meegenomen worden in de reiniging;
- Na het leegzuigen van de voegen zal opnieuw moeten worden ingeveegd met split 2/6;
- Het vuil en uitgezogen split wat vrijkomt bij de reiniging moet worden afgevoerd. Hierover zullen afspraken moeten worden gemaakt met de aannemer.

Overig:

Zowel voor als na het reinigen zal de doorlatendheid van de WPV moeten worden gemeten en gemonitord. Op deze manier kan inzicht worden verkregen in het effect van het reinigen. Wanneer het reinigen resulteert in een acceptabele en verbeterde doorlatendheid van de WPV, kan deze reinigingsmethode wellicht worden opgenomen in de standaard reinigingscyclus van straten met WPV binnen Rotterdam.

**Stadsontwikkeling**

Aan : Andre Houtepen

Kopie : Arjen Oostra

Datum : 15 november 2017

Betreft : Aanvullende metingen onderzoek
TAUW, uitgevoerd op de Hoekersingel

Bezoekadres: De Rotterdam
Wilhelminakade 179, Rotterdam
Postadres: Postbus 6575
3002 AN Rotterdam
Internet: rotterdam.nl

Van: Johan Advokaat
Telefoon: 06-21160942
E-mail: j.advokaat@rotterdam.nl

In het voorjaar van 2017 heeft TAUW een aantal full-scale metingen en DRI metingen uitgevoerd op de Hoekersingel in Rotterdam. De uitkomsten van deze metingen zijn verwerkt in een rapportage. De laatste versie van deze rapportage dateert van 6 oktober 2017.

In de rapportage wordt de vergelijking tussen de resultaten van de full-scale testen en de DRI testen gemaakt. Dit om aan te tonen hoe betrouwbaar de DRI testmethode is. Hetzelfde heeft TAUW gedaan voor een aantal locaties in de Hoevebuurt in Rotterdam. Echter zijn op deze locaties de DRI testen uitgevoerd volgens de methodiek die in Rotterdam wordt toegepast.

Omdat er een groot verschil in gemeten waardes terug te zien is in de DRI metingen die door TAUW zijn uitgevoerd, en in de DRI metingen die door Rotterdam uitgevoerd zijn, is besloten om de metingen van TAUW over te doen, maar dan volgens de methodiek van Rotterdam.

Hieronder de gemeten waardes volgens het rapport van TAUW van 6 oktober 2017:

Tabel 3.8 Vergelijking infiltro testen en full-scale testen

Meetvak	Infiltro test [mm/uur]	full-scale test [mm/uur]	Afwijking infiltro t.o.v full-scale [mm/uur]
Hoevestraat	189	154	123%
Harddraverstraat	93	117	79%
Baljuwplein	148	134	110%
Vak 1	663	107	619%
Vak 2	272	56	485%
Vak 3	306	74	414%
Vak 4	483	124	390%

De waardes binnen het groene vlak zijn uitgevoerd volgens de Rotterdamse methode. De waardes binnen het blauwe vlak zijn uitgevoerd volgens de methode van TAUW.



Hieronder de aanvullende waardes gemeten op 14 november 2017, uitgevoerd volgens de Rotterdamse methode:

Tabel 3.8 Vergelijking infiltro testen en full-scale testen

Meetvak	Infiltro test [mm/uur]	full-scale test [mm/uur]	Afwijking infiltro t.o.v full-scale [mm/uur]
Hoevestraat	189	154	123%
Harddraverstraat	93	117	79%
Baljuwplein	148	134	110%
Vak 1	663	107	619%
Vak 2	~~272~~ 322	56	~~-485%~~ 575%
Vak 3	306	74	414%
Vak 4	~~483~~ 224	124	~~-390%~~ 181%

Zie de tabellen in Bijlage 1 voor de overige data m.b.t. de metingen die zijn uitgevoerd op 14 november 2017.

De nieuwe metingen geven weinig aanvullende en bruikbare informatie over de vergelijking tussen de full-scale test en de DRI test. De gemeten waarde in vak 2 ligt hoger dan de gemeten waarde door TAUW destijds. Hiermee ligt ook de afwijking van de DRI test t.o.v. de full-scale test op een hoger percentage. Voor vak 4 geldt precies het tegenovergestelde. Hier is juist sprake van een lager gemeten waarde en een lagere afwijking.

Op basis van het rapport van TAUW en het bovenstaande wordt bevestigd dat het lastig is om een direct verband te leggen tussen de full-scale test methode en de DRI test methode. Aangenomen wordt dat de full-scale test het meest betrouwbare beeld geeft van de werkelijke situatie. Hoe dichter de waardes van de DRI test dus bij de waardes van een full-scale test liggen, hoe beter. Een voorwaarde is wel dat deze dan onder dezelfde omstandigheden en op dezelfde locatie zijn uitgevoerd. Het laten uitvoeren van full-scale testen is een arbeidsintensief en kostbaar proces. Daarom gaat de voorkeur sterk uit naar een kleinere, snellere en goedkopere testmethode. De DRI test is hier een goed voorbeeld van. Dit is een van de redenen waarom in Rotterdam wordt gezocht naar een verbeterde DRI test methode. Het Ingenieursbureau werkt momenteel aan de ontwikkeling van een dergelijke verbeterde DRI testmethode.

Rotterdam, 15 november 2017



Bijlage 1: Data testen Hoekersingel

Hoekersingel (vak split 1/3)									
Test	Tijd	Waterhoogte (cm)		Stoptijd (min/sec)		Waterhoogte (mm)	Duur (sec)	Intensiteit (mm/uur)	
Test 1 Rand weg	12:00	9,0	6,5	3	56	25	236		381
		6,5	5,0	6	19	15	143		378
		5,0	4,0	8	6	10	107		336
		bijvullen							365
Test 2 Rand weg	12:20	7,5	5,5	4	14	20	254		283
		5,5	4,0	6	59	15	165		327
		4,0	2,5	10	0	15	181		298
		bijvullen							303
Test 3 Rand weg	12:40	4,5	4,0	1	8	5	68		265
		4,0	2,5	4	36	15	208		260
		2,5	1,0	7	2	15	146		370
									298
								Gemiddeld:	322
								standaardafw	12%

Data van de metingen uitgevoerd op vak 2.

Hoekersingel (vak split 2/6)								
Test	Tijd	Waterhoogte (cm)		Stoptijd (min/sec)		Waterhoogte (mm)	Duur (sec)	Intensiteit (mm/uur)
Test 1 Rand weg	13:00	6,8	5,8	2	28	10	148	243
		5,8	4,3	6	33	15	245	220
		4,3	2,6	10	0	17	207	296
		bijvullen						253
Test 2 Rand weg	13:15	8,7	7,7	3	36	10	216	167
		7,7	5,3	9	44	24	368	235
		5,3	4,9	11	0	4	76	189
		bijvullen						197
Test 3 Rand weg	13:35	7,0	5,8	4	8	12	248	174
		5,8	4,5	7	42	13	214	219
		4,5	3,9	9	0	6	78	277
								223
							Gemiddeld:	224
							standaardafw	13%

Data van de metingen uitgevoerd op vak 4.



