

## Hydraulisch functioneren van wadi's in poldercondities

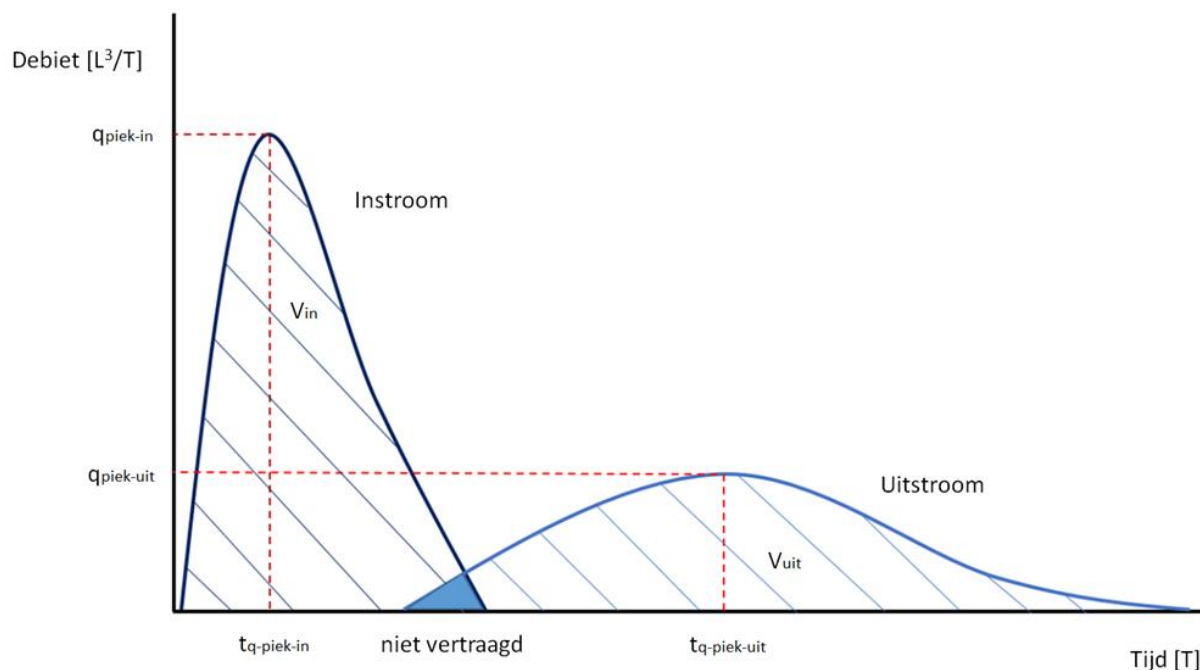
*Nàdia Mobron, Frans van de Ven, Marie-Claire ten Veldhuis (TU Delft), Ella van der Hout, Joost Nelissen (ingenieursbureau Rotterdam)*

**Om het hydraulisch functioneren van wadi's in poldercondities beter in kaart te brengen, zijn vijf wadi's in Rotterdam gemonitord. Uit de metingen blijkt dat ze het hemelwater gespreid en vertraagd afvoeren, maar de volumereductie gering is. Een wadi presteert het slechtst bij zware, langdurige buien in natte condities. De einddoorlatendheid wordt sterk bepaald door de vegetatie en minder door de grondsamenstelling. In poldercondities ligt de waarde van een wadi in het vertragen en spreiden van de afvoer; er wordt geen significante volumereductie behaald. Is de wadi binnen enkele uren leeg, dan wordt het aangesloten watersysteem nauwelijks ontlast.**

Door klimaatverandering worden er in de toekomst zowel meer extreme buien als meer droge periodes verwacht. Hierbij komt dat door verstedelijking het verhard oppervlak verder toeneemt. Beide vergroten het afstromend volume van hemelwater naar de riolering en het oppervlaktewater in een stad. Deze toevoer kan vaak niet meer goed verwerkt worden, waardoor er overlast en schade kunnen ontstaan. Om de watersystemen te ontlasten moet het hemelwater ter plaatse geborgen worden om eventueel later gespreid tot afstroming te komen. Er bestaan verschillende manieren om dit te realiseren. In dit onderzoek wordt verder ingegaan op de duurzame hemelwatervoorziening wadi's en hun hydraulisch functioneren in poldercondities.

