



Kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland
Database kwaliteit afstromend
hemelwater

Database kwaliteit afstromend hemelwater

Samenvatting

De kwaliteit van afstromend hemelwater speelt een belangrijke rol bij afwegingen over de afvoer, het lozen en het gebruik van dit water. In 2007 waren gegevens van 600 monsters op 30 onderzoeklocaties bijeengebracht in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland. Deze database vormde de feitelijk onderbouwing van belangrijke inzichten over de kwaliteit van afstromend hemelwater die het beleid in Nederland in het afgelopen decennium hebben gevoed. Deze inzichten zijn samengevat in de publicatie 'De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater' (STOWA, 2007). Anno 2020 is de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland uitgebreid tot analyseresultaten van 1.742 monsters van 191 locaties in Nederland. Ten opzichte van 2007 zijn bovendien aanvullende kwaliteitscontroles uitgevoerd op de data, waardoor de kwaliteit van de database is verbeterd.

Voor dit onderzoeksrapport gelden de volgende kennisvragen als leidraad:

1. Wat is de gemeten kwaliteit van afstromend hemelwater in Nederland (hoofdstuk 3)?
2. Wat zijn de ontwikkelingen in de kwaliteit van afstromend hemelwater (hoofdstuk 4)?
3. Wat is de aanpak van opkomende verontreinigende stoffen in afstromend hemelwater (hoofdstuk 5)?
4. Hoe verhoudt de gemeten kwaliteit zich tot geldende normen (hoofdstuk 6)?
5. Hoe verhoudt de gemeten kwaliteit zich tot de buitenlandse situatie (hoofdstuk 7)?

Een nabeschouwing (hoofdstuk 8) gaat in op de belangrijkste oorzaken van verontreiniging en op beleid voor afstromend hemelwater.

Kwaliteit van afstromend hemelwater in Nederland

Vers 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. Gemiddeld verschilt de kwaliteit van afstromend hemelwater van daken met afstromend hemelwater in het hemelwaterriool. In woonwijken zijn de concentraties van stoffen iets lager dan op bedrijventerreinen.

Ontwikkeling kwaliteit afstromend hemelwater 2007-2020

Voor meerdere stoffen zijn de gemiddelde concentraties in afstromend hemelwater in woonwijken tussen 2007 en 2020 lager dan vóór 2007. Dit maakt aannemelijk dat de kwaliteit van het afstromende hemelwater over het algemeen is verbeterd sinds 2007.

Opkomende verontreinigende stoffen

Opkomende verontreinigende stoffen zijn stoffen waarvan de kennis over de gehalten in afstromend hemelwater nog beperkt is. Tegelijkertijd is wél bekend dat de stof een probleem vormt. Er zijn zeer veel (potentieel) opkomende stoffen, zoals organische microverontreinigingen (vb. PFAS) en bestrijdingsmiddelen (bv. Glyfosaat). Alle varianten van opkomende stoffenvarianten in afstromend hemelwater bemonsteren en analyseren is onbetaalbaar en daarmee onhaalbaar. Om toch inzicht te krijgen in het belang van de emissieroute van opkomende stoffen via afstromend hemelwater wordt dan ook een alternatieve aanpak voorgesteld. In deze aanpak worden schattingen gedaan op basis van het gebruik van een stof en worden alleen gerichte, beperkte meetcampagnes 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.

Normen voor de kwaliteit van afstromend hemelwater

Specifiek voor de waterkwaliteit van afstromend hemelwater en lozingen van hemelwater uit de hemelwaterriolering bestaan geen harde richtlijnen. Hetzelfde geldt voor het meeste oppervlaktewater in de stad. De milieukwaliteitsnormen van de KRW geven een praktisch handvat voor de beoordeling van de chemische kwaliteit van afstromend hemelwater als bron van stedelijk oppervlaktewater. Vooral voor metalen liggen de gemeten (totale) concentraties hoger dan de norm. In vergelijking met 2007 springt vooral lood er sterker uit als probleemstof. Dit komt vooral doordat de KRW-norm veel strenger is dan de voorheen toegepaste MTR-norm.

Nederland versus buitenland

De concentraties van stoffen in afstromend hemelwater in Nederland zijn relatief laag in vergelijking met de buitenlandse metingen. Een achterliggende oorzaak voor de lagere concentraties kan liggen in de typische *lay-out* van Nederlandse hemelwaterriolering die ervoor zorgt dat de stroomsnelheid meestal laag is. Onopgeloste bestanddelen en hieraan gebonden verontreinigingen worden hierdoor minder gemakkelijk met de stroming meegevoerd. De gemeten concentraties zijn hierdoor laag. Hemelwaterzuivering door bezinkingstechnieken is in Nederland minder snel te verkiezen dan in andere landen.

Oorzaken en beleid

Vervuiling in afstromend hemelwater heeft diverse bronnen en oorzaken: depositie, afstroming en 'vreemde' lozingen op de hemelwaterriolering. Daarnaast heeft ook bezinking in de riolering invloed op de waterkwaliteit die het water heeft ter plekke van het lozingspunt op het oppervlaktewater. Per locatie kunnen deze invloeden enorm verschillen.

Wat beleidsmakers nu met hemelwater aan moeten, is niet direct af te leiden uit de data van de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland. Dit hangt af van lokale condities en ambities. Hemelwaterkwaliteitsbeleid kan bestaan uit een combinatie van bronaanpak voor het terugdringen van de concentraties, *end-of-pipe* zuivering, of verantwoord lozen of hergebruiken van het water. Lozing van hemelwater op lokaal oppervlaktewater in de stad kan positieve invloed hebben op de lokale waterkwaliteit, mits 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. In wadibodems komen hogere concentraties verontreinigingen voor dan direct naast deze voorzieningen.

Inhoud

Voorwoord	8
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doel	9
1.3 Leeswijzer	9
2 Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland	10
2.1 Actualisatie 2007 – 2020	10
2.1.1 Buitenlandse metingen	10
2.1.2 Data Landelijk meetnet hemelwatersamenstelling	10
2.1.3 Bestandsformaat	10
2.2 Gebruik database	11
2.2.1 Weergave metingen onder rapportagegrens	11
2.2.2 Metadata	11
3 De chemische kwaliteit van hemelwater in Nederland	12
3.1 Welke stoffen?	12
3.2 Beschrijvende statistiek	13
3.2.1 Centrummaat en spreiding	13
3.2.2 Omgang met meetwaarden onder de rapportagegrens	14
3.2.3 Significantie van verschillen	14
3.3 Kwaliteit van hemelwater voor afstroming	15
3.3.1 Concentraties volgens Landelijk Meetnet Hemelwatersamenstelling	15
3.3.2 Metingen Enschede Ruwenbos	16
3.4 Kwaliteit van afstromend hemelwater in woonwijken	16
3.4.1 Kwaliteit van afstromend hemelwater van daken	18
3.5 Kwaliteit van afstromend hemelwater van bedrijventerreinen	18
3.6 Kwaliteit van afstromend hemelwater van wegen	19
4 Ontwikkelingen in de kwaliteit 2007 – 2020	21
5 Opkomende verontreinigende stoffen	22
5.1 Groeiende kennis	22
5.2 Aanpak in beeld brengen opkomende stoffen	22
5.3 Internationale literatuur beperkt toepasbaar	23
5.4 Opkomende verontreinigende stoffen in Database Kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland	23
6 Normering van de kwaliteit van hemelwater	24
6.1 Milieukwaliteitsnormen van de KRW	24
6.1.1 KRW-normen voor oppervlaktewater	24
6.1.2 KRW-normen gelden voor waterlichamen	24
6.2 Vergelijking MKN en concentraties in afstromend hemelwater	25
7 Vergelijking met hemelwaterkwaliteit in het buitenland	27
7.1 Nederlands hemelwater relatief schoon met weinig bezinkbaar materiaal	28
7.2 Woonwijken relatief schoon in USA en Nederland	28

8 Nabeschuwing: hemelwaterbeleid	29
8.1 Bronaanpak	29
8.1.1 Afspoeling	29
8.1.2 Foutaansluitingen en grondwater in de hemelwaterriolering	30
8.2 Zuivering	30
8.2.1 Centraal: rwzi	30
8.2.2 Lokale zuivering van afstromend hemelwater	31
8.3 Lozing en gebruik	32
8.3.1 Oppervlaktewater	32
8.3.2 Bodem	32
9 Conclusies	33
9.1.1 Over de gemeten kwaliteit van afstromend hemelwater	33
9.1.2 Over de ontwikkelingen in de kwaliteit van afstromend hemelwater	33
9.1.3 Over opkomende stoffen	33
9.1.4 Over de kwaliteit van afstromend hemelwater in relatie tot geldende normen	34
9.1.5 Over de kwaliteit van afstromend hemelwater in vergelijking met het buitenland	34
9.1.6 Hemelwaterbeleid	34
10 Bronnen	35
Colofon	38

Voorwoord

De kwaliteit van afstromend hemelwater speelt een belangrijke rol bij afwegingen over de afvoer van (afval)water. Om zicht te krijgen op de lokale de hemelwaterkwaliteit, geeft de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland een nuttige basis. In de oorspronkelijk database uit 2007 stonden gegevens van 600 monsters op 30 locaties in Nederland.

De afgelopen jaren zijn diverse grootschalige meetprojecten uitgevoerd naar de kwaliteit en eigenschappen van hemelwater. De resultaten hiervan hebben we in de Database Kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland opgenomen. De vernieuwde database bestaat hierdoor uit meer dan 26.800 metingen op ruim 190 locaties in Nederland.

Met deze actualisatie biedt de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland meer inzicht in de variaties in de kwaliteit van diverse waterstromen in stedelijk gebied. Hierdoor kunt u als beheerder de vuilemissie van hemelwatersystemen en de effecten ervan op het milieu beter bepalen. Deze informatie is essentieel om keuzes te maken over de afvoer van hemelwater in de openbare ruimte en om de kosteneffectiviteit van eventuele zuiveringsmaatregelen te bepalen.

De Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland biedt nuttige ondersteuning bij het maken van – lokaal - hemelwaterkwaliteitsbeleid. Hemelwaterkwaliteitsbeleid hangt af van lokale condities en ambities en kan bestaan uit een combinatie van bronaanpak voor het terugdringen van de concentraties, end-of-pipe zuivering, of verantwoord lozen of hergebruiken van het water.

STOWA en Stichting RIONED nodigen u uit om data van nieuwe meetprojecten naar de kwaliteit van afstromend hemelwater en de behandeling ervan aan te leveren via hemelwater@stowa.nl.

De Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland treft u aan op de STOWA website (rapport no. 2020.05) of kunt u downloaden via: www.riool.net/hemelwaterkwaliteit

Joost Buntsma, directeur STOWA
Hugo Gastkemper, directeur Stichting RIONED

April 2020

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De kwaliteit van afstromend hemelwater speelt een belangrijke rol bij afwegingen over de afvoer, het lozen en het gebruik van dit water. In 2007 zijn gegevens van 600 monsters op 30 onderzoeklocaties bijeengebracht in de Database Hemelwaterkwaliteit^{1,2}. Deze database vormde de feitelijk onderbouwing van belangrijke inzichten over de kwaliteit van afstromend hemelwater die het beleid in Nederland in het afgelopen decennium hebben gevoed. Deze inzichten zijn samengevat in de publicatie 'De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater' (STOWA, 2007).

Niet alle antwoorden waren in 2007 al volledig gegeven. Uit onderzoek naar de bijdrage van afstromend hemelwater op de stedelijke oppervlaktewaterkwaliteit bleken nog steeds kennisleemtes te bestaan van stoffen als fosfaat, zware metalen, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) en de hygiënische betrouwbaarheid³. Het afgelopen decennium zijn diverse grootschalige meetprojecten uitgevoerd naar de kwaliteit (concentraties van stoffen) en eigenschappen (zoals de binding van stoffen aan zwevende deeltjes en de bezinkbaarheid van die deeltjes) van hemelwater. De resultaten hiervan zijn vervolgens toegevoegd aan de database. Het aantal metingen in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland is daardoor in de loop van de jaren na 2007 fors toegenomen^{4,5}.

Naast deze actualisatie is de kennisbehoefte geïnventariseerd via literatuurstudie, workshops en interviews met databasegebruikers en geïnteresseerden in hemelwaterkwaliteit. In 2019 is bovendien een uitgebreide kwaliteitscontrole op de data in de database uitgevoerd.

1.2 Doel

Dit onderzoeksrapport geeft u een overzicht van de belangrijkste trends en ontwikkelingen op het gebied van hemelwaterkwaliteit. Ook geeft het een praktische toelichting op het gebruik van de Database Hemelwater. Voor gedetailleerde informatie over metingen kunt u de vermelde onderzoeksrapporten raadplegen.

De volgende kennisvragen vormen in dit rapport de leidraad:

1. Wat is de gemeten kwaliteit van afstromend hemelwater in Nederland?
2. Wat zijn de ontwikkelingen in de kwaliteit van afstromend hemelwater?
3. Wat is de aanpak van opkomende verontreinigende stoffen in afstromend hemelwater?
4. Hoe verhoudt de gemeten kwaliteit zich tot geldende normen?
5. Hoe verhoudt de gemeten kwaliteit zich tot de buitenlandse situatie?

De antwoorden op deze vragen vindt u samengevat in dit rapport. De database en dit rapport geven geen direct antwoord op de vragen naar de belangrijkste oorzaken van verontreiniging van afstromend hemelwater en naar de invulling van beleid over afstromend hemelwater. Wel staan in de nabeschouwing van dit rapport (hoofdstuk 8) correlaties en trends op globaal niveau.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de inhoud van de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland anno 2020. Het vervolg van het rapport is gestructureerd naar bovenstaande kennisvragen: per vraag een hoofdstuk. Het rapport sluit af met een nabeschouwing en conclusies.

¹ F.C. Boogaard, G.B. Lemmen, 2007. De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater. STOWA-rapport 2007-21.

² F.C. Boogaard, G.B. Lemmen, 2007. Achtergrondrapport Database Regenwater. STOWA-rapport 2007-W09.

