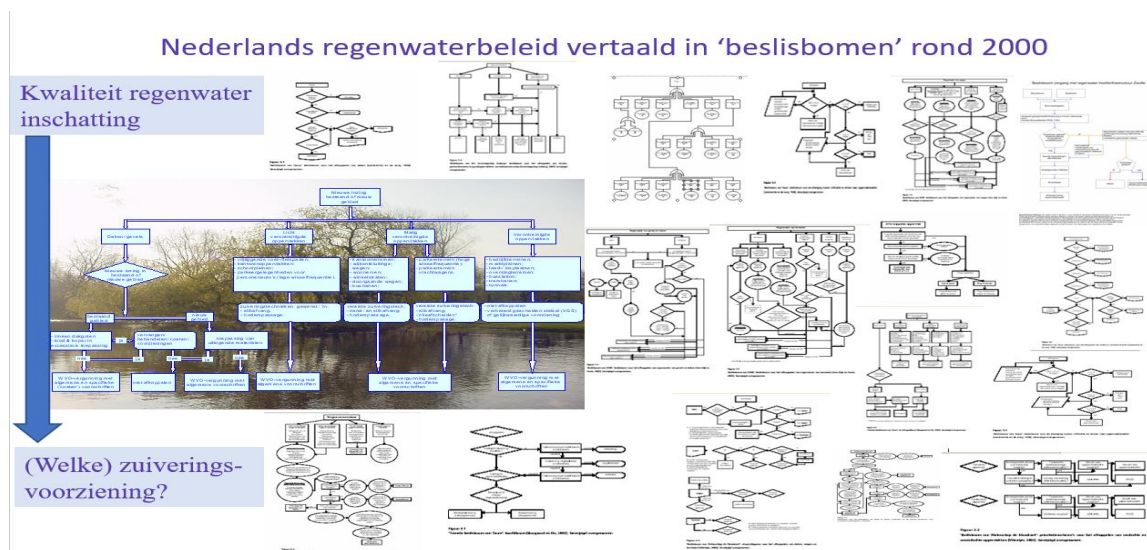


De kwaliteit van afstromend hemelwater in Nederland

Floris Boogaard (Hanzehogeschool Groningen, Deltares), Erik Liefting, Jeroen Langeveld (Partners4UrbanWater), Bert Palsma (STOWA)

De kwaliteit van afstromend hemelwater wordt bepaald door de samenstelling van de neerslag en van de verontreinigingen die het hemelwater tijdens de afstroming over daken en wegen meeneemt. Ten behoeve van beleidsvorming stelt STOWA samen met stichting RIONED al sinds 2007 een Database Hemelwaterkwaliteit ter beschikking. In 2020 verschijnt een flink herziene versie van deze database. Dit artikel beschrijft de belangrijkste bevindingen op basis van deze nieuwe database.

De kwaliteit van afstromend hemelwater speelt al decennia een belangrijke rol bij afwegingen over de afvoer, lozing en gebruik van (afval)water. De eerste goed gedocumenteerde onderzoeken zijn uitgevoerd door de in 1982 ingestelde Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit [1]. Uit deze publicaties rees het beeld dat afstromend hemelwater zo verontreinigd kon zijn, dat het niet zonder meer kan worden geloosd. Dit inzicht leidde tot diverse beslisbomen voor de omgang met afstromend hemelwater, met als doel om de vuiluitwerp naar oppervlaktewater te beperken. Rond de eeuwwisseling hadden veel waterschappen hun eigen beslisboom (afbeelding 1).



Afbeelding 1. Rond de eeuwwisseling had elk waterschap zijn eigen beslisboom voor omgang met afstromend hemelwater

Na de eeuwwisseling zijn veel gemeenten en waterschappen zelf de vuilvracht gaan meten om hun lokale beleid en beslisbomen verder te onderbouwen. In 2007 zijn veel van deze gegevens voor de eerste keer bijeengebracht in de Database Hemelwaterkwaliteit [2], [3]. Deze eerste database met waterkwaliteitsmetingen van 600 monsters op 30 onderzoeklocaties gaf een onderbouwing van belangrijke inzichten over de kwaliteit van afstromend hemelwater [3]. Uit onderzoek naar de bijdrage van afstromend hemelwater op de stedelijke oppervlaktewaterkwaliteit bleken echter nog steeds kennisleemtes te bestaan ten aanzien van stoffen als fosfaat, zware metalen, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) en de hygiënische betrouwbaarheid [4].