### Wadi in poldercondities

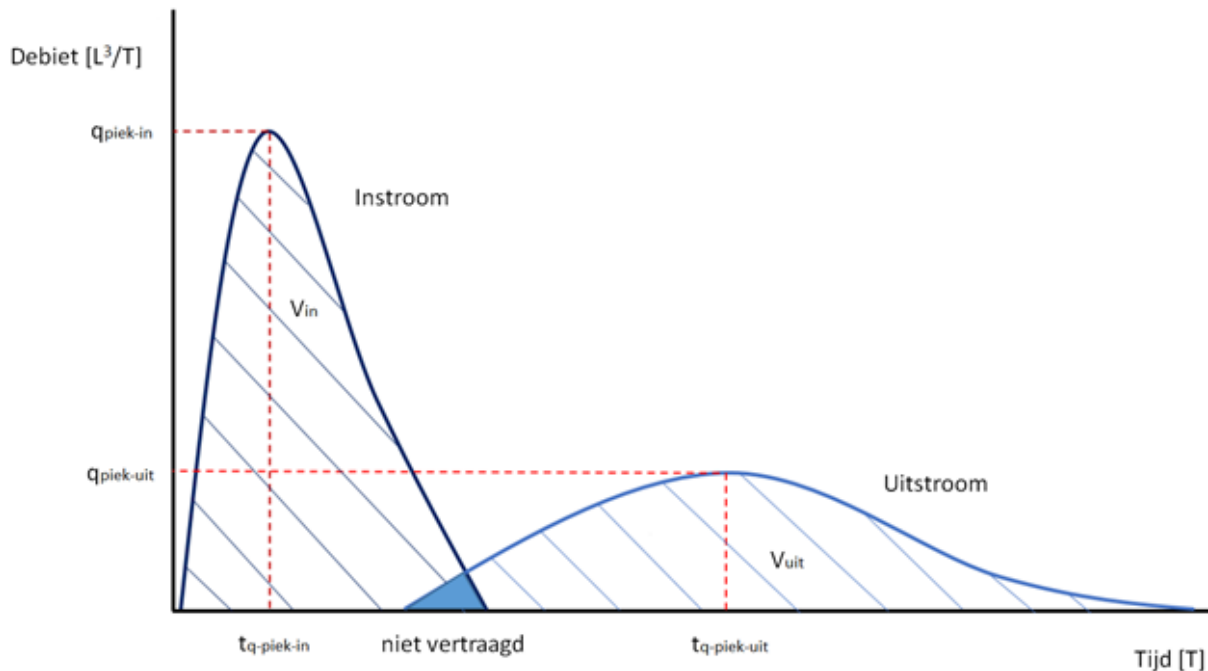
Wadi's worden vaak geconstrueerd als verlagingen van het maaiveld in groengebieden en wegbermen, waar het hemelwater van het omringende (verharde) oppervlak met een flauw talud of via buizen naartoe wordt getransporteerd. Een wadi bestaat meestal uit een toplaag geschikt voor de groei van vegetatie en een onderlaag van goed doorlaatbaar materiaal. Aangezien de natuurlijke ondergrond in polders slecht doorlatend is, wordt hier altijd drainage bij aangelegd (zie afbeelding 1). Het afstromende hemelwater wordt bovengronds in de verlaging opgevangen. Daarna infiltreert het door de ondergrond naar het grondwater om vervolgens (deels) tot afstroming te komen via de drain. Onder poldercondities worden zowel een slecht doorlatende natuurlijke grond (klei en veen) en een ondiepe grondwaterstand (1 m onder maaiveld) verstaan. Verder worden in een polder de (grond)waterstanden beheerst en zijn fluctuaties dus zeer beperkt. Alleen in droge zomers kan het grondwater echt uitzakken. Het grootste gedeelte van het geïnfiltreerde water wordt dus ook weer gedraineerd en er is geen of nauwelijks sprake van grondwateraanvulling.



Afbeelding 1. Standaardontwerp Rotterdamse wadi

### Hydraulisch functioneren

Bij een wadi wordt het instromende hemelwater tijdelijk op maaiveldniveau geborgen, waarna dit infiltreert. Het geïnfilteerde water wordt vervolgens deels in de (omliggende) ondergrond vastgehouden (volumereductie) en deels vertraagd (piekvertraging) en gespreid (piekreductie) afgevoerd via de drain [1]. Aangezien er in Nederland nog geen algemene doelstellingen zijn voor het functioneren van wadi's, wordt het functioneren tegen de zogeheten LID (low impact development)-doelen getoetst. Deze doelen voor de volumereductie, piekreductie en piekvertraging van de afvoer representeren de natuurlijke afstroming voor een gemengd bos. De doelstellingen zijn een piekreductieratio (piekuitstroom/piekinstroom) van  $<0,3$ , een piekvertragingratio (tijd piekuitstroom/tijd piekinstroom) van  $> 6$  en een volumereductieratio (volume uitstroom/volume instroom) van  $>0,3$  [1] (zie afbeelding 2). Naast de LID-doelstellingen wordt er ook naar het totaal vertraagd volume (volume dat tijdens de bui niet tot afstroming komt) en de ledigingstijd (24-48 uur) gekeken.