Stadsontwikkeling

Bezoekadres: De Rotterdam
Wilhelminakade 179, Rotterdam

Postadres: Postbus 6575
3002 AN Rotterdam

Internet: rotterdam.nl

Van: Johan Advokaat

Telefoon: (010) 4893439

E-mail: jgg.advokaat@rotterdam.nl

Aan : Arjen Oostra

Kopie aan : Andre Houtepen

Datum : 9 februari 2018

Betreft : Waterdoorlatendheidsmetingen cunet
WPV Hoekersingel

Inleiding

Door de afdeling Stadsbeheer Wegen van de gemeente Rotterdam is gevraagd om een serie doorlatendheidsmetingen van het wegcunet onder de waterpasserende verharding welke is toegepast langs de Hoekersingel in Rotterdam. Aanleiding voor deze uitvraag zijn de slechte prestaties van de waterpasserende verharding op locatie. In 2017 zijn verschillende waterdoorlatendheidsmetingen uitgevoerd op de wegverharding, waaruit blijkt dat de wegverharding minder goed presteert dan vooraf verwacht. De hypothese is dat deze prestaties worden veroorzaakt door de vervuiling (dichtslibbing) van de voegen van de wegverharding. Een andere mogelijke oorzaak is de relatief lage doorlatendheidsfactor van het wegcunet (niet het split 2/6 uit de straatlaag, maar het zand voor zandbed wat daaronder wordt toegepast). Dit onderzoek is gericht op het inzichtelijk maken van laatstgenoemde aspect.

Resultaten

Op 30 januari 2018 zijn een drietal doorlatendheidsmetingen met de Dubbele Ring Infiltrometer uitgevoerd. In Bijlage 1 staat de werkwijze tijdens deze metingen beschreven, ondersteund door een aantal afbeeldingen.

De resultaten van de doorlatendheidsmetingen zijn in onderstaande tabel weergegeven:

Testlocatie:	Gemiddelde infiltratiecapaciteit:
Locatie 1	96,7 mm/uur
Locatie 2	192,6 mm/uur
Locatie 3	170,2 mm/uur
Totaal:	153,2 mm/uur

De gemiddelde infiltratiecapaciteit verschilt sterk per locatie. Dit is een te verklaren verschijnsel wat vaak wordt veroorzaakt door de verschillen in verdichting per locatie. De gemiddelde infiltratiecapaciteit van de 3 locaties opgeteld bedraagt 153,2 mm/uur. In Bijlage 2 zijn de uitwerkingen van de datasets van de metingen bijgevoegd.

Conclusie

De gemiddelde infiltratiecapaciteit van de wegverharding, die is gemeten in 2017, bedroeg 90 mm/uur (4 full-scale metingen uitgevoerd door adviesbureau TAUW) en 273 mm/uur (6 DRI metingen uitgevoerd door Ingenieursbureau gemeente Rotterdam).



NB. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de metingen zijn gedaan op 4 wegvakken waar verschillende voegvullingen zijn toegepast. Deze voegvullingen hebben elk hun eigen invloed op de gemeten infiltratiecapaciteit. Gemakshalve zijn voor de bovenstaande gemiddelde capaciteiten voor de infiltratiecapaciteit van de wegverhardingen de gemiddelde waarden van de 4 wegvakken gebruikt. Het verschil tussen de 2 meetmethodes is te verklaren door de geheel andere aard van de meetmethodes.

Wanneer de gemiddelde infiltratiecapaciteit, gemeten met de full-scale methode (90 mm/uur), wordt vergeleken met de gemiddelde infiltratiecapaciteit van het wegcunet (153 mm/uur), valt te concluderen dat in dit geval de infiltratiecapaciteit van het wegcunet waarschijnlijk niet de beperkende factor is geweest voor de relatief lage infiltratiecapaciteit van het gehele systeem. Wanneer bovenstaande vergelijking wordt gemaakt tussen de gemiddelde infiltratiecapaciteit gemeten met de DRI methode (273 mm/uur) en de infiltratiecapaciteit van het wegcunet (153 mm/uur), is het lastiger om hier conclusies aan vast te hangen. Er zijn een groot scala aan invloedsfactoren die en invloed kunnen hebben uitgeoefend op beide metingen (bv. bodemvochtigheid, grondwaterstanden, zijdelingse afstroming van water in straatlaag/wegcunet etc.). Wel valt te concluderen dat een gemiddelde infiltratiecapaciteit van het wegcunet van 153 mm/uur geen 'slecht' gemiddelde is (3,68 m/dag infiltratie).

Om beter inzicht te krijgen in de problematiek is meer en grootschaliger onderzoek nodig. Geadviseerd wordt om hierover contact op te nemen met de afdeling Water van het Ingenieursbureau van de gemeente Rotterdam.

Rotterdam, 9 februari 2018

Bijlage 1: Toegepaste werkwijze

Voor de waterdoorlatendheidsmetingen van het wegcunet is gebruik gemaakt van de zogenaamde Dubbele Ring Infiltrometer. Deze methode wordt in Rotterdam ook gebruikt om de waterdoorlatendheid van de wegverharding te meten.

De metingen zijn uitgevoerd in de parkeervakken langs de rijweg. Keuze hiervoor is gemaakt vanwege de praktische overwegingen dat het verkeer dan niet omgeleid hoeft te worden. Voor de metingen werden een aantal straatklinkers uit de weg gehaald. Hierbij worden ook de viltjes die als voegvulling fungeerden verwijderd. Vervolgens werden de 2 stalen ringen, door de straatlaag, in het wegcunet geslagen. Dit tot een diepte van meer dan 5 centimeter om de zijdelingse afstroming in de ondergrond zoveel mogelijk te beperken. Vervolgens worden 2 doeken op de bodem binnen de ringen gelegd, deze zijn bedoeld om te voorkomen dat het water tijdens het vullen van de ringen de bodem wegspoelt. Als laatste worden in de binnenring en in de buitenring 2 drukmeters ('divers') geplaatst. Deze meten met een interval van 10 seconden de waterdruk in de 2 ringen.

Waarna de opstelling gereed is voor het meten, worden de ringen gevuld met een waterniveau van ca 6-8 cm. Daarna doen de drukmeters hun werk en kan na het werk, de data verkregen met de drukmeters, worden geanalyseerd en verwerkt.

Hieronder een aantal afbeeldingen die de uitvoering van de testen visueel weergeven:



De opengebroken straat met in het wegcunet de DRI geplaatst.



De DRI gevuld met water. In de ringen zijn de doeken en de drukmeters te zien.

