



Milieuhygiënisch functioneren van infiltratievoorzieningen

Milieuhygiënisch functioneren van infiltratievoorzieningen

Inhoud

1 Inleiding	5
2 Kwaliteit van afstromend hemelwater	6
2.1 Afkoppelen	6
2.2 Kwaliteit van afstromend hemelwater	6
2.3 Gedrag van stoffen	7
3 Bronmaatregelen	9
4 Pad	10
4.1 Gebiedstype	10
4.2 Bodemopbouw	12
4.3 Grondwaterstand	13
4.4 Positie van infiltratie in de bodem	14
5 Infiltratievoorzieningen	15
5.1 Groene infiltratievelden	15
5.2 Horizontale infiltratiebuizen	16
5.3 Verticale infiltratiebuizen	17
5.4 Holle-ruimte-voorzieningen	17
5.5 Infiltrerende wegconstructies	18
5.6 Voorzuiverende voorzieningen	19
5.7 Voorzieningen met zuiverende werking	19
5.8 Samenvatting	20
6 Afkoppelen van afstromend hemelwater in de praktijk	22
6.1 Inleiding	22
6.2 Acceptabele belasting	22
6.3 Inzicht in milieuhygiënisch functioneren infiltratievoorzieningen	23
6.4 Juridische status infiltratievoorzieningen	24
7 Aanzet algemene richtlijn/beslisboom	25
7.1 Regelgeving	25
7.2 Categorie-indeling op basis van aangesloten verhard oppervlak (wegen/daken)	25
7.3 Typen infiltratievoorzieningen	27
7.4 Calamiteiten	29
Colofon	31

Voorwoord

‘De stad als spons’, het is een bekende leus die vaak gebruikt wordt in onze sector. We infiltreren immers een groot deel van het water in Nederland om de impact van droogte en wateroverlast te voorkomen. Het lijkt een goede oplossing, hemelwater is immers ‘schoon’. Toch blijkt dat in de praktijk niet altijd zo te zijn. Hemelwater stroomt namelijk over allerlei oppervlakten. En hierin neemt het de vervuiling van die oppervlakten mee. Ook naar de infiltratievoorziening toe.

Daarom is er behoefte aan meer kennis, over de kwaliteit van hemelwater, en meer handvaten, over hoe we er mee omgaan. Beheerders willen een maatstaf om te bepalen wanneer het beter is om het water niet te infiltreren en wanneer het noodzakelijk is om het te zuiveren. Er is vraag naar inzicht over welke infiltratievoorziening geschikt is bij bepaalde omstandigheden, om zo de verontreiniging eruit te halen.

Daarom hebben Stichting RIONED en STOWA de kennis over infiltratievoorzieningen en hemelwaterkwaliteit verzameld. Dit om stappen te zetten naar een werkwijze waarin hemelwaterkwaliteit wordt meegewogen in het correct aanleggen en beheren van infiltratievoorzieningen.

Dit rapport dient, samen met het rapport ‘Beheer van infiltratievoorzieningen’, als basis voor de ‘Richtlijnen voor locatie- en systeemkeuze, Ontwerp, Aanleg en beheer van infiltratievoorzieningen’.

De wereld blijft veranderen, dus Stichting RIONED en STOWA blijven zich inzetten voor kennisontwikkeling en -deling om stedelijk waterbeheerders te ondersteunen in hun werk.

Veel leesplezier en inspiratie.

Hilde Niezen, Stichting RIONED

Mark van der werf, STOWA

Februari 2026

1 Inleiding

Klimaatadaptatie staat in Nederland volop in de schijnwerpers. Veel partijen denken erover na hoe ze hier concreet invulling aan kunnen geven. Gemeenten nemen daarin vaak het voortouw. Belangrijke aandachtspunten zijn het bergen van hemelwater om wateroverlast bij piekbuien te voorkomen en het aanvullen van het grondwater voor drogere perioden. Ook aan particulieren en bedrijven wordt gevraagd om actie te ondernemen op deze punten. Soms wordt dit ook verplicht gesteld. Als gevolg hiervan wordt afstromend hemelwater de laatste jaren steeds vaker afgekoppeld (waarbij dit water niet langs een rioolwaterzuiveringsinstallatie gaat) en in de bodem gebracht. Soms wordt het afstromende hemelwater gezuiverd in een (infiltratie)voorziening. Om ervoor te zorgen dat zo'n voorziening goed blijft functioneren, moet deze worden beheerd, onderhouden en gemonitord.

Het afkoppelen van hemelwater kan risico's opleveren voor de kwaliteit van het milieu: het afstromende hemelwater kan vervuild zijn. Als dit water over oppervlakken stroomt, neemt het verontreinigingen met zich mee, die vervolgens in de bodem terechtkomen. Bij het ontwerp, de aanleg en het beheer van een infiltratievoorziening moet de kwaliteit van het aangesloten afstromende hemelwater daarom altijd worden meegenomen. De kwaliteit bepaalt namelijk mede welke infiltratievoorzieningen geschikt zijn, en of er eventueel aanvullende maatregelen nodig zijn om vervuiling van de grond en het grondwater (dat de voorraad vormt voor onze drinkwaterwinning) te voorkomen. Wanneer het afstromende hemelwater sterk vervuild is, kan het zelfs zo zijn dat afkoppelen onverstandig is.

