13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Oriënterend onderzoek bodemkwaliteit wadis

ワディの効果と楽しみ

このシステムにより、以下のような効果や楽しみが創出されている。まず、地下水レベルの維持のために、浸透エリアを設けることで地下水涵養がなされている。また、雨水の保持により、乾燥防止を含めた、微気候調整がなされている。そして、生態育成として、ワディには樹木や草花が保護・育成され、個人の庭とも組み合わされて、地区に豊富な緑と美しい景観を提供している（図 11）。また最終的な余剰排水先としての貯水池としての湿地は、ビオトープの役割を果たしている。

図 11 個人の庭でワディの緑を楽しむ

また、治水・利水の観点からは、オランダの基本原則の、「まず雨をその場に保つ」ことが適応されてとなることは避けられている。加えてワディは、降雨時は雨の溜まり場として、また雨の降らないときは、子供の遊び場や住人の散歩道などとして多目的に利用されている（図 12）。このように浸透エリアであるワディに公共空間としての機能が加わり、生活の豊かさやコミュニティの創出に対し、社会的な役割を果たしていることは非常に重要である。そして、雨と生活の空間が統合されることにより、水の流れにより循環に気づき、水溜まりにより雨の余韻を楽しみ、水の恵みに感謝することができるだろう。

図 12　ワディで遊ぶ子供たち

情報提供

Floris Boogaard, TAUW BV

Gerdrik Bruin, Waterschap Regge en Dinkel

参考文献

Floris Boogaard, Gerdrik Bruin, Ronald Wentink (2006) *Wadi's:*

GEOLOGICAL SURVEY OF NORWAY - NGU -

Hanzehogeschool Groningen

Stichting RIONED

stowa

twitter LinkedIn ResearchGate

INXCES

Interreg North Sea Region WaterCoG

Tauw

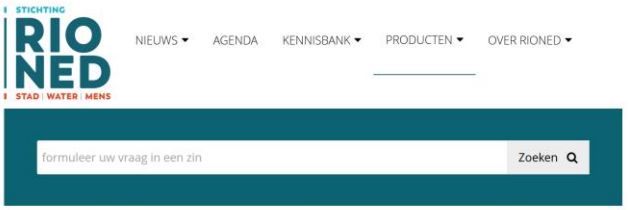
Dr.ir. F.C. (Floris) Boogaard,
06-51 55 68 26
e-mail: Floris@nooderruimte.nl

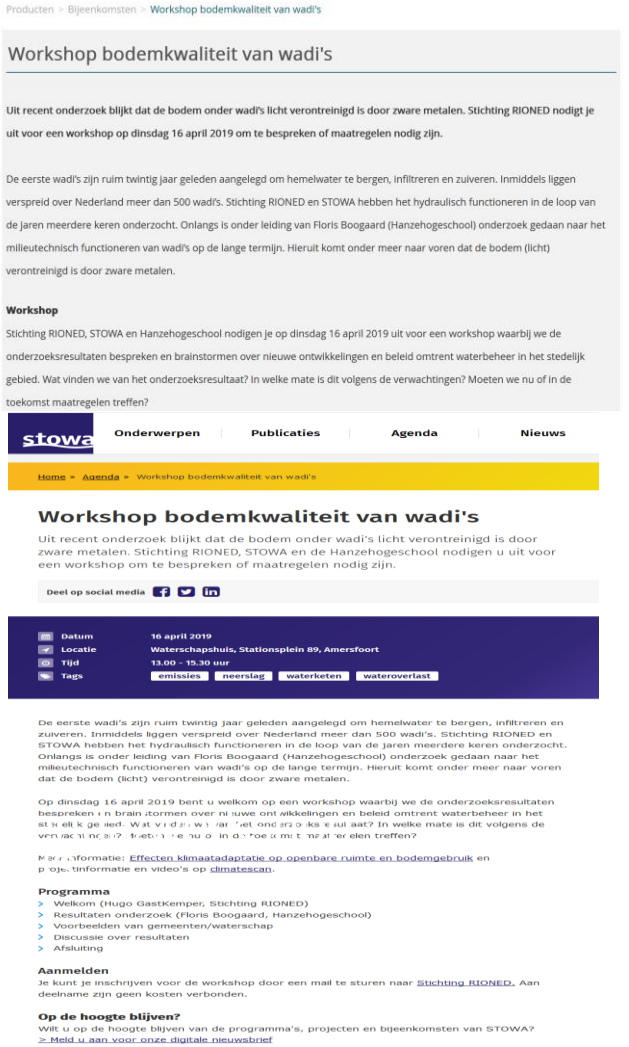
Jasper Schmeits (Tauw)
M +31 65 37 94 21 7

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed
expertise bodem en ondergrond

- Inleiding
  - Geschiedenis van de wadi
    - Literatuur, welke keuzes?
- Onderzoek
  - XRF methode (Jasper)
- Resultaten
  - Discussie
  - Meer info





H2O

Bodemvervuiling in wadi's onderzocht met nieuwe methode

Klimaatadaptatie staat in Nederland hoog op de agenda en vraagt om een andere inrichting van de openbare ruimte. Grote regenbuien passen niet in rioolbuizen dus wordt verharding vervangen door groen. Groenvoorzieningen krijgen functies als waterberging en infiltreren regenwater in de bodem, zoals bij wadi's (water afvoer drainage en infiltratie). Het afstromend regenwater dat infiltreert bevat verontreinigingen zoals PAK en zware metalen die in de toplaag van de wadi worden afgevangen. De concentraties zijn echter zo laag dat vervuiling pas na jaren meetbaar is.

Door: Floris Boogaard (Hanzehogeschool/Tauw)

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

oriënterend onderzoek:

Interreg North Sea Region WaterCoG European Regional Development Fund EUROPEAN UNION

WaterCoG Search

WaterCoG

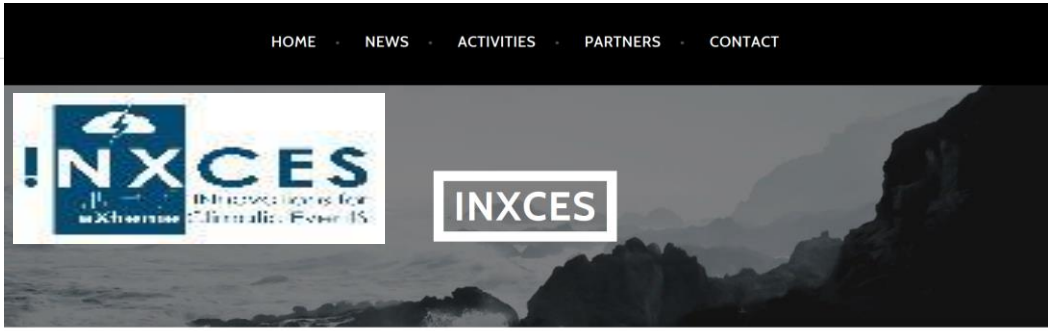
About

News

Events

Welcome to the web space for the WaterCo-Governance (WaterCoG) project. WaterCoG is a project co-funded by the North Sea Region Programme 2014 - 2020.

Working with a range of partners and stakeholders from Sweden, Germany, Denmark, Netherlands and the UK, WaterCoG aims to understand the extent to which effective stakeholder and community participation in water management (co-governance) can deliver more sustainable and long-term approaches to managing North Sea Region (NSR) ecosystems by improving the implementation of key environmental objectives such as the Water Framework Directive (WFD).



Activities

Stichting RIONED

stowa

Hanzehogeschool Groningen

GEOLOGICAL SURVEY OF NORWAY - NGU -

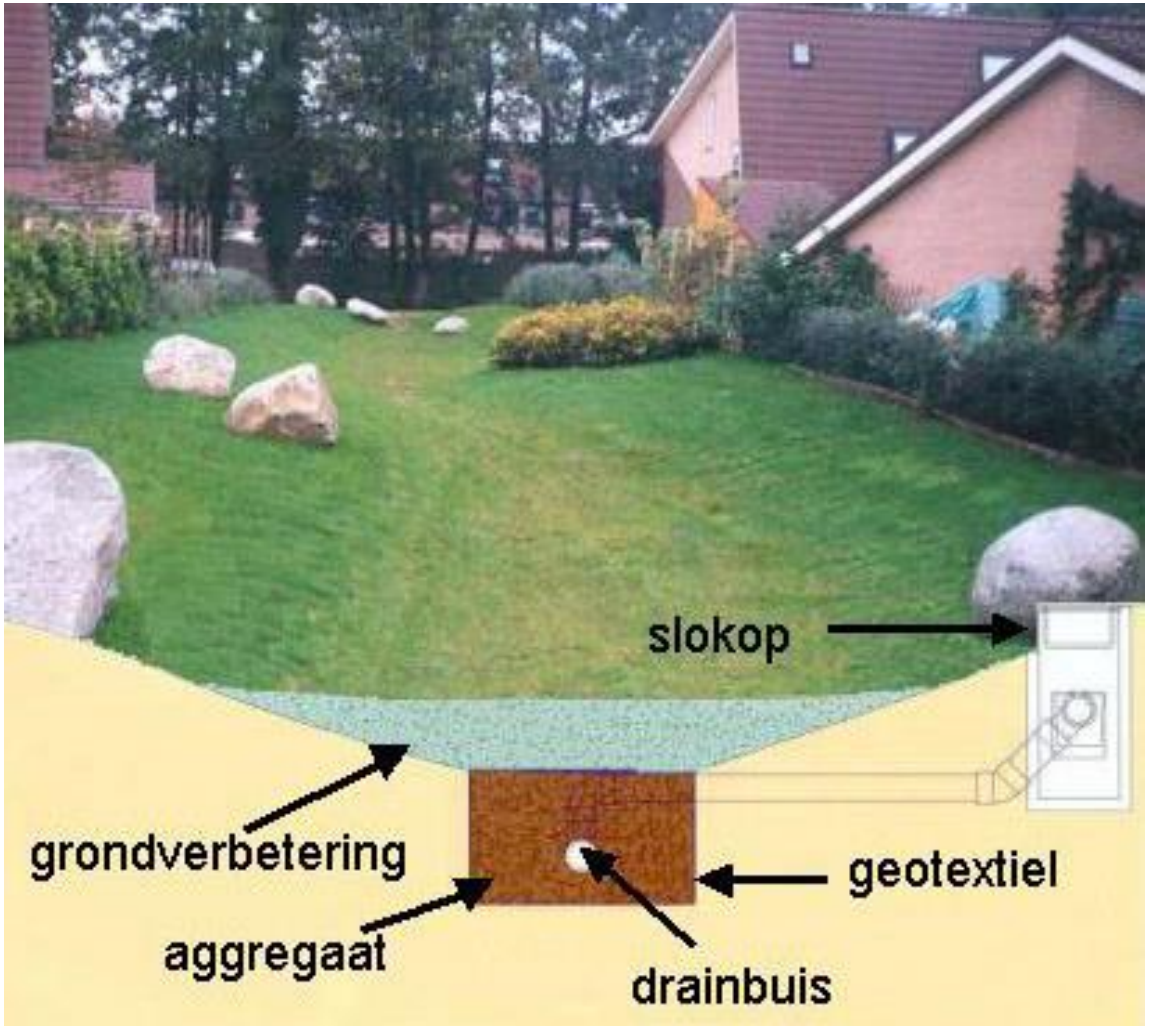
Tauw

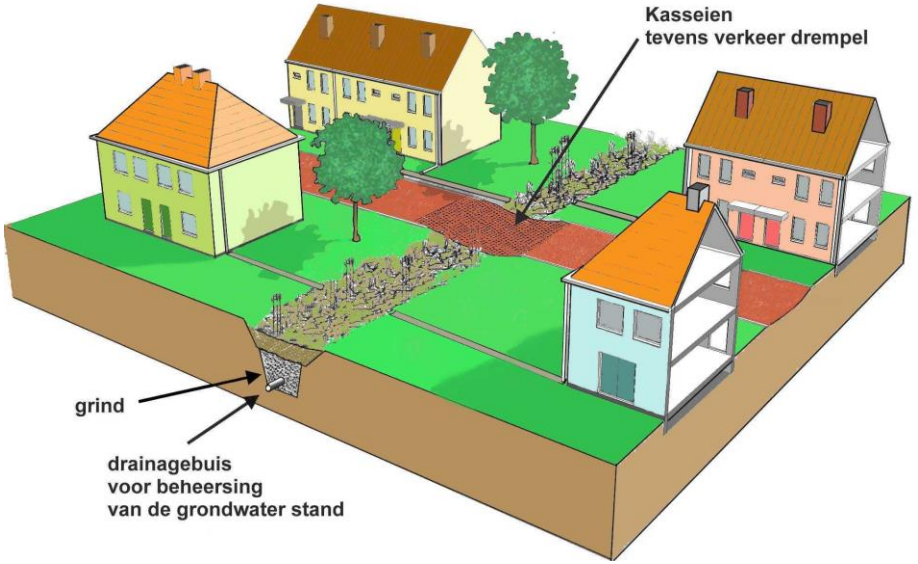
13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

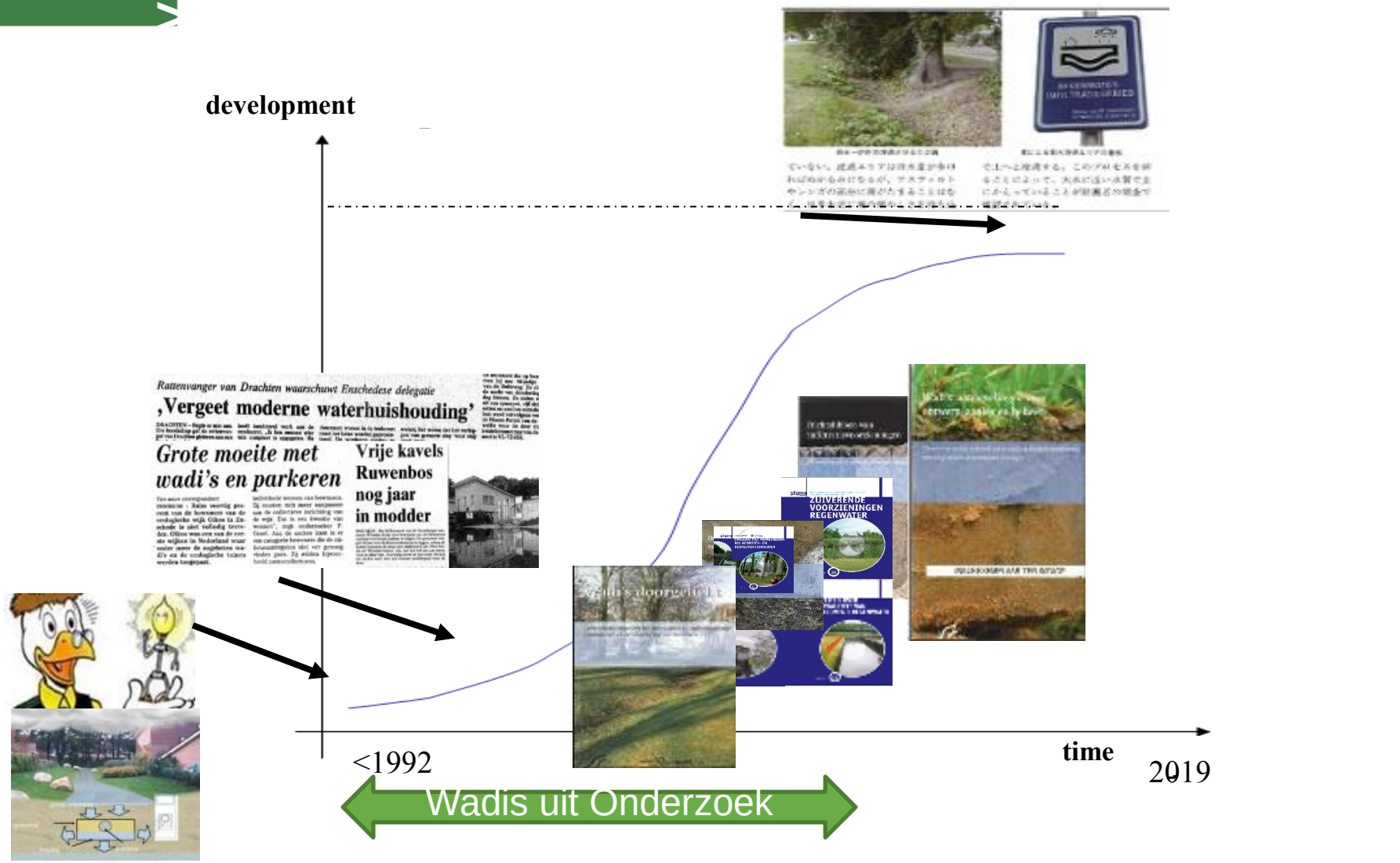
expertise bodem en ondergrond

Wat is een wadi?