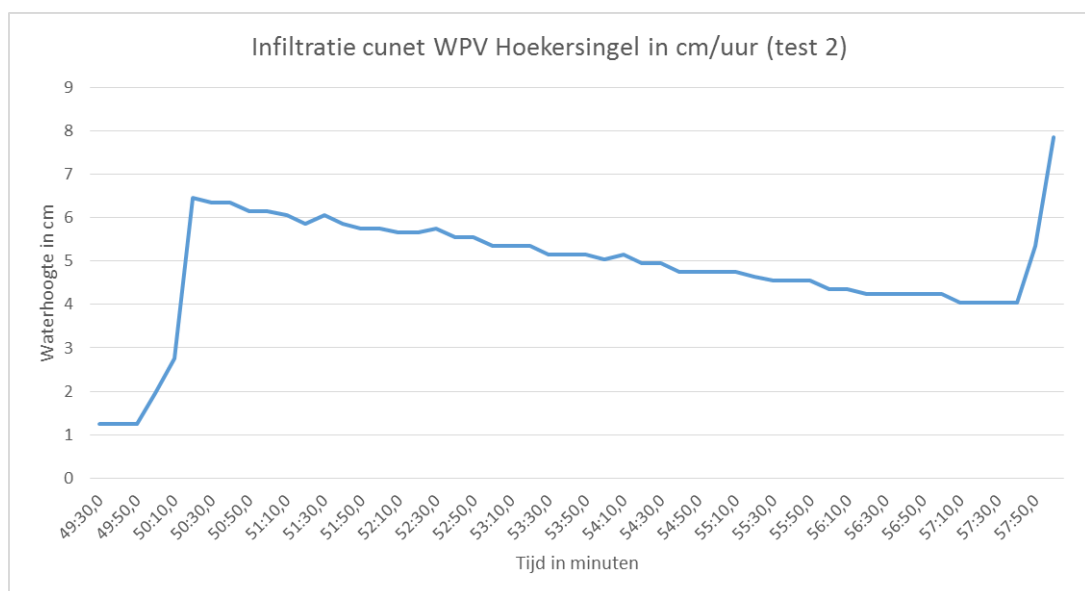
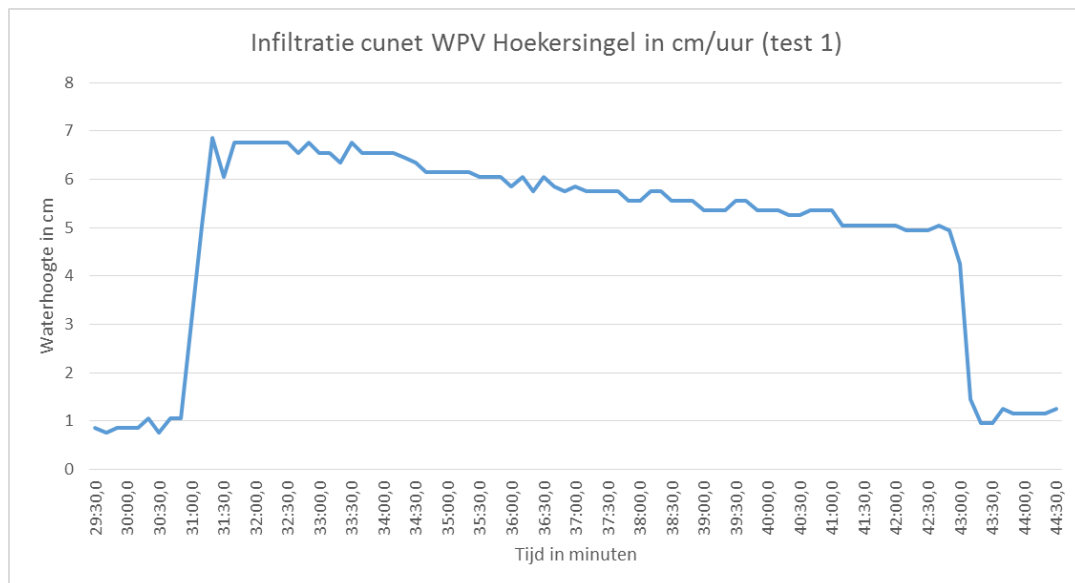


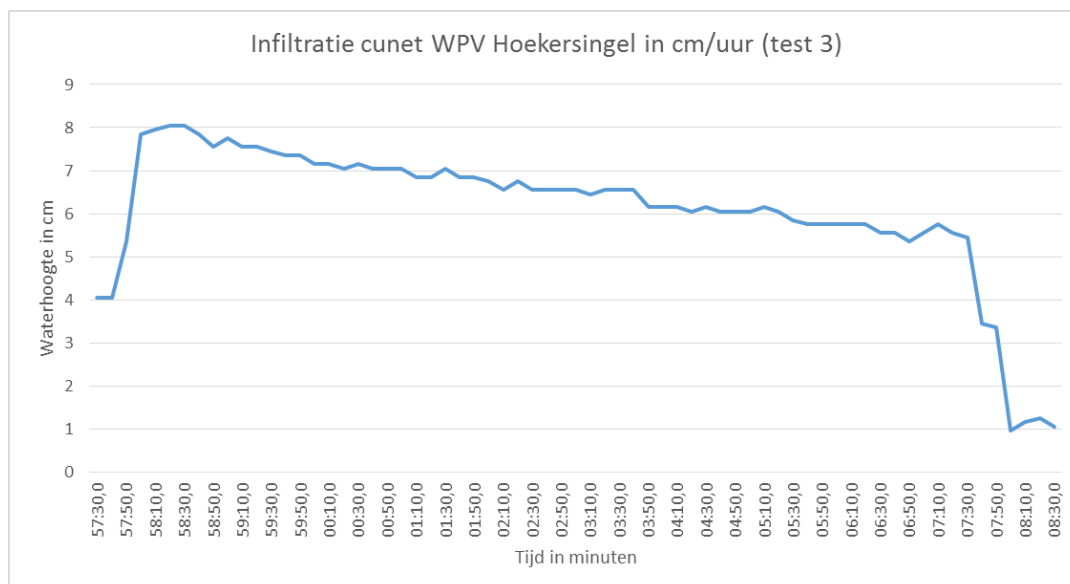
De parkeervakken waar de metingen zijn uitgevoerd. Na het meten is de straat weer hersteld.



Bijlage 2: Uitwerking van de data

Hieronder zijn de 3 datareeksen van de uitgevoerde testen in grafieken afgebeeld.