Er is nog veel onduidelijkheid rondom het milieuhygiënisch functioneren van infiltratievoorzieningen:

- In wetten en regels is te lezen dat de bodemkwaliteit niet mag verslechteren als gevolg van menselijk handelen. Wat betekent dit concreet in de situatie dat afstromend hemelwater afkomstig van verhard oppervlak wordt afgekoppeld?
- Wat zijn de gevolgen van infiltrerend afstromend hemelwater voor de kwaliteit van grond, grondwater en oppervlaktewater?
- Hoe functioneren zuiveringsvoorzieningen?

In deze rapportage, die is opgesteld in opdracht van STOWA en Stichting RIONED, komen verschillende elementen aan bod die van belang zijn bij het afkoppelen van afstromend hemelwater in relatie tot de bodemkwaliteit.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 staat de kwaliteit van afstromend hemelwater centraal. Hoofdstuk 3 beschrijft maatregelen die aan de bron genomen kunnen worden om de kwaliteit van het afstromende hemelwater te verbeteren. Hoofdstuk 4 beschrijft vervolgens factoren die van invloed zijn op het pad dat het afstromende hemelwater aflegt voordat het bij het object (het grondwater) aankomt. In hoofdstuk 5 worden infiltratievoorzieningen en zuiverende voorzieningen besproken; dit zijn de 'man-made' onderdelen van het pad dat afstromend hemelwater aflegt. Hoofdstuk 6 bevat een beschouwing van de onderdelen waarop verdere kennisontwikkeling nodig is. In hoofdstuk 7 wordt tot slot een eerste aanzet gegeven voor een algemene richtlijn voor het infiltreren van afstromend hemelwater in de praktijk.

2 Kwaliteit van afstromend hemelwater

2.1 Afkoppelen

Van de totale oppervlakte van Nederland (2,2 miljoen hectare) is ongeveer 13% verhard en in gebruik als bebouwing en verkeersterrein (CBS, 2021)¹. Hemelwater dat op verhard oppervlak valt, kan worden afgekoppeld. Afgekoppeld water wordt niet gereinigd in een rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) voordat het in oppervlaktewater wordt geloosd (het is afgekoppeld van de rwzi), maar wordt geïnfiltreerd in de bodem of direct in het oppervlaktewater geloosd. Ongeveer 54% van het afstromende hemelwater in Nederland gaat naar een rwzi, iets minder dan een kwart naar het oppervlaktewater (24%) en ongeveer 22% wordt geïnfiltreerd in de bodem (STOWA 2019-22).²

2.2 Kwaliteit van afstromend hemelwater

Er worden verschillende indicatorstoffen gebruikt om de kwaliteit van afstromend hemelwater te bepalen. Parameters die worden gebruikt, zijn onder andere zware metalen (cadmium, koper, kwik, lood, nikkel en zink), PAK's (antracene, benzo(a)pyreen), minerale olie, fosfor(P)-totaal, stikstof(N)-Kjeldahl, en E.coli (STOWA 2020-05)³. Het is belangrijk om hierbij aan te tekenen dat deze stoffen niet allemaal even frequent worden gebruikt voor het bepalen van de waterkwaliteit. Parameters die vaak worden gebruikt in de beoordeling van de waterkwaliteit, zijn zwevend stof (oftewel, TTS=total suspended solids, onopgeloste delen), fosfor en stikstof.

Een recent gepubliceerd wetenschappelijk artikel geeft inzicht in verontreinigingen in afstromend hemelwater. Mutzner et al.⁴ hebben diverse datasets geanalyseerd van water afkomstig van overstorten uit een gemengd rioolstelsel en van afstromend hemelwater. De monsters die ze hebben geanalyseerd, zijn genomen met tijd-, volume- of stroomproportionele monsternamen (dus geen steekmonsters) en verzameld na 2010 (in Duitsland, Zwitserland, USA, Frankrijk, Australië en Denemarken).

Zij hanteren de volgende indeling:

- Zware metalen, mogelijk afkomstig van afstromend hemelwater van wegen en gebouwen.
- Huishoudelijk/industriële verontreinigingen, mogelijk afkomstig van industrieel afvalwater, huishoudelijke aansluitingen en afstromend hemelwater van wegen.
- PAK's, mogelijk afkomstig van afstromend hemelwater van wegen.
- Pesticiden, mogelijk afkomstig van afstromend hemelwater van stedelijk groen of gebouwen.
- Medicijnresten, verontreinigingen als gevolg van persoonlijke verzorging en biomarkers, mogelijk afkomstig van huishoudelijk afvalwater.

Diverse verbindingen uit deze categorieën worden in meer of mindere mate in afstromend hemelwater aangetoond.

De database van STOWA geeft inzicht in de Nederlandse waterkwaliteit van afstromend hemelwater. Hierin zijn de analyseresultaten opgenomen van 1.742 monsters van 191 locaties in Nederland die zijn uitgevoerd in de periode 1986 tot en met 2020 (cijfers van 2020). De database geeft daarmee een beeld van de te verwachten concentraties in een hemelwaterstelsel waarop afstromend hemelwater van daken, wegen en andere verharde oppervlakken is aangesloten.