Geschiedenis



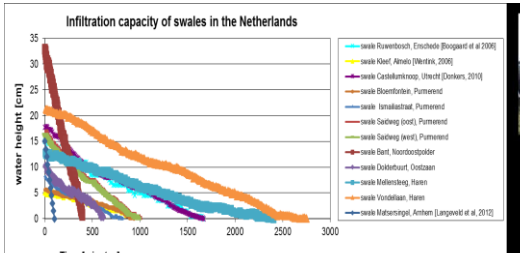
Boogaard F.C. Climate adaptation from Groningen to Mae Phaem, Inaugural speech on Spatial Transformations – Water, ISBN 9789081935692 Kenniscentrum NoorderRuimte Hanzehogeschool, Groningen, February 2016.

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Onderzoek hydraulisch
Niet veel problemen.. Milieutechnisch?



13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise
bodem en ondergrond

Hydraulisch en milieutechnisch?

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed
expertise bodem en ondergrond

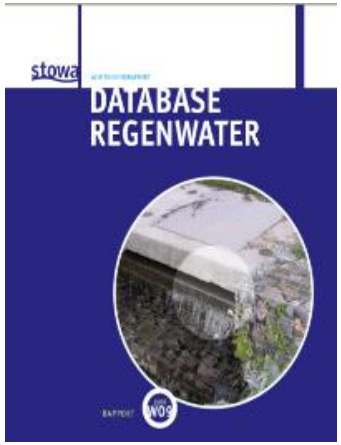
Kwaliteit regenwater
Liever zichtbaar afvoeren?

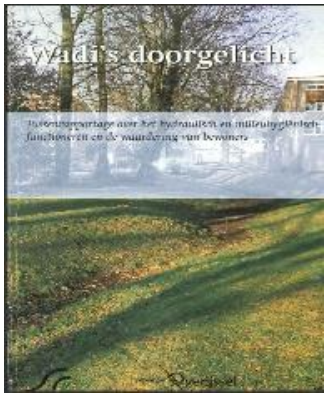
13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Literatuur





13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Kwaliteit regenwater

Zn. Pb and Cu good indicators, high % bounding to particles XRF is a good 'scanning method' for this

	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Hg µg/l	Pb µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l	PAK10 µg/l	PAK16 µg/l
mean	0,27	6,2	19	0,05	18	5,6	102	0,8	60,9
median	0,15	1,1	11	0,06	6	3,6	60	0,8	1,5
90 percentile	0,50	12,0	35	0,08	43	10,0	250	1,1	1,5
n measurements	152	141	686	118	682	155	684	145	106
MAC solved	0,4	8,7	1,5	0,20	11,0	5,1	9,4	2,3	
MAC total	2,0	84	3,8	1,2	220	6,3	40	4,3	
% mean to MAC	13%	7%	513%	4%	8%	89%	254%	19%	
required RO	0,0%	0,0%	80,5%	0,0%	0,0%	0,0%	60,7%	0,0%	

	oil mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	BZV mg/l	CZV mg/l	Ptot mg/l	N-kj mg/l	TSS mg/l	E.coli kve/100 ml
mean	37	18,3	1,8	5,7	32	0,4	1,9	17	1,9E+04
median	1	11,0	1,1	3,1	20,0	0,3	1,1	17	6,7E+03
90 percentile	90,8	33	2,9	12,5	60	1,0	3,1	29	3,5E+04
n measurements	149	321	60	219	681	107	590	7	116
MAC solved						0,15	2,2		1,0E+03
% mean to MAC							(N-tot)		(zwemwater)
required RO						64,5%	0,0%		94,8%

Recent levels of heavy metals are lower but old swales had pollutant build up in earlier years (to be published, Boogaard and STOWA)

Anno 2019 zijn er meer dan 6000 metingen bekend van de zware metalen koper, lood en zink. De gemiddelde concentraties in het afstromend regenwater van woonwijken (dak en weg) zijn respectievelijk 5, 28 en 47 microgram per liter.

Kwaliteit regenwater

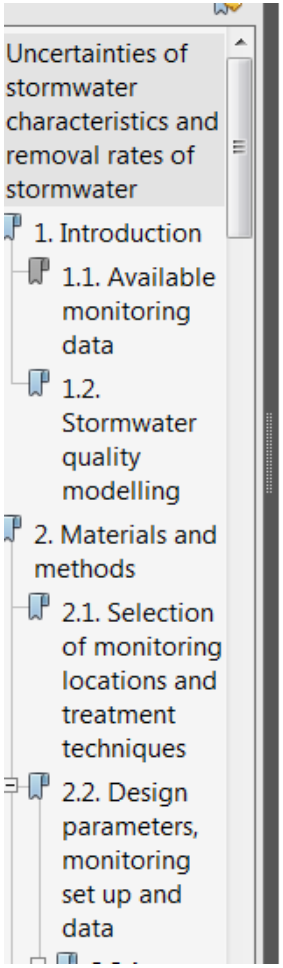


Table 1 – Stormwater concentration levels for principal pollutants.

		Boogaard and Lemmen (2007),[a]	Bratieres et al. (2008),[b]	Salvia-Castellvi et al. (2005),[c]		Fuchs et al. (2004),[d]	Daligault et al. (1999),[e]	
		Dutch data mean (median–90 percentile)	Worldwide and Australian	Mean EMC St. Quirin (min–max)	Mean EMC Rte d'Esch (min–max)	Median (25–75 percentile)	Mean Brunoy (min–max)	Mean Vigneux (min–max)
TSS	mg/l	49 (20–150)	150	592 (30–2500)	131 (30–300)	141 (74–280)	158 (11–458)	199 (25–964)
BOD	mg/l	6.7 (4.0–14)	–	335 (8–1300)	30 (5–90)	13 (8–20)	10 (3–29)	17 (4–168)
COD	mg/l	61 (32–110)	–	1152 (30–4800)	138 (25–400)	81 (5–113)	68 (18–299)	121 (26–561)
TKN	mg N/l	2.8 (1.7–5.2)	2.1	7.4 (1–24)	2.3 (0.6–7.8)	2.4 (2.1–5.8)	2.8 (1–12)	4.7 (1–50)
TP	mg P/l	0.42 (0.26–0.97)	0.35	3 (0.3–12)	0.7 (0.2–2)	0.42 (0.24–0.70)	0.56 (0.3–4.7)	1.1 (0.3–19.1)
Pb	µg/l	33 (12–75)	140	80 (20–130)	50 (20–90)	118 (46–239)	52 (2–210)	69 (4–404)
Zn	µg/l	194 (95–450)	250	3330 (80–11700)	1170 (500–4100)	275 (128–502)	607 (210–2900)	146 (30–640)
Cu	µg/l	26 (10–47)	50	170 (40–500)	70 (30–200)	48 (28–110)	23 (7–59)	24 (6–52)
E. coli	#/100 ml	3.4E+4 (1E+4–1E+5)	–	–	–	–	–	–

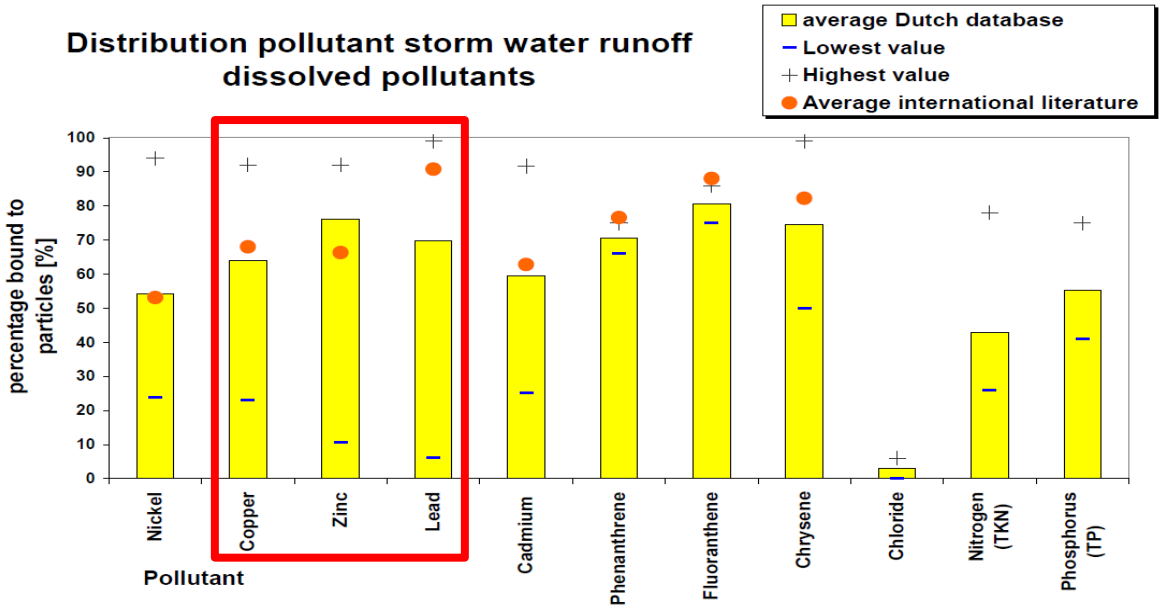
a Dutch STOWA database (version 2.6, 2007), based on data of 10 monitoring projects in the Netherlands, residential and commercial areas, with *n* ranging from 26 (SS) to 169 (Zn).
b 'Typical' pollutant concentrations based on review of worldwide (Duncan, 1999) and Melbourne (Taylor et al., 2005) data.
c 2 monitoring locations in Luxembourg, residential areas, $n = 11$ per location. Location St. Quirin is reported to have significant illicit connections to the storm sewer.
d ATV database, like Duncan (1999) partly based on the US EPA nation wide runoff programme (NURP), with *n* ranging from 17 (TKN) to 178 (SS).
e Brunoy: 55% educational and sporting infrastructures, 45% residential, Vigneux, residential, $n = 30$ per location.

Please cite this article in press as: Langeveld, J.G., et al., Uncertainties of stormwater characteristics and removal rates of stormwater treatment facilities: Implications for stormwater handling, Water Research (2012), http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.06.001

Boogaard F.C., van de Ven F.H.M. Langeveld J, Giesen van de N. Stormwater Quality Characteristics in (Dutch) urban areas and performance of settlement basins, challenges 2014.

Eigenschappen regenwater

Figure 2. Distribution of pollutants in (Dutch) stormwater (90 samples from 25 locations).



From Figure 2, the pollutant behavior can be derived. Nutrients are less bound to particles than heavy metals and PAHs and therefore harder to retain than other contaminants. Within a certain pollutant group, such as metals, the individual pollutants have their own specific behavior.

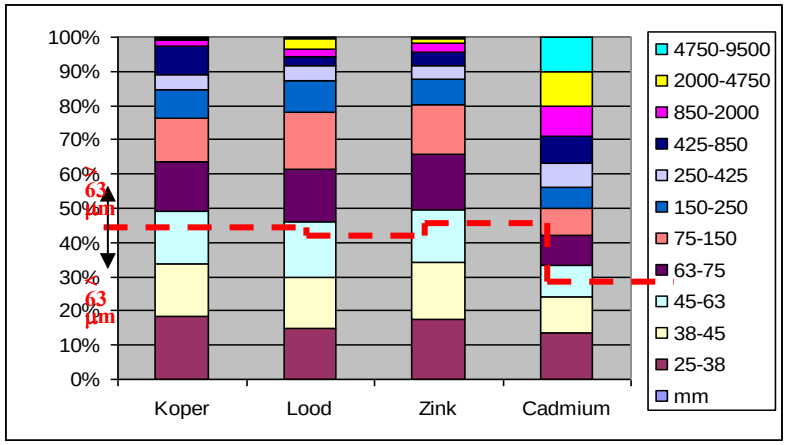
Boogaard F.C., van de Ven F.H.M. Langeveld J, Giesen van de N. Stormwater Quality Characteristics in (Dutch) urban areas and performance of settlement basins, challenges 2014.

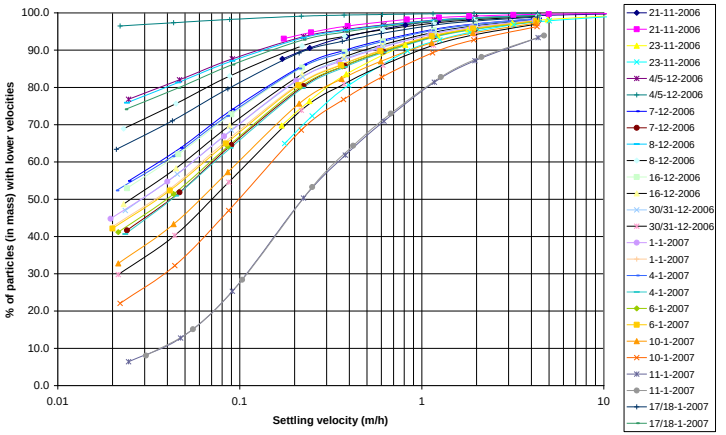
13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Kleine fractie… filtreren gewenst: wadi





Challenges **2014**, *5*, 112-122; doi:10.3390/challe5010112

OPEN ACCESS

challenges

ISSN 2078-1547

www.mdpi.com/journal/challenges

Article

Stormwater Quality Characteristics in (Dutch) Urban Areas and Performance of Settlement Basins

Floris C. Boogaard [1,2,3,*], Frans van de Ven [1,4], Jeroen G. Langeveld [1,5] and Nick van de Giesen [1]

1 Department of Water Management, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, P.O. Box 5048, 2600 GA Delft, The Netherlands; E-Mails: F.H.M.vandeVen@tudelft.nl (F.V.); jeroen.langeveld@rhdhv.com (J.G.L.); n.c.vandegiesen@tudelft.nlc (N.G.)