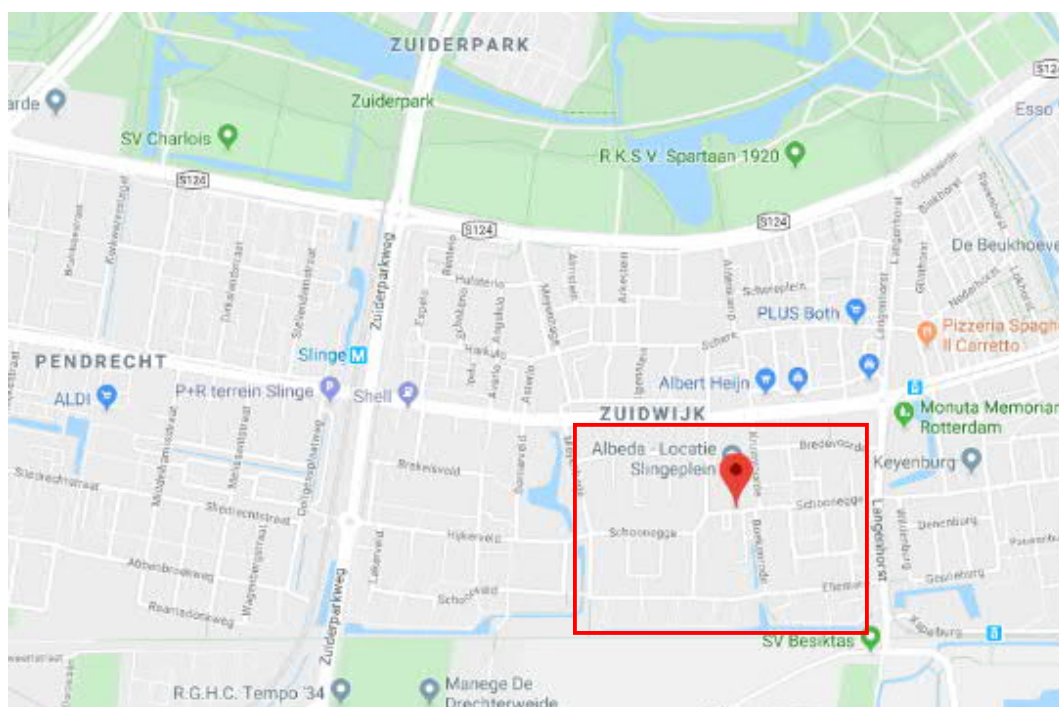




Spoordieptemetingen in elementenverhardingen

1. Inleiding

In 2014-2015 zijn in de Zuidwijk in Rotterdam-zuid (ten noorden en zuiden van Schoonegge) rioleringswerkzaamheden uitgevoerd. Tegelijkertijd met deze rioolvervanging is in een groot aantal straten een waterpasserende elementenverharding aangelegd. In onderstaande figuur 1 is het betreffende gebied weergegeven.



Figuur 1. Onderzoeksgebied Zuidwijk

Bij de aanleg van de waterpasserende verhardingen is een aantal varianten in de verhardingsconstructie toegepast, met als doel te onderzoeken wat het effect is van deze variaties op de waterdoorlatendheid van de verharding en diens gevolge logischerwijze ook op de spoorvormingsgevoeligheid van de verharding; de draagkracht van een (over)verzadigd zandbed is immers geringer dan van een 'normaal' zandbed. De volgende variaties zijn aangebracht:

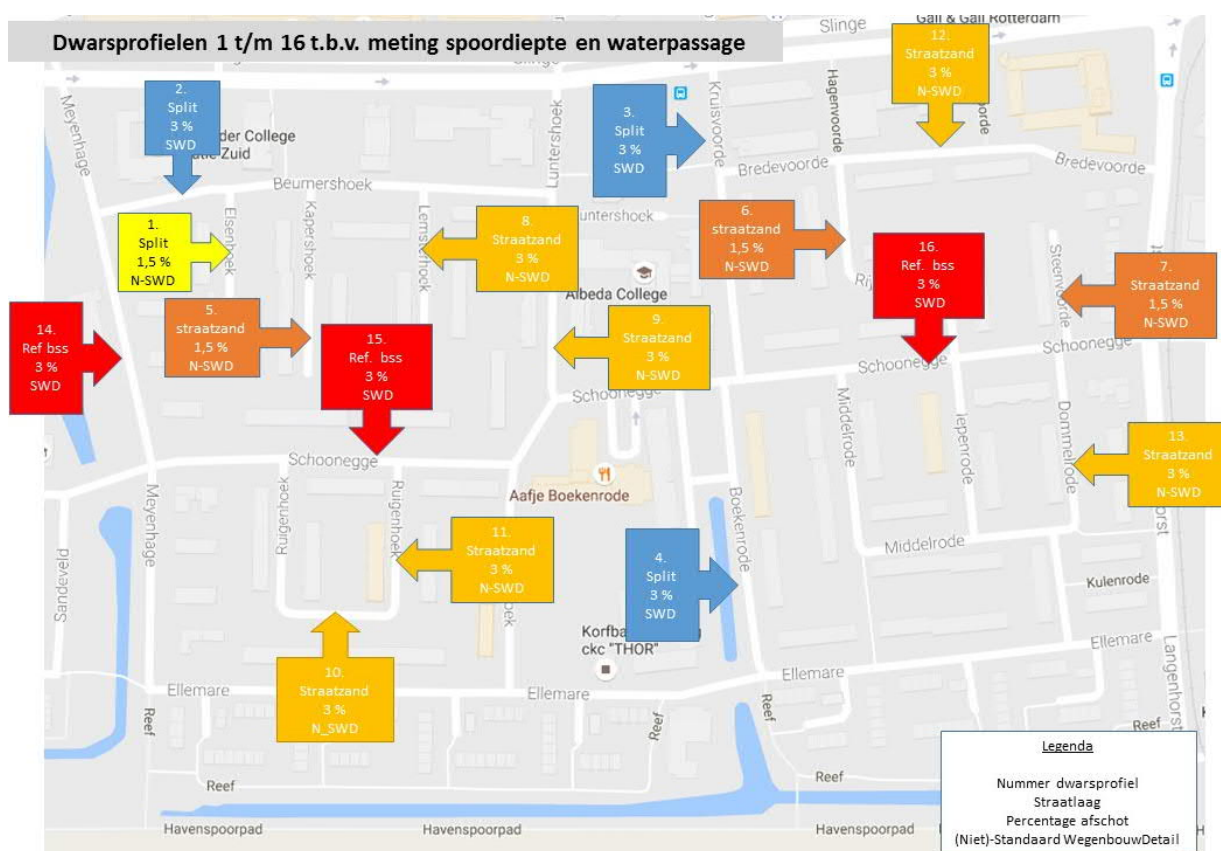
- variatie in opbolling: 1,5% en 3% dwarshelling;
- variatie in materiaal van de straatlaag: straatzand 0/2 en split 2/6;
- variatie in breedte van het verbeterde zandbed¹; verbeterd zandbed alleen ter hoogte van de rioolsleuf of verbeterd zandbed over de volledige breedte van de verharding.

¹ In een verbeterd zandbed is een drainerend, grover, zand aangebracht met een fractie op 250 µm tussen de 25% en 50%. Normaal zand voor zandbed mag een fractie op 250 µm bezitten van maximaal 40%.

In totaal zijn 16 verschillende straten onderzocht met 4 verschillende combinaties van variaties. Tevens is een 5^{de} variatie onderzocht, zijnde een verharding zonder waterpasserende elementen. De onderzochte variaties zijn:

- Blauw: split 2/6, 3% opbolling, aangepast zand onder volledige breedte (SWD)²
- Geel: split 2/6, 1,5 % opbolling, aangepast zand t.h.v. rioolsleuf (N-SWD)
- Bruin: straatzand, 1,5% opbolling, aangepast zand t.h.v. rioolsleuf (N-SWD)
- Oranje: straatzand, 3% opbolling, , aangepast zand t.h.v. rioolsleuf (N-SWD)
- Rood: (referentie, normale BSS), straatzand, 3% opbolling, aangepast zand onder volledige breedte (SWD).

In onderstaande figuur 2 en in bijlage 1 zijn de straten en de bijbehorende variatie weergegeven.