De afgelopen jaren zijn, ondersteund door de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) en stichting RIONED, diverse grootschalige meetprojecten uitgevoerd naar eigenschappen en stoffenconcentraties van afstromend hemelwater. Dit heeft geleid tot een grote hoeveelheid nieuwe meetgegevens, die inmiddels allemaal zijn opgenomen in de nieuwe versie van de Hemelwaterdatabase [5]. Dit artikel beschrijft de nieuwe database en gaat in op een aantal interessante inhoudelijke bevindingen.

Hemelwaterdatabase 2020

Anno 2020 bevat de Database Hemelwaterkwaliteit analyseresultaten van 1.742 monsters van 191 locaties in Nederland. Tabel 1 geeft voor enkele parameters een vergelijking van de gegevens in de database in 2007 en in 2020 om een indruk te krijgen van de orde van grootte van de aantallen.

Tabel 1. Aantallen concentratiemetingen in afstromend hemelwater in Nederland in de Database kwaliteit afstromend hemelwater 2007 en 2020 (voorbeelden)

Parameter	Aantal meetwaarden 2007	Aantal meetwaarden 2020
Metalen (zink)	175	1.184
PAK (antraceen)	151	599
Minerale oliën	231	621
Nutriënten (N-Kj)	142	740
Onopgeloste bestanddelen	138	1.162

De in de database opgenomen onderzoeken zijn gericht op verschillende verontreinigingen en verschillende categorieën afvoerend oppervlak in landelijk gebied, stedelijk gebied en bedrijventerreinen. Voor zover beschikbaar staan bij de metingen onder andere projectgegevens, zoals locatie, monsternamemethodiek, laboratorium, specificatie van verhard oppervlak en kenmerken van de omgeving (zoals bedrijven of snelwegen).

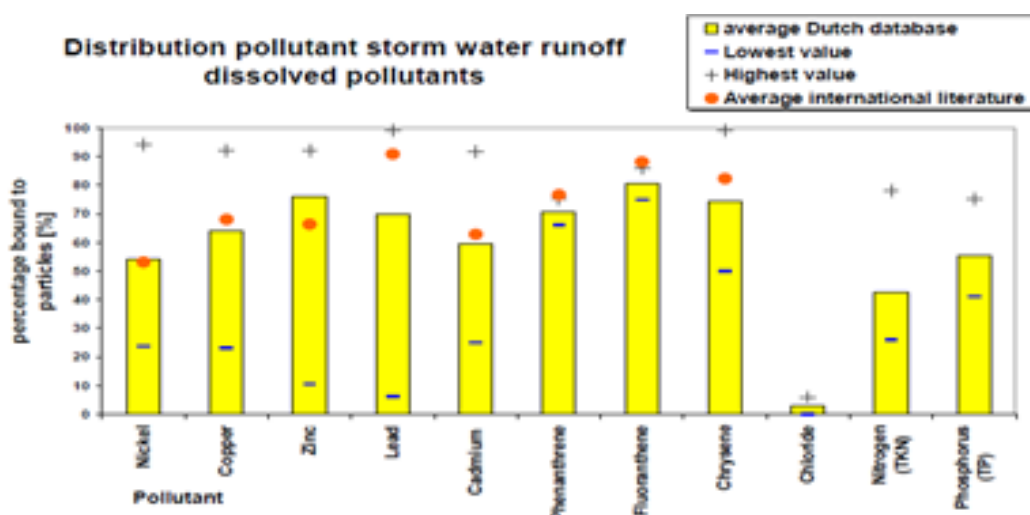
Bij de metingen is ook zo veel mogelijk informatie over bijvoorbeeld de aard (materiaalgebruik) en het gebruik (belasting en beheer) van de verharding mogelijk toegevoegd. De categorieën die gebruikers het meest raadplegen [6], zijn:

1. Hemelwater dat nog niet tot afstroming is gekomen (landelijk en stedelijk gebied).
2. Afstromend hemelwater van daken (verschillende dak- en gootmaterialen).
3. Afstromend hemelwater van wegen (snelwegen en provinciale wegen).
4. Afstromend hemelwater van daken en wegen (woonwijken).
5. Afstromend hemelwater van bedrijventerreinen (diverse categorieën bedrijven en industrie).