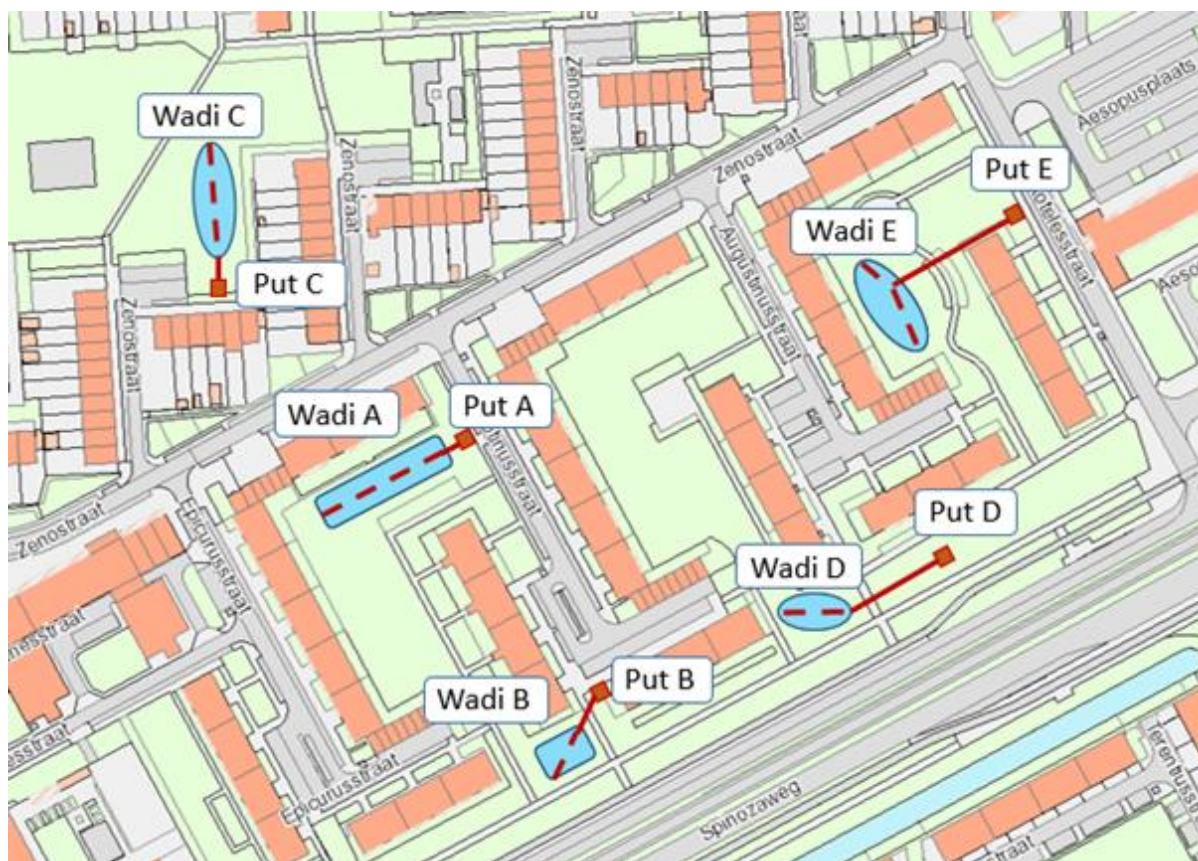


Afbeelding 2. Grafische instroom en uitstroom van een wadi

## Methode

### Locatie en opbouw wadi's

In de Zenobuurt in Rotterdam (IJsselmonde) zijn 5 wadi's gemonitord van begin februari tot eind mei 2019. De natuurlijke ondergrond in deze buurt bestond bijna geheel uit klei, met veenlagen op grotere dieptes. De grondwaterstand verschilde per wadi en fluctueerde tussen de 40 en 80 centimeter onder de wadibodem. Van de vijf wadi's hadden er vier (wadi's A, B, D en E) een vergelijkbare begroeiing en bodemopbouw, met een toplaag (20 cm) van drainagezand (ca. 75%) en tunnelcompost (ca. 25%) en hieronder een laag met drainagezand (20 cm) waarin zich de drain bevond. De grondverbetering lag alleen onder de vlakke bodem, en niet onder de taluds. Wadi C had een vergelijkbare grondopbouw (bovenlaag maar 5 cm), maar een veel hogere begroeiing (ruw gras en onkruid). Ook was er geen talud richting de wadi aanwezig, maar een verhoogde berm rondom de wadi. Deze functioneerde namelijk als overstortvoorziening van het drainage-infiltratie-transport (DIT)-riool van de Zenobuurt. De wadi's hadden een drain van 200 mm die vrijaf stroomde voor wadi's B en D, wadi C had een drain van 315 mm. Met uitzondering van wadi C ontvingen alle wadi's afstromend hemelwater vanuit hun omliggende groengebied inclusief (deels) verharde paden. Wadi's A, B, D en E waren aangelegd in de lente van 2017, wadi C in 2014.



Afbeelding 3. Locatie wadi's met drainage en putten

### **Simulatie buien**

Voor alle vijf wadi's zijn vier buien gesimuleerd door de wadi's te vullen uit een waterwagen (zie afbeeldingen 4 en 5). Bij wadi's B en C kon dit niet volledig worden uitgevoerd (zie resultaten).

(1) Zware bui in droge condities. Deze bui vulde de wadi volledig in een uur. Voorafgaand aan deze simulatie was het 3 dagen droog geweest.