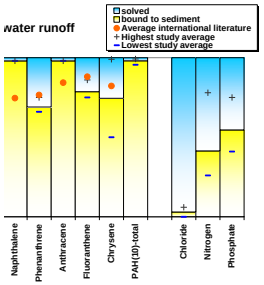
2 TAUW, Zekeringstraat 43g, P.O. Box 20748, 1001 NS Amsterdam, The Netherlands

3 Hanze University of Applied Sciences, Zernikeplein 7, P.O. Box 30030, 9700 RM Groningen, The Netherlands

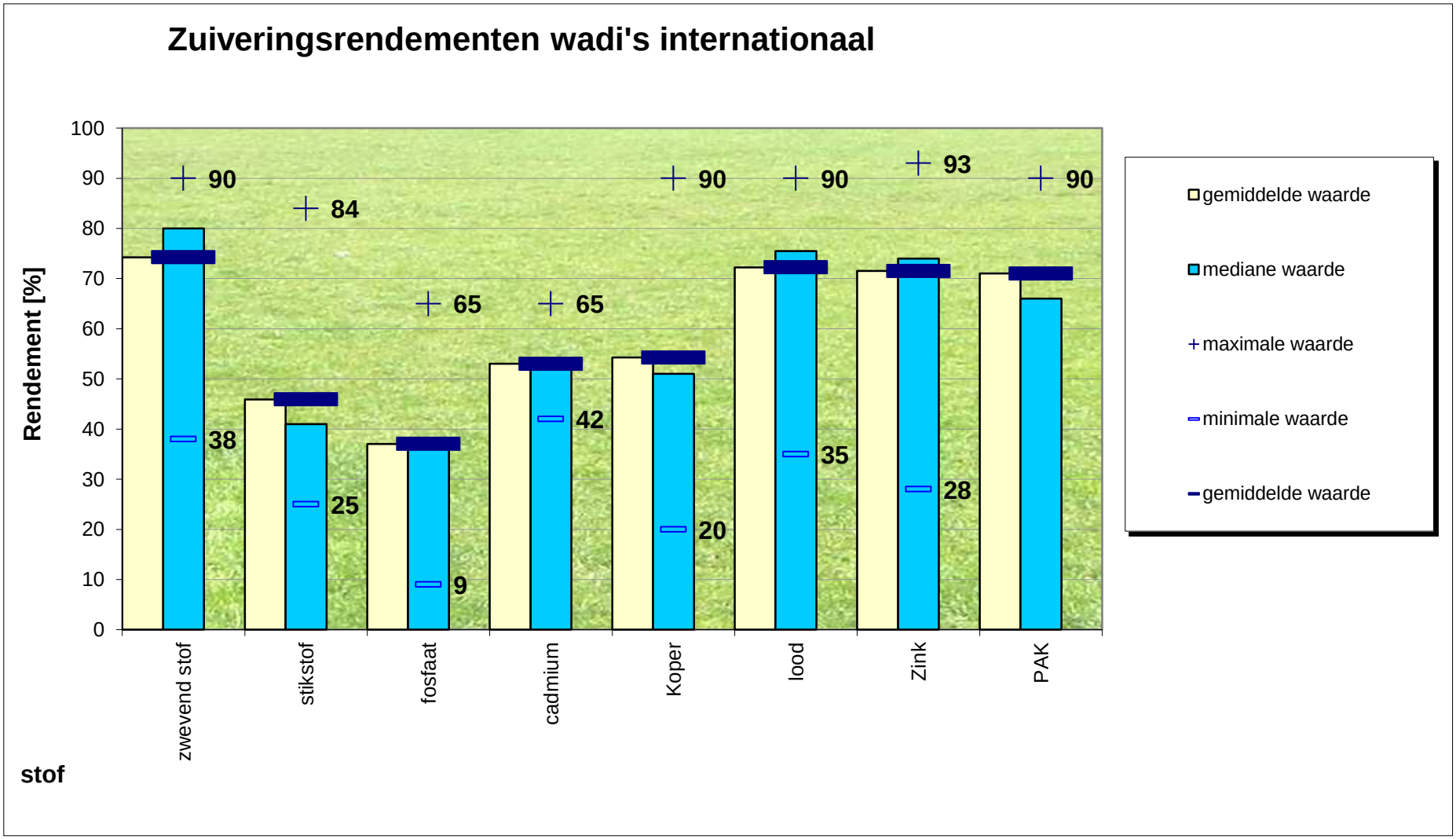
4 Deltares, Princetonlaan 6–8, P.O. Box 85467, 3508 AL Utrecht, The Netherlands

5 Royal HaskoningDHV, Barbarossastraat 35, P.O. Box 151, 6500 AD Nijmegen, The Netherlands

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: f.c.boogaard@tudelft.nl; Tel.: +31-6515-56-82-6; Fax: +31-2068-48-92-1.



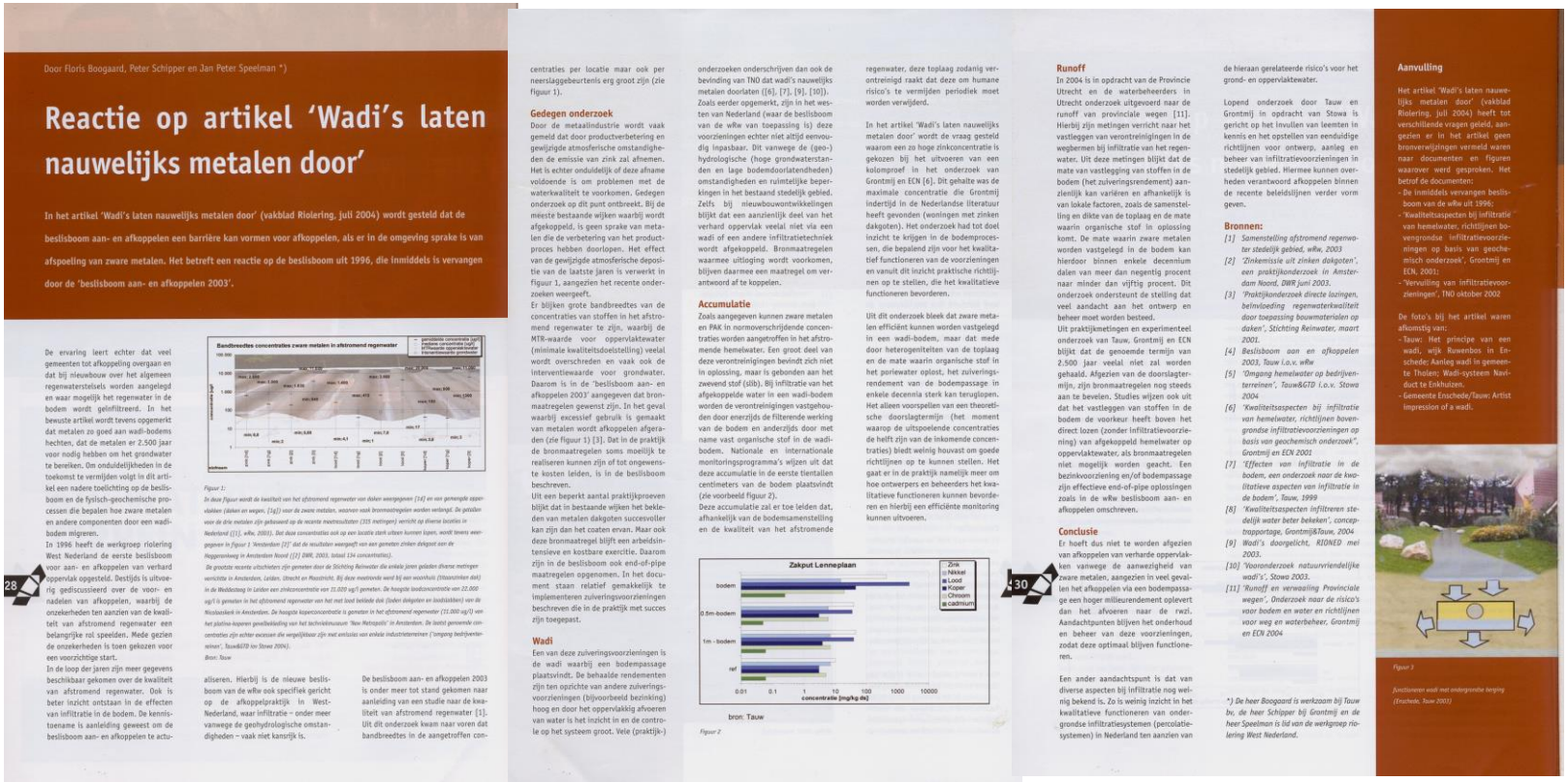
Rendementen wadis



13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed
expertise bodem en ondergrond

Conclusie *'afkoppelen mag bij aanwezigheid zware metalen met bodempassages (met hoger rendement dan rwzi), aandachtspunten zijn onderhoud en monitoren en richtlijnen'*



Door Floris Boogaard, Peter Schipper en Jan Peter Speelman *)

Reactie op artikel 'Wadi's laten nauwelijks metalen door'

In het artikel 'Wadi's laten nauwelijks metalen door' (vakblad Riolering, juli 2004) wordt gesteld dat de beslisboom aan- en afkoppelen een barrière kan vormen voor afkoppelen, als er in de omgeving sprake is van afspoeling van zware metalen. Het betreft een reactie op de beslisboom uit 1996, die inmiddels is vervangen door de 'beslisboom aan- en afkoppelen 2003'.

De ervaring leert echter dat veel gemeenten tot afkoppeling overgaan en dat bij nieuwbouw over het algemeen regenwaterstelsels worden aangelegd en waar mogelijk het regenwater in de bodem wordt geïnfiltreerd. In het bewuste artikel wordt tevens opgemerkt dat metalen zo goed aan wadi-bodems hechten, dat de metalen er 2.500 jaar voor nodig hebben om het grondwater te bereiken. Om onduidelijkheden in de toekomst te vermijden volgt in dit artikel een nadere toelichting op de beslisboom en de fysisch-geochemische processen die bepalen hoe zware metalen en andere componenten door een wadibodem migreren.

In 1996 heeft de werkgroep riolering West Nederland de eerste beslisboom voor aan- en afkoppelen van verhard oppervlak opgesteld. Destijds is uitvoerig gediscussieerd over de voor- en nadelen van afkoppelen, waarbij de onzekerheden ten aanzien van de kwaliteit van afstromend regenwater een belangrijke rol speelden. Mede gezien de onzekerheden is toen gekozen voor een voorzichtige start.

In de loop der jaren zijn meer gegevens beschikbaar gekomen over de kwaliteit van afstromend regenwater. Ook is beter inzicht ontstaan in de effecten van infiltratie in de bodem. De kennistoename is aanleiding geweest om de beslisboom aan- en afkoppelen te actualiseren. Hierbij is de nieuwe beslisboom van de wRw ook specifiek gericht op de afkoppelpraktijk in West-Nederland, waar infiltratie – onder meer vanwege de geohydrologische omstandigheden – vaak niet kansrijk is.

De beslisboom aan- en afkoppelen 2003 is onder meer tot stand gekomen naar aanleiding van een studie naar de kwaliteit van afstromend regenwater [1]. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat bandbreedtes in de aangetroffen concentraties per locatie maar ook per neerslaggebeurtenis erg groot zijn (zie figuur 1).

Gedegen onderzoek

Door de metaalindustrie wordt vaak gemeld dat door productverbetering en gewijzigde atmosferische omstandigheden de emissie van zink zal afnemen. Het is echter onduidelijk of deze afname voldoende is om problemen met de waterkwaliteit te voorkomen. Gedegen onderzoek op dit punt ontbreekt. Bij de meeste bestaande wijken waarbij wordt afgekoppeld, is geen sprake van metalen die de verbetering van het productproces hebben doorlopen. Het effect van de gewijzigde atmosferische depositie van de laatste jaren is verwerkt in figuur 1, aangezien het recente onderzoeken weergeeft.

Er blijken grote bandbreedtes van de concentraties van stoffen in het afstromend regenwater te zijn, waarbij de MTR-waarde voor oppervlaktewater (minimale kwaliteitsdoelstelling) veelal wordt overschreden en vaak ook de interventiewaarde voor grondwater. Daarom is in de 'beslisboom aan- en afkoppelen 2003' aangegeven dat bronmaatregelen gewenst zijn. In het geval waarbij excessief gebruik is gemaakt van metalen wordt afkoppelen afgeraden (zie figuur 1) [3]. Dat in de praktijk de bronmaatregelen soms moeilijk te realiseren kunnen zijn of tot ongewenste kosten leiden, is in de beslisboom beschreven.

Uit een beperkt aantal praktijkproeven blijkt dat in bestaande wijken het beleden van metalen dakgoten succesvoller kan zijn dan het coaten ervan. Maar ook deze bronmaatregel blijft een arbeidsintensieve en kostbare exercitie. Daarom zijn in de beslisboom ook end-of-pipe maatregelen opgenomen. In het document staan relatief gemakkelijk te implementeren zuiveringsvoorzieningen beschreven die in de praktijk met succes zijn toegepast.

Wadi

Een van deze zuiveringsvoorzieningen is de wadi waarbij een bodempassage plaatsvindt. De behaalde rendementen zijn ten opzichte van andere zuiveringsvoorzieningen (bijvoorbeeld bezinking) hoog en door het oppervlakkig afvoeren van water is het inzicht in en de controle op het systeem groot. Vele (praktijk-) onderzoeken onderschrijven dan ook de bevinding van TNO dat wadi's nauwelijks metalen doorlaten ([6], [7], [9], [10]). Zoals eerder opgemerkt, zijn in het westen van Nederland (waar de beslisboom van de wRw van toepassing is) deze voorzieningen echter niet altijd eenvoudig inpasbaar. Dit vanwege de (geo-) hydrologische (hoge grondwaterstanden en lage bodemdoorlatendheden) omstandigheden en ruimtelijke beperkingen in het bestaand stedelijk gebied. Zelfs bij nieuwbouwontwikkelingen blijkt dat een aanzienlijk deel van het verhard oppervlak veelal niet via een wadi of een andere infiltratietechniek wordt afgekoppeld. Bronmaatregelen waarmee uitloging wordt voorkomen, blijven daarmee een maatregel om vervantwoord af te koppelen.

Accumulatie

Zoals aangegeven kunnen zware metalen en PAK in normoverschrijdende concentraties worden aangetroffen in het afstromende hemelwater. Een groot deel van deze verontreinigingen bevindt zich niet in oplossing, maar is gebonden aan het zwevend stof (slib). Bij infiltratie van het afgekoppelde water in een wadi-bodem worden de verontreinigingen vastgehouden door enerzijds de filterende werking van de bodem en anderzijds door met name vast organische stof in de wadibodem. Nationale en internationale monitoringsprogramma's wijzen uit dat deze accumulatie in de eerste tientallen centimeters van de bodem plaatsvindt (zie voorbeeld figuur 2).

Deze accumulatie zal er toe leiden dat, afhankelijk van de bodemsamenstelling en de kwaliteit van het afstromende regenwater, deze toplaag zodanig verontreinigd raakt dat deze om humane risico's te vermijden periodiek moet worden verwijderd.

In het artikel 'Wadi's laten nauwelijks metalen door' wordt de vraag gesteld waarom een zo hoge zinkconcentratie is gekozen bij het uitvoeren van een kolomproef in het onderzoek van Grontmij en ECN [6]. Dit gehalte was de maximale concentratie die Grontmij indertijd in de Nederlandse literatuur heeft gevonden (woningen met zinken dakgoten). Het onderzoek had tot doel inzicht te krijgen in de bodemprocessen, die bepalend zijn voor het kwalitatief functioneren van de voorzieningen en vanuit dit inzicht praktische richtlijnen op te stellen, die het kwalitatieve functioneren bevorderen.

Uit dit onderzoek bleek dat zware metalen efficiënt kunnen worden vastgelegd in een wadi-bodem, maar dat mede door heterogeniteiten van de toplaag en de mate waarin organische stof in het porievlakte oplost, het zuiveringsrendement van de bodempassage in enkele decennia sterk kan teruglopen. Het alleen voorspellen van een theoretische doorslagtermijn (het moment waarop de uitspoelende concentraties de helft zijn van de inkomende concentraties) biedt welnig houvast om goede richtlijnen op te kunnen stellen. Het gaat er in de praktijk namelijk meer om hoe ontwerpers en beheerders het kwalitatieve functioneren kunnen bevorderen en hierbij een efficiënte monitoring kunnen uitvoeren.