¹ Nederland in cijfers, 2021, CBS.

² STOWA 2019-22, 'Afkoppelen. Kansen en risico's van anders omgaan met hemelwater in de stad', STOWA, juli 2019.

³ STOWA 2020-05. Kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland. Database kwaliteit afstromend hemelwater, STOWA en Stichting RIONED, april 2020.

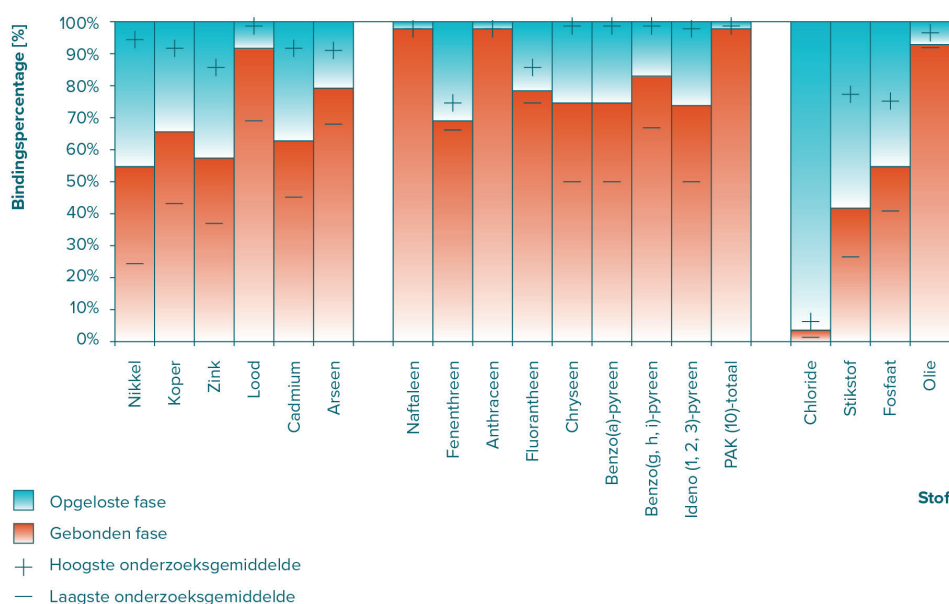
⁴ L. Mutzner et al., 'A decade of monitoring micropollutants in urban wet-weather flows: What did we learn?' Water Research 223 (2022) 118968.

2.3 Gedrag van stoffen

Een groot deel van de verontreinigingen is gebonden aan deeltjes, zie figuur 2.1. De opgeloste concentraties zijn vaak meer dan 50% lager dan de totaal-concentraties; voor lood, minerale olie en sommige PAK's is dit zelfs 90% of meer. Deze verdeling is van belang omdat deeltjesgebonden verontreinigingen eenvoudiger verwijderd kunnen worden dan opgeloste verontreinigingen. Verder zijn in principe alleen opgeloste verontreinigingen bio-beschikbaar (opneembaar). Deze vertegenwoordigen de actuele risico's. Het zou echter zo kunnen zijn dat een deel van de gebonden verontreinigingen door processen als afbraak van organische stof of desorptie op termijn alsnog in oplossing gaat.

Overigens kan de verdeling tussen opgeloste en gebonden verontreinigingen wel sterk variëren. Water afkomstig van daken bevat relatief weinig deeltjes. Daarom zullen metalen die via corrosie van bouwmetalen (lood, zink en soms ook koper) vrijkomen, vooral in oplossing aanwezig zijn. Dit is van belang als het dakwater rechtstreeks wordt geloosd. Als het dakwater zich vermengt met water van wegen, dan zullen de opgeloste metalen zich alsnog voor een groot deel gaan binden aan deeltjes die afkomstig zijn van het wegoppervlak en dergelijke.

Samenstelling stoffen afstromend regenwater



Figuur 2.1
Relatief aandeel van opgeloste stoffen in afstromend hemelwater. Bron: STOWA-rapport 2007-21

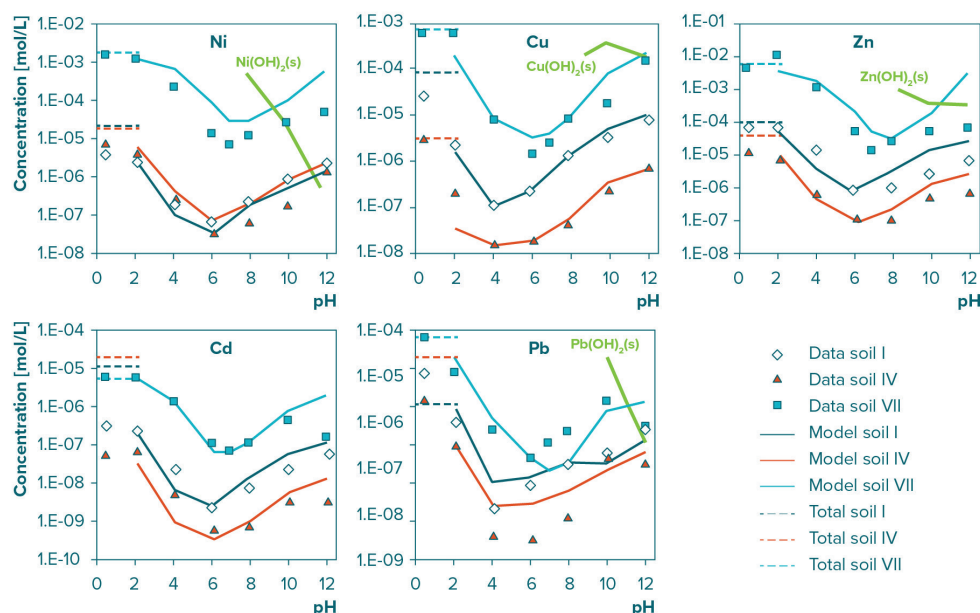
De stoffen die in afstromend hemelwater aanwezig zijn, kunnen worden verdeeld in een aantal groepen stoffen met overeenkomstig gedrag:

1. Deeltjes, inclusief bacteriën. Deze worden effectief gefiltreerd, vaak al in de bovenste centimeters van de bodem. Als verontreinigingen zwak aan deeltjes zijn gebonden, is er in theorie een risico op desorptie.
2. Zouten. Hierbij gaat het om stoffen zoals sulfaat en chloride. Als er zout wordt gestrooid om gladheid te bestrijden, worden de normwaarden voor de hoeveelheid chloride overschreden.⁵ Zouten binden zich niet of nauwelijks aan de bodem en kunnen daarom in het drinkwater terechtkomen. Uit een onderzoek van Vitens (opgenomen in ⁵) blijkt dat het chloridegehalte in de drinkwaterwinning Driebergen, waar de A12 doorheen loopt, in ongeveer zestig jaar tijd is gestegen van 15 naar 40 mg/l. De laatste jaren neemt dit chloridegehalte echter niet verder toe; er is eerder sprake van een daling. Bovendien ligt een waarde van 40 mg/l nog steeds ruimschoots onder de norm. Het oppervlak van de A12 vertegenwoordigt 4,4% van het intrekgebied. Hieruit kan worden afgeleid dat het strooien van zout geen reëel probleem oplevert voor de drinkwaterkwaliteit bij een straatoppervlak van globaal 5% in het intrekgebied. Alleen als het straatoppervlak flink groter zou zijn, is het aan te bevelen om de risico's van chloride nader te onderzoeken.

⁵ GeoFox-Lexmond (2009): Milieubelasting door strooizout bij hemelwater-infiltratievoorzieningen. BIO Chloride fase II. Rapport 20081087/MMAN, Geofox-Lexmond, Oldenzaal.

3. Zware metalen. De meeste zware metalen (lood, nikkel, zink, cadmium, koper, et cetera) vormen positief geladen ionen (kationen) als ze oplossen in water. Voor deze metalen is de mobiliteit maximaal in het zure pH-gebied, hoewel de mobiliteit van amfotere metalen (metalen die zowel met een zuur als een base kunnen reageren, bijvoorbeeld lood en zink) ook toeneemt in het basische pH-gebied. Daarnaast kan in dat gebied de oplosbaarheid ook stijgen door een toenemende complexatie met DOC.⁶ De minimale oplosbaarheid ligt in de range van pH 6-8, de natuurlijke pH-waarden van grond, zie figuur 2.2. Metalen en metalloïden in anionvorm (zoals chromaat en arsenaat) zijn juist maximaal mobiel bij basische pH-waarden en minimaal bij zure pH-waarden. Deze elementen spelen echter geen rol van betekenis bij afstromend hemelwater in woonwijken. Relevante metalen kunnen daarom onder natuurlijke condities in sterke mate worden gebonden aan de bodem. Wel varieert de adsorptiecapaciteit met de samenstelling (humus- en lutumpercentage) van de bodem.
4. Organische verontreinigingen. De meest relevante verontreinigingen (PAK en minerale olie) zijn hydrofoob. Dit beperkt de oplosbaarheid in sterke mate. Organische stof kan de verontreinigingen adsorberen, waarbij de binding vaak sterk is. Elke type bodem bevat organische stof, maar het gehalte kan wel aanzienlijk variëren. Verder kan afbraak de verspreiding van organische stoffen beperken. Vooral de meer hydrofiële, laagmoleculaire stoffen zijn vaak goed afbreekbaar. Dergelijke stoffen kunnen (deels) een natuurlijke oorsprong hebben, zoals plantenresten en uitwerpselen van honden, en zijn onderdeel van het CZV of het BZV.

Figuur 2.2
Verloop uitloging metalen uit grond als functie van de pH. Meetwaarden van pH-gestuurde roerproeven (punten) en modelberekeningen (lijnen). Onderzoek J. Dijkstra, ECN. Overgenomen uit : Environ. Sci. Technol. 38, 4390-4395. <https://doi.org/10.1021/es049885v>.