³ H. Aalderink, J.G. Langeveld, H.J. Liefing, A. de Weme, 2009. Oppervlaktewaterkwaliteit: wat zijn relevante emissies? RIONED-Reeks 13. Stichting RIONED, Ede.

⁴ F.C. Boogaard, 2014. Database met gegevens over regenwater uitgebreid en verbeterd, STOWA nieuwsbrief september 2014.

⁵ F.C. Boogaard, 2016. Kwaliteit regenwater en (bezink-)voorzieningen; De nieuwe database regenwaterkwaliteit en nieuwe inzichten in de effectiviteit van (bezink-)voorzieningen. STOWA Afvalwatersymposium.

2 Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland

2.1 Actualisatie 2007 – 2020

In 2007 zijn gegevens van 600 monsters op 30 onderzoeklocaties bijeengebracht in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland. Anno 2020 bevat de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland (200213 DATABASE hemelwater vs6_0.xlsx) analyseresultaten van 1.742 monsters van 191 locaties in Nederland. Ten opzichte van 2007 zijn aanvullende kwaliteitscontroles uitgevoerd op de data, waardoor ook sommige ‘oude’ gegevens zijn aangevuld of gecorrigeerd en de kwaliteit van de database is verbeterd. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de gegevens in de database.

Tabel 2.1 Samenvatting concentratiemetingen in afstromend hemelwater in Nederland in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland

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

2.1.1 Buitenlandse metingen

De Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland 2007-2020 bevat alleen Nederlandse gegevens. In de database van 2007 waren ook ruim 200 waterkwaliteitsmetingen uit het buitenland opgenomen. De buitenlandse metingen maken niet langer deel uit van de database vanwege de aanvullingen met Nederlandse waterkwaliteitsmetingen sinds 2007 en omdat buitenlandse metingen na 2007 niet zijn geactualiseerd. In dit rapport is in hoofdstuk 7 wel een vergelijking gemaakt met buitenlandse metingen.

2.1.2 Data Landelijk meetnet hemelwatersamenstelling

Data van het Landelijk meetnet hemelwatersamenstelling van het RIVM (LMRe) zijn niet langer opgenomen in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland. Het gaat om metingen van de chemische samenstelling van hemelwater vóór afstroming met betrekking tot ammonium, nitraat, sulfaat, fosfaat, fluor, chloride, natrium, kalium, magnesium, calcium, vanadium, chroom, ijzer, kobalt, nikkel, koper, zink, arseen, cadmium en lood. (In 2000 en 2001 is ook linaan gemeten.) Het RIVM beheert en publiceert deze meetresultaten zelf. Zie hiervoor de internetpagina van het meetnet van het RIVM: www.rivm.nl/lucht/gevalideerde-data en www.luchtmeetnet.nl/ (de laatstgenoemde pagina is nog in opbouw). De karakteristieken van hemelwater voor afstroming, gebaseerd op de metingen van het RIVM, staan in dit rapport beschreven in paragraaf 3.3.

2.1.3 Bestandsformaat

De Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland was in 2007 vanwege de toegankelijkheid en praktische redenen niet verwerkt in een database-softwareprogramma, maar in een Excelbestand (.xls). Anno 2020 is het bestandsformaat nog steeds Excel (.xlsx). Het is gebleken dat de structuur van de database (invoer)fouten in de hand kan werken. Daarom is in 2019 een uitgebreide datacontrole uitgevoerd en zijn foutief ingevoerde data opgespoord en gecorrigeerd aan de hand van de oorspronkelijke rapportages.

2.2 Gebruik database

De in de database opgenomen onderzoeken zijn gericht op verschillende verontreinigingen en verschillende categorieën afvoerend oppervlak in de gebieden: landelijk, stedelijk en bedrijventerreinen. De categorieën die onderzoekers het meest raadplegen⁶, zijn:

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

De informatie over bijvoorbeeld de aard (materiaalgebruik) en het gebruik (belasting en beheer) van de verharding is bij de metingen zo veel mogelijk toegevoegd. Voor zover beschikbaar staan bij de metingen onder andere: projectgegevens, locatie, monsternamen, methodiek, laboratorium, specificatie van verhard oppervlak en kenmerken van de omgeving (zoals bedrijven of snelwegen).

2.2.1 Weergave metingen onder rapportagegrens

In de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland van 2007 zijn alle metingen onder de rapportagegrens (RG) gerapporteerd als 0,75 vermenigvuldigd met de rapportagegrens (substitutie). Uit de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland was (zonder gebruikmaking van de originele analyserapporten) niet eenduidig af te leiden of een gerapporteerde waarde een daadwerkelijke meetwaarde betrof of een substituut. In de geactualiseerde database zijn de meetwaarden op twee verschillende manieren in twee werkbladen opgenomen: een werkblad met notatie '< [waarde RG]' en een werkblad met getalswaarde '0,75*[waarde RG]'. Dit laatste werkblad kan dan gebruikt worden voor grove statistische analyse.

Voor parameters met veel waarden onder RG (10% of meer) zorgt deze grove statistische benadering met gesubstitueerde meetwaarden voor afwijkende resultaten, bijvoorbeeld een overschatting van de gemiddelde waarde. Daarom wordt aanbevolen om gebruik te maken van een statistische methode die beter kan omgaan met waarden onder de rapportagegrens, bijvoorbeeld de Kaplan-Meiermethode. Hiervoor kunt u gebruik maken van een script in R dat beschikbaar wordt gesteld met de database.

2.2.2 Metadata

Metadata bij de meetgegevens staan samengevat in de eerste kolommen van de ingevoerde data. Voor uitgebreidere informatie over de meetlocatie, de meetmethode en de meetresultaten kunt u gebruik maken van de referentie naar de onderzoeksrapporten die zoveel mogelijk per project zijn toegevoegd. Doet u gedetailleerde analyses? Dan kunt u het best deze individuele onderzoeken nader bestuderen.

⁶ Boogaard F.C. Lemmen G., Palsma B. Analyse van de meest gestelde vragen over de kwaliteit van Regenwater, H2O nr. 24, 2007.

3 De chemische kwaliteit van hemelwater in Nederland

3.1 Welke stoffen?

Dit onderzoeksrapport presenteert een selectie van stoffen en stofgroepen. 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 stoffen) zijn opgenomen in dit 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 waterkwaliteitsproblemen in Nederlandse stedelijke watersystemen zijn eutrofiëring, zuurstofloosheid, stank, hygiënische onbetrouwbaarheid en slechte waterbodempkwaliteit⁷. Op grond van deze problemen zijn als veroorzakende stoffen (naast de KRW-parameters) toegevoegd:
 - a. Eutrofiëring: Kjeldahlstikstof, 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 gehalte aandeel onopgeloste bestanddelen opgenomen. Dit is (ook in internationaal perspectief) een indicatie van de verwijderbaarheid van gebonden verontreinigingen.

Dit resulteert in de stoffenlijst van Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Samenvatting indicatorparameters hemelwaterkwaliteit

Beschouwde parameters 2020	Beschouwde parameters 2007
Cadmium (Cd)**	Cadmium (Cd)
Koper (Cu)	Koper (Cu)
Kwik (Hg)**	Kwik (Hg)
Lood (Pb)*	Lood (Pb)
Nikkel (Ni)*	Nikkel (Ni)
Zink (Zn)	Zink (Zn)
Antraceen**	
Benzo(a)pyreen**	Benzo(a)pyreen
	PAK10
Minerale olie	Minerale olie
Chemisch ZuurstofVerbruik (CZV)	Chemisch ZuurstofVerbruik (CZV)
P-totaal	P-totaal
N-Kjeldahl	N-Kjeldahl
Nitraat (NO ₃ -N)	
Totaal onopgeloste bestanddelen (TSS)	Totaal onopgeloste bestanddelen (TSS)
E. coli	E. coli
	Chloride
	IJzer
	BZV
	Zuurstof

* prioritair stof

** prioritair gevaarlijke stof

⁷ H. Alderink, J.G. Langeveld, H.J. Liefing, A. de Weme, 2009. Oppervlaktewaterkwaliteit: wat zijn relevante emissies? RIONED-Reeks 13. Stichting RIONED, Ede.

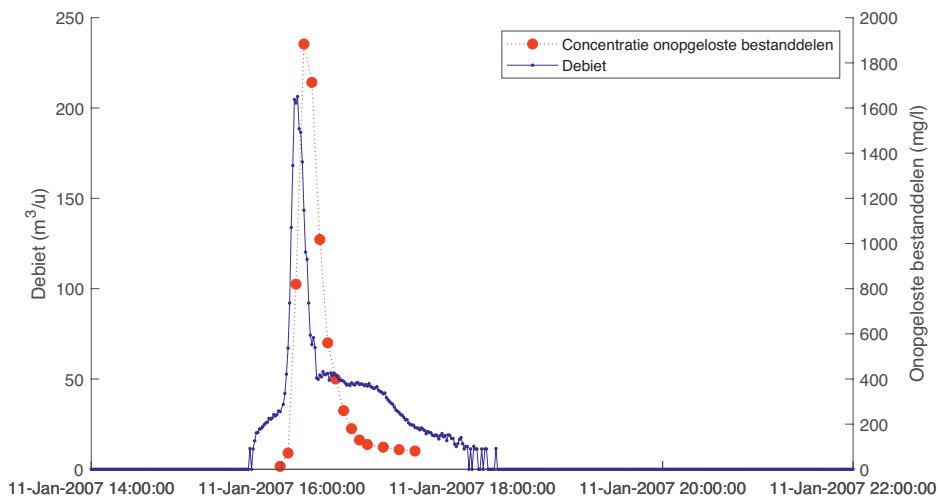
In vergelijking met het rapport uit 2007 zijn de parameters chloride, ijzer, biochemisch zuurstofverbruik (BZV) en zuurstof niet verder beschouwd. Dit zijn geen prioritaire of prioritair gevaarlijke stoffen. Ze hebben ook geen dominante invloed op de veelvoorkomende waterkwaliteitsproblemen in stedelijk oppervlaktewater. PAK10 en PAK16 worden als stofgroep niet (meer) gebruikt in wet- en regelgeving. Benzo(a)pyreen geldt als markerparameter voor de stofgroep polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)⁸.

In dit rapport komen de volgende verschijningsvormen van de nutriënten stikstof en fosfor voor:

- Kjeldahlstikstof (N-Kj): volgens de Kjeldahl-methode gemeten som van organisch stikstof, ammoniak en ammonium in een monster. Stikstofoxiden (waaronder nitraat) maken geen onderdeel uit van Kjeldahlstikstof.
- Nitraatstikstof (NO₃-N): als nitraat aan zuurstof gebonden stikstof (stikstofoxide).
- Ammoniumstikstof (NH₄-N): aan waterstof gebonden stikstof. NH₄ is het geoconjugeerde zuur van ammoniak (NH₃).
- Totaal fosfor (P-tot): de totale hoeveelheid aan fosfor (P) in de diverse fosforverbindingen in een monster.
- Orthofosfaat (PO₄-P): de hoeveelheid als fosfaat gebonden fosfor. Orthofosfaat is de vorm waarin fosfor het meest in verbindingen voorkomt.

3.2 Beschrijvende statistiek

De hemelwaterkwaliteit kan per locatie en zelfs op één locatie in de tijd sterk verschillen. Zo kan de kwaliteit van afstromend hemelwater binnen één bui met een factor 100 variëren. Dit heeft onder meer te maken met de invloed van hydraulische processen (stroomsnelheid en schuifspanningen) op de hoeveelheid van afstromende onopgeloste bestanddelen waaraan vervuilende stoffen zoals metalen gebonden zijn (Figuur 3.1).



Figuur 3.1 Variatie in meetwaarden van debiet en concentratie onopgeloste bestanddelen (TSS) in de hemelwaterriolering op meetlocatie Arnhem Dordrechtweg tijdens een bui (concentratie metingen uit de database).

3.2.1 Centrummaat en spreiding

Voor een algemene indruk van de hemelwaterkwaliteit wordt vaak gekeken naar de gemiddelde waarden. Een beperkt aantal uitschieters kan het gemiddelde echter sterk omhoogtrekken. Daarom staan in dit rapport behalve het rekenkundige gemiddelde van de waarnemingen ook de mediaan (middelste waarde van een op grootte gesorteerde dataset) en de 90%-percentielwaarde van de chemische kwaliteit van hemelwater. De 90%-percentielwaarde betekent dat 90% van de monsters een lagere concentratie heeft dan de genoemde waarde. Het aantal meetwaarden en het aantal onderzoekslocaties geeft een indicatie voor de betrouwbaarheid.

⁸ Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009.

N.B. Bij het berekenen van het gemiddelde zijn alle ingevoerde meetwaarden per parameter ongewogen (rekenkundig) gemiddeld. Er is geen onderscheid gemaakt tussen steekmonsters en bui-/volume-/locatie-gemiddelde concentraties, omdat het bepalen van de weegfactoren tussen ongelijksoortige monsters praktisch ondoenlijk is. Door het opnemen van neerslaghoeveelheid als kenmerk bij het monster kan de gebruiker van de database dergelijke analyses wel uitvoeren. N.B. bij steekmonsters is de meerwaarde zeer beperkt als niet bekend is op welk moment in de bui het monster is genomen.

3.2.2 Omgang met meetwaarden onder de rapportagegrens

In concentratiemetingen van hemelwater komen vaak waarnemingen voor waarin de concentratie onder de rapportagegrens ligt. Dit betekent dat de concentratie te klein is om (betrouwbaar) te kunnen vaststellen. De uitkomst is dan geen getalswaarde, maar een 'kleinerdanwaarde' ($<$ [waarde RG]). Hoewel substitutie (het vervangen van meetwaarden onder de rapportagegrens met een getalswaarde) in de statistiek zeer algemeen wordt toegepast, blijkt dit te leiden tot afwijkende statistische resultaten. Literatuur^{9,10,11} laat zien dat substitutie beter niet kan worden toegepast en welke alternatieve methoden beter zijn voor de statistiek van de zogenoemde 'left censored data'. Enkele voorbeelden zijn de Kaplan-Meiermethode, Regression on Order Statistics (ROS) en de Maximum Likelihood Estimator (MLE). Een inhoudelijke beschrijving van deze methoden voert hier te ver. De geïnteresseerde lezer kan o.a. terecht bij Shoari, 2016¹².