In het rapport 'Database kwaliteit afstromend hemelwater; Kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland' van STOWA en stichting RIONED is een selectie van stoffen en stofgroepen gepresenteerd [5]. Deze selectie is gebaseerd op de volgende overwegingen:

1. Uit het oogpunt van de Kaderrichtlijn Water (KRW) zijn prioritair stoffen en prioritair gevaarlijke stoffen interessant. Zes prioritair stoffen (waarvan vier prioritair gevaarlijke) zijn opgenomen in het rapport. Voor de metalen zijn de vier prioritair metalen cadmium, kwik, nikkel en lood vermeld. Daarvan zijn cadmium en kwik prioritair gevaarlijke stoffen. Daarnaast zijn de prioritair gevaarlijke PAK's antraceen en benzo(a)pyreen opgenomen.

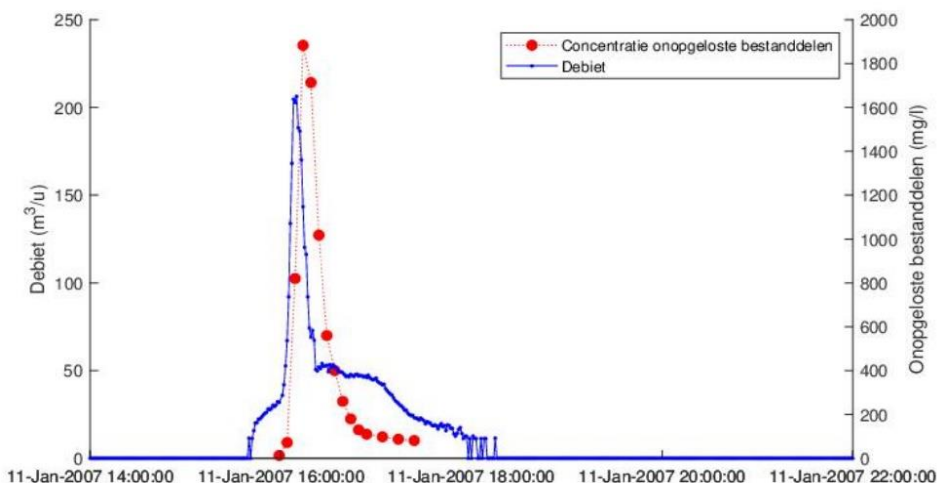
2. Veelvoorkomende waterkwaliteitsproblematiek in Nederlandse stedelijke watersystemen zijn eutrofiëring, zuurstofloosheid, stank, hygiënische onbetrouwbaarheid en slechte waterbodempkwaliteit [4]. Op grond van deze problemen zijn als veroorzakende stoffen (naast de KRW-parameters) toegevoegd:
 - a. Eutrofiëring: Kjeldahl-stikstof, nitraat, fosfaat (P-totaal),
 - b. Zuurstofhuishouding en stank: chemisch zuurstofverbruik (CZV),
 - c. Hygiënische betrouwbaarheid: *E. coli*.
 - d. Waterbodempkwaliteit: koper, zink, minerale olie
3. Daarnaast is het aandeel onopgeloste bestanddelen opgenomen als indicatie van de verwijderbaarheid van gebonden verontreinigingen. Veel verontreinigingen zijn immers aan deeltjes gebonden (zie afbeelding 2).



Afbeelding 2. Mate van binding aan deeltjes van verontreinigingen [7]

Inhoudelijke resultaten

Hemelwater dat nog niet is afgestroomd over het oppervlak bevat lage concentraties van verschillende stoffen die ook in de atmosfeer voorkomen. Afstromend hemelwater bevat meer stoffen en hogere concentraties. De kwaliteit van afstromend hemelwater kan per locatie en op een locatie in de tijd sterk verschillen (afbeelding 3). Daarom zijn in de database en het rapport behalve de gemiddelde waarde ook de 50%- en 90%-percentielwaarden gegeven.