Naast chemische verontreiniging kan ook de biologische waterkwaliteit van belang zijn. Stilstaand water in straten of in wadi's na hevige regenval is van slechte kwaliteit. Zulk water bevat grote hoeveelheden micro-organismen zoals *E. coli* en enterokokken. Mensen die hieraan worden blootgesteld, hebben een verhoogde kans om ziek te worden. Dit is vooral gevaarlijk voor kinderen, wanneer zij in waterplassen en wadi's spelen (RIONED 2014-28).⁷

Waterkwaliteitsmetingen laten zien dat water in wadi's vaak fecaal verontreinigd is door honden- en vogelpoep en eventuele foute aansluitingen op de hemelwaterafvoer (NKWK, 2021).⁸

De laatste jaren is er, naast aandacht voor de 'klassieke' verontreiniging met zware metalen, PAK en minerale olie in afstromend hemelwater, groeiende aandacht voor 'microplastics', ZZS en PFAS. Wat betreft microplastics gaat het bij wege vooral om bandenslijpsel (kunst- of natuurrubber). Van deze opkomende verontreinigingen zijn op dit moment nog beperkte meetgegevens in afstromend hemelwater voorhanden.

⁶ Dissolved Organic Carbon, vaak fulvo- en humuszuren. Complexvorming is een binding van een positief geladen metaalion met een negatief geladen molecuul (ligand). Het complex is goed oplosbaar.

⁷ RIONED 2014-28. Water in de stad heeft gezondheidsrisico's. STOWA en Stichting RIONED, juli 2014.

⁸ NKWK (Nationaal kennis en innovatieprogramma water en klimaat). Stedelijke waterkwaliteit, klimaat en adaptatie. Achtergrondrapport. Mei 2021.

3 Bronmaatregelen

Er bestaan diverse maatregelen om de kwaliteit van afstromend hemelwater aan de bron te verbeteren:

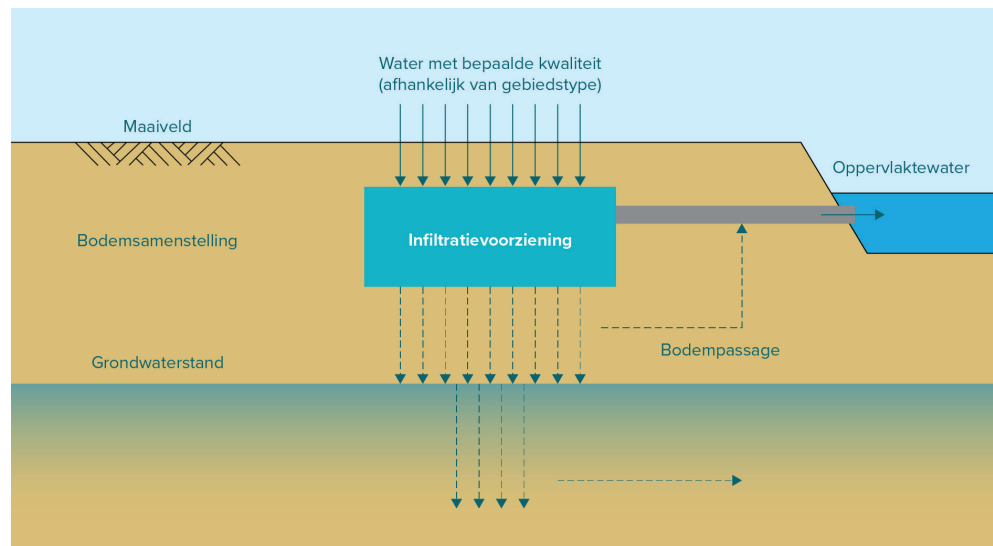
- Denk na over het gebruik en de toepassing van gladheidsbestrijdingsmiddelen. Wanneer er strooizout wordt gebruikt om gladheid te bestrijden, is het wenselijk om hier spaarzaam mee om te gaan en niet meer te gebruiken dan nodig is. ‘Nat’ strooien is bijvoorbeeld een mogelijkheid. Hiervoor is tot 50% minder zout nodig.
- Voorkom foutieve aansluitingen op het hemelwatersysteem bij aanleg, en spoor foutieve aansluitingen ook actief op. In het artikel van Mutzner et al. staat dat er medicijnresten zijn aangetroffen in water afkomstig van overstorten uit een gemengd rioolstelsel en in afstromend hemelwater. Omdat er ook medicijnresten in afstromend hemelwater zijn aangetroffen, is de conclusie dat er sprake is van foutieve aansluitingen of van illegale lozingen. Naast medicijnresten bevat (huishoudelijk) afvalwater nog meer verontreinigingen die er in een rwzi uit gehaald kunnen worden en die bij voorkeur niet in de bodem geïnfilteerd mogen worden
- Beperk de hoeveelheid verharding of maak gebruik van halfverharding. Hierdoor kan het hemelwater sneller in de bodem infiltreren en komt hemelwater, dat in principe weinig verontreinigingen bevat, minder in contact met verontreinigde oppervlakken.
- Gebruik zo weinig mogelijk uitlogbare (bouw)materialen. Bouwmaterialen met een CE-markering zijn beoordeeld wat betreft hun uitloogbaarheid, en zijn goedgekeurd. Maak daarom zoveel mogelijk gebruik van bouwproducten met een CE-markering. Ook is het een goed idee om bij grootschalige renovaties uitloegende materialen te vervangen door niet-uitloegende materialen.
- Verminder het gebruik van chemische onkruid- of ongediertebestrijdingsmiddelen. Sinds 2016 mogen er geen chemische onkruidbeschermingsmiddelen worden gebruikt om verharde oppervlakken onkruidvrij te maken. Deze mogen alleen nog gebruikt worden voor het bestrijden van invasieve soorten.