De methode die is gekozen voor de beschrijvende statistiek in dit rapport, is de Kaplan-Meier methode, omdat:

1. in deze non-parametrische methode vooraf geen aanname hoeft te worden gedaan over de statistische verdelingsfunctie;
2. de methode zowel geschikt is voor 'left-censored' als 'right-censored' data (respectievelijk concentraties onder de detectielimiet en concentraties boven het meetbereik; beide komen voor in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland).

De gebruiker van de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland kan ook gebruik maken van deze statistische methode. Een R-script om op de data toe te passen, is beschikbaar gesteld bij de database. Minder ervaren gebruikers kunnen voor een grove benadering terugvallen op een werkblad waarin waarden onder de rapportagegrens (RG) zijn vervangen met getalswaarde $0,75 * [\text{waarde RG}]$.

3.2.3 Significantie van verschillen

Door het opnemen van de kenmerken van de meetlocatie (bijvoorbeeld het type oppervlak of het type gebied) is het mogelijk om te onderzoeken of hemelwater van verschillende herkomst ook in kwaliteit verschilt. De vraag is dan of zulke verschillen toevallig zijn, of dat met grote zekerheid kan worden gesteld dat de gemiddelde waterkwaliteit van verschillende herkomst echt verschilt.

Een veelgebruikte toets hiervoor is de zogenaamde t-toets. Deze toets veronderstelt dat de onderling vergeleken datasets normaal verdeeld zijn. Dat is voor de data in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland niet het geval. De t-toets is daarom niet geschikt.

In plaats daarvan is de Mann-Whitney-toets gebruikt, ook bekend als de Mann-Whitney-Wilcoxon-toets of kortweg de MWW-toets. Deze toets is non-parametrisch, wat wil zeggen dat de toets geen verdeling van de datasets (zoals een normale verdeling) vooronderstelt. De nulhypothese van de gebruikte toets luidt dat de statistische verdelingen van twee steekproeven *niet* significant van elkaar verschillen. Met andere woorden: als de nulhypo-

⁹ D. Helsel, 2009. Much Ado About Next to Nothing: Incorporating Nondetects in Science. Ann. Occup. Hyg., Vol. 54, No. 3, pp. 257-262, 2010. doi:10.1093/annhyg/mep092.

¹⁰ D. Beal, 2009. A Macro for Calculating Summary Statistics on Left Censored Environmental Data using the Kaplan-Meier Method. Paper SDA-09.

¹¹ N. Shoari, 2016. Quantitative analysis of left-censored concentration data in environmental site characterization. Ph. D. thesis, École de Technologie Supérieure, Université du Québec.

¹² *Ibidem*.

these overeind blijft, zijn er geen statistisch significante verschillen tussen de datasets van de twee vergeleken populaties. Als de nulhypothese wordt verworpen, verschilt de hemelwaterkwaliteit wat betreft die parameter wel significant tussen beide populaties. De nulhypothese wordt verworpen als de kans dat de nulhypothese waar is, kleiner is dan 1% (het significantieniveau). In het toepassen van de MWW-toets is rekening gehouden met de waarden onder de rapportagegrens. Hiervoor is gebruik gemaakt van de functie `twoSampleLinearRankTestCensored` uit de package 'EnvStats' in R¹³.

3.3 Kwaliteit van hemelwater voor afstroming

3.3.1 Concentraties volgens Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling

Vers hemelwater dat nog niet is afgestroomd over het oppervlak bevat (lage) concentraties van verschillende stoffen die ook in de atmosfeer voorkomen. Deze stoffen worden gemeten door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) in het Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling (LMRe). Dit meetnet bestaat uit meetpunten in landelijk gebied. Hierbij gebruikt het RIVM 'wet only-vangers', zodat droge depositie niet wordt meegenomen.

Het LMRe meet geen N-Kjeldahl en P-totaal, maar wel ammoniumstikstof ($\text{NH}_4\text{-N}$) en orthofosfaat ($\text{PO}_4\text{-P}$). Door het ontbreken van organisch materiaal in vers (niet afgestroomd) hemelwater mag verwacht worden dat deze vervangende parameters representatief zijn voor respectievelijk N-Kjeldahl en P-totaal. Kwik, PAK's, CZV, TSS, E. coli en minerale olie worden niet gemeten in het LMRe. De verwachting is dat deze stofgroepen zo goed als niet aanwezig zijn in vers hemelwater. Alle in Tabel 3.2 vermelde gemiddelde concentraties zijn significant lager dan die in afstromend hemelwater (zie volgende paragrafen).

Parameter	Aantal locaties	Aantal metingen	Gemiddeld	50%-percentiel	90%-percentiel
Cadmium (Cd) [$\mu\text{g/L}$]	4	616	0,020	<0,030	0,072
Koper (Cu) [$\mu\text{g/L}$]	4	603	2,1	1,1	4,5
Kwik (Hg) [$\mu\text{g/L}$]	-	-	-	-	-
Lood (Pb) [$\mu\text{g/L}$]	4	619	0,93	0,60	1,9
Nikkel (Ni) [$\mu\text{g/L}$]	4	606	0,45	<0,40	0,60
Zink (Zn) [$\mu\text{g/L}$]	4	617	8,2	4,8	17
Antraceen [$\mu\text{g/L}$]	-	-	-	-	-
Benzo(a)pyreen [$\mu\text{g/L}$]	-	-	-	-	-
Minerale olie [$\mu\text{g/L}$]	-	-	-	-	-
CZV [mg O/L]	-	-	-	-	-
$\text{PO}_4\text{-P}$ [mg P/L] (Orthofosfaat)	12	758	0,024	<0.012	0,042
$\text{NH}_4\text{-N}$ [mg N/L] (Ammoniumstikstof)	12	757	0,88	0,74	1,5
Nitraat ($\text{NO}_3\text{-N}$) [mg N/L]	12	771	0,41	0,36	0,59
TSS [mg/L]	-	-	-	-	-
E. coli [# /100 ml]	-	-	-	-	-

Tabel 3.2 Kwaliteit van hemelwater voor afstroming volgens Landelijk meetnet regenwatersamenstelling 2012 - 2018

De kwaliteit van hemelwater voor afstroming verandert in de loop van de jaren. Voor 1985 was loodvrije benzine een uitzondering¹⁴; sinds 1996 is vrijwel alle benzine loodvrij¹⁵. Dit heeft effect op de loodconcentratie in vers hemelwater. Ook de stikstofconcentratie in vers hemelwater is afgenomen. Tabel 3.3 geeft de concentraties voor deze parameters in 2000¹⁶ en 2015-2018 weer.

¹³ S.P. Millard, 2018. Package for Environmental Statistics, Including US EPA Guidance. Version 2.3.1. CRAN R-Project.org.

¹⁴ Reformatorisch Dagblad, 17 januari 1985. <https://www.digibron.nl/viewer/collectie/Digibron/id/740dfd3d3ec27bd2a50c5c61dfe7b145>.

¹⁵ Wikipedia, geraadpleegd januari 2020. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Benzine>.

¹⁶ E. van der Swaluw, W.A.H. Asman en R. Hoogerbrugge The Dutch National Precipitation Chemistry Monitoring Network over the period 1992-2004. RIVM Report 680704009/2010.

Tabel 3.3 Samenvatting kwaliteit van hemelwater vóór afstroming, afkomstig van Landelijk meetnet regenwatersamenstelling

Parameter	Concentratie 2000	Concentratie 2012 – 2018
NH ₄ -N [mg/L] (Ammoniumstikstof)	1,17	0,88
Lood (Pb) [µg/L]	3,18	0,93

3.3.2 Metingen Enschede Ruwenbos

Als zowel de waterkwaliteit van vers hemelwater als afstromend hemelwater op dezelfde locatie is gemeten, zijn deze meetwaarden extra interessant omdat ze voor dezelfde locatie aantonen hoeveel verontreinigingen toenemen als hemelwater over een verhard oppervlak stroomt. De concentraties zijn immers van vele locatiespecifieke factoren afhankelijk en kunnen per locatie aanzienlijk verschillen. Op de meetlocatie Enschede Ruwenbos zijn monsters genomen van zowel hemelwater voor afstroming als afstromend hemelwater van daken en wegen: 13 monsters vóór en 17 monsters na afstroming. Tabel 3.4 geeft de gemeten concentraties weer.

Tabel 3.4 Concentraties in hemelwater voor en na afstroming (Enschede Ruwenbos¹⁷)

Parameter	Aantal metingen voor afstroming	Gemiddelde concentratie voor afstroming	Aantal metingen afstromend	Gemiddelde concentratie afstromend	Significant verschil voor en na afstroming
Cadmium (Cd) [µg/L]	13	0,090	17	0,14	Nee
Koper (Cu) [µg/L]	13	4,8	17	71	Ja
Kwik (Hg) [µg/L]	13	0,016	17	0,022	Nee
Lood (Pb) [µg/L]	13	6,8	17	32	Nee
Nikkel (Ni) [µg/L]	13	0,40	17	1,5	Nee
Zink (Zn) [µg/L]	13	20	17	41	Nee
Antraceen [µg/L]	13	0,0040	17	0,0022	Nee
Benzol(a)pyreen [µg/L]	13	0,013	17	0,015	Nee
Minerale olie [µg/L]	13	<100	16	106	Nee

Er zijn grote verschillen (meer dan factor 2) tussen de gemiddelde concentraties voor en na afstroming voor nikkel, lood, koper en zink. Echter, door het beperkte aantal metingen is alleen het verschil in concentratie voor koper statistisch significant. Opvallend is dat de gemiddelde concentraties van metalen in vers hemelwater in Tabel 3.4 ook hoger liggen dan die van het LMRe in Tabel 3.2. Niet duidelijk is of de meetlocatie hierin een rol speelt (metingen Enschede in een stedelijke omgeving versus een landelijk meetnet met veel meetpunten buiten de stad). Vanwege de veel grotere dataset en landelijke dekking van het LMRe, wordt het LMRe als meer representatief beschouwd.

3.4 Kwaliteit van afstromend hemelwater in woonwijken

Bij de categorie woonwijken maakt de database onderscheid tussen water dat alleen van daken afstroomt en het afstromende water van daken en wegen gezamenlijk. In het laatste geval is het watermonster uit het hemelwaterriool genomen. In Tabel 3.5 staan de gemeten concentraties in het hemelwater in woonwijken van daken. In Tabel 3.6 staan de gemeten concentraties in het hemelwater in woonwijken van daken en wegen.

Door Tabel 3.5 en Tabel 3.6 te vergelijken, valt op dat de concentraties van enkele zware metalen in het afstromend hemelwater van daken verschillen van de concentraties in het hemelwater van daken en wegen. Tabel 3.7 laat zien dat de verschillen voor de metalen significant zijn: afstromend hemelwater van daken bevat minder zink, maar meer koper en lood dan afstromend hemelwater in het hemelwaterriool (na afstroming van zowel daken als wegen). De oorzaak van een hogere koper- en loodconcentratie in afstromend hemelwater van daken kan liggen in het gebruik van uitlogende materialen voor dakgoten en dakbedekking (loodslabben). Voor PAK's en minerale olie is het verschil niet significant.

¹⁷ F.C. Boogaard, G. Bruins en R. Wentink, 2006. Wadi's: aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer. Stichting RIONED, 2006.

Parameter	Aantal locaties	Aantal metingen	Gemiddeld	50%-percentiel	90%-percentiel
Cadmium (Cd) [$\mu\text{g/L}$]	11	34	0,29	0,16	0,70
Koper (Cu) [$\mu\text{g/L}$]	12	36	34	22	90
Kwik (Hg) [$\mu\text{g/L}$]	11	35	0,045	0,020	0,11
Lood (Pb) [$\mu\text{g/L}$]	13	209	324	40	1200
Nikkel (Ni) [$\mu\text{g/L}$]	11	35	3,4	1,9	11
Zink (Zn) [$\mu\text{g/L}$]	13	194	95	23	307
Antraceen [$\mu\text{g/L}$]	11	37	0,0096	0,0019	0,013
Benzo(a)pyreen [$\mu\text{g/L}$]	11	37	0,016	0,0078	0,038
Minerale olie [$\mu\text{g/L}$]	11	31	233	<50	530
CZV [mg O/L]	1	1	-	-	-
P-totaal [mg P/L]	1	1	-	-	-
N-Kjeldahl [mg N/L]	1	1	-	-	-
NO ₃ -N [mg N/L]	1	1	-	-	-
TSS [mg/L]	5	16	196	86	495
E. coli [# /100 ml]	0	0	-	-	-

Tabel 3.5 Kwaliteit van afstromend hemelwater van daken 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

Tabel 3.6 Kwaliteit van afstromend hemelwater van daken en wegen in woonwijken

Tabel 3.7 Verschil in concentraties metalen in afstromend hemelwater in woonwijken van daken en van daken en wegen

Parameter	Mediaan daken	Mediaan daken en wegen	Significant verschil?
Koper (Cu) [$\mu\text{g/L}$]	22	12	Ja
Lood (Pb) [$\mu\text{g/L}$]	40	8	Ja
Zink (Zn) [$\mu\text{g/L}$]	23	75	Ja
Antraceen [$\mu\text{g/L}$]	0,0019	0,0020	Nee
Benzo(a)pyreen [$\mu\text{g/L}$]	0,0078	0,0080	Nee
Minerale olie [$\mu\text{g/L}$]	<50	<50	Nee

3.4.1 Kwaliteit van afstromend hemelwater van daken

Verwacht mag worden dat de kwaliteit van afstromend hemelwater van daken voor metalen, minerale olie en PAK's deels bepaald wordt door de aard van de dakbedekking en dakgoten. Tabel 3.8 toont deze verschillen. Alleen daken van woonwijken zijn in beschouwing genomen, omdat van andere gebieden te weinig monsters beschikbaar zijn.