Runoff

In 2004 is in opdracht van de Provincie Utrecht en de waterbeheerders in Utrecht onderzoek uitgevoerd naar de runoff van provinciale wegen [11]. Hierbij zijn metingen verricht naar het vastleggen van verontreinigingen in de wegbermen bij infiltratie van het regenwater. Uit deze metingen blijkt dat de mate van vastlegging van stoffen in de bodem (het zuiveringsrendement) aanzienlijk kan variëren en afhankelijk is van lokale factoren, zoals de samenstelling en dikte van de toplaag en de mate waarin organische stof in oplossing komt. De mate waarin zware metalen worden vastgelegd in de bodem kan hierdoor binnen enkele decennium dalen van meer dan negentig procent naar minder dan vijftig procent. Dit onderzoek ondersteunt de stelling dat veel aandacht aan het ontwerp en beheer moet worden besteed.

Uit praktijkmetingen en experimenteel onderzoek van Tauw, Grontmij en ECN blijkt dat de genoemde termijn van 2.500 jaar veelal niet zal worden gehaald. Afgezien van de doorslagtermijn, zijn bronmaatregelen nog steeds aan te bevelen. Studies wijzen ook uit dat het vastleggen van stoffen in de bodem de voorkeur heeft boven het direct lozen (zonder infiltratievoorziening) van afgekoppeld hemelwater op oppervlaktewater, als bronmaatregelen niet mogelijk worden geacht. Een bezinkvoorziening en/of bodempassage zijn effectieve end-of-pipe oplossingen zoals in de wRw beslisboom aan- en afkoppelen omschreven.

Conclusie

Er hoeft dus niet te worden afgezien van afkoppelen van verharde oppervlakken vanwege de aanwezigheid van zware metalen, aangezien in veel gevallen het afkoppelen via een bodempassage een hoger milieurendement oplevert dan het afvoeren naar de rwzi. Aandachtpunten blijven het onderhoud en beheer van deze voorzieningen, zodat deze optimaal blijven functioneren.

Een ander aandachtspunt is dat van diverse aspecten bij infiltratie nog welnig bekend is. Zo is welnig inzicht in het kwalitatieve functioneren van ondergrondse infiltratiesystemen (percolatiesystemen) in Nederland ten aanzien van de hieraan gerelateerde risico's voor het grond- en oppervlaktewater.

Lopend onderzoek door Tauw en Grontmij in opdracht van Stowa is gericht op het invullen van leemten in kennis en het opstellen van eenduidige richtlijnen voor ontwerp, aanleg en beheer van infiltratievoorzieningen in stedelijk gebied. Hiermee kunnen overheden verantwoord afkoppelen binnen de recente beleidslijnen verder vorm geven.

Bronnen:

[1] *Samenstelling afstromend regenwater stedelijk gebied, wRw, 2003*
[2] *'Zinkemissie uit zinken dakgoten', een praktijkonderzoek in Amsterdam Noord, DWR juni 2003.*
[3] *'Praktijkonderzoek directe lozingen, beïnvloeding regenwaterkwaliteit door toepassing bouwmaterialen op daken', Stichting Reinwater, maart 2001.*
[4] *Beslisboom aan en afkoppelen 2003, Tauw i.o.v. wRw*
[5] *'Omgang hemelwater op bedrijventerreinen', Tauw&GTD i.o.v. Stowa 2004*
[6] *'Kwaliteitsaspecten bij infiltratie van hemelwater, richtlijnen bovengrondse infiltratievoorzieningen op basis van geochemisch onderzoek', Grontmij en ECN 2001*
[7] *'Effecten van infiltratie in de bodem, een onderzoek naar de kwalitatieve aspecten van infiltratie in de bodem', Tauw, 1999*
[8] *'Kwaliteitsaspecten infiltreren stedelijk water beter bekeken', conceptrapportage, Grontmij&Tauw, 2004*
[9] *Wadi's doorgelicht, RIONED mei 2003.*
[10] *'Vooronderzoek natuurvriendelijke wadi's', Stowa 2003.*
[11] *'Runoff en verwaaiing Provinciale wegen', Onderzoek naar de risico's voor bodem en water en richtlijnen voor weg en waterbeheer, Grontmij en ECN 2004*

*) De heer Boogaard is werkzaam bij Tauw bv, de heer Schipper bij Grontmij en de heer Speelman is lid van de werkgroep riolering West Nederland.

Aanvulling

Het artikel 'Wadi's laten nauwelijks metalen door' (vakblad Riolering, juli 2004) heeft tot verschillende vragen geleid, aangezien er in het artikel geen bronverwijzingen vermeld waren naar documenten en figuren waarover werd gesproken. Het betrof de documenten:

- De inmiddels vervangen beslisboom van de wRw uit 1996;
- 'Kwaliteitsaspecten bij infiltratie van hemelwater, richtlijnen bovengrondse infiltratievoorzieningen op basis van geochemisch onderzoek', Grontmij en ECN, 2001;
- 'Vervulling van infiltratievoorzieningen', TNO oktober 2002

De foto's bij het artikel waren afkomstig van:

- Tauw: Het principe van een wadi, wijk Ruwenbos in Enschede; Aanleg wadi in gemeente Tholen; Wadi-systeem Navi-duct te Enkhuizen.
- Gemeente Enschede/Tauw: Artist impression of a wadi.

Boogaard F.C, Schipper P, Speelman J.P; wadi's laten nauwelijks metalen door, Riolering, page 27-30, september 2004.

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Ervaringsleer in richtlijnen

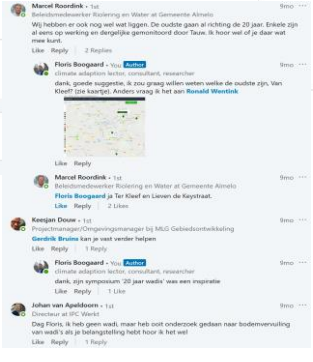
		Recommended values			
Parameter	**Unit**	**Netherlands**	**Germany**	**United Kingdom**	**Belgium**
Infiltration capacity	m/day	> 0.5	0,86 < Kd < 86,4	-	> 0.086
Distance ground water	m	> 0.5	> 1		
Thickness of filter soil	m	0.3 – 0.5	> 0.1 (average 0.3)		0.3 - 0.5
Area swale to drained area	%	5 – 10	> 7 (average 5 - 20)		5 – 10
Distance to houses	m	> 1	1.5 depth constr. zone		
Overflowing frequency	n/yr	1 to 2	0.2		0.2 - 0.5
Swale water depth	m	< 0.3	< 0.3	< 0.1	< 0.3
Spare capacity	m	0.1		0.15	
Time to empty	hour	< 24	< 24	retentiontime > 10 min.	< 24
Width of bottom	m	> 0.5		0.6	0.5 - 1
Width of water surface	m	4			
Slopes	-	1 : 3 or less		1 : 4 or less	1 : 3 or less
fraction of humus in toplayer	%	3 - 5	2 - 10		
Max velocity	m/s			1 - 2	

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

ONDERZOEK
Eindgebruiker georienteerd onderzoek
U bepaalde de locties ‘oude wadis gezocht’



Selectie van wadis

(>200 locaties op climatescan:

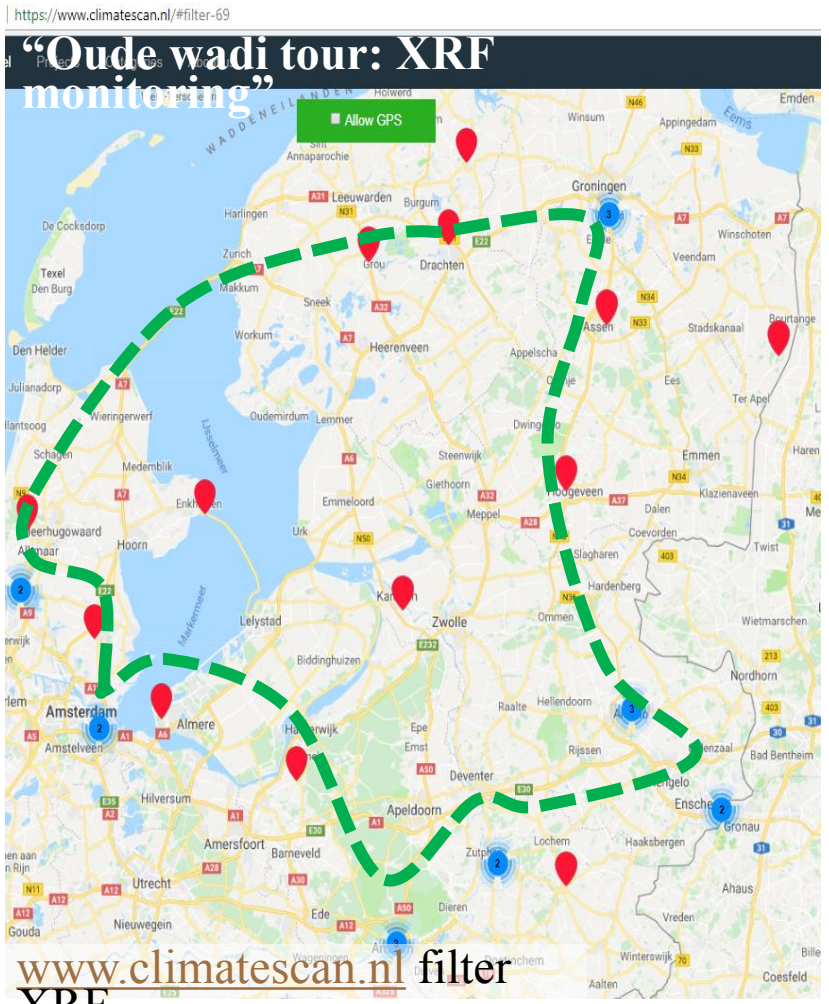
- https://www.climatescan.nl/#filter-1
- Diversen (sommige ca 200 wadis)
- 20/380 gemeenten bemonsterd

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Eerste selectie: wadis in Nederland



www.climatescan.nl filter XRF

INXCES Innovations for eXtreme Climatic events

Interreg North Sea Region WaterCoG

Hanzehogeschool Groningen University of Applied Sciences

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE - NGU -

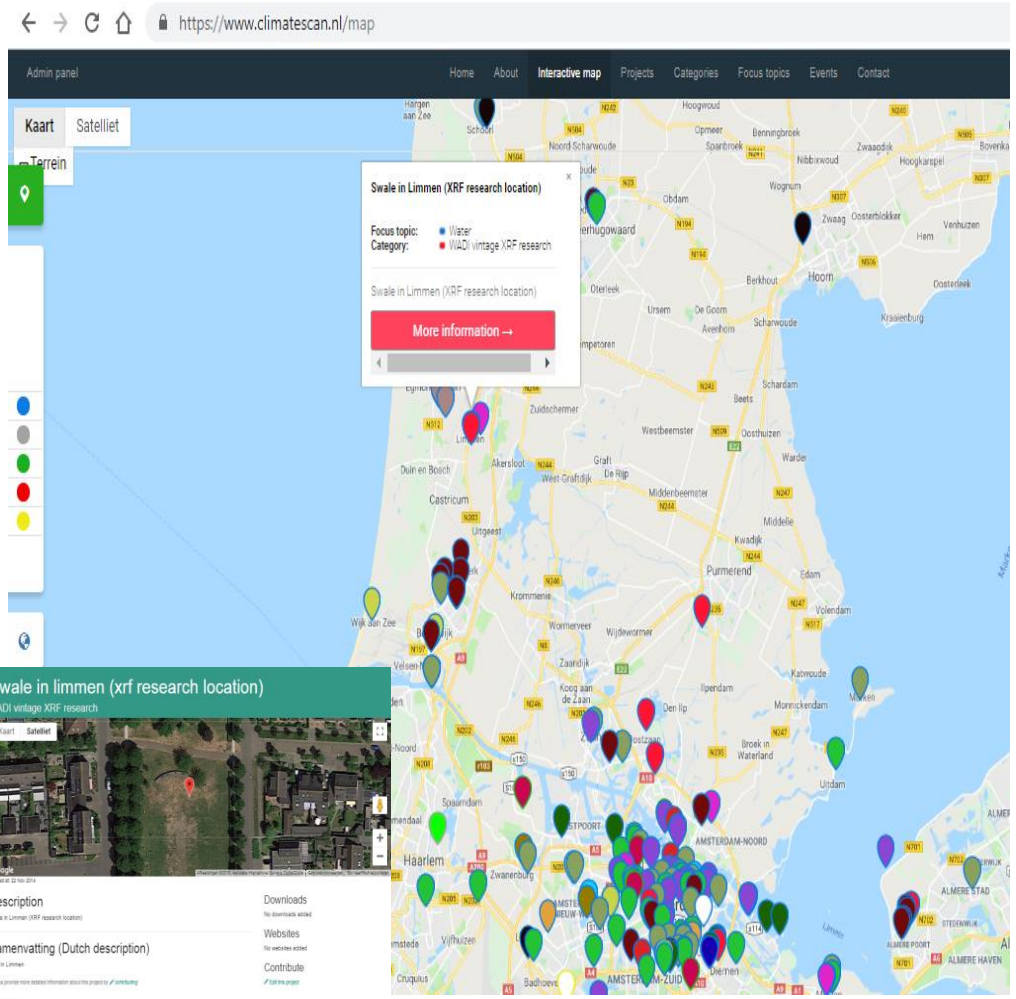
Tauw

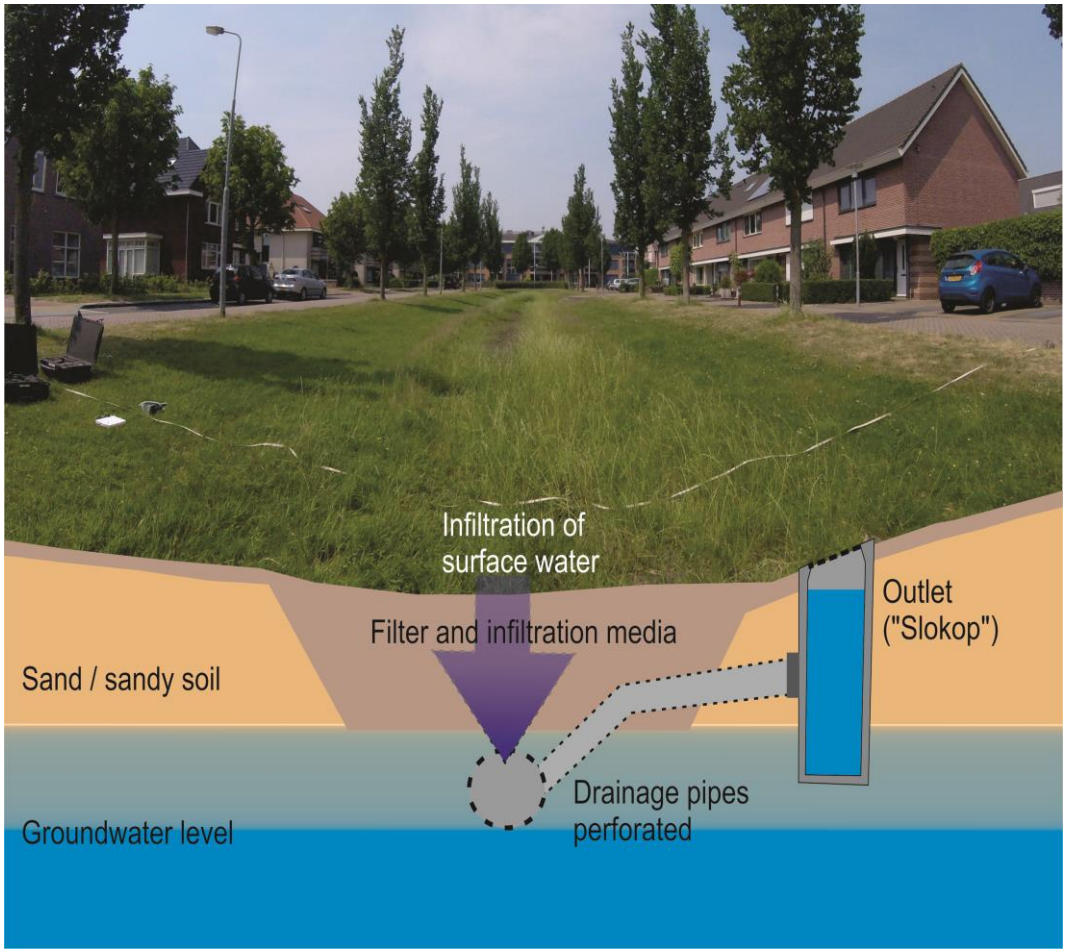
13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Methode: Locatie limmen