(2) Zware bui in natte condities. Deze bui vulde de wadi volledig in een uur. Voorafgaand aan deze simulatie was er significante neerslag geweest of was de wadi handmatig gevuld. Er was in de wadi zelf geen water meer aanwezig.

(3) Zware bui met twee pieken. Dezelfde hoeveelheid water als bij buien 1 en 2, maar nu was de vulling verdeeld over twee momenten, in 12 tot 24 uur na elkaar. Bij de tweede vulling stond er nog water in de wadi van de vorige vulling.

(4) 'Normale' bui. Dit was een bui die de wadi deels vulde (ongeveer een derde van de andere simulaties) over twee uur.

Buien 1 tot 3 waren maatgevende buien, die verschilden in initiële condities (droog/nat) en duur van de neerslag. Bui 4 was niet maatgevend, maar representeerde het functioneren van de wadi bij reguliere neerslag beter. Aangezien het van het geometrisch ontwerp van een wadi en het aangesloten oppervlak afhangt bij welke bui de wadi compleet gevuld wordt, is ervoor gekozen niet naar bui-intensiteit te kijken, om de wadi's eerlijk te kunnen vergelijken (20 mm/uur over 50 m<sup>2</sup> geeft hetzelfde volume als 50 mm/uur over 20 m<sup>2</sup>).