Afstromend hemelwater van zowel bitumen daken als daken met zinken dakgoten bevat significant meer zink en lood dan overige daken. Voor overige parameters zijn de verschillen tussen bitumen daken, zinken dakgoten en overige daken vrij klein en statistisch niet significant.

Tabel 3.8 Kwaliteit van afstromend hemelwater van daken (totaal)

Parameter	Aantal metingen bitumen daken	Mediaan bitumen daken	Aantal metingen zinken dakgoten	Mediaan daken met zinken dakgoten	Aantal metingen overige daken	Mediaan daken (overig)
Koper (Cu) [$\mu\text{g/L}$]	20	19	0	-	15	29
Lood (Pb) [$\mu\text{g/L}$]	20	210	92	70	96	17
Zink (Zn) [$\mu\text{g/L}$]	20	72	86	50	87	6,4
Antraceen [$\mu\text{g/L}$]	20	<0,010	0	-	16	0,0014
Benzo(a)pyreen [$\mu\text{g/L}$]	20	<0,010	0	-	16	0,010
Minerale olie [$\mu\text{g/L}$]	14	<50	0	-	17	<50

3.5 Kwaliteit van afstromend hemelwater van bedrijventerreinen

Bij de categorie bedrijven(terreinen) maakt de database onderscheid tussen water dat alleen van daken afstroomt en het afstromende water van daken en wegen gezamenlijk. In het laatste geval is het watermonster uit het hemelwaterriool genomen.

In het afstromende hemelwater van bedrijventerreinen zijn hoge concentraties gemeten. Hierbij wordt opgemerkt dat onder de bedrijventerreinen veel meetlocaties zijn gekozen in het kader van de vergunningplicht. Veel van deze vergunningplichtige locaties hadden zichtbare vervuiling. De vergunningverlener heeft hierop het afstromende hemelwater bemonsterd en onderzocht, om zo nodig tot maatregelen over te kunnen gaan. Daarmee geven deze data mogelijk een overschatting van de gemiddelde vervuiling van hemelwater op bedrijventerreinen.

De concentraties variëren sterk. Enige houvast kan de indeling in milieucategorieën bieden, waarover in 2004 een STOWA-rapport is verschenen (STOWA, 2004)^{18,19}.

Bedrijventerreinen zijn op basis van milieubelasting ingedeeld in klassen 1 t/m 5. Hierbij geldt: hoe hoger de klasse, hoe hoger de milieubelasting. Maar de klasse-indeling is niet zonder meer representatief voor de vervuiling van het afstromende hemelwater. Dit geldt vooral voor klasse 1 en 2.

¹⁸ F.C. Boogaard, W. Hulst, 2004. Grote kansen voor afkoppelen bedrijventerreinen, Riolering, jaargang 11, 2004.

¹⁹ F.C. Boogaard, W. van de Hulst, W. Pieters, B. Palsma, 2005. Afkoppelen regenwater op bedrijventerreinen mogelijk met aanvullende maatregelen, H₂O nr. 1 pag. 20, 2005.

In Tabel 3.9 staan de gemeten concentraties in het afstromende hemelwater van daken en wegen op bedrijventerreinen. Monsters van afstromend hemelwater specifiek van daken van bedrijven zijn vrijwel niet beschikbaar.

Parameter	Aantal locaties	Aantal metingen	Gemiddeld	50%-percentiel	90%-percentiel
Cadmium (Cd) [$\mu\text{g/L}$]	12	85	1,4	0,050	2,6
Koper (Cu) [$\mu\text{g/L}$]	10	82	20	6,7	22
Kwik (Hg) [$\mu\text{g/L}$]	8	71	0,26	0,030	0,11
Lood (Pb) [$\mu\text{g/L}$]	16	94	68	4,2	37
Nikkel (Ni) [$\mu\text{g/L}$]	12	86	12	1,3	14
Zink (Zn) [$\mu\text{g/L}$]	16	98	594	65	647
Antraceen [$\mu\text{g/L}$]	10	78	0,0066	<0,005	<0,01
Benzo(a)pyreen [$\mu\text{g/L}$]	10	78	0,033	0,0060	0,035
Minerale olie [$\mu\text{g/L}$]	12	89	1813	120	2400
CZV [mg O/L]	19	132	68	39	121
P-totaal [mg P/L]	10	78	0,52	0,18	0,49
N-Kjeldahl [mg N/L]	20	134	9,9*	1,6	4,8
NO ₃ -N [mg N/L]	4	64	0,66	0,59	1,1
TSS [mg/L]	21	133	48	19	100
E. coli [# /100 ml]	2	64	1135	260	2200

* Deze gemiddelde waarde is erg hoog ten opzichte van zowel de mediaan als het 90%-percentiel. De oorzaak daarvan zijn hoge concentraties op één meetlocatie, een transportbedrijf voor kunstmest.

Tabel 3.9 Kwaliteit van afstromend hemelwater van daken en wegen op bedrijventerreinen

3.6 Kwaliteit van afstromend hemelwater van wegen

De provinciale- en autosnelwegen zijn in de database ingevoerd met belangrijke kenmerken. Eén van die kenmerken bij autosnelwegen is de toplaag van de weg (zoals ZOAB of DAB). De toplaag is van invloed op de kwaliteit van het afstromende hemelwater, zo blijkt onder meer uit onderzoek van Rijkswaterstaat.

In het buitenland wordt verkeersintensiteit vaak als indicatie voor waterkwaliteit gebruikt. De achterliggende gedachte is dat de verkeersintensiteit een maat is voor de vervuilinggraad van het afstromende hemelwater van wegen: hoe hoger de intensiteit, hoe slechter de hemelwaterkwaliteit. In Nederland is in enkele systematieken voor de omgang met hemelwater de verkeersintensiteit van een weg als beslissingsmoment opgenomen. Maar bij het interpreteren van de onderzoeken is geen eenduidige relatie waargenomen tussen verkeersintensiteit en verontreinigingsgraad bij wegen in stedelijk gebied²⁰. Ook bij onderzoek naar de kwaliteit van afstromend hemelwater van autosnelwegen was geen verband te leggen tussen de verkeersintensiteit en de totale verontreiniging door diffuse bronnen langs wegen²¹.

Tabel 3.10 geeft de beschrijvende statistieken van de concentraties in afstromend hemelwater van wegen.

²⁰ F.C. Boogaard, R. Wentink, 2005. Richtlijnen voor het ontwerp, aanleg en beheer van wadi's, Rioleringsstechniek 2005.

²¹ Commissie Integraal Waterbeheer, 2002. Afstromend wegwater.

Tabel 3.10 Kwaliteit van afstromend hemelwater van wegen

Parameter	Aantal locaties	Aantal metingen	Gemiddeld	50%-percentiel	90%-percentiel
Cadmium (Cd) [$\mu\text{g/L}$]	78	124	0,49	0,10	1,0
Koper (Cu) [$\mu\text{g/L}$]	81	183	28	18	60
Kwik (Hg) [$\mu\text{g/L}$]	3	34	0,055	0,070	0,070
Lood (Pb) [$\mu\text{g/L}$]	81	183	12	4,6	32
Nikkel (Ni) [$\mu\text{g/L}$]	80	174	3,8	3	9
Zink (Zn) [$\mu\text{g/L}$]	81	183	115	74	256
Antraceen [$\mu\text{g/L}$]	5	67	0,0032	0,0020	0,0060
Benzo(a)pyreen [$\mu\text{g/L}$]	5	71	0,012	0,0060	0,020
Minerale olie [$\mu\text{g/L}$]	72	113	349	130	900
CZV [mg O/L]	6	42	42	32	76
P-totaal [mg P/L]	4	13	1,5	0,2	4,4
N-Kjeldahl [mg N/L]	6	41	2,1	1,9	4
NO ₃ -N [mg N/L]	6	49	1,4	0,67	3,7
TSS [mg/L]	70	114	56	20	181
E. coli [# /100 ml]	0	0	-	-	-

4 Ontwikkelingen in de kwaliteit 2007 – 2020

De kwaliteit van afstromend hemelwater wordt voor een groot deel bepaald door de aard van het oppervlak waarover het hemelwater afstroomt en de zich op dat oppervlak bevindende verontreinigingen. Met andere woorden: het materiaalgebruik voor gebouwen en wegen en de stoffen die hier op welke wijze dan ook (diffuus via de lucht, druppelend vanaf auto's etc.) op terecht komen, zijn belangrijke factoren. Het afstromend hemelwater geeft hierdoor een beeld van materiaalgebruik en stofgebruik in de maatschappij. De ontwikkelingen in de samenstelling van afstromend hemelwater kan het effect tonen van milieu-maatregelen, zoals de toepassing van loodvrije benzine zichtbaar is in de samenstelling van hemelwater voor afstroming (zie tabel 3.3).

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. Naast de verscheidenheid in meetprojecten speelt bij de onderlinge vergelijking van meetdata ook de ontwikkeling van de analysetechnieken in de loop van de tijd een rol. Anno 2020 liggen rapportagegrenzen soms lager dan voor 2007. Men moet dus zeer voorzichtig zijn in het toepassen van tijdreeksanalyses over de data in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland.

Met deze kanttekening zijn voor een aantal parameters in Tabel 4.1 wel interessante verschillen zichtbaar in de data van vóór 2007 (de data uit de eerste versie van de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland) en de data tussen 2007 en 2020. Grote, en statistisch significante verschillen zijn er voor de parameters lood (van 30 naar 16 µg/l), zink (van 183 naar 125 µg/l), benzo(a)pyreen (van 0,081 naar 0,018 µg/l), CZV (van 51 naar 32 mg/l) en Kjeldahlstikstof (van 2,6 naar 2,0 mg/l). In al deze gevallen gaat het om een afname, wat aannemelijk maakt dat de kwaliteit van het afstromende hemelwater is verbeterd.

Parameter	Aantal metingen voor 2007	Gemiddelde concentratie voor 2007	Aantal metingen sinds 2007	Gemiddelde concentratie sinds 2007	Significant verschil?
Cadmium (Cd) [µg/L]	134	0,23	100	0,22	Ja
Koper (Cu) [µg/L]	178	22	357	18	Nee
Kwik (Hg) [µg/L]	106	0,021	71	0,074	Nee
Lood (Pb) [µg/L]	178	30	345	16	Ja
Nikkel (Ni) [µg/L]	134	4,7	100	2,6	Nee
Zink (Zn) [µg/L]	179	183	357	125	Ja
Antraceen [µg/L]	137	0,011	114	0,0077	Ja
Benzo(a)pyreen [µg/L]	137	0,081	113	0,018	Ja
Minerale olie [µg/L]	139	118	82	107	Nee
CZV [mg O/L]	107	51	317	32	Ja
P-totaal [mg P/L]	124	0,34	285	0,28	Ja
N-Kjeldahl [mg N/L]	123	2,6	299	2,0	Ja
NO ₃ -N [mg N/L]	103	1,5	54	1,6	Ja
TSS [mg/L]	215	39	528	39	Nee
E. coli [# / 100 ml]	35	2,9*10 ⁴	94	1,1*10 ⁴	-

Tabel 4.1 Kwaliteit van afstromend hemelwater van daken en wegen in woonwijken vóór 2007 en tussen 2007 en 2020

Voor een goede analyse zijn te weinig meetdata van afstromend hemelwater afzonderlijk van daken of wegen beschikbaar. Hetzelfde geldt voor de metingen op bedrijventerreinen. Bij deze laatste categorie geldt des te meer dat de gemeten kwaliteit op verschillende meetlocaties te sterk varieert en niet representatief is voor algemene gevolgtrekkingen over de kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland.

5 Opkomende verontreinigende stoffen

5.1 Groeiende kennis

Opkomende verontreinigende stoffen zijn stoffen waarvan de kennis over de gehalten in afstromend hemelwater nog beperkt is. Tegelijkertijd is wél bekend dat de stof een probleem vormt in één of meerdere milieucapartimenten (lucht, water, bodem). Voor opkomende stoffen is het dan ook zaak om zo snel mogelijk inzicht te hebben in de verspreidingsroute en de rol van hemelwater hierin, om vervolgens beleid en maatregelen te kunnen bepalen. In de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland zijn op dit moment 262 stoffen opgenomen. Dit is een zeer klein deel van alle stoffen die bekend zijn. Eind 2019 stond de teller op maar liefst 158 miljoen geregistreerde stoffen²².

Gelukkig zijn lang niet al deze stoffen opkomende verontreinigende stoffen. Wel blijkt regelmatig dat de kennis over de in afstromend hemelwater aanwezige verontreinigende stoffen beperkt is. Ook duurt het lang voordat voldoende kennis beschikbaar is nadat een bepaalde stof in beeld komt als milieugevaarlijk. Zo worden microplastics al enige jaren gezien als opkomende stof, terwijl de stroom wetenschappelijke artikelen die de gehalten van microplastics in afstromend hemelwater beschrijven pas in 2019 voorzichtig op gang komt.

5.2 Aanpak in beeld brengen opkomende stoffen

In Nederland is PFAS in de 4000 verschijningsvormen, waaronder PFOS en PFOA, sinds het najaar van 2019 volop in beeld²³. De resultaten van metingen in het STOWA-onderzoeksproject²⁴ naar organische microverontreinigingen in hemelwater laten zien dat PFOS in geen enkel monster is aangetroffen. Uit de verzamelde literatuur die is gebruikt voor dat project volgt dat PFOA in internationale metingen juist wel wordt aangetroffen en ook wordt aangetroffen in influentmetingen van Nederlandse rwzi's (verzameld in de WATSON-database).

Om inzicht te krijgen in het belang van de emissieroute via afstromend hemelwater zou onderzoek naar alle 4000 PFAS-varianten door middel van monsternamen en analyse onbetaalbaar en dus onhaalbaar zijn. De resultaten van het genoemde STOWA-onderzoeksproject naar organische microverontreinigingen in hemelwater tonen de bruikbaarheid van een emissieregistratie-aanpak. Hiermee geeft men een inschatting op de emissies die samenhangen met afstromend hemelwater op basis van bekende gegevens over het gebruik van een stof en aannames over de emissieroute. Zo komt bijvoorbeeld de orde van grootte van glyfosaat in metingen van afstromende hemelwater en de benadering in de emissieregistratie vrij goed overeen.