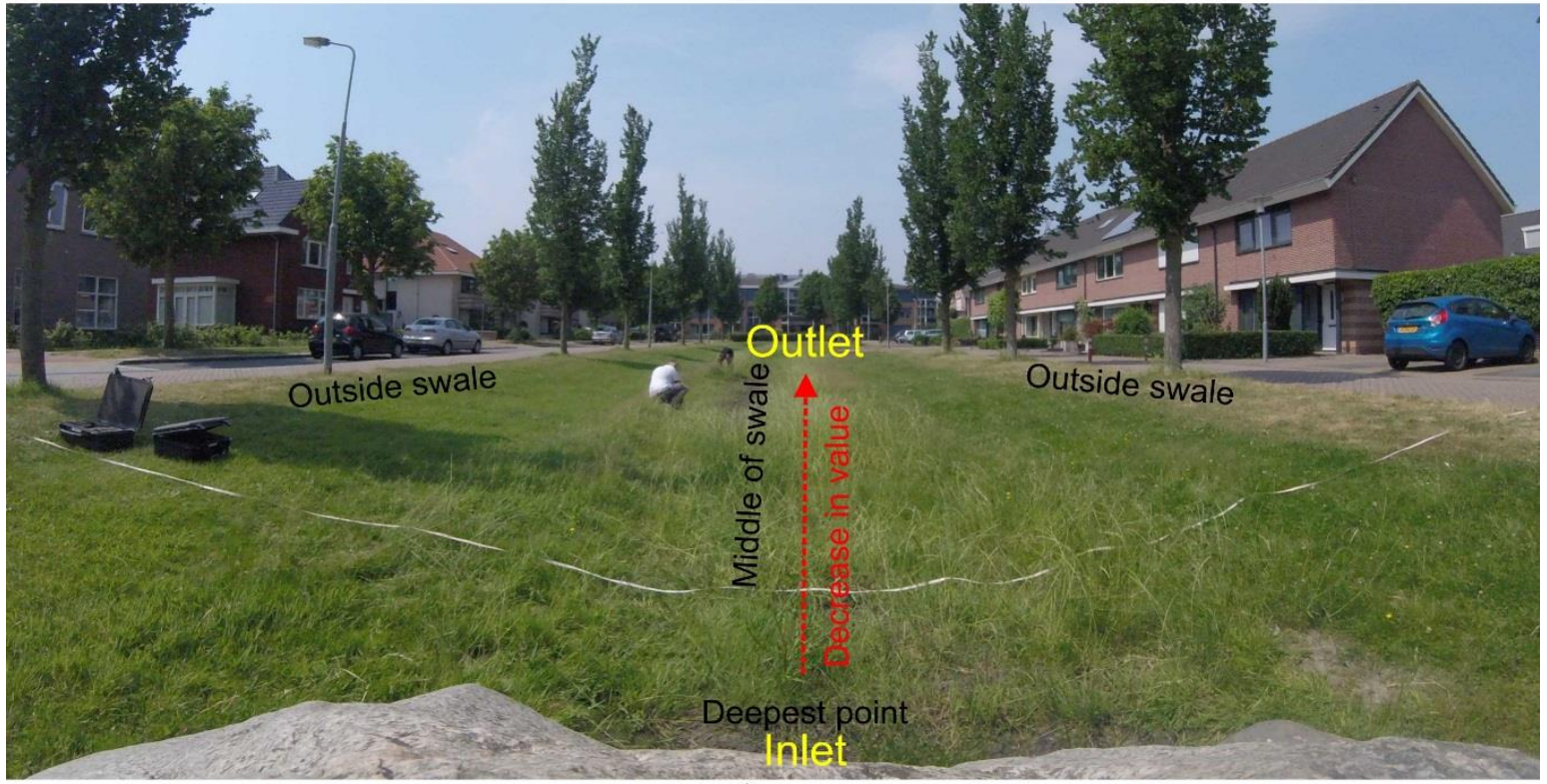
13 KLIMAATACTIE

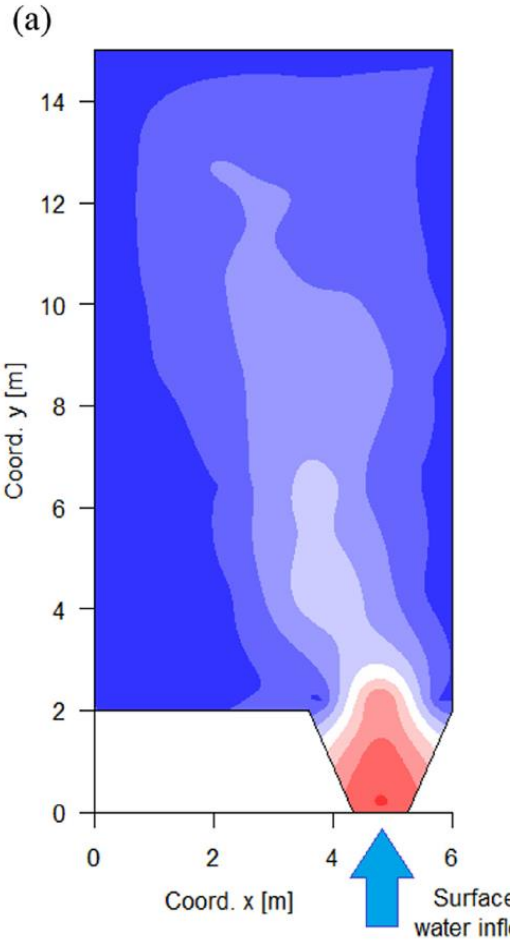
symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Hypothese verontreiniging route

Example of swale: Limmen, NW in the Netherlands



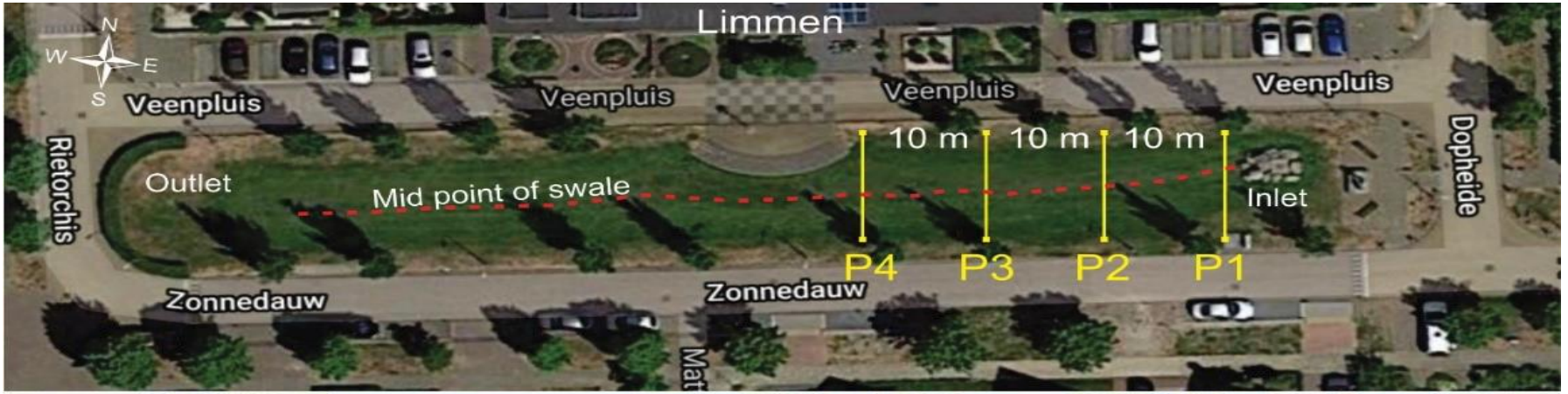


13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

onderzoeksmethodiek



13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Ook: onderwijs, bewustwording, www.climatecafe.nl

SuDS research ClimateCafe Groningen

POSTED ON OCTOBER 11, 2017 BY ADMIN

SuDS research ClimateCafe Groningen SuDS as bioretention swales and permeable pavement were first introduced to the Netherlands around 1998. Swales... READ MORE

https://climatecafe.nl/2017/10/suds-research-climatecafe-groningen/

https://www.youtube.com/watch?time_continue=184&v=58zWv_I-Cho

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Methode: verificatie (JASPER)

- Xrf in het veld (NGU + Tauw
- Bodemmonsters Lab
  - 2 labs XRF and ICP-MS
- Literatuur verificatie
- Semi structured interviews
- www.climatescan.nl
- Follow up onderzoek

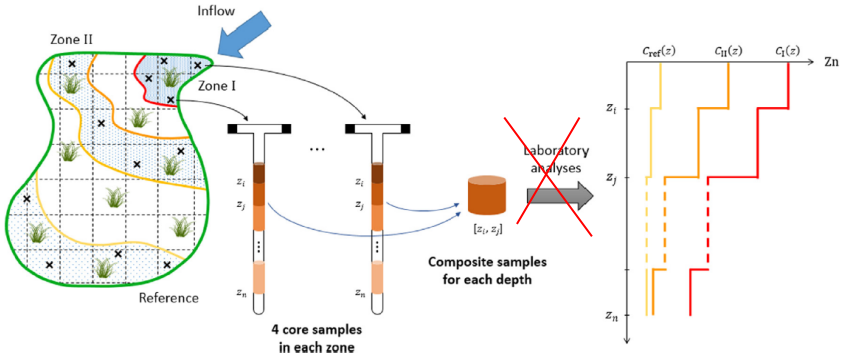


Figure 2. Schematic representation of the global methodology for soil sampling and analysis.

In-situ XRF meaurements on soil

Soil sample at inlet - top soil for lab analysis

Soil sample at mid-point - top soil for lab analysis

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed
expertise bodem en ondergrond

Methode: verificatie (JASPER)

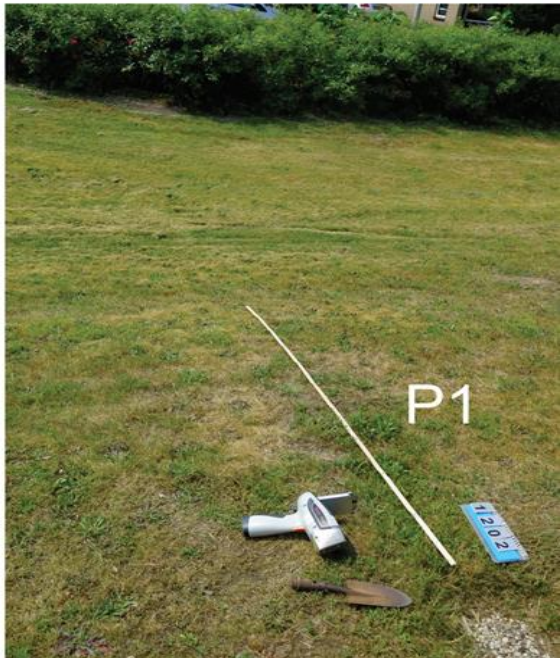
Methode: verificatie (JASPER)

XRF: meer details graag
laat eens zien

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise
bodem en ondergrond



13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Eerste check: toetsingswaarden

- Zware metalen

	value	intervention
copper (Cu)	36.0	190
nickel (Ni)	35.0	210
lead (Pb)	85.0	530
mercury (Hg)	0.3	10.0
molybdenum (Mo)	3.0	200
silver (Ag)	-	15
selenium (Se)	0.7	100
tellurium (Te)	-	600
thallium (Tl)	1.0	15
tin (Sn)	-	900
vanadium (V)	42.0	250
zinc (Zn)	140	720

Table 2
Examples of country-specific anomaly and intervention thresholds (expressed as total concentrations, in mg·kg^{-1}). The former usually entail further investigation when exceeded, whereas the latter require specific measures (*e.g.* soil excavation).

Country	Reference	Associated land use	Cu	Pb	Zn
Anomaly thresholds					
France	Baize et al., 2007	9th decile of >11,000 heavy metals analyses in French agricultural soils	28	44	102
Canada	Fouchécourt et al., 2005	National background concentrations	40	50	110
The Netherlands	NMHSPE, 2000	National background concentrations	36[a]	85[a]	140[a]
Switzerland	OSol, 1998	"Indicative values"	40	50	150
Intervention thresholds					
Canada	Fouchécourt et al., 2005	Residential, recreational and institutional sites	100	500	500
Sweden	Swedish EPA, 1997	"Sensitive use" + groundwater extraction occurring in the vicinity of the site	200	300	700
The Netherlands	NMHSPE, 2000	Serious impairment of the soil's functional properties for humans, plant and animal life	190[a]	530[a]	720[a]
Belgium	Walloon Parliament, 2009	Recreational and commercial sites	290	700	710
Denmark	Danish EPA, 2002	Land use includes "very sensitive purposes" (*e.g.* private gardens or day-care centers)	500	400	1000
Switzerland	OSol, 1998	Private gardens, playgrounds	1000	1000	2000

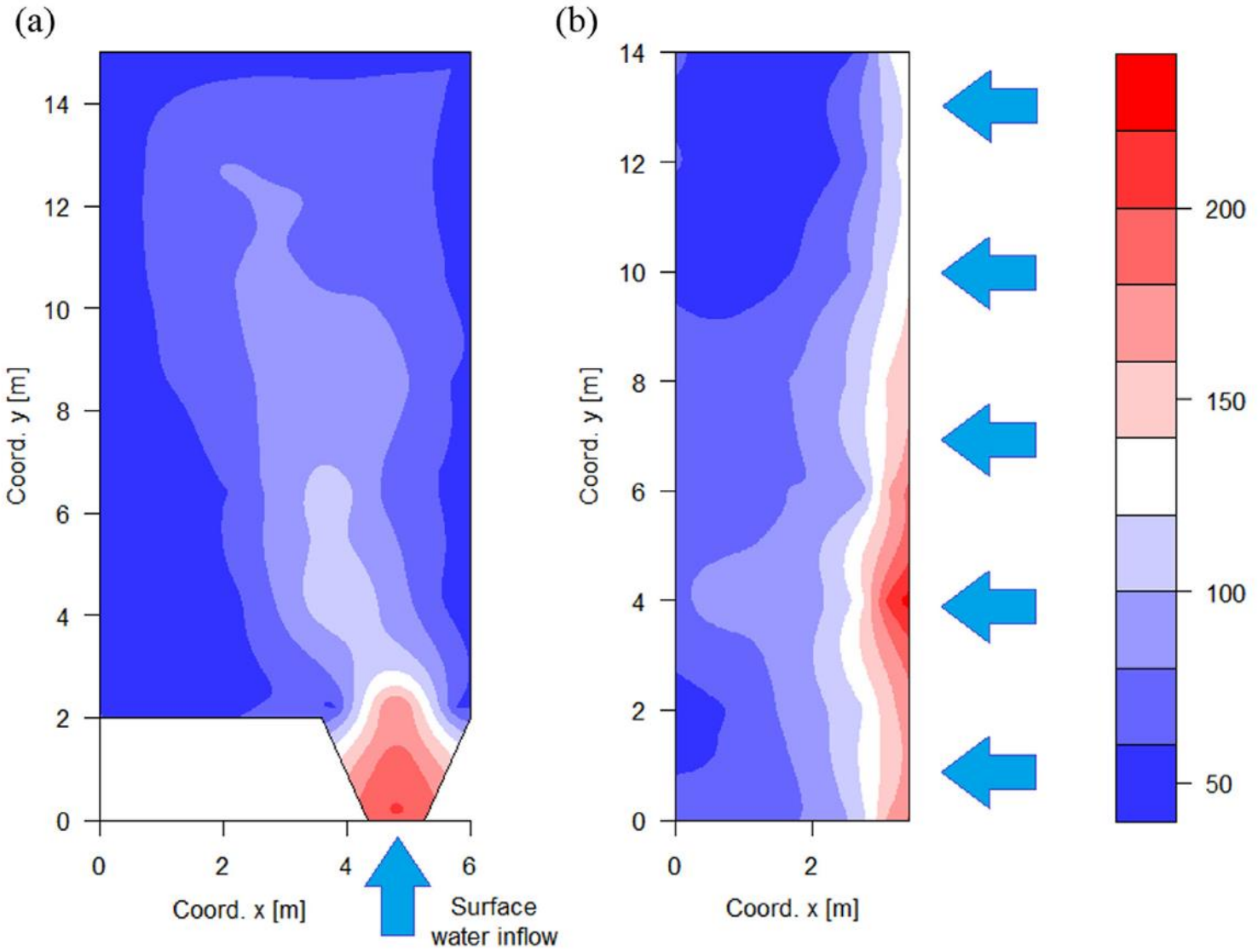
[a] These values correspond to a "standard" soil, and have to be corrected according to the volatile matter and clay content of the investigated soil.