Figuur 2. Onderzochte straten en daarin voorkomende variaties.

Op alle 16 gedefinieerde straten is op enkele momenten in de tijd de spoorvorming gemeten.³

² SWD = constructie zoals opgenomen in de Standaard Wegenbouw Details Rotterdam (met verbeterd zand over hele breedte van de verharding).

N-SWD= constructie niet volgens SWD, met alleen verbeterd zand in de rioolsleuf.

³ In eerste instantie is van diverse straten de waterdoorlatendheid gemeten met de Dubbele Ring Infiltrometer (DRI). Vanwege de grote spreiding in resultaten is in 2017-2018 nader onderzoek verricht naar automatisering van de DRI. Er zijn in Zuidwijk na 2016 géén aanvullende DRI-metingen meer uitgevoerd.

2. Resultaten spoorvormingsmetingen met 1m rei

In december 2016 en maart 2019, dus met een tussenpoos van 26 maanden⁴ is met een 1 meter lange rei de spoorvorming in de 16 straten in Zuidwijk gemeten. In figuur 3 wordt het principe van de meting getoond.



Figuur 3. Spoorvormingsmeting met 1m rei

Na de metingen in 2016 werd geconcludeerd dat eigenlijk niets zinnigs kon worden gezegd over een eventueel significant verschil in spoordiepte tussen de verschillende wegen, omdat de meting van de spoordiepten geheel select had plaatsgevonden; daar waar visueel een spoor of kuil in de bestrating werd waargenomen, werd de spoordiepte met de rei bepaald. Feitelijk zou de spoordiepte op a-selecte plaatsen moeten worden bepaald, maar dan bestaat de kans dat een verharding 'vrij van sporen' wordt verklaard, omdat elke kuil of spoor in de bestrating net buiten de a-selecte plaats valt. De ideale manier van meten van de spoorvorming, waarbij een uitspraak kan worden gedaan over een mogelijk significant verschil tussen wegvakken, is het over het gehele oppervlak meten van de hoogteligging en daarbij de verschillen in hoogteligging t.o.v. de beginsituatie kwantificeren als 'm² oppervlak met een hoogteverschil (is zakking) van xx mm'. Omdat – bij de afdeling Basisinformatie van de dienst Stadsbeheer in Rotterdam – vanaf 2016 de inzet van scanmetingen opgang deed, werd contact met deze afdeling opgenomen. Dat resulteerde in maart 2019 in een proef met spoorvormingsmetingen met een mobiele scanauto. Zie hoofdstuk 3.

⁴ De periode van 26 maanden is niet specifiek gekozen, maar vloeide voort uit de voortgang van het onderzoek naar het meten van de spoorvorming met een mobiele scanauto.

In december 2016 is op 24 plaatsen in het linkerspoor en 24 (andere) plaatsen in het rechterspoor de spoordiepte gemeten op de 16 onderscheiden straten. De resultaten van die metingen zijn weergegeven in tabel 1. De gemeten spoordiepten kunnen worden gezien als de visueel waarneembare diepste sporen en kuilen over een te overziene weglengte (5 – 10 m).

Tabel 1. Samenvatting spoordiepten (in mm) in de verschillende straten (dec. 2016)

	blauw	geel	bruin	oranje	rood
	split, 3%, SWD	split, 1,5 %, N-SWD	straatzaand, 1,5 %, N-SWD	straatzaand, 3 %, N-SWD	referentie bss, 3 %, SWD
aantal metingen	15	3	6	19	5
gemiddelde	13,5	16,7	8,7	8,7	14,4
min	2	14	6	2	7
max	35	20	16	25	29
standaardafwijking	8,66	3,06	3,88	5,88	8,56

Op basis van de tabel kan er statistisch nog niets over verschillen in de spoorvorming in de verschillende straten worden gezegd. Visueel is er ook géén (kwaliteits) verschil waar te nemen. De indruk bestond wel dat de spoorvorming groter was, naarmate de auto's méér sporend door de straat reden. Spoorvorming was vooral zichtbaar in straten waar dubbelzijdig werd geparkeerd. Afsproken werd om in een later stadium de spoorvormingsmetingen te herhalen.

In maart 2019, na 26 maanden, werden de metingen herhaald en werd op (ongeveer) 25 gelijke plaatsen als in december 2016 de spoorvorming bepaald.

In tabel 2 wordt de spoorvorming weergegeven zoals gemeten in dec. 2016 en maart 2019. Tevens wordt de toename in spoorvorming vermeld. De resultaten laten zien dat er een gemiddelde toename van de spoorvorming over alle straten is gemeten van bijna 120%. Significante verschillen tussen de verschillende constructievarianten kunnen niet worden vastgesteld. Verschillen zijn ook visueel niet waarneembaar. Ook verschillen tussen de waterpasserende en niet-waterpasserende verharding (o.a. Schoonegge) zijn niet waarneembaar. De gemiddelde resultaten per constructievariant zijn gegeven in tabel 3.

Tabel 2. Toename spoorvorming (in %) van dec. 2016 tot maart 2019

	blauw	geel	bruin	oranje
	split, 3%, SWD	split, 1,5 %, N-SWD	straatzaand, 1,5 %, N-SWD	straatzaand, 3 %, N-SWD
aantal metingen	9	1	4	11
Gemiddelde (%)	117	114	106	125
min	25		16	13
max	350		233	400

Tabel 3. Vergelijking spoorvorming december 2016 en maart 2019
(diepste visueel waarneembare sporen zijn gemeten)

straatnaam	spoorvorming		
	dec-16	mrt-19	toename %
Beumershoek	21	48	128,6
Elsenhoek	14	30	114,3
Kapershoek	19	22	15,8
Lemsterhoek	25	30	20,0
Lemsterhoek	5	10	100,0
Lemsterhoek	15	17	13,3
Luntershoek	5	20	300,0
Ruigenhoek	11	14	27,3
Ruigenhoek	5	13	160,0
Ruigenhoek	2	10	400,0
Kruisvoorde	35	50	42,9
Kruisvoorde	16	40	150,0
Kruisvoorde	16	35	118,8
Kruisvoorde	2	9	350,0
Kruisvoorde	12	26	116,7
Bredevoorde	12	27	125,0
Bredevoorde	6	10	66,7
Bredevoorde	8	13	62,5
Rijnvoorde	16	20	25,0
Rijnvoorde	6	15	150,0
Steenvoorde	6	20	233,3
Boekenrode	8	15	87,5
Boekenrode	12	15	25,0
Boekenrode	15	20	33,3
Dommelrode	4	8	100,0
gemiddelde SPV	11,84	21,48	
	296,0	537,0	2965,9
	25	25	25
	11,84	21,48	118,6

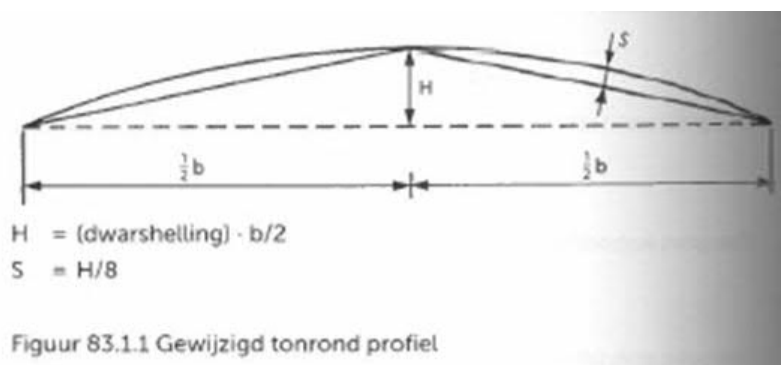
4. Spoorvormingsmetingen met mobiele scanauto

Al na de eerste serie spoorvormingsmetingen met de rei in december 2016, zie ook paragraaf 3, werd onderkend dat de spoordiepten op selecte plaatsen waren gemeten en dus eigenlijk geen goede objectieve vergelijkbare resultaten gaf. In samenwerking met de afdeling Basisinformatie van de gemeente werd een meetmethode met een (mobiele) scanner ontwikkeld.