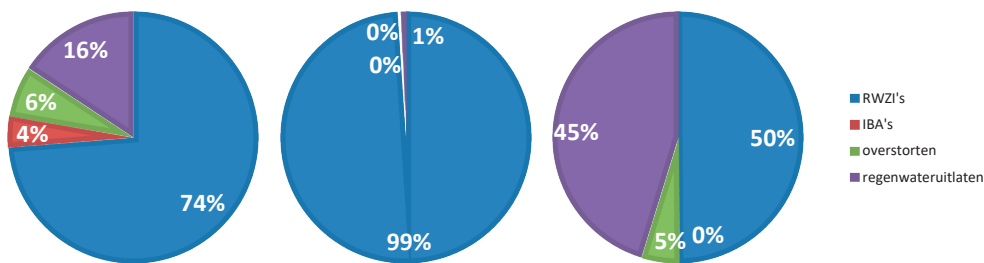
Voorgestelde aanpak voor het in beeld brengen van de emissieroute van opkomende stoffen via afstromend hemelwater in de afvalwaterketen:

1. Pas de aanpak van de emissieregistratie toe. Hierin wordt op basis van gegevens over het gebruik van een stof een inschatting gemaakt van de omvang van de emissies en over de emissieroute(s). Met behulp van de emissieregistratie is het vrij eenvoudig om taartdiagrammen te maken zoals Figuur 5.1. De relatieve bijdrage van de emissieroutes is daarbij afhankelijk van het voorkomen van een stof in afstromend hemelwater of in DWA. Ook een belangrijke factor is het rendement van de rwzi's voor de betreffende stof. Ook voor de hemelwaterroute is deze factor van groot belang, omdat via de gemengde stelsels en de verbeterd gescheiden stelsels, ongeveer twee derde van de totale hoeveelheid naar de riolering afstromend hemelwater wordt afgevoerd naar de rwzi.
2. Bij stoffen waarbij de emissieroute via het afstromend hemelwater (of via de 'riolering') een significante bijdrage levert aan de totale emissie, is het vervolgens zinvol om via een beperkte meetcampagne de uitkomsten van de inschatting via de emissieregistratie te verifiëren.

²² <https://www.cas.org/about/cas-content>.

²³ <https://www.rivm.nl/pfas>.

²⁴ J.G. Langeveld, J.A.B. Post, H.J. Liefing, 2020. Microverontreinigingen in afstromende neerslag op basis van influentmetingen en fingerprinting. STOWA-rapport 2020-04.



Figuur 5.1 Relatief aandeel lozingsbronnen afvalwaterketen voor ibuprofen (links), carbamazepine (midden) en glyfosaat (rechts). Ibuprofen (links) wordt vrij goed verwijderd op rwzi (74%); deze stof zit alleen in dwa; de emissie via uitlaten komt door foutaansluitingen. Carbamazepine (midden) is een anti-epilepticum; het zit alleen in dwa; het wordt nauwelijks verwijderd op rwzi. Glyfosaat (rechts) is een bestrijdingsmiddel; de dominante lozingsroute is via hemelwater.

5.3 Internationale literatuur beperkt toepasbaar

Als gegevens over het gebruik van een stof ontbreken, kan gebruik worden gemaakt van internationale literatuur. Daarbij moet wel rekening worden gehouden met verschillen in emissieroutes en -vrachten tussen landen, die kunnen leiden tot andere concentraties.

Zo volgt uit recent Deens onderzoek²⁵ dat de stoffen terbutrin en carbendazim in hoge concentraties zijn aangetroffen in afstromend hemelwater. Ook Duits onderzoek²⁶ laat een hoog gehalte carbendazim zien. Terbutrin en carbendazim zijn beiden biociden die in verf en muurverf zitten ter bescherming van hout en stucwerk. Terbutrin is een algicide (bestrijdingsmiddel tegen alg) en carbendazim een fungicide (bestrijdingsmiddel tegen schimmel). Uit onderzoeksgegevens in Nederland (de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland en het STOWA-onderzoeksproject naar organische microverontreinigingen in hemelwater) volgt dat beide stoffen juist niet worden aangetroffen in afstromend hemelwater in Nederland. De verschillen kunnen worden verklaard uit verschillen in bouwwijze. In Duitsland worden gevels vaak gestukt en geverfd en in Denemarken wordt daarnaast ook veel geverfd hout gebruikt in gevels, terwijl in Nederland de baksteengevel meer standaard is.

5.4 Opkomende verontreinigende stoffen in Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland

Bij de toepassing van de emissieregistratie-aanpak wordt gebruik gemaakt van de modelmatige aanpak van de Emissieregistratie en zijn nieuwe meetcampagnes beperkt van opzet. Hierdoor is naar verwachting ook de toekomstige uitbreiding van de Database Regenwaterkwaliteit met nieuwe concentratiemetingen van opkomende stoffen beperkt.

²⁵ U.E. Bollmann, J. Vollertsen, J. Carmeliet, K. Bester, 2014. Dynamics of biocide emissions from buildings in a suburban stormwater catchment Concentrations, mass loads and emission processes. water research 56 (2014) 66-76.

²⁶ D. Wicke, A. Matzinger, N. Caradot, H. Sonnenberg, R.L. Schubert, D. von Seggern, B. Heinzmann, P. Roualt, 2016. Extent and dynamics of classic and emerging contaminants in stormwater of urban catchment types. Proceedings Novatech 2016.

6 Normering van de kwaliteit van hemelwater

6.1 Milieukwaliteitsnormen van de KRW

Normen voor het beoordelen van de chemische waterkwaliteit van oppervlaktewaterlichamen, grondwaterlichamen en grondwater dat gewonnen wordt voor drinkwater zijn te vinden op <https://rvs.rivm.nl/> en <http://www.rivm.nl/rvs/Stoffenlijsten>. Specifiek voor afstromend hemelwater en lozingen van hemelwater uit de hemelwaterriolering bestaan geen normen. Hetzelfde geldt voor het meeste oppervlaktewater in de stad (voor zover niet onderdeel van een oppervlaktewaterlichaam). Voorheen werden hiervoor meestal de MTR-concentraties toegepast²⁷. MTR-normen zijn tegenwoordig niet meer leidend.

6.1.1 KRW-normen voor oppervlaktewater

Voor het beoordelen van de waterkwaliteit van oppervlaktewaterlichamen worden sinds de invoering van de Kaderrichtlijn Water (KRW) drie soorten milieukwaliteitsnormen gebruikt:²⁸

1. JG-MKN (Jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm), de jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm voor langdurige blootstelling;
2. MAC-MKN (Maximaal aanvaardbare concentratie milieukwaliteitsnorm), de maximaal aanvaardbare concentratie voor kortdurende blootstelling;
3. MKN-biota milieukwaliteitsnorm in organismen, de maximaal aanvaardbare hoeveelheid van een stof in prooidieren.

(Bij de laatste wijziging van het Besluit milieukwaliteitseisen water (BKMW) is de term milieukwaliteitsnorm (MKN) vervangen door milieukwaliteitseis (MKE). De termen MKN en MKE zijn uitwisselbaar; in dit rapport wordt MKN gebruikt.)

De KRW-beoordeling op chemische waterkwaliteit toetst de aanwezigheid van allerlei gevaarlijke en/of toxische stoffen in het water. Deze stoffen vormen een groot risico voor het watermilieu. Het gaat om in totaal 45 stoffen en stofgroepen waarvan 26 prioritair stoffen en stofgroepen en 19 prioritair gevaarlijke stoffen en stofgroepen.²⁹ De KRW had als doel gesteld het behalen van de milieukwaliteitsnormen voor alle prioritair stoffen in 2015 en het uitfaseren van prioritair gevaarlijke stoffen in 2020.³⁰

6.1.2 KRW-normen gelden voor waterlichamen

De KRW-richtlijn geldt voor waterlichamen. Een waterlichaam is een 'onderscheiden oppervlaktewater van aanzienlijke omvang, zoals een meer, een waterbekken, een stroom, een rivier, een kanaal, een overgangswater of een strook kustwater'³¹. Onder oppervlaktewateren van 'aanzienlijke omvang' vallen waterlichamen met een minimale oppervlakte van 0,5 km² of een stroomgebied tussen de 10 en 100 km². De verantwoordelijkheid voor het aanwijzen en begrenzen van waterlichamen ligt bij de waterbeheerder. Voor deze wateren moet de toestand van het aquatisch ecosysteem beschreven worden en deze waterlichamen worden in het kader van de KRW periodiek bemonsterd en beoordeeld, zie Figuur 6.1.

²⁷ F.C. Boogaard, G.B. Lemmen, 2007. De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater. STOWA-rapport 2007-21.

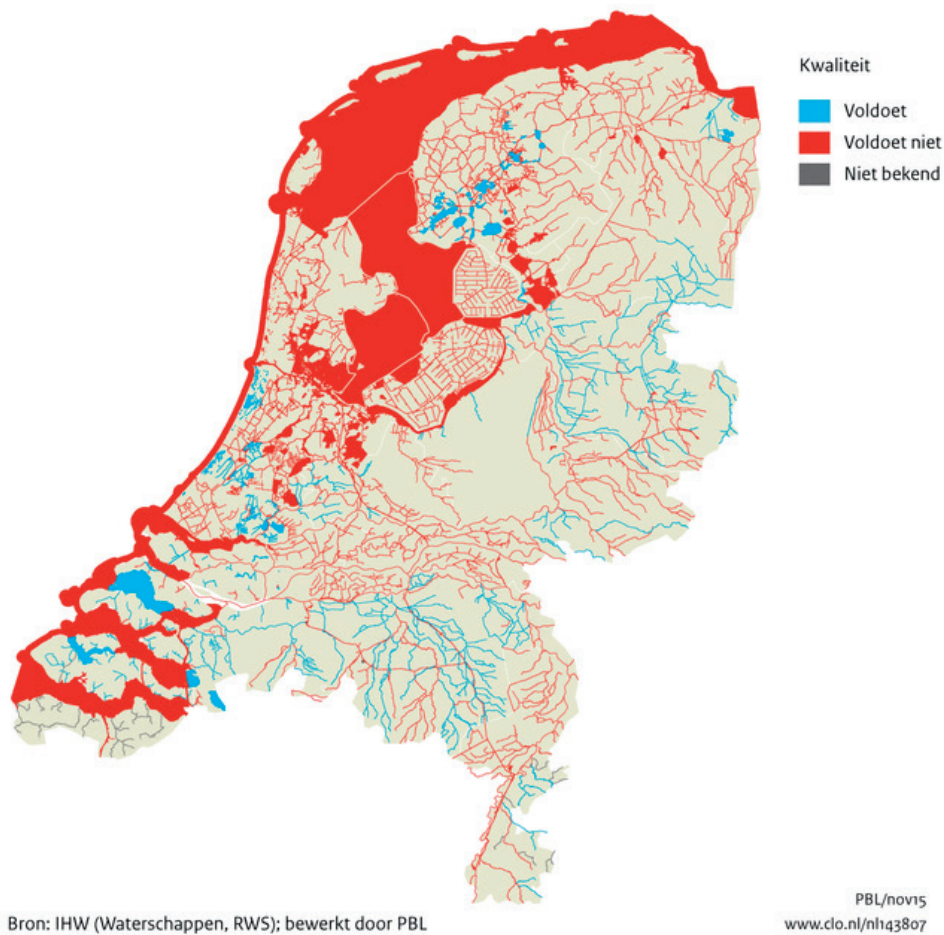
²⁸ <https://rvs.rivm.nl/normen/milieu/milieukwaliteitsnormen>.

²⁹ Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009; Bijlage I. Europese milieukwaliteitseisen voor water voor prioritair stoffen en bepaalde andere verontreinigende stoffen. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0027061/2017-01-01#BijlageI>.

³⁰ F. Wagemaker, L. Knijff, N. van Duynhoven, K. Legierse, J. Pijnenburg, 2003. Probleemverkenning prioritair stoffen (fact sheets). RIZA-werkdocument 2003-222X.

³¹ Richtlijn KRW 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000.

Figuur 6.1 Beoordeling chemische kwaliteit van waterlichamen volgens de normen van de KRW, 2015.³²



Het meeste oppervlaktewater in de stad voldoet niet aan de omschrijving van een waterlichaam. De richtlijn van de KRW is daarom in beginsel niet van toepassing op dit stadswater, evenmin als op afstromend hemelwater dat wordt geloosd op het stadswater. Maar de milieukwaliteitsnormen van de KRW geven wel een praktisch handvat voor de beoordeling van de chemische kwaliteit van afstromend hemelwater als bron van stedelijk oppervlaktewater. Omdat er specifiek voor afstromend hemelwater geen toetsingswaarden zijn, worden als indicatie de KRW-normwaarden voor zoet oppervlaktewater gegeven. Grondwaternormen volgens de KRW bevatten meestal vergelijkbare of hogere concentraties.

6.2 Vergelijking MKN en concentraties in afstromend hemelwater

Tabel 6.1 toont de kwaliteit van afstromend hemelwater in Nederland in vergelijking met de JG-MKN (jaargemiddeld) en MAC-MKN (maximaal aanvaardbare concentratie) in zoet oppervlaktewater³³. 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 de JG-MKN, maar onder de MAC-MKN;
- rood:** gemiddelde waarde boven de MAC-MKN.

³² Compendium voor de Leefomgeving. Waterkwaliteit KRW, 2015.

<https://www.clo.nl/indicatoren/nl1438-kwaliteit-oppervlaktewater-krw>.

³³ <https://rvszoekstelsysteem.rivm.nl/Stoffen>.