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Globaal 2 categorieën

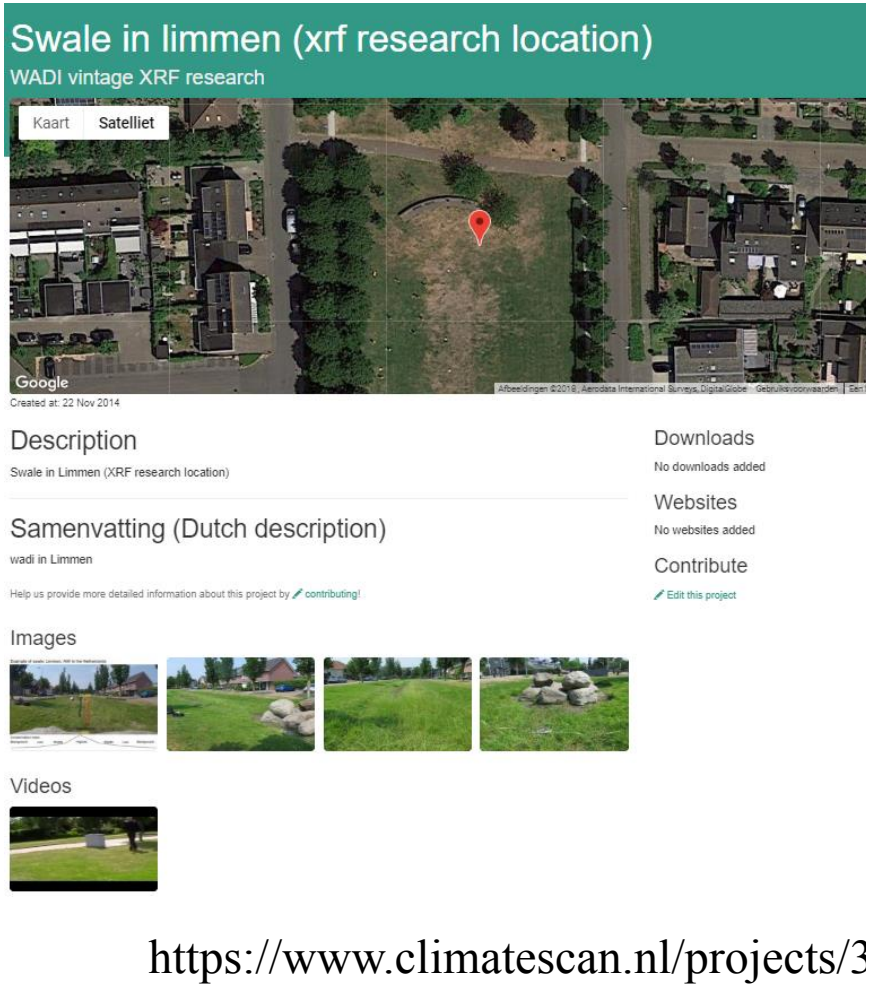


13 KLIMAATACTIE

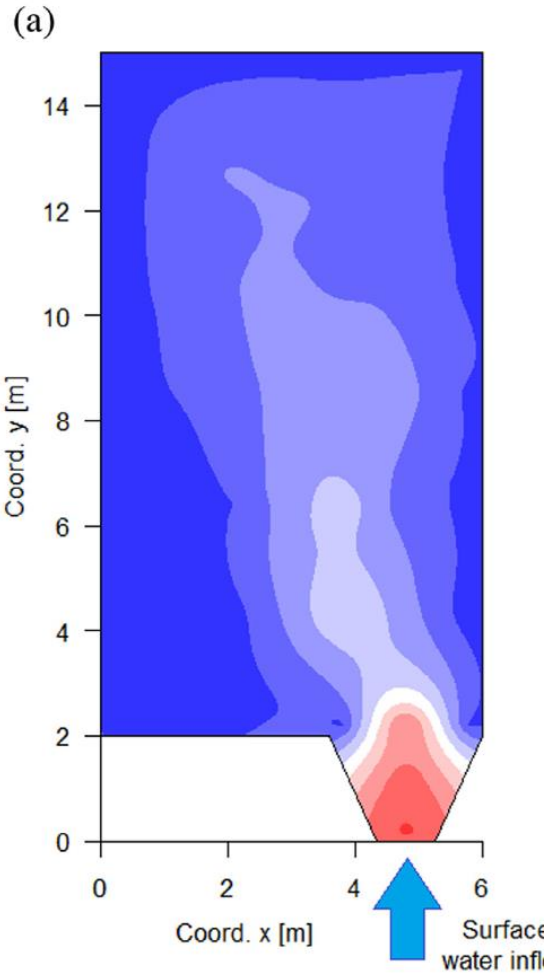
symposium bodem breed

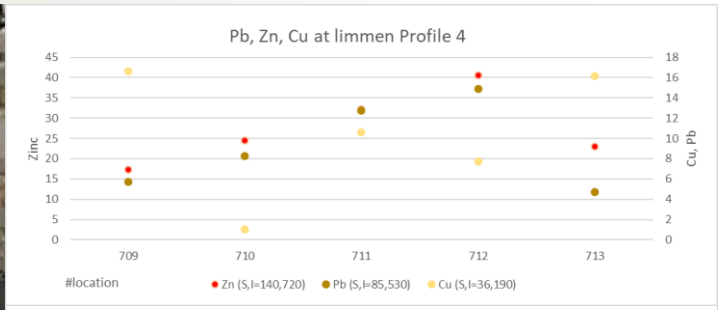
expertise bodem en ondergrond

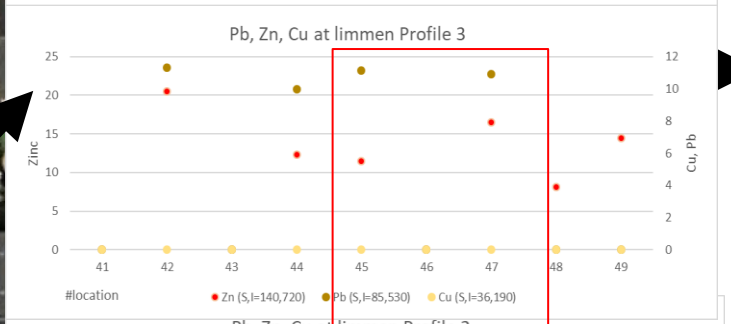
Voorbeeld 1 : 1 inlaat

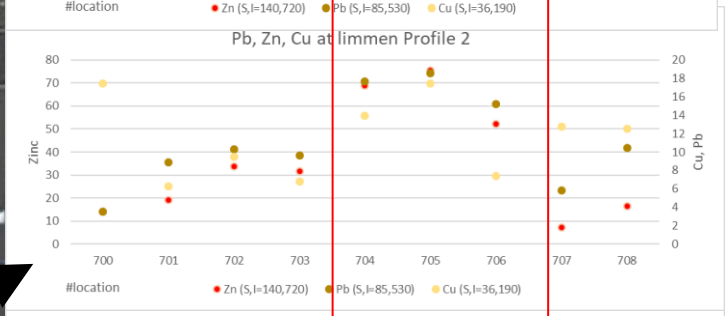


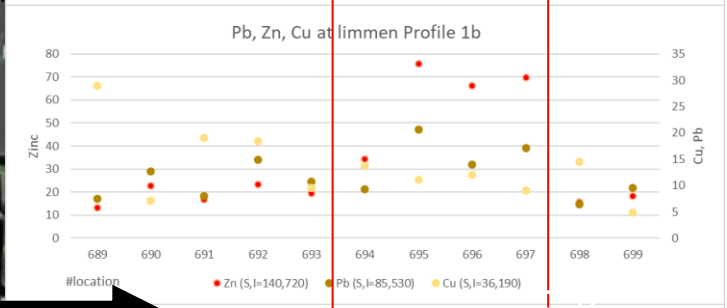
https://www.climatescan.nl/projects/3

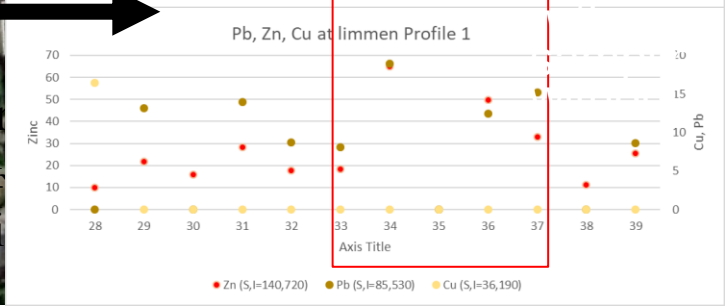






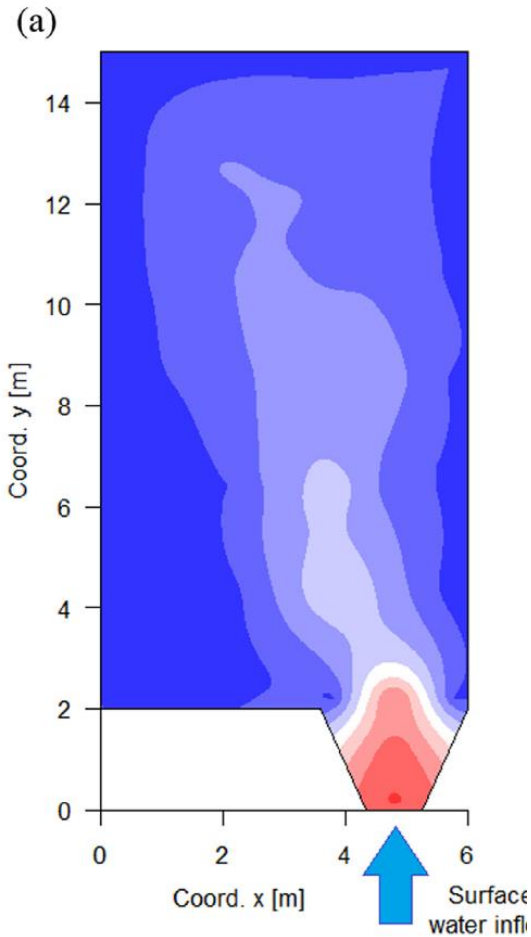






Tauw xr
695 (mi
Ngu xrf
vegetati

symposium bodem breed
expertise
bodem en ondergrond

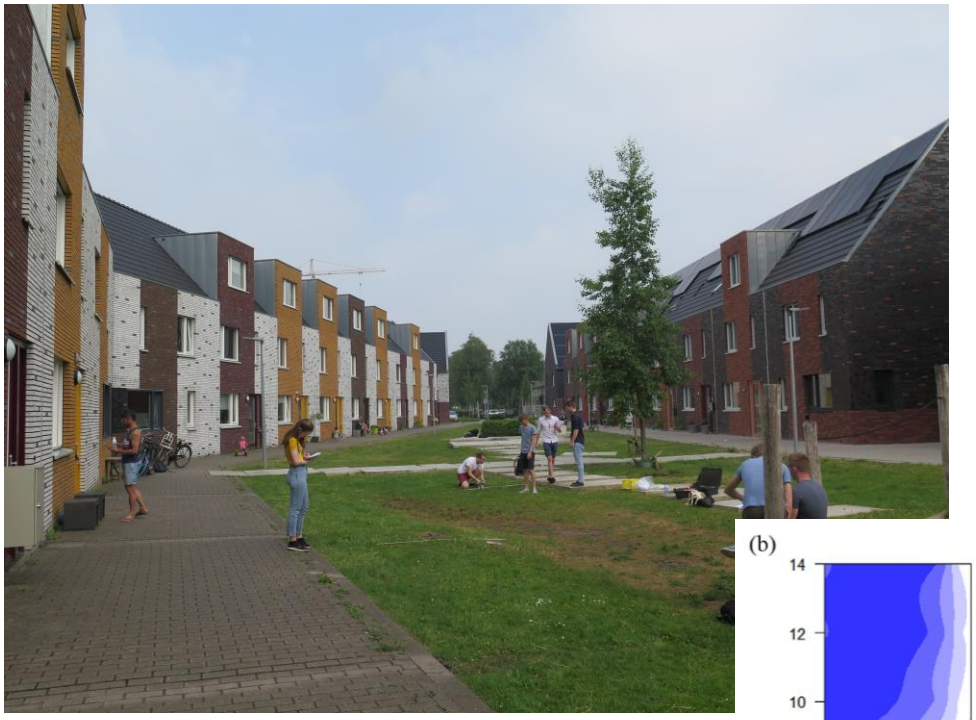


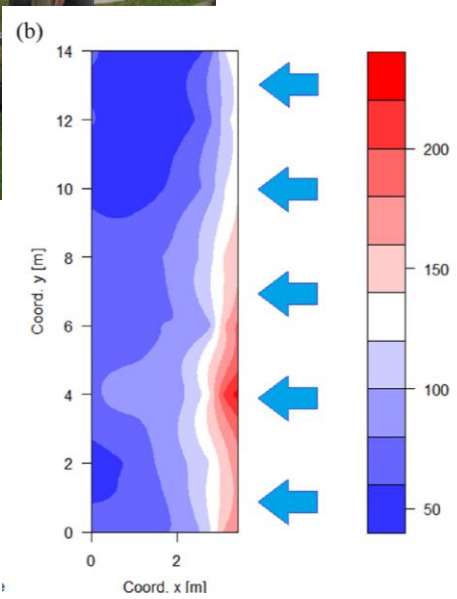
13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Voorbeeld 2 : diverse instroom punten