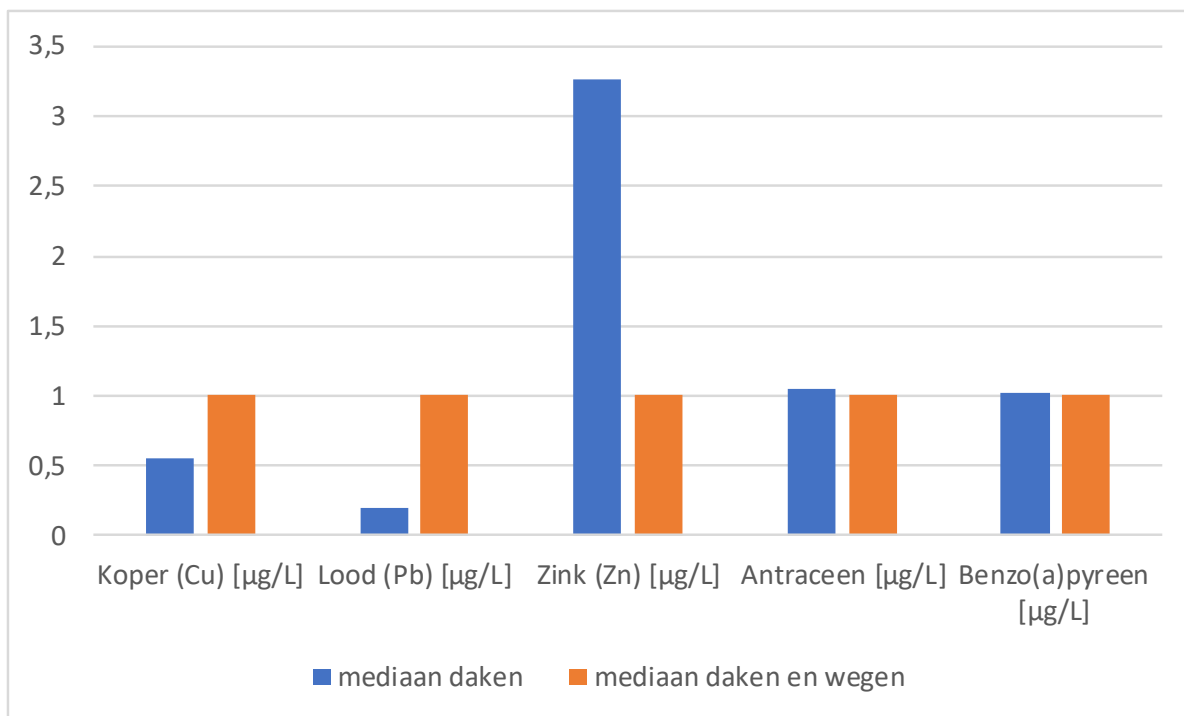


Afbeelding 3. Concentratie onopgeloste bestanddelen in afstromend hemelwater gedurende een bui (concentraties uit de database afstromend hemelwater)

Woonwijken vormen de meest geconsulteerde categorie van de database. Voor woonwijken wordt in de database onderscheid gemaakt tussen water dat alleen van daken afstroomt en het afstromende water van daken en wegen gezamenlijk (zie tabel 2). Als we beide categorieën vergelijken, valt op dat het afstromend hemelwater van daken gemiddeld minder zink bevat, maar meer koper en lood dan afstromend hemelwater in het hemelwaterriool na afstroming van zowel daken als wegen (afbeelding 4). De oorzaak hiervan kan liggen in het gebruik van uitlogende materialen voor dakgoten en dakbedekking (bijvoorbeeld loodslabben). Voor PAK's en minerale olie is het verschil niet significant.

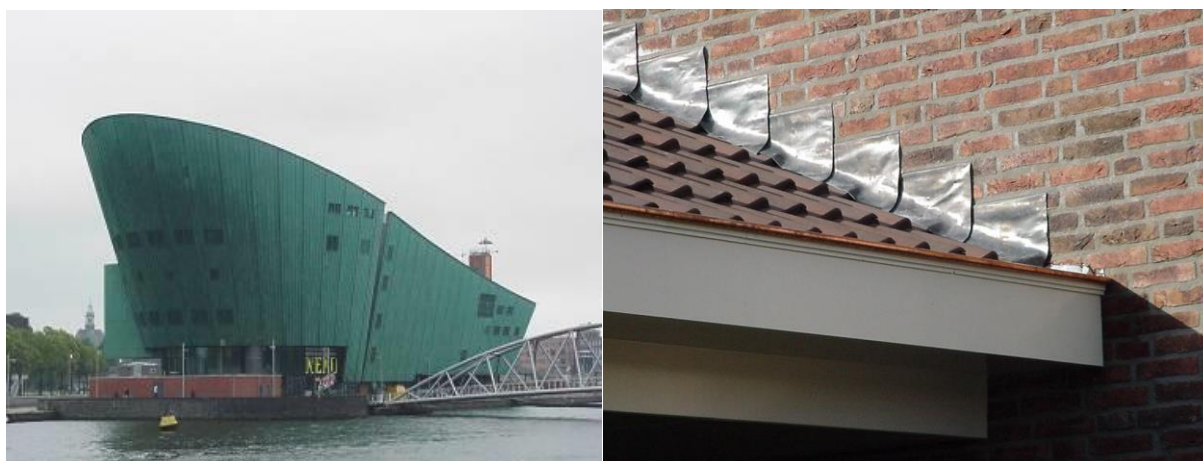
Tabel 2 Kwaliteit van afstromend hemelwater van daken en wegen in woonwijken