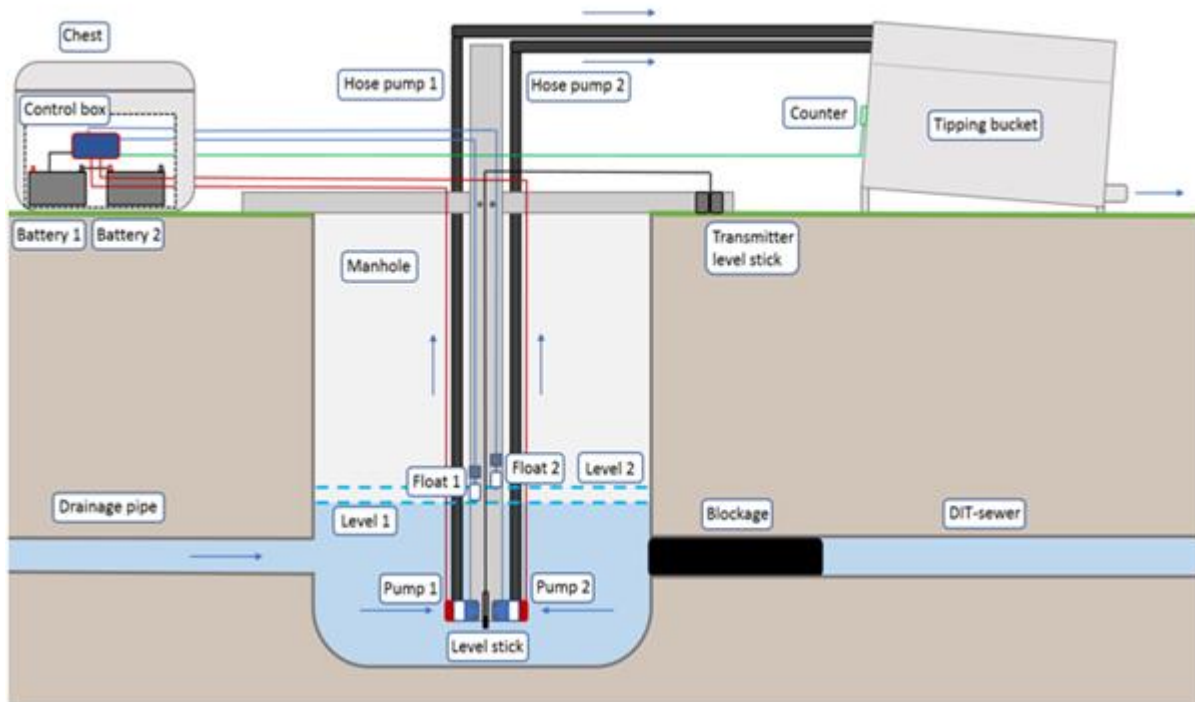


Afbeelding 4. Vulling wadi B



Afbeelding 5. Gevulde wadi A





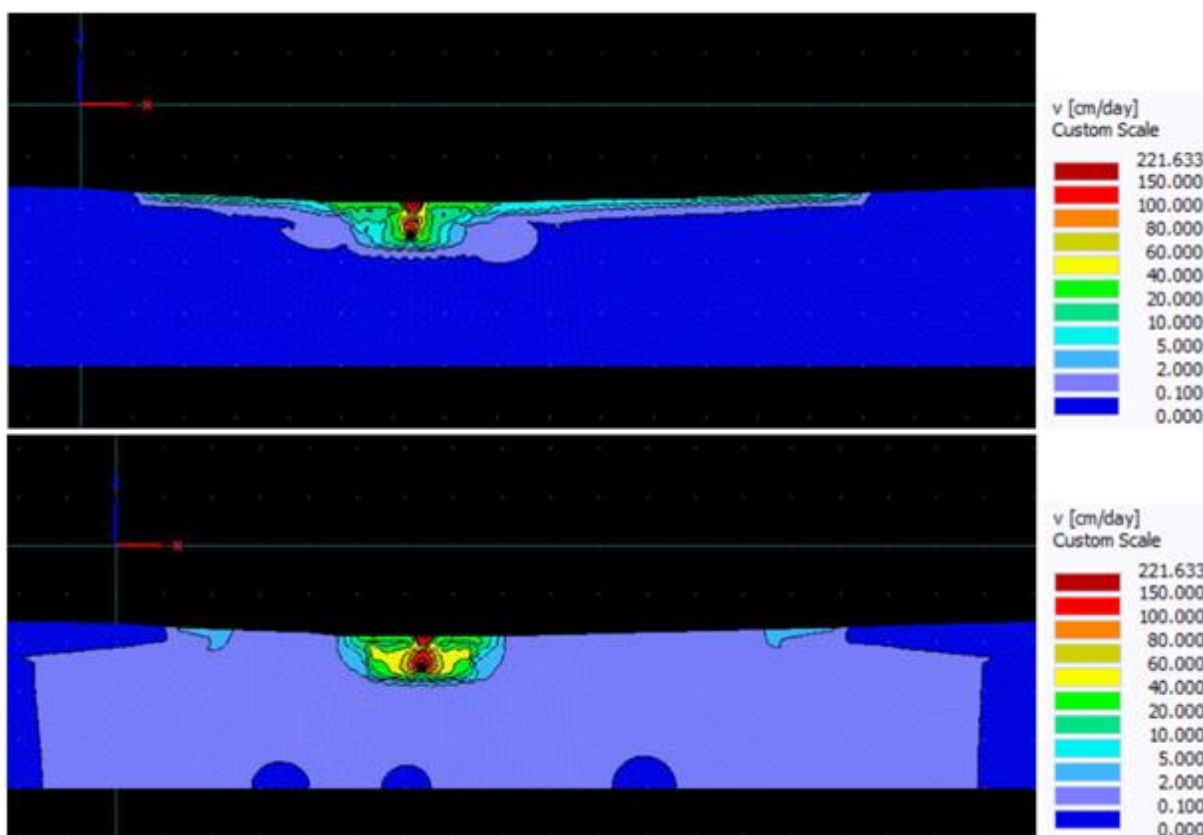
Afbeelding 7. Schematische weergave van de debiet-meetopstelling



Afbeelding 8. Foto debietmeetopstelling

### Grondonderzoek en Hydrus 2D/3D

In elke wadi zijn de volgende grondmonsters genomen: 2x toplaag, 2x bodemlaag, 1x natuurlijke grond. Met deze monsters is een korrelgrootteverdeling gemaakt, die het percentage grind (>2 mm), zand (0,063-2 mm), silt (0,063-0,002 mm) en lutum (< 0,002 mm) bepaalt (NEN 5753:2018 nl). Bij deze zeefmethode wordt het grondmonster door verschillende zeven gehaald, waar op elke zeef een bepaalde fractie (bijv. 0,063 tot 2 mm) achterblijft. Het lutumgehalte wordt niet met de zeefmethode bepaald, maar met de pipetmethode. Daarnaast is het percentage organisch materiaal bepaald (RAW 2015, test 28, 'gloeiverlies'). Hierbij wordt een monster eerst op een lage temperatuur gedroogd zodat er geen water meer aanwezig is, waarna het gewogen wordt en vervolgens aan een hoge temperatuur blootgesteld. Bij deze temperatuur verbranden organische stoffen. Aan het einde wordt het monster weer gewogen, waarbij het verschil in gewicht het gewicht aan organisch materiaal weergeeft. Met de resultaten van het grondonderzoek als eerste input, is Hydrus 2D/3D gebruikt om de wadi's te modelleren [4]. Dit is een modelleringsprogramma voor onder meer de onverzadigde zone, dat hier gebruikt is voor het modelleren van het leeglopen van de wadi's. Met de meetresultaten uit het veld is dit model verder gekalibreerd.



Afbeelding 9. Stroomsnelheden uit Hydrus 2D/3D van wadi E van respectievelijk 1 uur en 5 uur na vullen



## Resultaten

### *Buisimulaties*

Door verstopping kon wadi B na twee vullingen niet meer worden gebruikt. Wadi C was juist zo doorlatend dat er nooit water bleef staan. Daarom worden alleen de resultaten van wadi's A, D en E hieronder meegenomen. De resultaten zijn ook in tabel 1 terug te vinden. Met de gevonden piekreductie, piekvertraging, het vertraagd volume, de volumereductie en de ledigingstijd is het volgende geconcludeerd:

- De piekreductie is iets lager bij initiële natte condities, stijgt bij grotere buien en daalt bij buien van langere duur. Het piekreductieratio voor buien 1 en 2 ligt tussen de 0,017 en 0,048. Voor bui 3 wordt een piekreductie tussen de 0,032 en 0,128 gevonden, voor bui 4 tussen de 0,13 en 0,25. Alle piekreductieratio's vallen ruim binnen het LID-doel van <0,3.
- De piekvertraging wordt kleiner wanneer de initiële condities natter zijn, wordt groter bij grotere buien en kleiner bij buien van langere duur. Het piekvertragingratio voor buien 1 en 2 ligt tussen de 2,9 en 15,3. Voor bui 3 wordt een piekvertraging tussen de 1,3 en 14,2 gevonden, voor bui 4 tussen de 1,2 en 4,4. Ongeveer een derde van de buien haalt het LID-doel van >6. Wadi E (meer doorlatend) presteert op dit gebied slecht voor alle buien, de overige wadi's voornamelijk bij kleine buien.