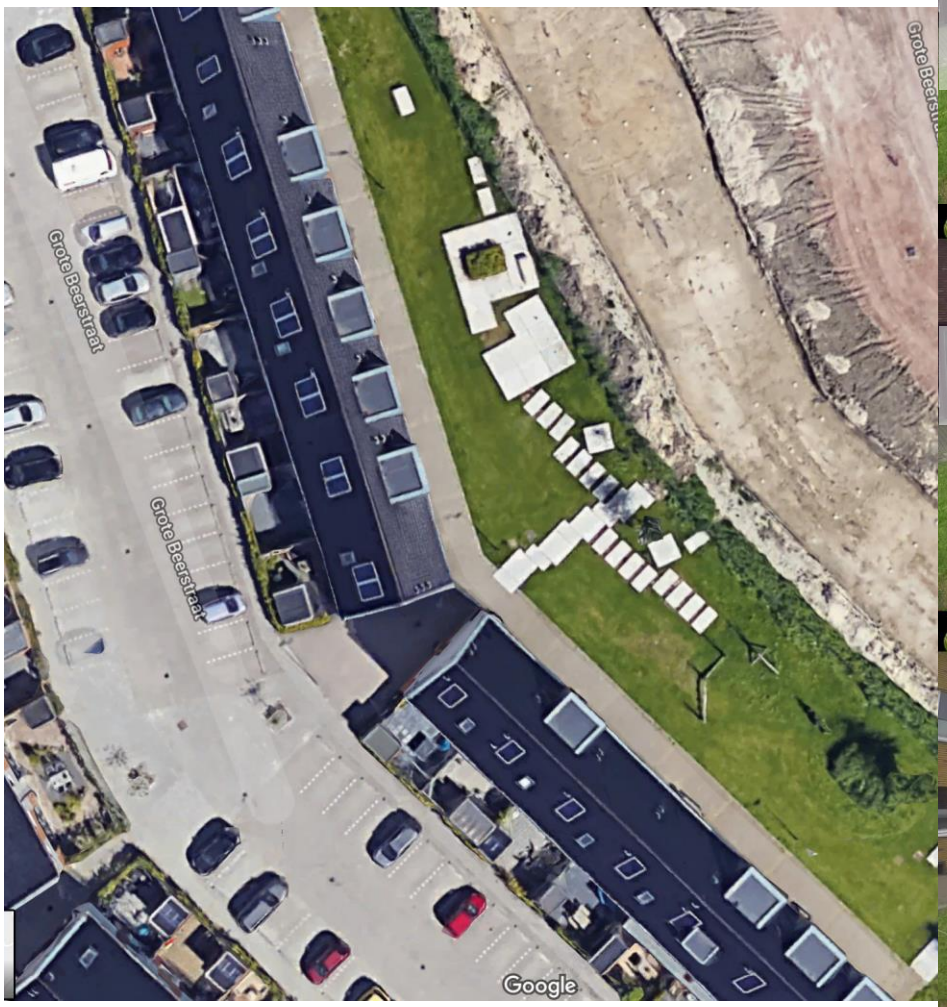


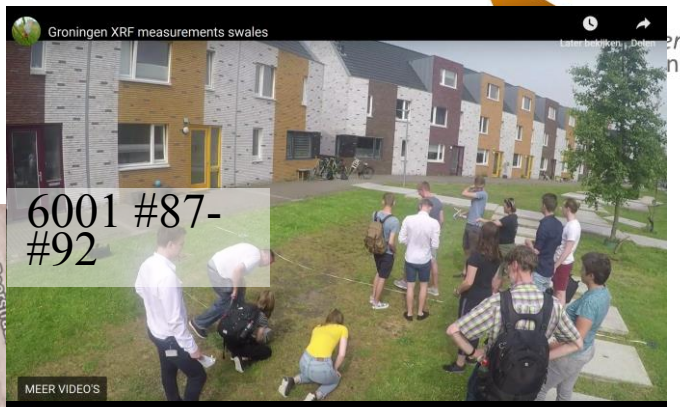


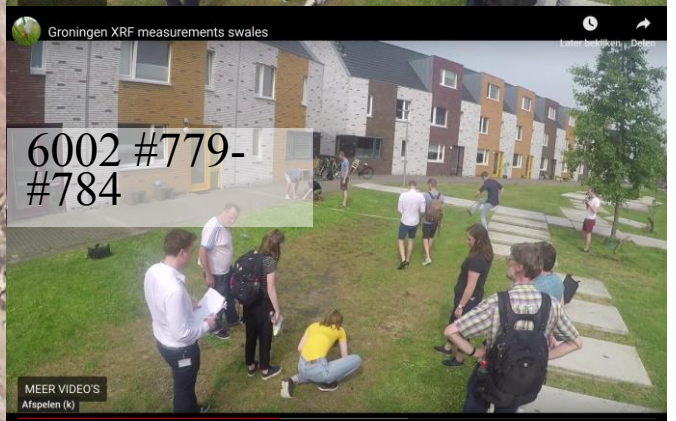
13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

Onderzoek





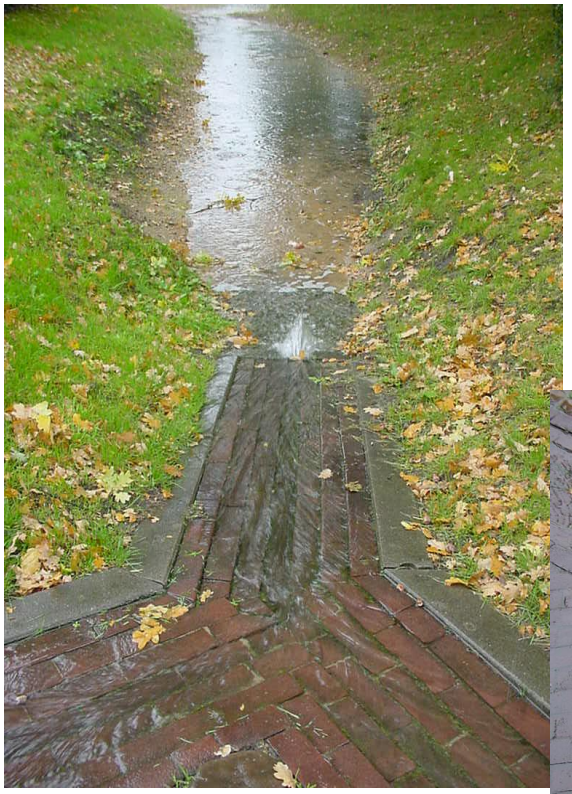


Voorbeeld 3 : centrale inlaat Diverse locaties 3/200

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed
expertise bodem en ondergrond

Voorbeeld 3 : centrale inlaat Diverse locaties 3/200



a)

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

Enschede

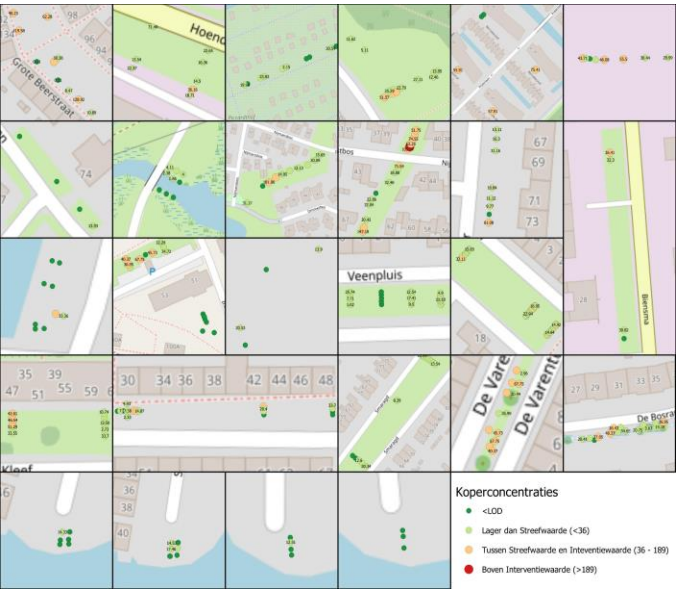
Koper

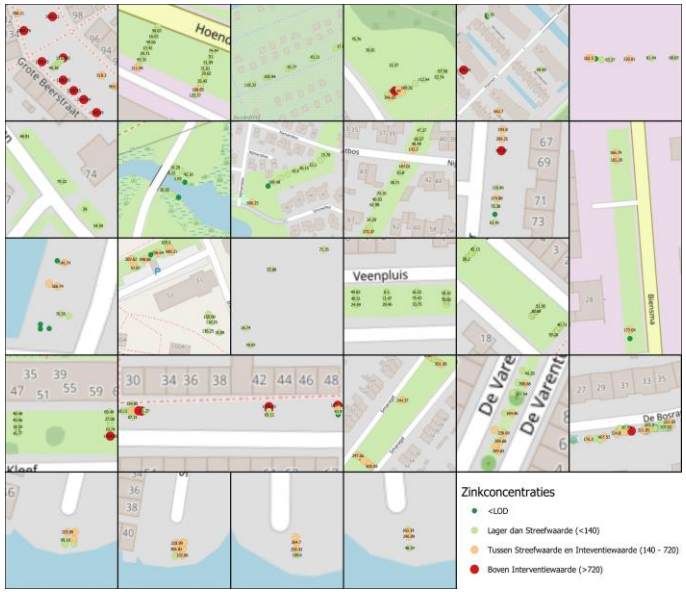
Zink

Lood

Eerste conclusies

1. > 30 locaties onderzocht geselecteerd op leeftijd (>10 jaar), Av/Aw en bijzondere omstandigheden (zm)
2. Bij ca 20% locaties op basis van zware metalen concentraties gevonden die aandacht verdienen.
3. Verontreiniging mn lokaal bij inlaten, wel hogere gehalten bij vrijwel alle wadis ten opzichte van referentie : oplading, nog x jaar tot overschrijding





Samenvatting

symposium bodem breed
expertise bodem en ondergrond

- Wadis breed verspreid over Nederland, inzicht gewenst omtrent bodemkwaliteit wadis
- Nieuwe **onderzoeksmethode** met XRF
- Meer dan 30 wadi's onderzocht verspreid over Nederland: 1 op 5 **nader onderzoek**
- Ruimtelijke **variatie** zware metalen met stroom van het water zichtbaar, met op enkele locaties overschrijdingen waar actie gewenst is
- Leeftijd van wadi, ratio afvoerend oppervlak en oppervlak wadi en gebruik zware metalen zijn niet op alle locaties voldoende voor **risico inschatting**
- Meer informatie, kennis uitwisseling en **strategie** is nodig voor de toekomst.
  - Onderhoudsplan, Onderzoek, update richtlijnen voor ontwerp, aanleg en beheer
- Specifieke vragen
  - brainstormen over nieuwe ontwikkelingen en beleid omtrent waterbeheer
  - Wat vinden we van het onderzoeksresultaat?
  - In welke mate is dit volgens de verwachtingen? Moeten we nu of in de toekomst maatregelen treffen?

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed
expertise bodem en ondergrond

Meer info?

Polutant build up in ‘vintage’ swales new cost effective XRF method

ワディの効果と楽しみ

このシステムにより、以下のような効果や楽しみが創出されている。まず、地下水レベルの維持のために、浸透エリアを設けることで地下水涵養がなされている。また、雨水の保持により、乾燥防止をきめた、微気候調整がなされている。そして、生態育成として、ワディには樹木や草花が保護・育成され、個人の庭とも組み合わされて、地区に豊富な緑と美しい景観を提供している（図 11）。また最終的な余剰排水先としての貯水池としての湿地は、ビオトープの役割を果たしている。

図 11 個人の庭でワディの緑を楽しむ

また、治水・利水の観点からは、オランダの基本原則の、「まず雨をその場に保つ」ことが適応されてとなることは避けられている。加えてワディは、降雨時は雨の溜まり場として、また雨の降らないときは、子供の遊び場や住人の散歩道などとして多目的に利用されている（図 12）。このように浸透エリアであるワディに公共空間としての機能が加わり、生活の豊かさやコミュニティの創出に対し、社会的な役割を果たしていることは非常に重要である。そして、雨と生活の空間が統合されることにより、水の流れにより循環に気づき、水溜まりにより雨の余韻を楽しみ、水の恵みに感謝することができるだろう。

図 12 ワディで遊ぶ子供たち

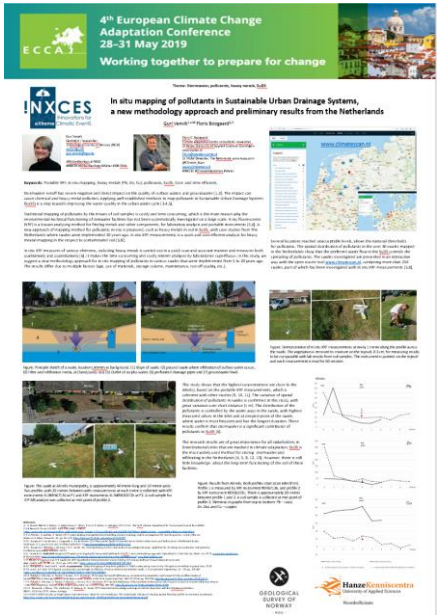
情報提供

Floris Boogaard, TAUW BV

Gerdrik Bruin, Waterschap Regge en Dinkel

参考文献

Floris Boogaard, Gerdrik Bruin, Ronald Wentink (2006) *Wadi's:*



GEOLOGICAL SURVEY OF NORWAY - NGU -

Hanzehogeschool Groningen

stowa

twitter LinkedIn ResearchGate

Stichting RIONED

INXCES

Interreg North Sea Region WaterCoG

Tauw

Dr.ir. F.C. (Floris) Boogaard,
06-51 55 68 26
e-mail: Floris@nooderruimte.nl

Jasper Schmeits (Tauw)
M +31 65 37 94 21 7

Opmerkingen gesprekken en social media

- Een idee zou zijn om een **samenwerking** te vinden met gemeenten om een check uit te voeren, en zo een duidelijk beeld te krijgen.
- zeer interessant. Ben zeer benieuwd of er een relatie is met de ligging? Is er een verschil bij bijvoorbeeld snelwegen, industrieterreinen en woonwijken als gevolg van een verschillende kwaliteit afstromend hemelwater? En ook hoe we hier **beleidsmatig** mee om moeten gaan.
- Extra aandacht is nodig voor wadis waar bij droogte kleine kinderen kunnen **spelen**. Lood is namelijk schadelijker voor hen dan eerder werd aangenomen.
- Verwijderen of voorkomen contact met verontreining
- Daarbij rijst wel de vraag welke toepassingen er nog geschikt zijn voor de verwijderde toplaag.
- Grasmaaisel neemt verontreinigen mee?
- Super, hebben we straks het zink- en kopererts voor het oprapen...
- Buitenland (Duitsland, Malmo: juni 2019)
- Meer informatie uitwisseling (bodembreed, mei 2019 Nijmegen)
- Kennisbank RIONED update
- Natuurvriendelijke wadis, zuivering met ….
- Vervolg onderzoek: diepte, nieuwe stoffen, …
- **Wat vinden jullie?**

symposium bodem breed

expertise
bodem en ondergrond

Tabellen en figuren

symposium bodem breed

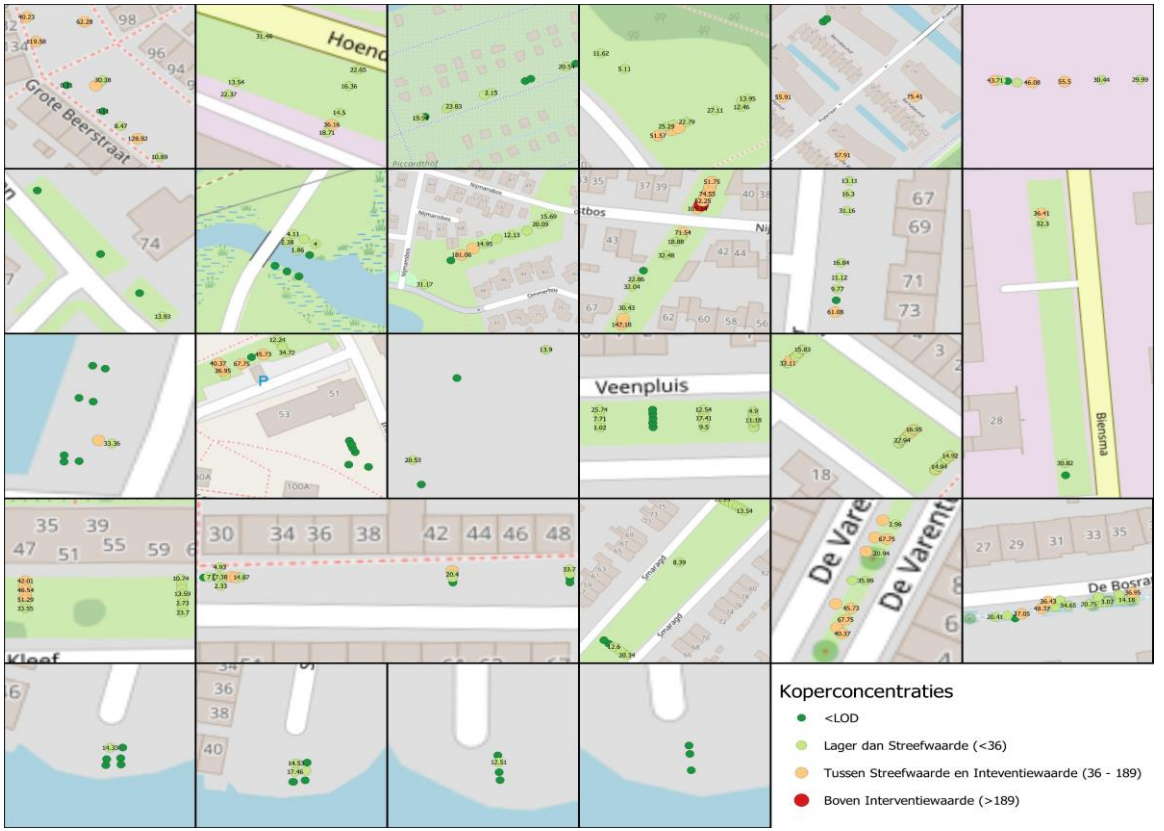
expertise
bodem en ondergrond

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Alle locaties: onderzoeksresultaten