Naast deze bronmaatregelen speelt communicatie een belangrijke rol. Het gaat hierbij om communicatie met gebruikers en bewoners van het gebied waar afstromend hemelwater wordt afgekoppeld. Onderwerpen die hierbij aan de orde kunnen komen, zijn: het onderstrepen van het belang van een goede grondwaterkwaliteit, het vergroten van het bewustzijn dat het handelen van gebruikers en bewoners invloed heeft op de kwaliteit van de bodem en het grondwater, en gebruikers en bewoners ertoe proberen te bewegen om activiteiten met een negatieve invloed op de kwaliteit van afstromend hemelwater te verminderen. Denk bijvoorbeeld aan het wassen van de auto, het achterlaten van hondenpoep of het gebruikmaken van bestrijdingsmiddelen tegen onkruid of ongedierte.

4 Pad

Begin 2023 heeft TAUW in opdracht van STOWA⁹ een verkenning gemaakt van de risico's voor de bodemkwaliteit van het afkoppelen en het in de bodem infiltreren van afstromend hemelwater. Hierbij zijn locatiespecifieke omstandigheden meegenomen in het traject van de bron (het afstromende hemelwater) tot het object (het freatische grondwater), zie figuur 4.1. Als het freatische grondwater eenmaal is bereikt, kan een verontreiniging verder worden verspreid (in horizontale en/of verticale richting, afhankelijk van de geohydrologische situatie). Daarnaast is het ook mogelijk dat een infiltratievoorziening (deels) water loost in oppervlaktewater en/of dat het oppervlaktewater wordt bereikt via bodempassage. In de risicoanalyse is het grondwater beschouwd als een kwetsbaar object en is het oppervlaktewater niet beschouwd. Bepaalde factoren, zoals een zandgrond, met een beperkte bindingscapaciteit en een hoge doorlatendheid, leveren op zichzelf niet direct risico's op, maar kunnen in combinatie met andere factoren wel voor problemen zorgen. Dit geldt ook voor de gebiedstypen met in verschillende mate vervuild afstromend hemelwater, en voor verschillende grondwaterstanden met bijbehorende kans op contaminatie.

Figuur 4.1
Schematisatie systeem met
infiltratievoorziening en
bodem



De omgeving kan worden meegenomen met behulp van de volgende factoren, die hierna nader worden toegelicht:

- gebiedstype: bedrijfsterreinen, wegen, woonwijken
- bodemopbouw
- grondwaterstand
- positie van infiltratie in de bodem

De infiltratievoorziening maakt ook onderdeel uit van het pad tussen bron (hemelwater) en object (grondwater). In het volgende hoofdstuk wordt voor verschillende stofgroepen het effect van verschillende typen infiltratievoorzieningen hierop beschreven.

4.1 Gebiedstype

De kwaliteit van het afstromende hemelwater kan worden ingeschat op basis van het type verhard oppervlakte waar het hemelwater over afstroomt, oftewel het gebiedstype. De STOWA-database biedt inzicht in de verschillen. In deze database zijn metingen opgenomen die zijn uitgevoerd op een breed scala aan locaties. In de database wordt per monster de herkomst weergegeven, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen woongebieden, bedrijventerreinen, provinciale wegen en rijkswegen. De verschillende activiteiten en oppervlakken leveren diverse soorten vervuiling op, in een verschillende mate. Soms worden er nog nadere specificaties gegeven wat betreft het type bedrijf, het type wegdek, de plek waar het water vandaan komt: van daken of van wegen, of bijvoorbeeld dat het om gemengd hemelwater uit een gebied gaat, et cetera. Verreweg de meeste metingen in

⁹ Probleemanalyse bodemkwaliteit in relatie tot het afkoppelen van afstromend hemelwater, TAUW, kenmerk R001-1282606MLX-V01-mwl-NL d.d. 5 mei 2023.

woongebieden hebben betrekking op gemengd water. Parkeerterreinen worden niet apart onderscheiden. Ook is er soms onderscheid gemaakt tussen ruwe (totaal) en opgeloste (na filtratie) concentraties.