Achteraf is het piekvertragingratio geen goede methode om de vertraging te definiëren. De piekvertraging in uren voor buien 1 en 2 lag tussen de 1,5 en 6 uur, voor bui 3 tussen de 0,6 en 4,1 uur en voor bui 4 tussen de 1,2 en 4,4 uur.

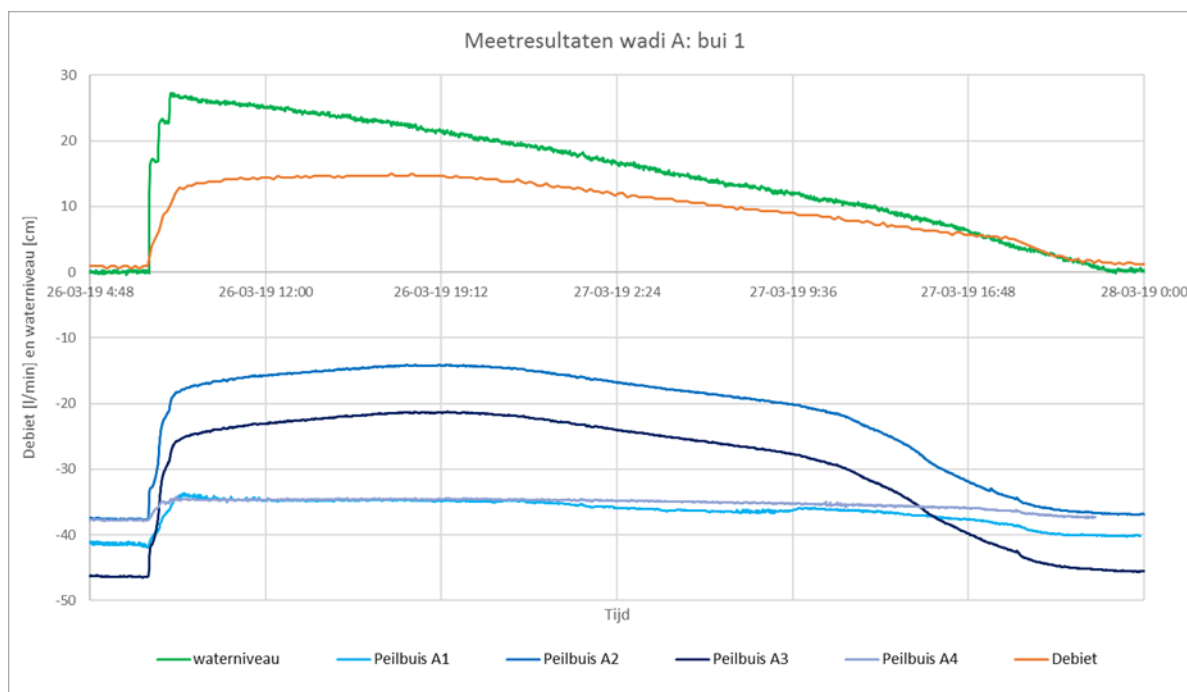
- Het totaal vertraagde volume is iets groter bij droge initiële condities, groter voor grotere buien en wordt zeer snel kleiner bij buien van langere duur. Het vertraagd volume voor buien 1 en 2 ligt tussen de 97,9% en 99,7%. Voor bui 3 wordt een vertraagd volume tussen de 72,2% en 76,7% gevonden en voor bui 4 tussen de 90,9% en 96,8%.
- De volumereductie is groter bij droge initiële condities, al is dit verschil niet heel groot. De volumereductie is wel veel groter voor kleine buien, en iets groter voor buien van langere duur. Het volumereductieratio voor buien 1 en 2 ligt tussen de 0,72 en 0,81. Voor bui 3 is een volumereductieratio tussen de 0,74 en 0,82 gevonden, voor bui 4 tussen de 0,55 en 0,65. Alle volumereductieratio's halen het LID-doel van <0,3 bij lange na niet.
- De ledigingstijd is groter bij initiële natte condities, korter bij kleinere buien en langer bij buien van langere duur. De ledigingstijd voor buien 1 en 2 ligt tussen de 26,4 en 38,4 uur. Voor bui 3 is een ledigingstijd tussen de 32,5 en 44,1 uur gevonden en voor bui 4 tussen de 10,4 en 12,1 uur. Bij ledigingstijden langer dan 34 uur waren duidelijke tekenen van verstopping te zien, er ontstonden kale plekken in de grasmat en de ledigingstijd neemt toe na elke vulling (van 2 tot bijna 7 dagen bij wadi B).