13 KLIMAATACTIE

SESSIE 4.2 | 13.00 - 14.30 uur

Sessieleider:
Lidwien Besselink
(gemeente Amsterdam)

Klimaatadaptatie - Effectiviteit van maatregelen

Klimaatadaptatie staat anno 2019 hoog op de agenda. De klimaatstresstesten, die inzicht geven in de opgaven (wateroverlast, hitte, droogte en overstroming) zijn door gemeenten (bijna) uitgevoerd en de risicodialoog met de omgeving wordt voorbereid. Voor het gesprek met de omgeving en bestuurders is het goed om te weten, welke adaptatiemaatregelen mogelijk zijn, hoeveel die helpen en soms mogelijk erger zijn dan de kwaal, maar ook welke bedragen hierbij horen. Die investeringsbedragen kan je afzetten tegen de schade die we lijden door de klimaatveranderingen. En hoe kunnen we meer weten over de effectiviteit van allerlei maatregelen ?

In deze sessie ligt de focus op:

- Welke klimaatadaptatiemaatregelen werken écht? En welke maatregelen zijn het meest efficiënt en hoe kunnen we deze ruimtelijk en in afstemming met het bodem- en water systeem goed inpassen?
- Hoe ligt de relatie tussen de steden en het landelijk gebied? Kan het landelijk gebied het stedelijk gebied ontlasten en wanneer is dat kosteneffectiever?
- De infiltratievoorzieningen kunnen ook leiden tot een belasting van het bodem- en watersysteem. Hoe wegen we de positieve en negatieve effecten tegen elkaar af?

- **Nieuwe hulpmiddelen voor gesprek over klimaatadaptatie**
  Kees Broks (STOWA)

- **Klimaatadaptatie landelijk gebied in optima forma**
  Erik Schurink (LievenseCSO)

- **Bodem en ondergrond het DNA van stad en omgeving**
  Wim Timmermans (Wageningen Environmental Research)

- **Effecten van infiltratievoorzieningen/ wadi's op het bodem- en watersysteem**
  Floris Boogaard (Tauw)

symposium bodem breed

SESSIE 4.2 | 13.00 - 14.30 uur

Sessieleider:
Lidwien Besselink
(gemeente Amsterdam)

Klimaatadaptatie - Effectiviteit van maatregelen

Klimaatadaptatie staat anno 2019 hoog op de agenda. De klimaatstresstesten, die inzicht geven in de opgaven (wateroverlast, hitte, droogte en overstroming) zijn door gemeenten (bijna) uitgevoerd en de risicodialoog met de omgeving wordt voorbereid. Voor het gesprek met de omgeving en bestuurders is het goed om te weten, welke adaptatiemaatregelen mogelijk zijn, hoeveel die helpen en soms mogelijk erger zijn dan de kwaal, maar ook welke bedragen hierbij horen. Die investeringsbedragen kan je afzetten tegen de schade die we lijden door de klimaatveranderingen. En hoe kunnen we meer weten over de effectiviteit van allerlei maatregelen ?

In deze sessie ligt de focus op:

- Welke klimaatadaptatiemaatregelen werken écht? En welke maatregelen zijn het meest efficiënt en hoe kunnen we deze ruimtelijk en in afstemming met het bodem- en water systeem goed inpassen?
- Hoe ligt de relatie tussen de steden en het landelijk gebied? Kan het landelijk gebied het stedelijk gebied ontlasten en wanneer is dat kosteneffectiever?
- De infiltratievoorzieningen kunnen ook leiden tot een belasting van het bodem- en watersysteem. Hoe wegen we de positieve en negatieve effecten tegen elkaar af?

- **Nieuwe hulpmiddelen voor gesprek over klimaatadaptatie**
  Kees Broks (STOWA)

- **Klimaatadaptatie landelijk gebied in optima forma**
  Erik Schurink (LievenseCSO)

- **Bodem en ondergrond het DNA van stad en omgeving**
  Wim Timmermans (Wageningen Environmental Research)

- **Effecten van infiltratievoorzieningen/ wadi's op het bodem- en watersysteem**
  Floris Boogaard (Tauw)

13 KLIMAATACTIE

symposium bodem breed

expertise
bodem en ondergrond

4th European Climate Change Adaptation Conference
28–31 May 2019
Working together to prepare for change

Abstract 8858

Theme: Stormwater, pollutants, heavy metals, SuDS

In situ mapping of pollutants in Sustainable Urban Drainage Systems, a new methodology approach and preliminary results from the Netherlands

Guri Venvik[1], Floris Boogaard[2,3] and Allard Roest[2]

Guri Venvik
Geologist / researcher
1) Geological Survey of Norway (NGU)
www.ngu.no
guri.venvik@ngu.no

@UrbanGeology at NGU
#INXCES #UrbanGeology #Water #UN SDGs

Floris C. Boogaard
Climate adaptation lector, consultant, researcher
2) Hanze University of Applied Sciences, Groningen
www.hanze.nl
Floris@noorderruimte.nl
3) TAUW Deventer, The Neterlands www.tauw.com
@Climate_Scan
www.climatescan.nl
#INXCES #ClimateAdaptation #Water

Keywords: Portable XRF, in situ mapping, heavy metals (Pb, Zn, Cu), pollutants, SuDS, Cost- and time efficient

Stormwater runoff has severe negative and direct impact on the quality of surface waters and groundwater [1,2]. The impact can cause chemical and heavy-metal pollution. Applying well established methods to map pollutants in Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS) is a step towards improving the water quality in the urban water cycle [3,4,5].
Traditional mapping of pollutants by the means of soil samples is costly and time consuming, which is the main reason why the environmental-technical functioning of rainwater facilities has not been systematically investigated on a large scale. X-ray fluorescence (XRF) is a known analysing method for finding metals and other components, for laboratory analysis and portable instruments [5,6]. A new approach of mapping method for pollutants in-situ is proposed, such as heavy metals in soil in SuDS, with case studies from The Netherlands where swales were implemented 20 years ago. In situ XRF measurements is a quick and cost-efficient analysis for heavy meatal mapping in the respect to contaminated soil [5,8].
In situ XRF measures of various elements, including heavy metals is carried out in a quick scan and accurate manner and measures both qualitatively and quantitatively [6]. It makes the time-consuming and costly interim analyses by laboratories superfluous. In this study, we suggest a new methodology approach for in situ mapping of pollutants in various swales that were implemented from 5 to 20 years ago. The results differ due to multiple factors (age, use of materials, storage volume, maintenance, run off quality, etc.).

Several locations reached unacceptable levels, above the national thresholds for pollutants. The spatial distribution of pollutants in the over 30 swales mapped in the Netherlands show that the preferred water flow in the SuDS controls the spreading of pollutants. The swales investigated are presented in an interactive way with the open source tool www.climatescan.nl, containing more than 250 swales, part of which has been investigated with in situ XRF measurements [5,8].

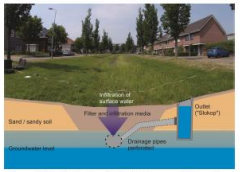


Figure: Principle sketch of a swale, location Limmen as background.

In Situ measurements with portable XRF

For a systematic data collection and a quick scan to cover the essential parts of a swale the proposed approach is profiling in cross-sections of the swale. Measuring points should be collected at a systematic interval, in this study 1 metre interval was executed. To cover the background values of the topsoil, measuring point on the outside or rim of the swale should be collected and crossing over to the other side. Such profiling will give background values and if any build-up of contamination, when profiling across the swale. It is important that the profiles cover the inlet and the deepest part of the swale, since water is the transporting media for the pollutants and the inlet and deepest part will contain water most frequent and for the longest period. The profiling approach should be repeated systematically to map the spread of the pollution in the swale.

Figure: Demonstration of in situ XRF measurements at every 1 metre along the profile across the swale. The vegetation is removed to measure on the topsoil, 0-3 cm, for measuring results to be comparable with lab results from soil samples. The instrument is pointed on the topsoil and each measurement is read for 60 seconds.

Figure. The swale at Almelo municipality, is approximately 40 metre-long and 10 metre wide. Two profiles with 20 metres between with measurements at each metre is collected with XRF instruments XL3tSN67136 at P1 and XRF instruments XL3tSN36372c at P2. A soil sample for ICP-MS analysis was collected at mid-point of profile 2.

Results and discussion

This study shows that the highest concentrations are close to the inlet(s), based on the portable XRF measurements, which is coherent with other studies [9, 10, 11]. The variation of spatial distribution of pollutants in swales is confirmed in this study, with great variation over short distance (1 m). The distribution of the pollutants is controlled by the water ways in the swale, with highest measured values in the inlet and at deepest point of the swale, where water is most frequent and has the longest duration. These results confirm that stormwater is a significant contributor of pollutants to SuDS [4].

The research results are of great importance for all stakeholders in (inter)national cities that are involved in climate adaptation. SuDS is the most widely used method for storing stormwater and infiltrating in the Netherlands [4, 5, 8, 12, 13]. However, there is still little knowledge about the long-term functioning of the soil of these facilities.

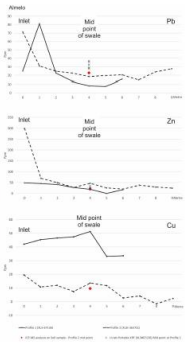


Figure to the right: Results from Almelo. Both profiles start at an inlet (0 m). Profile 1 is measured by XRF instrument #SN67136, and profile 2 by XRF instrument #SN36372c. There is approximately 20 metres between profile 1 and 2. A soil sample is collected at mid-point of profile 2. Elements in graphs from top to bottom: Pb – Lead, Zn -Zinc and Cu – copper.

Concluding remarks

The new portable XRF methodology approach presented for measurement of heavy metal pollutants in SuDS is a cost and time efficient method that give in situ results. The instrument has detection limits well below threshold values that makes this method valid for its purpose. With this quick-scan method the traditional soil samples and analyses by laboratories becomes superfluous. The results from the mapping of swales differ but there is a clear message; the water controls the distribution of pollutants in swales [9].

When in the field the profiling should be adjusted according to the design of the SuDS, making sure that the profiles cover the inlet, the deepest part as well the outer rim to represent the possible highest and lowest values of elements. The profiling should be executed systematically with a set interval. Control samples of soil should be collected and analysed in laboratory.

This quick scan XRF mapping methodology of topsoil will qualify to indicate if the topsoil is polluted or not according to the national or international standards [1, 13]. If pollutant values are found above threshold a follow up investigation is advised to mitigate before clean-up is proceeded [1, 4, 8, 13].

References.
1) B. Woods Ballard, S. Wilson, H. Udale-Clarke, S. Illman, T. Scott, R. Ashely, R. Kellagher, 2015 CIRIA - The SuDS Manual. Department for Environment Food & Rural Affairs, CIRIA Research Project (RP)992. ISBN: 978-0-86017-760-9.
2) T.D. Fletcher, H. Andrieu, P. Hamel, 2013 Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters; a state of the art. *Advances in Water Resources*, 51, pp. 261-279.
3) F.C. Boogaard, T. van de Ven, L. Langeveld, R. van de Giesen, 2014 Stormwater Quality Characteristics in (Dutch) Urban Areas and Performance of Settlement Basins, *Challenges*, 5, 1, pp.112-122, doi:10.3390/challe5010112
4) F.C. Boogaard, J. Sternberg, J. de Jong, 2014
5) F.C. Boogaard, A. Roest and G. Venvik, **In preparation.** National mapping of long-term pollution in Dutch swales using a new in situ XRF quick scan method, In preparation, 2019.
6) P.S. Jones, A.P. Davis 2013 Spatial accumulation and strength of affiliation of heavy metals in bioretention media. J. Environmental Engineering, Vol. 139, pp. 479-487.
7) S. Alkhatri, V. Nagarkar and M.R. Squillante 1997 Quantitative Measurement of Lead in Paint by XRF analysis Without Manual Substrate Correction. Appl. Radiat. Isot. Vol. 48, No. 10-12, pp. 1429-1439.
8) L. Weiss, W. Kamminga, J. Gromaire, C. de Gee, 2014
9) G. Venvik & F.C. Submitted Boogaard XRF quick-scan mapping for heavy metal pollutants in SuDS a new methodology approach, Submitted to CLEAN Soil, Air, Water. May 2019.
10) Thermofisher
11) S. Alkhatri, V. Nagarkar and M.R. Squillante 1997 Quantitative Measurement of Lead in Paint by XRF analysis Without Manual Substrate Correction. Appl. Radiat. Isot. Vol. 48, No. 10-12, pp. 1429-1439.
12) C. Weiss, W. Kamminga, J. de Jong, 2014
13) L. Tedoldi, C. Ghekiere, D. Pierlot, S. Kowcz, M.-C. Gromaire, 2017 Spatial distribution of heavy metals in the surface soil of source-control stormwater infiltration devices – Inter-site comparison. Science of the Total Environment Vol. 579 (2017) pp. 883-892.

GEOLOGICAL SURVEY OF NORWAY · NGU ·

HanzeKenniscentra
University of Applied Sciences
NoorderRuimte

Tauw

Welkom bij het 31e Symposium Bodem Breed

Hèt netwerk event van de bodem en ondergrond

expertise bodem en ondergrond | Stantec | Nijmegen

symposium bodem breed

Sessie 4.2

Klimaatadaptatie - Effectiviteit van maatregelen

symposium bodem breed

expertise bodem en ondergrond

Samenvatting

De eerste wadi's zijn ruim 20 jaar geleden aangelegd in Nederland om regenwater te bergen, infiltreren en te zuiveren.

Anno 2018 zijn er meer dan 500 wadi's verspreid over Nederland aangelegd. Over het hydraulisch functioneren is in het verleden veel onderzoek verricht (diverse RIONED en STOWA publicaties). **Recent** heeft een **onderzoek** plaatsgevonden naar het lange termijn milieutechnisch functioneren van deze **zuiveringsvoorziening**.