Tabel 6.1 Kwaliteit van afstromend hemelwater afgezet tegen milieukwaliteitsnormen JG-MKN, MAC-MKN en MTR

Parameter	Gemiddeld daken en wegen woonwijken	Gemiddeld daken en wegen bedrijven	JG-MKN***	MAC-MKN***	MTR oppervlakte-water (oud)
Cadmium (Cd)** [$\mu\text{g/L}$]	0,18	1,4	0,08 – 0,25 ****	0,45 – 1,5 ****	2,0
Koper (Cu) [$\mu\text{g/L}$]	21	20	2,4	-	3,8
Kwik (Hg)** [$\mu\text{g/L}$]	0,026	0,26	0,00007	0,07	1,2
Lood (Pb)* [$\mu\text{g/L}$]	21	68	1,2	14	220
Nikkel (Ni)* [$\mu\text{g/L}$]	4,1	12	4	34	6,3
Zink (Zn) [$\mu\text{g/L}$]	144	594	7,8	15,6	40
Antraceen** [$\mu\text{g/L}$]	0,0076	0,0066	0,1	0,1	
Benzo(a)pyreen** [$\mu\text{g/L}$]	0,048	0,033	0,00017	0,27	
Minerale olie [$\mu\text{g/L}$]	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] (Nitraatstikstof)	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

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

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

rood: gemiddelde waarde boven de MAC-MKN.

De JG-MKN en MAC-MKN voor cadmium, lood, kwik en nikkel (metalen) in Tabel 6.1 hebben betrekking op de opgeloste concentratie. Dit is de opgeloste fase van een watermonster die wordt verkregen door filtratie over een filter van 0,45 μm of een gelijkwaardige voorbehandeling. In de hemelwaterdatabase zijn ook een aantal concentraties van gefiltreerde monsters opgenomen, maar de grote bulk van data betreft de totale concentratie (in niet gefiltreerde monsters). Deze totale concentraties zijn getoond in Tabel 6.1. Op basis van het (beperkte) aantal concentratiemetingen van opgeloste metalen in de Database Hemelwaterkwaliteit lijkt een inschatting gerechtvaardigd dat de totale concentratie van de metalen 1 tot 3 zo groot is als de opgeloste fractie. Dit is een belangrijk aandachtspunt bij het vergelijken van de concentraties metalen uit de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland met de KRW-normen.

Vergelijking van de meetwaarden in Tabel 6.1 met de normen laten zien dat vooral voor de metalen cadmium, kwik, lood en zink de gemeten (totale) concentraties (veel) hoger zijn dan de milieukwaliteitsnormen uit de KRW. Verwacht wordt dat ook de opgeloste concentratie van zink en lood in afstromend hemelwater vaak boven de MAC-MKN ligt.

In vergelijking met 2007³⁴ springt vooral lood eruit als probleemstof. Dit komt vooral doordat de JG-MKN en MAC-MKN voor lood veel lager liggen dan de MTR-waarde die in 2007 als toetsingsgrootte werd gebruikt. Zoals zichtbaar in Tabel 4.1, is de gemiddelde concentratie van lood in afstromend hemelwater juist afgenomen sinds 2007.

³⁴ F.C. Boogaard, G.B. Lemmen, 2007. De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater. STOWA-rapport 2007-21.

7 Vergelijking met hemelwaterkwaliteit in het buitenland

De kwaliteit van hemelwater is locatiespecifiek, maar een indicatieve vergelijking met metingen uit het buitenland geeft een indruk in hoeverre Nederland vergelijkbaar is met andere landen. Als concentraties vergelijkbaar zijn, kunnen we ons laten inspireren door een internationale aanpak, wetgeving en maatregelen. Tabel 7.1 vergelijkt de mediane waarden in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland met internationale metingen van de hemelwaterkwaliteit (vaak mediane waarden) in stedelijke gebieden.

Stof	NL (regenwater-data-base)	USA NSQD ³⁵ alle data	USA NSQD ³⁶ woonwijken	Duitsland ATV data-base ³⁷	Frankrijk (Parijs) ³⁸	Roemenië ³⁹ (Boekarest)
	Mediaan (d10-d90)	Mediaan n = aantal	Mediaan n = aantal	Mediaan	Mediaan (d10-d90)	Mediaan (min-max) n=5
Cadmium (Cd) [µg/L]	0,090 (0,01-0,58)	0,5 n=2575	0,5 n=723	2,3	1,8 (1,4-4,1)	
Koper (Cu) [µg/L]	11 (3,3-41)	16 n=2724	12 n=799	48	56 (37-131)	51,4 (12,7-88,5)
Kwik (Hg) [µg/L]	0,02 (<0,02-0,07)	0,2 n=1014	0,2 n=297			
Lood (Pb) [µg/L]	8 (1,8-86)	17 n=2950	12 n=788	118	425 (257-724)	
Nikkel (Ni) [µg/L]	1,9 (0,50-8,0)	8 n=246	5,4 n=419	22,6		4,8 (2,3-35,9)
Zink (Zn) [µg/L]	70 (11-290)	117 n=3008	73 n=810	275	3199 (2297-8877)	79,8 (40,9-277)
Antraceen [µg/L]	0,0020 (0,0010-0,0077)					
Benzo(a)-pyreen [µg/L]	0,0040 (0,0020-0,031)					
Minerale olie [µg/L]	60 (<50-470)					
Oliën en vetten (Fats, Oil, Grease FOG) [mg/l]		4,3 n=1834	3,9 n=533			
COD [mg/l]	25 (12-76)	53 n=2751	55 n=796	81	20 (15-40)	
P-totaal [mg P/L]	0,21 (0,060-0,52)	0,27 n=3285	0,3 n=963	0,42		
N-Kjeldahl [mg N/L]	1,5 (0,68-4,0)	1,4 n=3192	1,4 n=3192	2,4		
Ammonium NH ₄ -N	0,48 (<0,050-2,16)					1,7 (0,41-11,25)
NO ₃ -N [mg N/L] (Nitraatstikstof)	0,72 (0,32-2,2)			0,8		
TSS [mg/L]	14 (4,2-70)	58 n=3390	49 n=991	141	36 (30-75)	
E. coli [# /100 mL]	6,2*10 ² (2,1*10 ¹ -2,1*10 ⁴)	1,75*10 ³ n=67	7,0*10 ² n=14			30*10 ⁴

Tabel 7.1 Kwaliteit afstromend hemelwater Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland vergeleken met buitenlandse metingen

³⁵ A. Maestre, R.E. Pitt, 2007. Stormwater Databases: NURP, USGS, International BMP Database and NSQD. Journal of Water Management Modeling R227-20. doi: 10.14796/JWMM.R227-20.

³⁶ Ibid.

³⁷ H. Brombach, G. Weiss, S. Fuchs, 2005. A new database on urban runoff pollution: Comparison of separate and combined sewer systems, Water Science & Technology February 2005. DOI: 10.2166/wst.2005.0039.

³⁸ M. Kafi, J. Gasperi, R. Moilleron, M.C. Gromaire, G. Chebbo, 2007. Spatial variability of the characteristics of combined wet weather pollutant loads in Paris. Water Research 42 (2008) 539 - 549. doi:10.1016/j.watres.2007.08.008.

³⁹ D. Rădulescu, G. Racoviţeanu, X. Swamikannu, 2019. Comparison of urban residential storm water runoff quality in Bucharest, Romania with international data, EENVIRO 2018 - Sustainable Solutions for Energy and Environment, E3S Web of Conferences 85, 07019 (2019). doi.org/10.1051/e3sconf/20198507019.

7.1 Nederlands hemelwater relatief schoon met weinig bezinkbaar materiaal

De Nederlandse concentraties in afstromend hemelwater zijn relatief laag vergeleken met de buitenlandse metingen. Een deel van de verklaring hiervoor kan liggen in een relatief lage concentratie onopgeloste bestanddelen in afstromend hemelwater. Verontreinigingen zijn vaak gebonden aan deze deeltjes. Een lage concentratie onopgeloste deeltjes in hemelwater gaat samen met lagere concentraties verontreinigingen. Een achterliggende oorzaak voor de lagere concentratie onopgeloste bestanddelen kan weer liggen in de typische *lay-out* van Nederlandse hemelwaterriolering – weinig verval en veel verdronken stelsels – die ervoor zorgt dat de stroomsnelheden en de schuifspanningen meestal laag zijn. Onopgeloste bestanddelen worden hierdoor minder gemakkelijk met de stroming meegenomen en blijven op straat achter of bezinken in de riolering. De meestal bij de hemelwateruitlaat gemeten concentraties zijn hierdoor laag.

Dit blijkt ook uit het onderzoek naar lamellenafscidders in Arnhem⁴⁰, de Krimpenerwaard⁴¹ en Almere⁴², waarvan de analyseresultaten zijn opgenomen in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland. Op basis van de bezinkbaarheid van de verontreinigingen is in deze projecten het potentiële verwijderingsrendement van onopgeloste bestanddelen afgeleid. Bij een oppervlaktebelasting van 1 m/h (die vaak wordt gehanteerd als nominale oppervlaktebelasting van lamellenafscidders⁴³) ligt de potentiële verwijdering door bezinking in typisch Nederlandse hemelwaterstelsels tussen 10% en 37%. Dit zijn de door bezinking te bereiken rendementen voor onopgeloste bestanddelen in Nederland, wat in vergelijking met buitenlandse literatuur laag is⁴⁴.

Voor stoffen die deels aan onopgeloste bestanddelen zijn gebonden, zoals metalen, ligt het door bezinking te bereiken rendement nog lager. Hemelwaterzuivering door bezinkings technieken is in Nederland daarom minder snel te verkiezen dan in andere landen.

7.2 Woonwijken relatief schoon in USA en Nederland

De grootste buitenlandse database is NSQD uit de USA met ruim 3000 metingen. Hier kan een onderscheid gemaakt worden in alle data (“overall”,) en woonwijken (“residential”). We zien hier dat de concentraties voor de meeste parameters in woonwijken iets lager zijn dan de data waarbij bijvoorbeeld ook industrie, winkelcentra en andere terreinen zitten. Dit is een vergelijkbaar resultaat met Nederland, zoals in de voorgaande hoofdstukken (o.a. Tabel 6.1) is beschreven.

⁴⁰ J.G. Langeveld, H.J. Liefing, F.C. Boogaard, 2012. Uncertainties of stormwater characteristics and removal rates of stormwater treatment facilities: Implications for stormwater handling. *Water Research* 46 (2012) 6868 - 6880.

⁴¹ H.J. Liefing, F.C. Boogaard, J. Korving, J.G. Langeveld, 2015. Lamellenafscidders Krimpenerwaard; Resultaten praktijkonderzoek. *Partners4UrbanWater*, 1220194_R_150413.

⁴² H.J. Liefing, R.P.S. Schilperoort, J.G. Langeveld, 2015. Regenwaterproject Almere. Eindrapportage.

⁴³ J. Rombout, F.C. Boogaard, J. Kluck, R. Wentinck, 2007. Zuiverende voorzieningen regenwater; Verkenning van de kennis van ontwerp, aanleg en beheer van zuiverende regenwatersystemen. STOWA 2007-20.

⁴⁴ A. Daligault, D. Meaudre, D. Arnault, V. Duc, 1999. Stormwater and lamella settlers: efficiency and reality. *Water Science and Technology* 39 (2), 93e101.

8 Nabeschuiving: hemelwaterbeleid

Vervuiling in afstromend hemelwater heeft diverse bronnen en oorzaken. In vers gevallen hemelwater bevinden zich al kleine concentraties van opgeloste metalen en nutriënten (zie § 3.3.). Door afstroming over oppervlakken worden er stoffen aan het afstromende hemelwater toegevoegd, zoals onopgeloste bestanddelen, uitgeloopte metalen, minerale oliën, PAK's en allerlei organische microverontreinigingen. Via de hemelwaterriolering komt hier nog vervuiling bij als er sprake is van foutaansluitingen van vuilwater op de hemelwaterriolering of van inloop van grondwater, onder andere door de aansluiting van drainage op de hemelwaterriolering. Daarnaast heeft ook retentie (bezinking) in de riolering invloed op de concentratie die het water heeft ter plekke van het lozingspunt op het oppervlaktewater. Het op het oppervlaktewater geloosde (en vaak als 'hemelwater' beschouwde) water wordt dus door meer factoren beïnvloed dan alleen neerslagkwaliteit en afstroming. Per locatie kan deze invloed enorm verschillen, wat maakt dat een optimale generieke hemelwateraanpak in Nederland eigenlijk niet bestaat. Hemelwaterkwaliteitsbeleid kan bestaan uit een combinatie van bronaanpak voor het terugdringen van de concentraties, *end-of-pipe* zuivering, of verantwoord lozen of hergebruiken van het water.

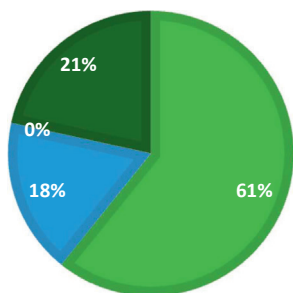
8.1 Bronaanpak

8.1.1 Afspoeling

Bij afstroming over een oppervlak neemt het afstromende hemelwater stoffen van het oppervlak mee. Welke stoffen dit zijn, en in welke concentraties, wordt bepaald door de emissies van deze stoffen en het materiaal van het oppervlak. In de stad zijn uitwerpselen van huisdieren en bladval bijvoorbeeld belangrijk bronnen van nutriënten in het afstromende hemelwater, naast de concentratie die al in vers hemelwater aanwezig is (Figuur 8.1).

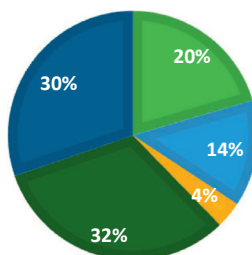
N-TOTAAL [18 KG/HA/JAAR]

- Atmosferische depositie (nat + droog)
- Bladval
- Uitspoeling zand en grond
- Urine en uitwerpselen van huisdieren



P-TOTAAL [2,3 KG/HA/JAAR]

- Atmosferische depositie (nat + droog)
- Bladval
- Uitspoeling zand en grond
- Urine en uitwerpselen van huisdieren
- Onbekend



Figuur 8.1 Verdeling naar herkomst nutriënten in afstromend hemelwater. Bron: emissieregistratie⁴⁵

Een bronaanpak kan zich richten op het verminderen of afvangen van deze afgespoelde verontreinigingen. Voorbeelden zijn vaker straatvegen, frequent verwijderen van hondenpoep, het instellen en handhaven van een opruimplicht voor huisdiereigenaren, of vaker straatkolken reinigen.