Daarbij komt dat deze wadi's maar tot een waterhoogte van ongeveer 20 cm gevuld werden, waar de maximale waterhoogte 30 cm bedraagt.

Tabel 1. Meetresultaten buisimulaties wadi's A, D en E

Wadi's	Bui 1	Bui 2	Bui 3	Bui 4
<b>Wadi A</b>				
Piekreductieratio [-]	0,028	0,026	0,049	0,130
Piekvertragingratio [-]	9,97	8,07	3,63	1,15
Volumereductieratio [-]	0,76	0,77	0,75	0,65
Vertraagd volume [%]	99,0	98,71	72,3	90,9
Piekvertraging [uur]	4,58	3,57	1,78	0,18
Ledigingstijd [uur]	29,3	38,85	44,13	10,4
<b>Wadi D</b>				
Piekreductieratio [-]	0,021	0,017	0,046	0,160
Piekvertragingratio [-]	6,37	15,29	14,23	4,38
Volumereductieratio [-]	0,82	0,81	0,74	0,91
Vertraagd volume [%]	99,6	99,72	72,21	96,56
Piekvertraging [uur]	2,96	5,9	2,23	3,37
Ledigingstijd [uur]	38,4	49,18	43,3	12,1
<b>Wadi E</b>				
Piekreductieratio [-]	0,047	0,038	0,128	0,250
Piekvertragingratio [-]	3,93	2,93	1,27	2,4
Volumereductieratio [-]	0,68	0,77	0,82	0,55
Vertraagd volume [%]	98,0	97,86	76,68	96,84
Piekvertraging [uur]	1,38	0,97	0,58	1,42
Ledigingstijd [uur]	26,4	35,23	32,48	11,42

De grondwatermetingen lieten zien dat het grondwater in de grondverbetering niet tot het maaiveld steeg. De drain was dus niet limiterend voor de infiltratie, maar de doorlatendheid van de bovenste grondlaag (zoals beoogd in het ontwerp). De peilbuizen naast de drains (peilbuis 1 en 4) reageren met 1,7 tot 8,5 cm. Aan de rand van de wadi's (peilbuis 3) is een stijging van 13,2 tot 29,2 cm te zien. Buiten de wadi is de grondwaterstijging beperkt tussen de 1,8 en 4,6 cm (peilbuis 5). Een voorbeeld van alle metingen in een grafiek wordt gegeven in afbeelding 8.



Afbeelding 10. Meetresultaten, voorbeeld wadi A

### Veldobservaties

Over het algemeen was de kwaliteit van het gras in de wadi's vergelijkbaar met en soms zelfs beter dan die in het omringende groengebied. Vooral wadi's A en E, die ook de breedste grondverbetering en het meeste zonlicht hadden, vertoonden gezondere vegetatie. Bij wadi's B en D waren meer kale plekken te zien en het omringende gras zag er niet veel beter uit door bladinvall en gebrek aan zonlicht. Wadi B was bij de tweede simulatie al sterk verstopt (ledigingstijd naar bijna een week), waar wadi D pas na zes simulaties tekenen van verstopping liet zien. Bij de overige wadi's bleef de grasmat goed doorlatend. Wadi C had zelfs zo'n hoge doorlaatbaarheid dat er helemaal geen water bleef staan, zelfs niet na een instroom van 40 m<sup>3</sup> in een uur. Dit werd veroorzaakt door de dunne bovenste grondlaag en hoge vegetatie die veel grotere poriën realiseerde. Aangezien de debietmeter de uitstroom niet kon bijhouden, zijn de buisimulaties hier niet gedaan.

### Grondanalyse en Hydrus 2D/3D

Uit het grondonderzoek van de toplagen van de wadi's blijkt dat de samenstelling niet veel verschilt. Verder is nagegaan dat de onderlaag inderdaad (bijna) volledig uit zand met grind bestaat (92,3% tot 98,1%). De resultaten van het laboratoriumonderzoek van de toplaag zijn terug te vinden in tabel 2. Met uitzondering van wadi B, die een zand/grindfractie heeft van maar 65%, hebben de wadi's een zand/grindfractie tussen de 79% en 82%. Dit kan de lage doorlatendheid verklaren. Uit de literatuurstudie [2] is gebleken dat de doorlaatbaarheid van een wadi na twee jaar nauwelijks meer afhankelijk is van de grondsamenstelling, maar vooral afhangt van de door vegetatie en bodemleven gecreëerde macroporiën. Een wadi begint normaal met een hoge doorlaatbaarheid (hoge zandfractie), maar in de loop van de tijd slibben de poriën dicht en daalt de doorlaatbaarheid sterk. De wortels van planten en bodemleven creëren echter weer nieuwe poriën en na ongeveer twee jaar bereiken deze processen een evenwicht. Het belang van deze macroporiën is gevalideerd met het Hydrus 2D/3D-model. Alleen door dit mee te nemen in de modellering kon de debietcurve uit de

veldmetingen worden geproduceerd. De wadi's hadden een doorlatendheid tussen de 14,0 en 16,9 cm/d. Dit is aan de lage kant.