Parameter	Aantal locaties	Aantal metingen	Gemiddeld	50%-percentiel	90%-percentiel
Cadmium (Cd) [$\mu\text{g/L}$]	60	248	0,18	0,10	0,30
Koper (Cu) [$\mu\text{g/L}$]	67	549	21	12	37
Kwik (Hg) [$\mu\text{g/L}$]	20	191	0,026	0,010	0,060
Lood (Pb) [$\mu\text{g/L}$]	67	537	21	8	53
Nikkel (Ni) [$\mu\text{g/L}$]	60	248	4,1	2,1	7
Zink (Zn) [$\mu\text{g/L}$]	67	550	144	75	330
Antraceen [$\mu\text{g/L}$]	39	264	0,0076	0,0020	0,010
Benzo(a)pyreen [$\mu\text{g/L}$]	39	263	0,048	0,0080	0,080
Minerale olie [$\mu\text{g/L}$]	38	235	102	<50	170
CZV [mg O/L]	19	432	36	23	66
P-totaal [mg P/L]	32	409	0,30	0,20	0,54
N-Kjeldahl [mg N/L]	31	430	2,1	1,4	3,9
NO ₃ -N [mg N/L]	29	165	1,5	0,93	2,9
TSS [mg/L]	26	750	38	13	57
E. coli [# /100 ml]	10	129	2,4*10 ⁴	3,3*10 ³	2,5*10 ⁴



Afbeelding 4. Verschil in concentraties metalen in afstromend hemelwater in woonwijken van daken en van daken en wegen (daken en wegen = 1)

Verwacht mag worden dat de kwaliteit van afstromend hemelwater van daken voor wat betreft de metalen, minerale olie en PAK's deels wordt bepaald door het materiaalgebruik van de dakbedekking en dakgoten (afbeelding 5). Uit de database blijkt dat afstromend hemelwater van zowel bitumen daken als daken met zinken dakgoten significant meer zink en lood bevat dan overige daken. Voor het overige zijn de verschillen tussen bitumen daken, zinken dakgoten en overige daken vrij klein en statistisch niet significant.



Afbeelding 5. materiaalgebruik: koperen gevel (links) en loodslabben (rechts).

Afstromend hemelwater van bedrijventerreinen

Op bedrijventerreinen zijn de concentraties gemiddeld iets hoger dan in woonwijken. De concentraties van bedrijventerreinen in de database variëren echter sterk. Enige houvast kan de indeling in milieucategorieën 1 t/m 5 bieden [8]. Hierbij geldt: hoe hoger de categorie, hoe hoger de

milieubelasting. Maar de klasse-indeling is niet zonder meer representatief voor de vervuiling van het afstromende hemelwater. Dit geldt met name voor klasse 1 en 2.



Afbeelding 6. Hemelwaterput bij marktterrein (links) en lozingen op regenwaterriool (rechts)

Afstromend hemelwater van wegen

In het buitenland (o.a. Duitsland) wordt verkeersintensiteit vaak als indicatie voor waterkwaliteit gebruikt. De achterliggende gedachte is dat de verkeersintensiteit een maat is voor de vervuilingsgraad van het afstromende hemelwater van wegen: hoe meer verkeer, hoe meer vervuiling. In Nederland is in enkele systematieken (zie afbeelding 1) voor de omgang met hemelwater de verkeersintensiteit van een weg als beslismoment opgenomen. Maar bij het interpreteren van de onderzoeken is geen eenduidige relatie waargenomen tussen verkeersintensiteit en verontreinigingsgraad bij wegen in stedelijk gebied [9].

Kwaliteit van afstromend hemelwater in de tijd

De gemiddelde concentraties van afstromend hemelwater in woonwijken ligt tussen 2007 en 2020 voor meerdere stoffen lager dan vóór 2007, wat aannemelijk maakt dat de kwaliteit van het afstromende hemelwater over het algemeen is verbeterd sinds 2007. Hierbij moet worden benadrukt dat het ingewikkeld is om een algemene trend in de tijd vast te stellen op basis van meetdata uit onderling zeer verschillende meetprojecten.