In onderzoek in Almere is specifiek gekeken naar het effect van frequenter straatkolken reinigen⁴⁶. Bij een normaal reinigingsregime van straatkolken kan ongeveer 100 kg/ha/jaar onopgelost materiaal worden afvangen, wat neerkomt op ongeveer 30% van de totale hoeveelheid onopgeloste bestanddelen die met afstromend hemelwater in de riolering terechtkomen. Het onderzoek in Almere wijst uit dat door het vaker reinigen van straatkolken de

⁴⁵ Emissieregistratie (<http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Water/Factsheets/>

Achtergronddocumenten%20bij%20de%20factsheets/P4UW_Achtergrondrapport_afspoeling_N_en_P_2018.pdf).

⁴⁶ H.J. Liefing, R.P.S. Schilperoot, J.G. Langeveld, 2015. Regenwaterproject Almere. Eindrapportage.

hoeveelheid onopgeloste bestanddelen en daaraan gebonden vervuiling die in de kolken wordt afgevangen, tot factor 2 à 3 toeneemt. In Almere is niet aangetoond dat in dezelfde tijdperiode ook de concentraties bij de hemelwateruitlaat afnam. Waarschijnlijk is door retentie (de grote hoeveelheid *in-sewer stocks*) in de hemelwaterriolering het effect op de concentraties bij de hemelwateruitlaat sterk vertraagd. Bovendien hechten gebonden verontreinigingen zich meer aan fijn materiaal, dat niet zo gemakkelijk wordt afgevangen in de kolk. In potentie heeft het regelmatig tot frequent reinigen van kolken en leidingen (ook van de hemelwaterriolering, wat niet altijd gebruikelijk is) wel een significant positief effect op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater en de waterbodem.

8.1.2 Foutaansluitingen en grondwater in de hemelwaterriolering

Het water dat via de hemelwateruitlaat wordt geloosd, is in de praktijk lang niet altijd alleen afstromend hemelwater. Het is in Nederland vrij gebruikelijk om drainage aan te sluiten op de hemelwaterriolering. Daarnaast is bekend dat het gescheiden aanleggen en gescheiden houden van het vuilwater en hemelwater in de praktijk lastig is en dat foutaansluitingen veel voorkomen.

Drainagewater

Grondwater dat wordt verwerkt via drains kan een bron zijn van hoge concentraties van vooral arseen, nutriënten, ijzer en chloride. De concentraties in het drainagewater kunnen lokaal enorm verschillen. Is er sprake van hoge concentraties, dan kan het zinvol zijn om de drainagestream gescheiden te houden van de hemelwaterstroom. Dit betekent dat drainage niet wordt aangesloten op hemelwaterafvoerleidingen, maar apart wordt verwerkt of wordt afgepompt naar een vuilwaterriool.

Foutaansluitingen

Foutaansluitingen van vuilwater op hemelwaterriolen komen veel voor. Het vermoeden is dat in Nederland één tot enkele procenten van de percelen (deels) verkeerd zijn aangesloten. Dit blijkt uit projecten van de laatste jaren gericht op de opsporing van foutaansluitingen op de hemelwaterriolering.

Bij 2% foutaansluitingen van vuilwater op de hemelwaterriolering komt met die vuilwaterstroom al net zoveel vracht P-totaal mee als totaal via het afstromend hemelwater⁴⁷. Vervuiling die voorkomt in vuilwater, maar normaal gesproken niet in verband wordt gebracht met afstromend hemelwater, kan via foutaansluitingen toch in de hemelwaterstroom terecht komen. Naast stoffen als zepen en hormoonverstorende stoffen gaat het hierbij ook om visuele vervuiling van het geloosde hemelwater met bijvoorbeeld toilet papier en tampons. Opsporen en verhelpen van deze aansluitingen is dus een aanpak met een potentieel significant positief effect op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater en de waterbodem.

N.B. De meetgegevens die zijn opgenomen in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland zijn gebaseerd op steekmonsters en op tijd- of volume proportionele monsters. In alle gevallen zijn de monsters genomen *tijdens buien*. De bijdrage van foutaansluitingen aan de emissie tijdens buien is relatief klein, omdat dit afvalwater dan is gemengd met een relatief groot volume hemelwater. De bijdrage van foutaansluitingen is daardoor niet goed zichtbaar in de meetdata van de database, hoewel foutaansluitingen wel degelijk grote invloed hebben op de jaaremisse door foutaansluitingen. Die gaan namelijk continu door.

8.2 Zuivering

8.2.1 Centraal: rwzi

Voor *end-of-pipe* zuivering van het water uit de hemelwaterriolering zijn verschillende systeemkeuzen en technieken mogelijk. Met een verbeterd gescheiden stelsel (vgs) wordt het grootste deel van het afstromende hemelwater naar een rwzi getransporteerd en daar

⁴⁷ Emissieregistratie (http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Water/Factsheets/Achtergronddocumenten%20bij%20de%20factsheets/P4UW_Achtergrondrapport_afspoeling_N_en_P_2018.pdf).

centraal gezuiverd. Hierbij wordt het hemelwater vermengd met vuilwater. In het rwzi-effluent zitten daardoor voor nutriënten hogere vuilconcentraties dan in het hemelwater zelf, zie Tabel 8.1. Met een vgs neemt op het schaalniveau van een zuiveringskring voor nutriënten (maar niet voor alle stoffen!) de totale emissie dus niet af maar toe.

Het vgs 2.0 is een relatief nieuw concept waarbij het hemelwater niet op basis van een vaste pompovercapaciteit, maar op basis van de kwaliteit naar de rwzi wordt verpompt. Op deze manier wordt de relatief schone stroom water richting de rwzi beperkt en wordt zuivering alleen ingezet voor de fractie die sterker verontreinigd is.

Parameter	Gemiddeld daken en wegen woonwijken	Gemiddeld daken en wegen bedrijven	Gemiddelde concentratie rwzi effluent (2016) ⁴⁸
Cadmium (Cd) [µg/L]	0,18	1,4	0,08
Koper (Cu) [µg/L]	21	20	4
Kwik (Hg) [µg/L]	0,026	0,26	0,03
Lood (Pb) [µg/L]	21	68	1
Nikkel (Ni)* [µg/L]	4,1	12	5
Zink (Zn) [µg/L]	144	594	41
Antraceen [µg/L]	0,0076	0,0066	n.b.
Benzo(a)pyreen [µg/L]	0,048	0,033	n.b.
Minerale olie [µg/L]	102	1813	n.b.
CZV [mg O/L]	36	68	35
P-totaal [mg P/L]	0,30	0,52	0,9
N-Kjeldahl [mg N/L]	2,1	9,9	8
NO ₃ -N [mg N/L] (Nitraatstikstof)	1,5	0,66	-
TSS [mg/L]	38	48	7
E. coli [# /100 ml]	2,4*10 ⁴	1135	-

Tabel 8.1 Kwaliteit van afstromend hemelwater afgezet tegen concentraties in rwzi-effluent

8.2.2 Lokale zuivering van afstromend hemelwater

Tijdens het uitkomen van de eerste versie van de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland in 2007 waren *end-of-pipe* voorzieningen zoals lamellenafscidders nog volop aanwezig in diverse beslisbomen 'omgaan met hemelwater' als universele *no-regret* maatregel. Sindsdien zijn in Arnhem⁴⁹, de Krimpenerwaard⁵⁰ en Almere⁵¹ onderzoeken uitgevoerd naar de (kosten)effectiviteit van dergelijke voorzieningen. Op basis van de in paragraaf 7.1 beschreven beperkte bezinkbaarheid van de verontreinigingen (ook in internationaal perspectief) die volgde uit deze onderzoeken, kunnen bezinkvoorzieningen meestal niet meer worden gezien als een acceptabele zuiveringsoplossing voor de Nederlandse situatie.

Als wordt gekozen voor lokale zuivering, wordt eerder gedacht aan een zuiverende werking van een filterpakket, zoals de toplaag van een wadi of bodempassage. Bij lokale zuivering horen ook aspecten als verwijdering van grofvuil (blikjes, plastic, blad) een rol te spelen, aangezien burgers visuele verontreiniging meestal negatiever beleven dan een matige ecologische kwaliteit.

⁴⁸ CBS Statline (<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7477/table?ts=1580928150038>).

⁴⁹ J.G. Langeveld, H.J. Liefing, F.C. Boogaard, 2012. Uncertainties of stormwater characteristics and removal rates of stormwater treatment facilities: Implications for stormwater handling. *Water Research* 46 (2012) 6868 - 6880.

⁵⁰ H.J. Liefing, F.C. Boogaard, J. Korving, J.G. Langeveld, 2015. Lamellenafscidders Krimpenerwaard; Resultaten praktijkonderzoek. *Partners4UrbanWater*, 1220194_R_150413.

⁵¹ H.J. Liefing, R.P.S. Schilperoort, J.G. Langeveld, 2015. Regenwaterproject Almere. Eindrapportage.

8.3 Lozing en gebruik

8.3.1 Oppervlaktewater

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

Is het afstromende hemelwater meer dan gemiddeld verontreinigd met één of meer parameters door afstroming van sterk vervuilde oppervlakken, door foutaansluitingen, of door andere bronnen, dan kan ongezuiverd lozen van dit water leiden tot aantasting van de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater. Het kan hier gaan om zowel de chemische en biologische waterkwaliteit, de waterbodembodemkwaliteit en de belevingswaarde. Zijn hiervoor op voorhand aanwijzingen of blijkt dit in de praktijk het geval, dan liggen een brongerichte aanpak of zuivering als opties voor de hand.

8.3.2 Bodem

Klimaatadaptatie staat in Nederland hoog op de agenda en vraagt om een andere inrichting van de openbare ruimte. Grote regenbuizen passen niet in rioolbuizen dus wordt verharding vervangen door groen. Groenvoorzieningen krijgen functies als waterberging en infiltreren hemelwater in de bodem, zoals bij wadi's (waterafvoer, drainage en infiltratie). Bij het toepassen van dergelijke oplossingen moet wel rekening worden gehouden met de langetermijneffecten van de verontreinigingen in het afstromende hemelwater. Veel van de verontreinigingen in het afstromende hemelwater dat infiltreert, worden in de top laag 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 met XRF (X-ray Fluorescence, oftewel een röntgen fluorescentie spectrometer)^{52,53}. Bij één op vijf locaties zijn de interventiewaarden bodemsanering voor koper, lood of zink overschreden (vooral zink). Hoge concentraties in de bodem van wadi's zijn in het algemeen aangetroffen bij inlaten van hemelwater, 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 oplading plaats: in de wadibodem zijn hogere concentraties aangetroffen dan in de bodem net boven de slokop of net naast de wadi (referentiebodemkwaliteit).

Aanvullend onderzoek vindt plaats naar de herkomst en diepte van verontreiniging op locaties waar interventiewaarden zijn overschreden. Hierbij worden bij voorkeur niet alleen zware metalen en PAK meegenomen, maar ook andere stoffen.

⁵² F.C. Boogaard, 2019. Bodemvervuiling in wadi's onderzocht met nieuwe methode. H2O magazine mei 2019.

⁵³ G. Venk, F.C. Boogaard, 2019 (in preparation). XRF quick-scan mapping for heavy metal pollutants in SuDS: a methodological approach, *Sci, Sci* 2020, 2(1), 5; <https://doi.org/10.3390/sci2010005>, 2019.

9 Conclusies

De kwaliteit van afstromend hemelwater speelt een belangrijke rol bij afwegingen over de afvoer, het lozen en het gebruik van dit water. In 2007 waren gegevens van 600 waterkwaliteitsmetingen op 30 onderzoeklocaties bijeengebracht in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland. Anno 2020 bevat de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland analyseresultaten van 1742 waterkwaliteitsmetingen op 191 locaties in Nederland. Ten opzichte van 2007 zijn aanvullende kwaliteitscontroles uitgevoerd op de data, waardoor ook sommige ‘oude’ gegevens zijn aangevuld of gecorrigeerd.

9.1.1 Over de gemeten kwaliteit van afstromend hemelwater

Vers hemelwater dat nog niet is afgestroomd over het oppervlak bevat lage concentraties van verschillende stoffen die ook in de atmosfeer voorkomen. Deze concentraties zijn significant lager dan die in afstromend hemelwater. De kwaliteit van afstromend hemelwater kan per locatie en zelfs op een locatie in de tijd sterk (twee ordes van grootte) verschillen. Afstromend hemelwater van daken bevat meestal minder zink, maar meer koper en lood dan afstromend hemelwater in het hemelwaterriool (na afstroming van zowel daken als wegen). Voor de meeste parameters zijn de concentraties in woonwijken iets lager zijn dan bij bedrijventerreinen. Een opmerking hierbij is dat vooral onder de bedrijventerreinen meetlocaties zijn gekozen in het kader van de vergunningplicht. Vanwege zichtbare vervuiling van deze locaties was onderzoek gewenst zodat men zo nodig tot (handhavings)maatregelen kon overgaan. Daarmee geven deze data mogelijk een overschatting van de gemiddelde vervuiling van hemelwater op bedrijventerreinen.

9.1.2 Over de ontwikkelingen in de kwaliteit van afstromend hemelwater

Het is zeer ingewikkeld om een algemene trend vast te stellen op basis van meetdata uit zeer verschillende typen meetprojecten. Daarnaast speelt ook de ontwikkeling dat analysetechnieken in de loop van de tijd zijn verbeterd, waardoor rapportagegrenzen tegenwoordig lager zijn dan vroeger. Men moet dus zeer voorzichtig zijn in het toepassen van tijdreeksanalyses over de data in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland.

De gemiddelde concentraties van afstromend hemelwater in woonwijken in de data van vóór 2007 verschillen significant van de data tussen 2007 en 2020 voor de parameters lood, zink, PAK's, CZV en Kjeldahlstikstof. In al deze gevallen gaat het om een afname, wat aanmerkelijk maakt dat de kwaliteit van het afstromende hemelwater is verbeterd.