In het voorjaar van 2019 is op een aantal straten, zowel mét als zonder waterpasserende elementenverharding⁵, met een mobiele scanauto de spoorvorming gemeten. De spoorvorming is gepresenteerd als een 'kleurenplaat' van de wegverharding, waarbij de hoogteligging van de meetpunten is gerapporteerd als afwijking van een theoretisch nul-profiel. (zowel in positieve richting = opbolling, als in negatieve richting = verzakking).

Bijlage 2 geeft een voorbeeld van de meetresultaten van twee straten, Ruigenhoek en Boekenrode, zowel met 'methode A' als nul-referentie, als 'theoretisch profiel' als nul-referentie.

Methode A als nul-referentie is hierbij de methode waarbij het hoogste punt tussen 1/3 en 2/3 van de breedte van de straat wordt aangenomen als de kruinhoogte. Tussen de trottoirbanden en deze kruinhoogte wordt een rechte lijn aangenomen. Bij de theoretische methode wordt een fictieve kruinhoogte getrokken aan de hand van de theoretische helling van de straat met de kruin in het midden. e.e.a. zoals gedefinieerd in de standaard 2015. Zie figuur 4.



Figuur. 4. Theoretische helling volgens Standaard 2015. (= verworpen meetmethode)

De juistheid van de twee profielen is visueel beoordeeld. De resultaten van 'methode A' komen voor wat betreft de 'rode verzakkingen' (= diepe verzakkingen) overeen met wat buiten wordt waargenomen. De minder grote verzakkingen en opbollingen (oranje resp. groen en geel) kunnen niet visueel worden waargenomen.

De resultaten van het theoretische profiel matchen niet met de visueel waargenomen vervormingen. Deze meetmethode is derhalve verworpen.

⁵ Niet-waterpasserende straten: Burg, Koningssingel, Schietbaanlaan, Schuilenburg, Schoonegge, Essenburgsingel, Wilgenlei, Oosterhagen.

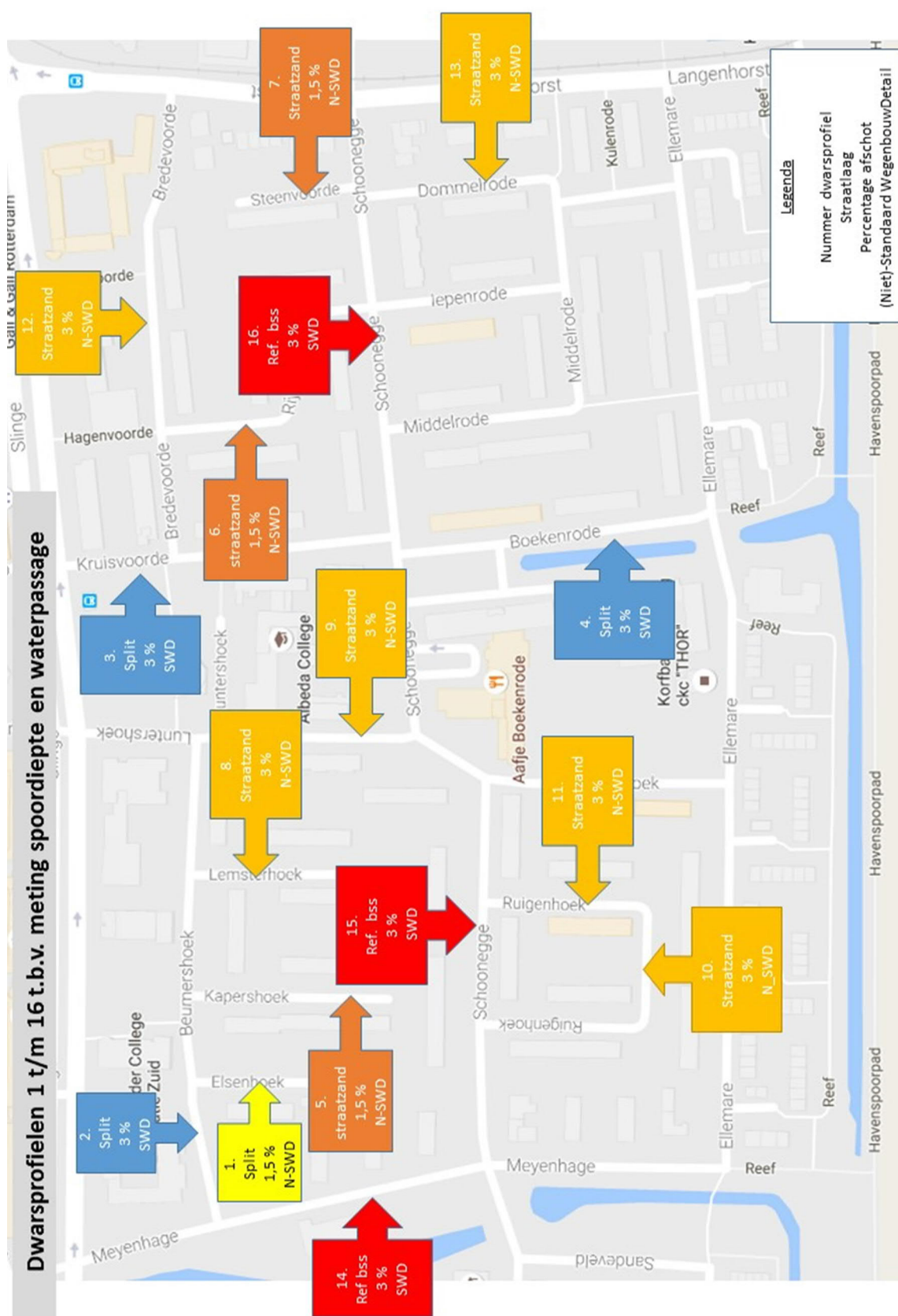
Waterpasserende straten: Elsenhoek, Boekenrode, Geunenburg, Ruigenhoek, Lemsterhoek, Steenvoorde.