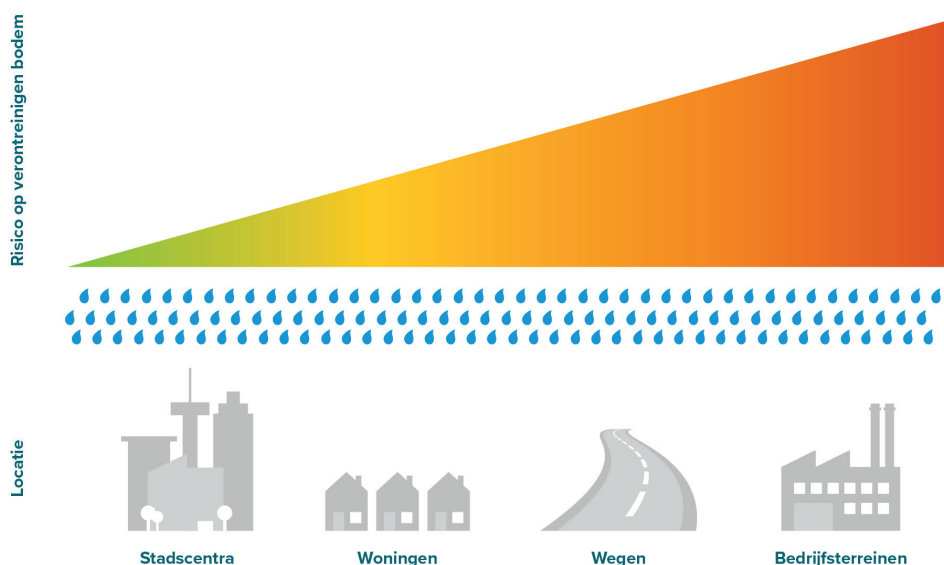
Tabel 4.1 biedt een overzicht van de gemiddelde kwaliteit per gebiedstype: woongebieden, stadscentra, bedrijventerreinen en verkeerswegen (provinciale wegen en rijkswegen). In de database hebben stoffen die gemeten zijn in een concentratie lager dan de rapportagegrens een waarde gekregen van 0,75 x de rapportagegrens. Ter vergelijking zijn de kwaliteitseisen uit Bijlage XIX van het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl) en de omgevingswaarden voor de goede chemische toestand van grondwaterlichamen (Bijlage IV Bkl, invulling van KRW) voor infiltratiewater met als doel dit terug te winnen (al dan niet gedeeltelijk) ook in de tabel opgenomen. Dit zijn eisen voor *opgeloste* concentraties. De gegevens uit de STOWA-database zijn meestal ruwe waarden. De vergelijking is in dit kader daarom niet helemaal juist: de opgeloste concentraties zijn meestal lager dan de ruwe waarden.

Deze tabel laat zien dat hemelwater afkomstig van bedrijventerreinen vrijwel steeds de hoogste waarden geeft. Sommige parameters gemeten in afstromend hemelwater van bedrijventerreinen overschrijden de eisen uit Bijlage XIX van het Bkl in sterke mate (bijvoorbeeld cadmium, chroom, lood, zink en minerale olie). De concentraties in water afkomstig van de hoofdwegen nemen vaak de tweede plaats in, de concentraties in water uit woongebieden meestal de derde plaats en de concentraties in water afkomstig uit stadscentra scoren doorgaans het laagst. Uitzonderingen op deze volgorde zijn:

- Lood. De concentraties hiervan zijn in woonwijken hoger dan in water afkomstig van verkeerswegen.
- PAK. De concentraties hiervan zijn het hoogst in water afkomstig van verkeerswegen; woonwijken staan op de tweede plaats, en daarna stadscentra en bedrijventerreinen;
- Chloride. De hoogste concentraties hiervan zijn te vinden in water afkomstig van verkeerswegen. Dit zal samenhangen met het gebruik van strooizout. Het tijdstip van monsterneming speelt hierbij een rol.
- CZV en totaal-fosfaat. De concentraties hiervan zijn iets hoger in water afkomstig van verkeerswegen in vergelijking met de concentraties in water afkomstig van bedrijventerreinen. Van de categorie hoofdwegen zijn echter weinig waarnemingen beschikbaar.
- Sulfaat. De concentraties hiervan zijn het hoogst in water afkomstig uit woongebieden. De concentraties liggen echter nog ver beneden de kwaliteitseisen.

Op basis van metingen zijn stadscentra minder vervuילend dan woongebieden (zie tabel 4.1). Dit is vermoedelijk het gevolg van beperkter autoverkeer in stadscentra en minder gebruik van uitloegende bouwmaterialen in de stadscentra.

Voorgaande analyse laat zien dat er een algemeen beeld is over de verwachting van verontreiniging bij een bepaald gebiedstype. Dit is gevisualiseerd in figuur 4.2, waarbij is aangegeven dat het risico op verontreiniging van de bodem via afstromend hemelwater voor stadscentra laag is en voor bedrijfsterrreinen het hoogst. Het risico op verontreiniging van de bodem via afstromend hemelwater van woningen en wegen ligt ertussen in. De hier-



Figuur 4.2
Visualisatie toenemende mate van verontreiniging van afstromend hemelwater voor gebiedstypen stadscentra, woningen, wegen en bedrijfsterrreinen

Tabel 4.1

Kwaliteit afstromend hemelwater (STOWA-database) per gebiedstype (in µg/l, tenzij anders vermeld). De getallen tussen haakjes geven het aantal waarnemingen weer (N). De gerapporteerde concentraties zijn voornamelijk totaalconcentraties. Dit in tegenstelling tot de kwaliteitseisen; de kwaliteitseisen in Bijlage XIX van het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl) voor infiltratiewater met als doel dit (gedeeltelijk) terug te winnen zijn gebaseerd op opgeloste concentraties. Vet gedrukt = overschrijding kwaliteitseisen