9.1.3 Over opkomende stoffen

Opkomende verontreinigende stoffen zijn stoffen waarvan de kennis over de gehalten in afstromend hemelwater nog beperkt is. Tegelijkertijd is wél bekend dat de stof een probleem vormt. Er zijn zeer veel (potentieel) opkomende stoffen. Alle varianten van opkomende stoffenvarianten in afstromend hemelwater bemonsteren en analyseren is onbetaalbaar en daarmee onhaalbaar. Om toch de emissieroute in beeld te brengen van opkomende stoffen via afstromend hemelwater in de waterketen, wordt de volgende aanpak voorgesteld:

- Maak op basis van gegevens over het gebruik van een stof een inschatting van de omvang van de emissies en de emissieroute(s).
- Bij stoffen waarbij de emissieroute via het afstromend hemelwater (of via de ‘riolering’) een significante bijdrage levert aan de totale emissie is het vervolgens zinvol om via een beperkte meetcampagne de uitkomsten van de inschatting via de emissieregistratie te verifiëren.

Gebruik van internationale literatuur is niet altijd verstandig, omdat het gebruik van veel stoffen per land en cultuur sterk kan verschillen.

9.1.4 Over de kwaliteit van afstromend hemelwater in relatie tot geldende normen

Specifiek voor afstromend hemelwater en lozingen van hemelwater uit de hemelwaterriolering bestaan geen normen. Hetzelfde geldt voor het meeste oppervlaktewater in de stad. De milieukwaliteitsnormen van de KRW geven wel een praktisch handvat voor de beoordeling van de chemische kwaliteit van afstromend hemelwater als bron van stedelijk oppervlaktewater.

Vooraf voor de metalen cadmium, kwik, lood en zink zijn de gemeten (totale) concentraties in afstromend hemelwater hoger dan de KRW-norm. Verwacht wordt dat de opgeloste concentratie van zink en lood in afstromend hemelwater ook vaak boven de MAC-MKN ligt. In vergelijking met 2007 springt met name lood er sterker uit als probleemstof. Dit komt vooral doordat de JG-MKN en MAC-MKN voor lood veel lager liggen dan de MTR-waarde die in 2007 als norm werd gebruikt.

9.1.5 Over de kwaliteit van afstromend hemelwater in vergelijking met het buitenland

De Nederlandse concentraties van stoffen in afstromend hemelwater zijn relatief laag in vergelijking met de buitenlandse metingen. Een achterliggende oorzaak voor de lagere concentraties kan liggen in de typische *lay-out* van Nederlandse hemelwaterriolering – weinig verval en veel verdronken stelsels – die ervoor zorgt dat de stroomsnelheid en schuifspanning meestal laag is. Onopgeloste bestanddelen en hieraan gebonden verontreinigingen worden hierdoor minder gemakkelijk met de stroming meegevoerd en bezinken in de riolering (of blijven op straat achter). De meestal bij de hemelwateruitlaat gemeten concentraties zijn hierdoor laag. Hemelwaterzuivering door bezinkingstechnieken is in Nederland minder snel te verkiezen dan in andere landen.

9.1.6 Hemelwaterbeleid

Wat beleidsmakers nu met hemelwater aan moeten is niet direct af te leiden uit de data van de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland. 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. Daarnaast heeft ook retentie (bezinking) in de riolering invloed op de concentratie die het water heeft ter plekke van het lozingspunt op het oppervlaktewater. Per locatie kan deze invloed enorm verschillen. Hemelwaterkwaliteitsbeleid kan bestaan uit een combinatie van bron-aanpak voor het terugdringen van de concentraties, *end-of-pipe* zuivering, verantwoord lozen of hergebruiken van het water. Lozing van hemelwater op lokaal oppervlaktewater in de stad kan positieve invloed hebben op de lokale waterkwaliteit in gevallen wanneer het hemelwater niet al te zeer verontreinigd is door bijvoorbeeld futaansluitingen of grondwater met hoge arseenconcentraties. Bij het toepassen van infiltratievoorzieningen moet men rekening houden met de langetermijneffecten van de verontreinigingen in het afstromende hemelwater op de bodem (toplaag). In vrijwel alle gevallen vindt oplading plaats: in metingen in wadibodems zijn hogere concentraties aangetroffen dan in de bodem net boven de slokop of net naast de wadi (referentiebodemkwaliteit).

10 Bronnen

- H. Aalderink, J.G. Langeveld, H.J. Liefthing, A. de Weme, 2009. Oppervlaktewaterkwaliteit: wat zijn relevante emissies? RIONED-Reeks 13. Stichting RIONED, Ede.
- D. Beal, 2009. A Macro for Calculating Summary Statistics on Left Censored Environmental Data using the Kaplan-Meier Method. Paper SDA-09.
- Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009 <https://wetten.overheid.nl/BWBR0027061/2017-01-01#BijlageI>, geraadpleegd december 2019
- U.E. Bollmann, J. Vollertsen, J. Carmeliet, K. Bester, 2014. Dynamics of biocide emissions from buildings in a suburban stormwater catchment Concentrations, mass loads and emission processes. *water research* 56 (2014) 66-76
- F.C. Boogaard, W. Hulst, 2004. Grote kansen voor afkoppelen bedrijventerreinen, *Riolering*, jaargang 11, 2004.
- F.C. Boogaard, W. van de Hulst, W. Pieters, B. Palsma, 2005. Afkoppelen regenwater op bedrijventerreinen mogelijk met aanvullende maatregelen, *H₂O* nr. 1 pag. 20, 2005.
- F.C. Boogaard, R. Wentink, 2005. Richtlijnen voor het ontwerp, aanleg en beheer van wadi's, *Rioleringstechniek*, 2005.
- F.C. Boogaard, G. Bruins en R. Wentink, 2006. Wadi's: aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer. Stichting RIONED, 2006.
- F.C. Boogaard, G.B. Lemmen, 2007. De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater. STOWA-rapport 2007-21.
- F.C. Boogaard, G.B. Lemmen, 2007. Achtergrondrapport Database Regenwater. STOWA-rapport 2007-W09.
- Boogaard F.C. Lemmen G., Palsma B. Analyse van de meest gestelde vragen over de kwaliteit van Regenwater, *H₂O* nr. 24, 2007.
- F.C. Boogaard, 2014. Database met gegevens over regenwater uitgebreid en verbeterd, STOWA-nieuwsbrief september 2014.
- F.C. Boogaard, 2016. Kwaliteit regenwater en (bezink-)voorzieningen; De nieuwe database regenwaterkwaliteit en nieuwe inzichten in de effectiviteit van (bezink-)voorzieningen. STOWA Afvalwatersymposium.
- F.C. Boogaard, 2019. Bodemvervuiling in wadi's onderzocht met nieuwe methode. *H₂O* magazine mei 2019.
- H. Brombach, G. Weiss, S. Fuchs, 2005. A new database on urban runoff pollution: Comparison of separate and combined sewer systems, *Water Science & Technology* February 2005. DOI: 10.2166/wst.2005.0039.
- CAS. <https://www.cas.org/about/cas-content>, geraadpleegd december 2019.
- CBS Statline. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7477/table?ts=1580928150038>, geraadpleegd januari 2020.
- Commissie Integraal Waterbeheer, 2002. Afstromend wegwater.
- Compendium voor de Leefomgeving. Waterkwaliteit KRW, 2015. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl1438-kwaliteit-oppervlaktewater-krw>, geraadpleegd januari 2020
- A. Daligault, D. Meaudre, D. Arnault, V. Duc, 1999. Stormwater and lamella settlers: efficiency and reality. *Water Science and Technology* 39 (2), 93e101
- Emissieregistratie. www.emissieregistratie.nl, geraadpleegd januari 2020.
- D. Helsel, 2009. Much Ado About Next to Nothing: Incorporating Nondetects in Science. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 54, No. 3, pp. 257-262, 2010. doi:10.1093/annhyg/mep092.
- M. Kafi, J. Gasperi, R. Moillon, M.C. Gromaire, G. Chebbo, 2007. Spatial variability of the characteristics of combined wet weather pollutant loads in Paris. *Water Research* 42 (2008) 539 - 549. doi:10.1016/j.watres.2007.08.008.¹ D. Rădulescu, G. Racovițeanu, X. Swamikannu, 2019. Comparison of urban residential storm water runoff quality in Bucharest, Romania with international data, *EENVIRO 2018 – Sustainable Solutions for Energy and Environment*, *E3S Web of Conferences* 85, 07019 (2019). doi.org/10.1051/e3sconf/20198507019.
- J.G. Langeveld, H.J. Liefthing, F.C. Boogaard, 2012. Uncertainties of stormwater characteristics and removal rates of stormwater treatment facilities: Implications for stormwater handling. *Water Research* 46 (2012) 6868 - 6880
- J.G. Langeveld, J.A.B. Post, H.J. Liefthing, 2020. Microverontreinigen in afstromende neerslag op basis van influentmetingen en fingerprinting. STOWA-rapport 2020-04.

- H.J. Liefing, F.C. Boogaard, J. Korving, J.G. Langeveld, 2015. Lamellenafscidders Krimpenerwaard; Resultaten praktijkonderzoek. Partners4UrbanWater, 1220194_R_150413.
- H.J. Liefing, R.P.S. Schilperoort, J.G. Langeveld, 2015. Regenwaterproject Almere. Eindrapportage.
- A. Maestre, R.E. Pitt, 2007. Stormwater Databases: NURP, USGS, International BMP Database and NSQD. *Journal of Water Management Modeling* R227-20. doi: 10.14796/JWMM.R227-20.
- S.P. Millard, 2018. Package for Environmental Statistics, Including US EPA Guidance. Version 2.3.1. CRAN R-Project.org
- *Reformatorisch Dagblad*, 17 januari 1985
<https://www.digibron.nl/viewer/collectie/Digibron/id/740dfd3d3ec27bd2a50c5c61dfe7b145>
- Richtlijn KRW 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000.
- RIVM. <https://www.rivm.nl/pfas>, geraadpleegd december 2019.
- RIVM. <https://rvs.rivm.nl/normen/milieu/milieukwaliteitsnormen>, geraadpleegd december 2019
- RIVM. <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/Stoffen>, geraadpleegd januari 2020.
- J. Rombout, F.C. Boogaard, J. Kluck, R. Wentinck, 2007. Zuiverende voorzieningen regenwater; Verkenning van de kennis van ontwerp, aanleg en beheer van zuiverende regenwatersystemen. STOWA 2007-20.
- N. Shoari, 2016. Quantitative analysis of left-censored concentration data in environmental site characterization. Ph. D. thesis, École de Technologie Supérieure, Université du Québec.
- E. van der Swaluw, W.A.H. Asman en R. Hoogerbrugge The Dutch National Precipitation Chemistry Monitoring Network over the period 1992-2004. RIVM Report 680704009/2010.
- G. Venvik, F.C. Boogaard, 2019 (in preparation). XRF quick-scan mapping for heavy metal pollutants in SuDS: a methodological approach, *Sci, Sci* 2020, 2(1), 5; <https://doi.org/10.3390/sci2010005>, 2019.
- F. Wagemaker, L. Knijff, N. van Duijnhoven, K. Legierse, J. Pijnenburg, 2003. Probleemverkenning prioritaire stoffen (fact sheets). RIZA-werkdocument 2003-222X.
- D. Wicke, A. Matzinger, N. Caradot, H. Sonnenberg, R.L. Schubert, D. von Seggern, B. Heinzmann, P. Roualt, 2016. Extent and dynamics of classic and emerging contaminants in stormwater of urban catchment types. *Proceedings Novatech* 2016.
- Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Benzine>, geraadpleegd januari 2020.

STOWA en Stichting RIONED in het kort

Stichting RIONED is de koepelorganisatie voor de riolering en het stedelijk waterbeheer in Nederland. In RIONED participeren alle partijen die bij de rioleringszorg betrokken zijn: overheden (gemeenten, waterschappen, rijk en provincies), bedrijven (leveranciers, adviesbureaus, inspectiebedrijven en aannemers) en onderwijsinstellingen. De belangrijkste taak van Stichting RIONED is het beschikbaar stellen van kennis aan de vakwereld. Dit doet RIONED door onderzoek, het bundelen van bestaande kennis en het op vele manieren informeren en bij elkaar brengen van professionals.

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

© 2020 Stichting RIONED en STOWA

Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Disclaimer

Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van deze publicatie.

auteurs

ir. H.J. Liefding, dr. ir. F.C. Boogaard, dr. ir. J.G. Langeveld

omslagfoto

© Erik Liefding

vormgeving

Marieke Eijt, gaw ontwerp+communicatie b.v., Wageningen

druk

Drukkerij Modern, Bennekom

rapportnummer

2020-05

isbn/ean

978.90.5773.884.5

Welke verontreinigingen bevat afstromend hemelwater? Waterkwaliteitsbeheerders en beheerders van stedelijke watersystemen voeren al decennia onderzoeken uit naar de lokale kwaliteit van afstromend hemelwater. Sinds 2007 stelt STOWA de resultaten van deze onderzoeken ter beschikking in de Database kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland. Anno 2020 bevat deze database meer dan 1.700 monsters en 26.800 waterkwaliteitsmetingen van ruim 190 locaties. Een selectie van stoffen en stofgroepen is samengevat in dit rapport, variërend van traditionele waterkwaliteitsparameters zoals nutriënten en onopgeloste bestanddelen tot prioritair en prioritair gevaarlijke stoffen van de KRW. Statistische analyses geven een helder beeld van de concentraties in het afstromende hemelwater en van onderlinge verschillen tussen hemelwater op verschillende locaties. Ter vergelijking zijn ook concentraties uit internationale onderzoeken opgenomen. Deze publicatie helpt om de beleidsmatige omgang met hemelwater in Nederland verder te onderbouwen. Daarnaast geeft het rapport handreikingen voor gebruik van de gegevens uit de database en voor onderzoek naar opkomende verontreinigende stoffen.

ISBN/EAN 978.90.5773.884.5