Door Marc Tem Temi, afstudeerder HBO, is onderzocht of er significante verschillen zijn in spoordiepte tussen waterpasserende en niet-waterpasserende elementenverhardingen van ongeveer dezelfde leeftijd. Dat blijkt niet het geval te zijn. Na één meetronde (maart 2019) kan dus niet worden geconcludeerd dat waterpasserende bestratingen sneller spoorvorming vertonen dan niet waterpasserende bestratingen en of er verschil is tussen de hiervoor genoemde constructievarianten. Hiervoor moet de meting nog gedurende een aantal jaren worden herhaald. Het voorstel voor nader onderzoek is om de uitgevoerde spoordieptemetingen nog tenminste 2 x te herhalen, met een tussenpoos van telkens circa 1 jaar. Op basis van de meerjarige resultaten kan het eventuele verschil in spoordiepte tussen de constructievarianten en spoordiepten tussen waterpasserende en niet-waterpasserende verhardingen betrouwbaarder worden vastgesteld.

De eerstkomende meting staat voor november/december 2019 op de planning.

André Houtepen
20 november 2019.

Bijlage 1. Onderzochte wegvakken in Zuidwijk en bijbehorende variatie



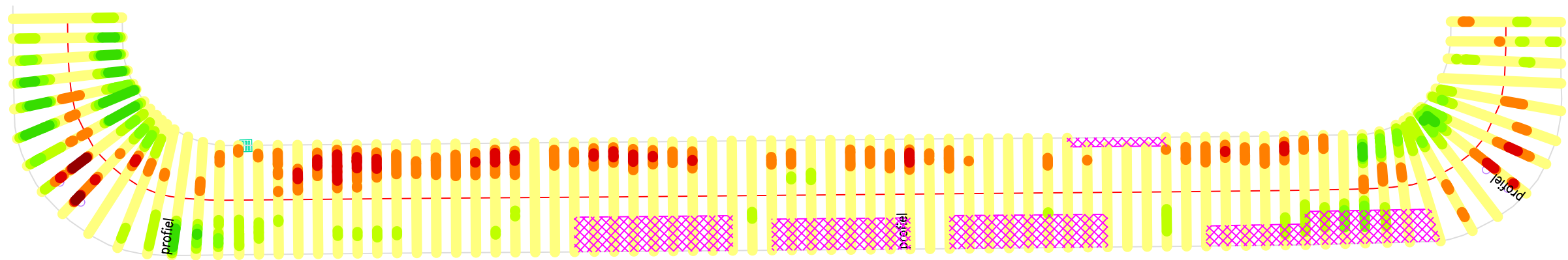
Bijlage 2. Voorbeeld van scan van spoordiepte Ruigenhoek en Boekenrode, zowel 'methode A' als 'theoretisch profiel'.

Bijgevoegd scan van spoordiepte van Ruigenhoek en Boekenrode.

De gevonden spoordiepten zijn buiten visueel gecontroleerd. Het blijkt dat de rode meetpunten (= grote vervormingen) bij 'methode A' visueel zichtbaar zijn. De oranje, gele en groene meetpunten kunnen buiten niet of nauwelijks worden waargenomen.

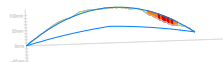
Het beeld van de 'theoretische methode' met veel gele en groene meetpunten (= opbollingen) wordt buiten niet herkend.

Methode A

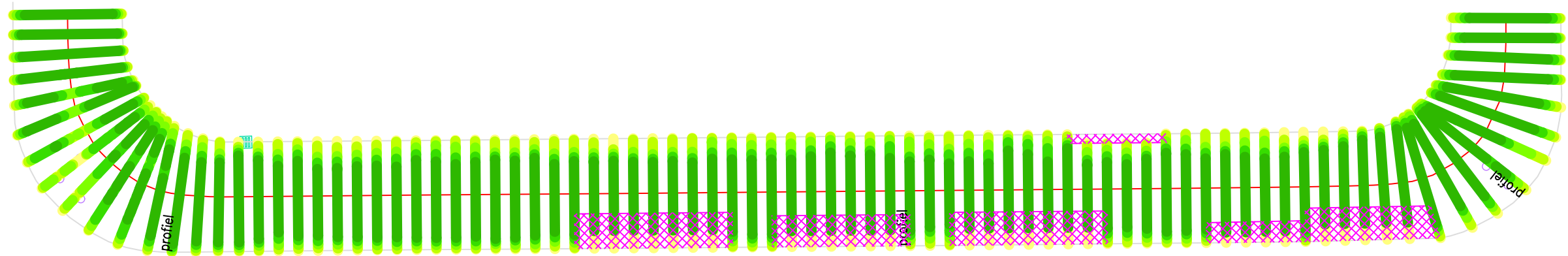


Methode A

Klasse	Van	Tot	Kleur
1	22	250	
2	17	22	
3	10	17	
4	-10	10	
5	-17	-10	
6	-22	-17	
7	-250	-22	



Methode Theoretisch: helling 15mm/m



Tonrond, theoretisch model

Klasse	Van	Tot	Kleur
1	35	250	
2	25	35	
3	15	25	
4	5	15	
5	-5	5	
6	-15	-5	
7	-25	-15	
8	-45	-25	
9	-65	-45	
10	-85	-65	
11	-105	-85	
12	-250	-105	



OPDRACHTGEVER: Gemeente Rotterdam
PROJECT: Spoorvorming 14 locaties Rotterdam
BETREFT: Spoorvorming
Ruigenhoek



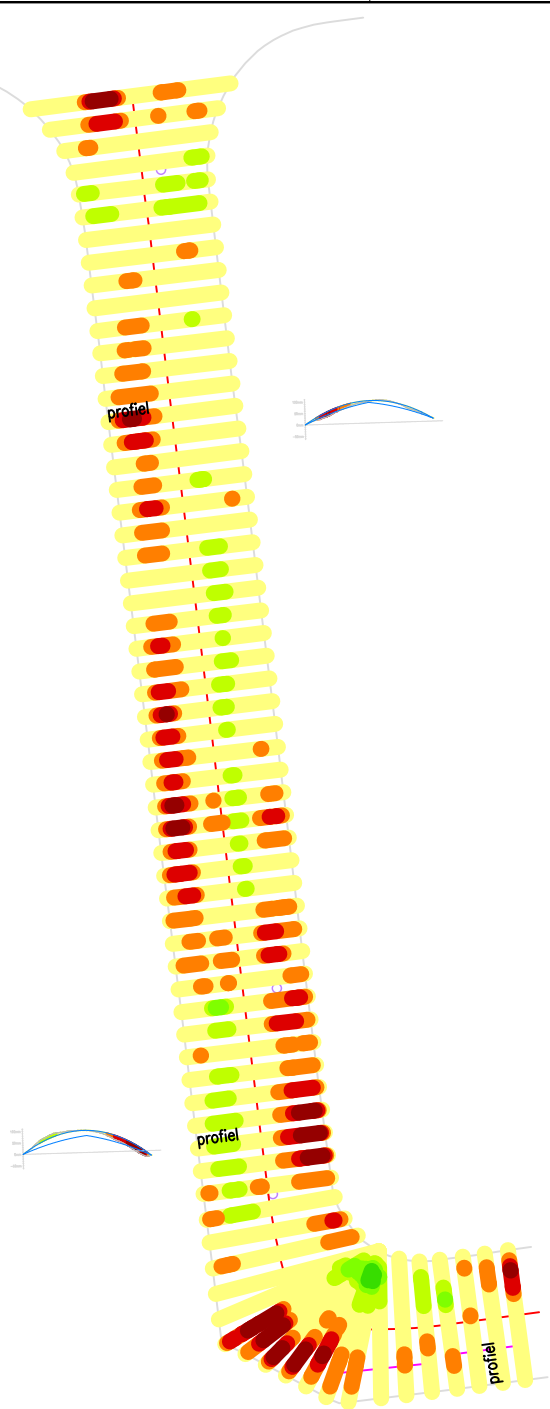
GETEKEND : Hh	SCHAAL : n.v.t.
FORMAAT : A3	DATUM : 25-03-2019
STATUS : Oplevering	PROJECTNR.: 937801
TEK.NR.: E03	BLADNR.: 1 / 14