Opkomende verontreinigende stoffen

Opkomende verontreinigende stoffen zijn stoffen waarvan de kennis over de gehalten in afstromend hemelwater nog beperkt is en waarvan tegelijkertijd wel bekend is dat de stof een probleem vormt. Er zijn zeer veel (potentiële) opkomende stoffen. Om inzicht te krijgen in het belang van de emissieroute via afstromend hemelwater zou onderzoek naar alle opkomende stoffenvarianten door middel van monsternamen en analyse onbetaalbaar en dus onhaalbaar zijn. Voor opkomende stoffen wordt dan ook een alternatieve aanpak voorgesteld, waarbij schattingen worden gedaan op basis van het gebruik van een stof en alleen gerichte, beperkte meetcampagnes worden ingezet om de uitkomsten van deze inschatting te verifiëren. Gebruik van buitenlandse meetwaarden is niet altijd verstandig, omdat het gebruik van stoffen per land verschilt.

Normering

Specifiek voor afstromend hemelwater en lozingen van hemelwater uit de hemelwaterriolering bestaan geen harde richtlijnen of waterkwaliteitsnormen. Hetzelfde geldt voor het meeste oppervlaktewater in de stad. De milieukwaliteitsnormen van de Kaderrichtlijn Water (KRW) geven een praktisch handvat voor de beoordeling van de chemische kwaliteit van afstromend hemelwater als bron van stedelijk oppervlaktewater.

Tabel 3 toont de kwaliteit van afstromend hemelwater in Nederland in vergelijking met het jaargemiddelde (JG-MKN) en de maximaal aanvaardbare concentratie (MAC-MKN) in zoet oppervlaktewater. De kleur van de gemeten concentraties geeft de hoogte van de concentratie aan ten opzichte van deze KRW-normen:

groen: gemiddelde waarde onder of gelijk aan het JG-MKN;

oranje: gemiddelde waarde boven het JG-MKN, maar onder de MAC-MKN;

rood: gemiddelde boven de MAC-MKN.

Tabel 3. Kwaliteit van afstromend hemelwater afgezet tegen milieukwaliteitsnormen JG-MKN, MAC-MKN en MTR (maximaal toelaatbaar risico)

Parameter	Gemiddeld daken en wegen woonwijken	Gemiddeld daken en wegen bedrijven	JG-MKN***	MAC-MKN***	MTR oppervlaktewater (oud)
Cadmium (Cd)** [µg/L]	0,18	1,4	0,08 – 0,25 ****	0,45 – 1,5 ****	2,0
Koper (Cu) [µg/L]	21	20	2,4	-	3,8
Kwik (Hg)** [µg/L]	0,026	0,26	0,00007	0,07	1,2
Lood (Pb)* [µg/L]	21	68	1,2	14	220
Nikkel (Ni)* [µg/L]	4,1	12	4	34	6,3
Zink (Zn) [µg/L]	144	594	7,8	15,6	40
Antraceen** [µg/L]	0,0076	0,0066	0,1	0,1	
Benzo(a)pyreen** [µg/L]	0,048	0,033	0,00017	0,27	
Minerale olie [µg/L]	102	1813	-	-	
CZV [mg O/L]	36	68	-	-	
P-totaal [mg P/L]	0,30	0,52	-	-	0,15
N-Kjeldahl [mg N/L]	2,1	9,9	-	-	MTR N-totaal 2,2 mg/l
NO ₃ -N [mg N/L]	1,5	0,66	-	-	
TSS [mg/L]	38	48	-	-	
E. coli [# /100 ml]	2,4*10 ⁴	1135	-	-	1,0*10 ³ *****
Parameter	Gemiddeld daken en wegen woonwijken	Gemiddeld daken en wegen bedrijven	JG-MKN***	MAC-MKN***	MTR oppervlaktewater (oud)