Tabel 2. Samenstelling toplaag wadi's

Samenstelling toplaag	Wadi A	Wadi B	Wadi C	Wadi D	Wadi E
Grind [%] [>2 mm]	7,3	2,1	3	7,9	2,5
	2,5	1,6	4,4	2,4	1,2
Zand [%] [2-0.063 mm]	73,4	65,8	46,4	69,5	71,5
	81,4	60,7	76,3	81,4	82,2
Silt [%] [0.063-0.002]	13,9	23,1	39,1	18,5	22,7
	10,9	26,2	15,1	12,7	13,2
Lutum [%] [<0.002]	5,4	9	11,6	4,1	3,3
	5,2	11,5	4,1	3,4	3,3
Gehalte organische stof [%]	6,4	5,6	6,7	6,9	11,1
	6,4	6,6	-	5,4	11,2
D10	0,014	0,003	0,002	0,009	0,004
	0,012	0,002	0,01	0,015	0,014
D50	0,197	0,148	0,063	0,206	0,204
	0,22	0,109	0,254	0,21	0,235
D70	0,294	0,237	0,201	0,321	0,314
	0,311	0,198	0,355	0,313	0,325

## Conclusies

Over het algemeen kan gesteld worden dat de wadi's bij zware buien van langere duur (of meerdere korte, intense buien vlak na elkaar) in natte condities het slechtst functioneren. De volumereductie is significant beter voor kleinere buien (30% tegen 15% reductie), en het vertraagd volume reduceert sterk onder buien van langere duur (99% tegen 74%). De piekreductie bij kleinere buien wordt wel snel minder, maar blijft boven de LID-doelstelling. De volumereductie haalt de LID-doelstellingen nooit, maar dit was in poldercondities ook niet te verwachten. Het doel voor piekvertraging wordt vaak gehaald bij zware buien, nooit bij normale buien.

De hoogste winst zit hem in de piekreductie, die voor extreme buien tot 10 keer beter is dan de doelstelling. Samen met de vertraging ligt hier de voornaamste waarde van wadi's in poldercondities. Loopt een wadi binnen enkele uren leeg (zoals wadi C), dan kan er net zo goed een gescheiden stelsel worden aangelegd.

De belangrijkste ontwerpparameter voor het goed functioneren van een wadi is de doorlaatbaarheid van de toplaag. Deze mag niet te laag zijn (opeenvolgende buien, gezondheid vegetatie en gezondheidsrisico's) maar dus ook niet te hoog (weinig vertraging en spreiding van de afvoer). Deze parameter is ook het moeilijkst te controleren, aangezien hij afhankelijk is van elkaar tegenwerkende processen (verstopping en vegetatie). Wel wordt hergebruik van vrijgekomen grond tijdens de werkzaamheden sterk afgeraden, aangezien de samenstelling van de toplaag zeer nauw luistert. Voor een ledigingstijd van 24-48 uur is een doorlaatbaarheid van minstens 0,3 m/d nodig [3]. Dit kan gehaald worden met grondverbetering in de volledige bodem en taluds. Hierbij is het belangrijk dat de doorlaatbaarheid tijdens de aanleg hoog genoeg is (> 0,5 m/d), zodat de vegetatie zich over twee jaar kan ontwikkelen zonder te verdrinken.

Wadi's zijn in poldercondities goed toepasbaar. Hierbij moet er wel rekening mee worden gehouden dat de wadi zijn water niet of nauwelijks aan de omgeving kan afgeven. Het is dus noodzakelijk om voor een ontwateringsmiddel te zorgen en de vertraging en spreiding van de afvoer als hoofddoelstellingen te nemen. In dit onderzoek is uitgegaan van de LID-doelstellingen. Voor wadi's in poldergebieden zal de uitstroom via een hemelwaterstelsel naar het oppervlaktewater worden geleid, waarna een gemaal het water wegpompt. Bij welke spreiding en vertraging van de afvoer het achtergelegen watersysteem baat heeft, moet in gesprek met de waterschappen en beheerders van de riolering worden bepaald.

### Referenties

1. Lewis, J.F., Hatt, B.E., Deletic, A., and Fletcher, T.D. (2008). The impact of vegetation on the hydraulic conductivity of stormwater biofiltration systems. Proceedings of the 11th International Conference on urban drainage. ICUD, Edinburgh, UK. pp. 1–10.
2. Davis, A. P. (2008). "Field performance of bioretention: Hydrology impacts." J. Hydrol. Eng., 13(2), 90–95.
3. Boogaard, F., Bruins, G. and Wentink, R. (2006). "Wadi's: aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer". Ede, RIONED.
4. Šimůnek, J., Šejna, M., Genuchten, M.T. van, *HYDRUS (2D/3D)*.  
<https://soil-modeling.org/resources-links/model-portal/hydrus-2d-3d>