AUARDERDIEPSTERWEG 14-II
9745 EM GRONINGEN
+31 (0)50 311 95 59

DE STUWDAM 14A&B
3815 KM AMERSFOORT
+31 (0)33 200 60 11

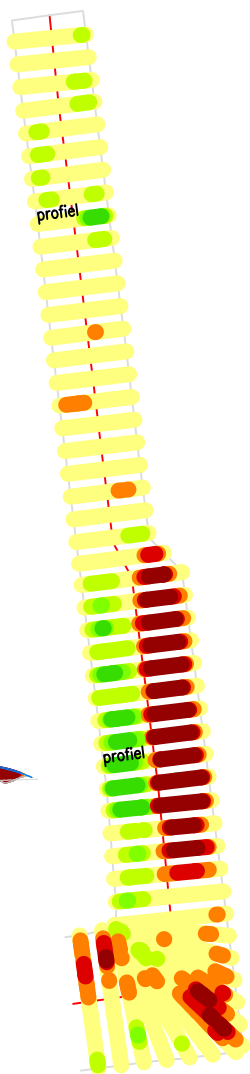
WWW.GEOMAAT.NL

Methode A

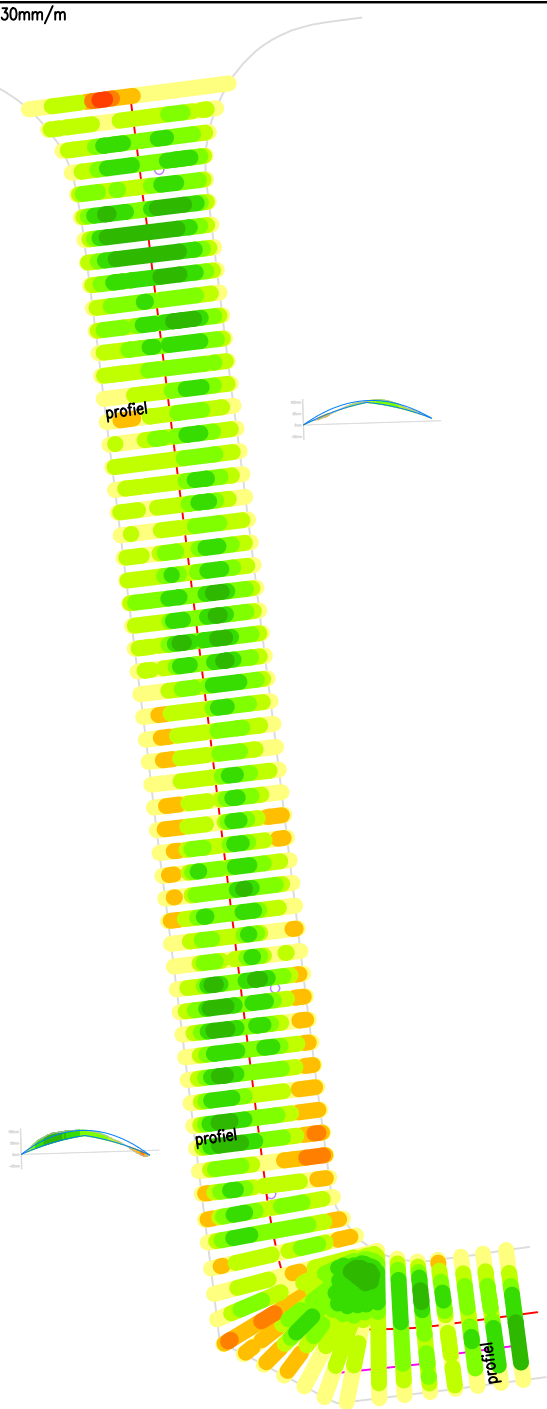


Methode A

Klasse	Van	Tot	Kleur
1	22	250	
2	17	22	
3	10	17	
4	-10	10	
5	-17	-10	
6	-22	-17	
7	-250	-22	

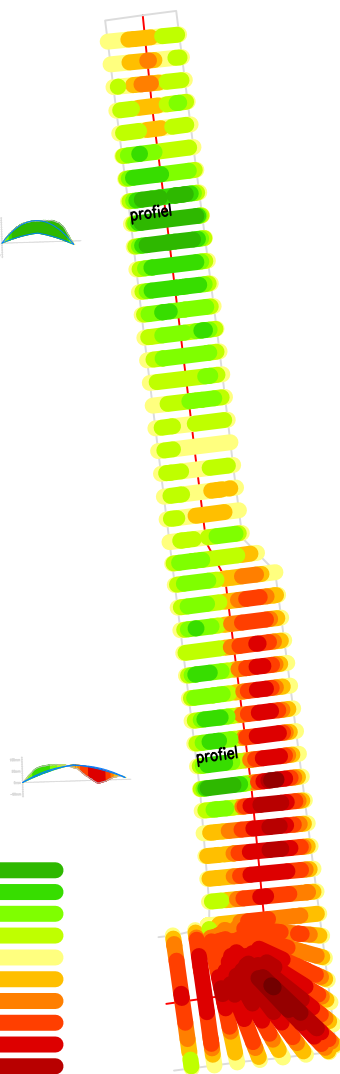


Methode Theoretisch: helling 30mm/m



Tonrond, theoretisch model

Klasse	Van	Tot	Kleur
1	35	250	
2	25	35	
3	15	25	
4	5	15	
5	-5	5	
6	-15	-5	
7	-25	-15	
8	-45	-25	
9	-65	-45	
10	-85	-65	
11	-105	-85	
12	-250	-105	



OPDRACHTGEVER: Gemeente Rotterdam
PROJECT: Spoorvorming 14 locaties Rotterdam
BETREFT: Spoorvorming
Boekenrode



GETEKEND : Hh	SCHAAL : n.v.t.
FORMAAT : A3	DATUM : 25-03-2019
STATUS : Oplevering	PROJECTNR.: 937801
TEK.NR. : E03	BLADNR.: 4 / 14

ADUARDERDIEPSTERWEG 14-II
9745 EM GRONINGEN
+31 (0)50 311 95 59

DE STUWDAM 14A&B
3815 KM AMERSFOORT
+31 (0)33 200 60 11

WWW.GEOMAAT.NL