Parameter	Gemiddeld daken en wegen woonwijken	Gemiddeld daken en wegen bedrijven	JG-MKN***	MAC-MKN***	MTR oppervlakte-water (oud)
Cadmium (Cd)** [µg/L]	0,18	1,4	0,08 – 0,25 ****	0,45 – 1,5 ****	2,0
Koper (Cu) [µg/L]	21	20	2,4	-	3,8
Kwik (Hg)** [µg/L]	0,026	0,26	0,00007	0,07	1,2
Lood (Pb)* [µg/L]	21	68	1,2	14	220
Nikkel (Ni)* [µg/L]	4,1	12	4	34	6,3
Zink (Zn) [µg/L]	144	594	7,8	15,6	40
Antraceen** [µg/L]	0,0076	0,0066	0,1	0,1	
Benzo(a)pyreen** [µg/L]	0,048	0,033	0,00017	0,27	
Minerale olie [µg/L]	102	1813	-	-	
CZV [mg O/L]	36	68	-	-	
P-totaal [mg P/L]	0,30	0,52	-	-	0,15
N-Kjeldahl [mg N/L]	2,1	9,9	-	-	MTR N- totaal 2,2 mg/l
NO ₃ -N [mg N/L]	1,5	0,66	-	-	
TSS [mg/L]	38	48	-	-	
E. coli [# /100 ml]	2,4*10 ⁴	1135	-	-	1,0*10 ³ *****

* prioritaire stof

** prioritair gevaarlijke stof

*** De JG-MKN en MAC-MKN voor metalen (cadmium, koper, kwik, lood, nikkel, zink) hebben betrekking op de opgeloste concentratie.

**** de normwaarde is afhankelijk van de hardheid van het water

***** zwemwaternorm

Vooraf voor metalen liggen de gemeten (totale) concentraties hoger dan de norm. Deels komt dit doordat de JG-MKN en MAC-MKN voor cadmium, lood, kwik en nikkel betrekking hebben op de opgeloste concentratie; in de database is meestal alleen de totale concentratie beschikbaar. Dit is een belangrijk aandachtspunt bij het vergelijken van de gemeten concentraties met de normen. In vergelijking met de database uit 2007 springt met name lood er meer uit als probleemstof. Dit komt vooral doordat de KRW-norm veel strenger is dan de voorheen toegepaste MTR-norm.

Internationale vergelijking

Landelijke databases van hemelwaterkwaliteit voor een internationale vergelijking zijn er niet veel te vinden. Eén buitenlandse database, NSQD uit de Verenigde Staten, is een welkome uitzondering met ruim 3.000 metingen. Hier kan een onderscheid gemaakt worden tussen alle data ('overall') en woonwijken ('residential'). Hieruit blijkt dat de concentraties voor de meeste parameters in

woonwijken iets lager zijn dan de data waar bijvoorbeeld ook industrie, winkelcentra en andere terreinen bij zitten [7]. Dit is een vergelijkbaar resultaat met Nederland.

De Nederlandse concentraties in afstromend hemelwater zijn vergeleken met de buitenlandse metingen (Duitsland, Frankrijk en VS) relatief laag. Een achterliggende oorzaak voor de lagere concentraties kan zijn gelegen in het ontwerp van Nederlandse hemelwaterriolering dat ervoor zorgt dat de stroomsnelheid meestal laag is. De stroming neemt hierdoor minder makkelijk onopgeloste bestanddelen en hieraan gebonden verontreinigingen mee. De bij de hemelwateruitlaat gemeten concentraties zijn hierdoor laag. Hemelwaterzuivering door bezinkingstechnieken is door de lage concentratie bezinkbaar materiaal in Nederland minder snel te verkiezen dan in andere landen.

Conclusies

Wat beleidsmakers nu met afstromend hemelwater aan moeten, is niet direct af te leiden uit de data uit de Database Hemelwaterkwaliteit. Dit hangt af van lokale condities en ambities. Vervuiling in afstromend hemelwater heeft diverse bronnen en oorzaken: depositie, afstroming en 'vreemde' lozingen op de hemelwaterriolering (al dan niet met foutieve aansluitingen). Daarnaast hebben ook bezinking in de riolering, beheer ervan en eventuele voorzieningen invloed op de kwaliteit van het water bij het lozingspunt op het oppervlaktewater. Per locatie kunnen deze invloeden enorm verschillen. Lozing op oppervlaktewater en of bodem en grondwater is mogelijk.

Lozing van hemelwater op lokaal oppervlaktewater in de stad kan een positieve invloed hebben op de lokale waterkwaliteit wanneer het hemelwater niet al te zeer verontreinigd is door bijvoorbeeld foutaansluitingen. Zeker voor min of meer stilstaand stadswater, zoals weinig doorstroomde vijvers en singels, betekent de aanvoer van relatief schoon hemelwater een verversing en kwaliteitsverbetering. In het bijzonder wanneer de oppervlaktewaterkwaliteit door een met nutriënten en metalen opgeladen waterbodem negatief wordt beïnvloed.

Het afstromende hemelwater kan met één of meer parameters vervuild zijn. Ongezuiverd lozen kan de chemische en biologische waterkwaliteit, de waterbodemkwaliteit en de belevingswaarde van het ontvangende oppervlaktewater aantasten. Zijn hiervoor op voorhand aanwijzingen of blijkt dit in de praktijk het geval, dan ligt een brongerichte aanpak of zuivering als opties voor de hand.

Klimaatadaptatie vraagt om een andere inrichting van de openbare ruimte. Groenvoorzieningen krijgen functies als waterberging en infiltreren hemelwater in de bodem, zoals bij wadi's. Naast waterkwantiteitsbeheer zijn wadibodems aangelegd als zuiverende voorziening. Veel van de verontreinigingen worden in de toplaag van de wadi afgevangen. De vrachten zijn echter zo laag dat vervuiling pas na jaren meetbaar is. Het milieutechnisch functioneren van meer dan 30 al wat 'oudere' wadi's is recent onderzocht [10]. Bij enkele oudere wadi's zijn de interventiewaarden voor bodemsanering voor koper, lood of zink overschreden (met name zink). Hoge concentraties in de bodem van wadi's zijn in het algemeen aangetroffen bij hemelwaterinlaten, waar veel sediment met daaraan gebonden verontreinigingen zich ophoopt. In de meeste gevallen zijn de zware metalen afkomstig van een duidelijke bron of toepassing. In vrijwel alle gevallen vindt ophoping plaats: in de wadibodem zijn hogere concentraties aangetroffen dan in de bodem net boven de slokop of net naast de wadi (referentiebodemkwaliteit).

Concluderend kan men stellen dat hemelwaterkwaliteitsbeleid zal bestaan uit een combinatie van bronaanpak voor het terugdringen van de concentraties, end-of-pipe zuivering, en verantwoord lozen of hergebruiken van het water. Lozing van hemelwater op lokaal oppervlaktewater in de stad kan van

positieve invloed zijn op de lokale waterkwaliteit wanneer het hemelwater niet al te zeer verontreinigd is door bijvoorbeeld foutaansluitingen van vuilwater of door grondwater van slechte kwaliteit. Bij het toepassen van infiltratievoorzieningen moet rekening worden gehouden met de langetermijneffecten van de verontreinigingen in het afstromende hemelwater op de bodem. De Database Kwaliteit afstromend hemelwater helpt om de beleidsmatige omgang met hemelwater in Nederland verder te onderbouwen.

Referenties

1. Gast, M.K.H. (1989). 'Uitkomsten van het NWRW-onderzoek naar effecten van lozingen vanuit rioolstelsels op de waterkwaliteit'. *H2O* 24.
2. Boogaard, F.C. Lemmen, G.B. (2007). *De feiten over de kwaliteit van afstromend hemelwater*. STOWA-rapport 2007-21.
3. Boogaard, F.C. Lemmen, G.B. (2007). *Achtergrondrapport Database Hemelwater*. STOWA-rapport 2007-W09.
4. Aalderink, H., Langeveld, J.G., Liefiting, H.J., Weme, A. de (2009). *Oppervlaktewaterkwaliteit: wat zijn relevante emissies?* RIONED-Reeks 13. Stichting RIONED, Ede.
5. Liefiting, E., Boogaard, F.C., Langeveld, J. (2020). *Kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland. Database kwaliteit afstromend hemelwater*. STOWA/RIONED rapport 2020-05.
6. Boogaard, F.C., Lemmen, G., Palsma, B. (2007). 'Analyse van de meest gestelde vragen over de kwaliteit van Hemelwater'. *H2O* 24.
7. Boogaard, F.C., Ven F.H.M. van de, Langeveld, J., Giesen, N. van de (2014). 'Stormwater Quality Characteristics in (Dutch) urban areas and performance of settlement basins'. *Challenges* 5, 112-122; doi:10.3390/challe5010112.
8. Boogaard, F.C., Hulst, W van de, Pieters, W. Palsma, B. (2005). 'Afkoppelen hemelwater op bedrijventerreinen mogelijk met aanvullende maatregelen'. *H2O* 1 pag. 20
9. Commissie Integraal Waterbeheer (2002). *Afstromend wegwater*.
10. Boogaard, F.C. (2019). 'Bodemvervuiling in wadi's onderzocht met nieuwe methode'. *H2O*, mei 2019