	Woongebied	Stadscentrum	Bedrijf	Verkeersweg	Kwaliteitseis NL	KRW*
Arseen	8,8 (248)	3,6 (128)	5,4 (76)	0	10	13,2-18,7
Cadmium	0,24 (318)	0,34 (128)	1,4 (88)	0,68 (87)	0,4	0,35
Chroom	5,2 (277)	4,1 (128)	12 (87)	8,1 (137)	2	
Koper	21 (625)	10 (127)	19 (85)	32 (142)	15	
Lood	101 (786)	7,2 (128)	72 (96)	15 (143)	15	7,4
Nikkel	6,2 (319)	4,7 (128)	12 (87)	4,0 (137)	15	20
Zink	128 (784)	87 (128)	608 (100)	130 (143)	65	
Naftaleen	0,08 (325)	0,03 (124)	0,02 (78)	0,1 (41)	0,1	
PAK(10)-totaal	0,48 (212)	0,15 (124)	0,13 (6)	0,92 (74)		
Minerale olie	121 (302)	87 (128)	1.900 (92)	471 (77)	200	
pH (-)	6,8 (250)	0	7,6 (106)	6,8 (110)	-	
Chloride (mg/l)	24 (315)	103 (128)	30 (14)	351 (134)	200	160
Sulfaat (mg/l)	73 (37)	0	9,4 (14)	6,3 (16)	150	
CZV (mg O ₂ /l)	36 (469)	30 (126)	67 (135)	103 (6)		
BZV (mg O ₂ /l)	5,7 (164)	0	8,8 (121)	4,0 (6)		
Fosfaat-totaal (mg P/l)	0,29 (414)	0,24 (128)	0,52 (78)	2,2 (9)	0,4	2-6,9
Stikstof Kjeldahl (mg/l N)	2,1 (466)	1,7 (127)	9,8 (137)	2,7 (6)		
Nitraat (mg/l N)	1,3 (200)	0,81 (127)	0,66 (64)	3,0 (15)	5,6	
IJzer (ICP) (mg/l)	2,5 (135)	1,3 (128)	8,2 (106)	0		
Ammonium (mg N/l)	0,79 (334)	0,51 (126)	2,6 (90)	0	2,5	
Aluminium	0	0	1500 (76)	0		
Onopgeloste bestanddelen (mg/l)	41 (795)	17 (128)	50 (139)	68 (85)		

* Afhankelijk van type grondwaterlichaam

voór genoemde uitzonderingen geven aan dat een locatiespecifieke beschouwing in sommige gevallen zinvol is.

In tabel 4.2 worden oudere (voor 2007) en recentere (na 2007) gegevens van afstromend hemelwater van daken en wegen in woongebieden met elkaar vergeleken. Meestal zijn er per parameter minimaal honderd waarnemingen beschikbaar. In het algemeen is de conclusie dat de concentraties van verontreinigingen in de loop van de tijd zijn gedaald of gelijk zijn gebleven. Een afname van de verontreinigingsgraad ligt in de lijn der verwachting omdat brandstoffen en auto's schoner zijn geworden (er wordt geen lood meer toegevoegd aan benzine). Bovendien zijn auto's uitgerust met roetfilters en katalysatoren. Ook worden er geen teerhoudende producten meer toegepast in dakbedekking en wegen. Verder is de kwaliteit van zink verbeterd en is er een verbod gekomen op chemische onkruidbestrijding in de openbare ruimte (op verhardingen, sinds 2016). Na zulke veranderingen is er meestal geen sprake van een scherpe overgang, maar van een geleidelijke afname, omdat het tijd kost voordat alle producten zijn vervangen, en verontreiniging die al verspreid is, slechts langzaam zal verdwijnen (na-ijleffect).

Tabel 4.2 Kwaliteit afstromend hemelwater (STOWA-database) van daken en wegen in woongebieden per tijdperiode (in µg/l, tenzij anders vermeld). De getallen tussen haakjes zijn het aantal waarnemingen (N). Analyses betreffen in hoofdzaak totaalconcentraties, eisen Bijlage XIX uit het Bkl zijn gebaseerd op opgeloste concentraties. Vet gedrukt = overschrijding norm Bijlage XIX uit het Bkl

	Gemiddelde < 2007	Gemiddelde sinds 2007	Significant verschil?	Infiltratie-besluit (2009)
Cadmium	0,23 (134)	0,22 (100)	ja	0,4
Koper	22 (178)	18 (357)	nee	15
Kwik	0,021 (106)	0,074 (71)	nee	0,05
Lood	30 (178)	16 (345)	ja	15
Nikkel	4,7 (134)	2,6 (100)	nee	15
Zink	183 (179)	125 (357)	ja	65
Antraceen	0,011 (137)	0,0077 (114)	ja	0,02
Benzo(a)pyreen	0,081 (137)	0,018 (113)	ja	
Minerale olie	118 (139)	107 (82)	nee	200
CZV (mg O ₂ /l)	51 (107)	32 (317)	ja	
P-totaal (mg P/l)	0,34 (124)	0,28 (285)	ja	
Stikstof Kjeldahl (mg/l N)	2,6 (123)	2,0 (299)	ja	
Nitraat (mg/l N)	1,5 (103)	1,6 (54)	ja	5,6
TSS (totaal onopgeloste bestanddelen, mg/l)	39 (215)	39 (528)	nee	

4.2 Bodemopbouw

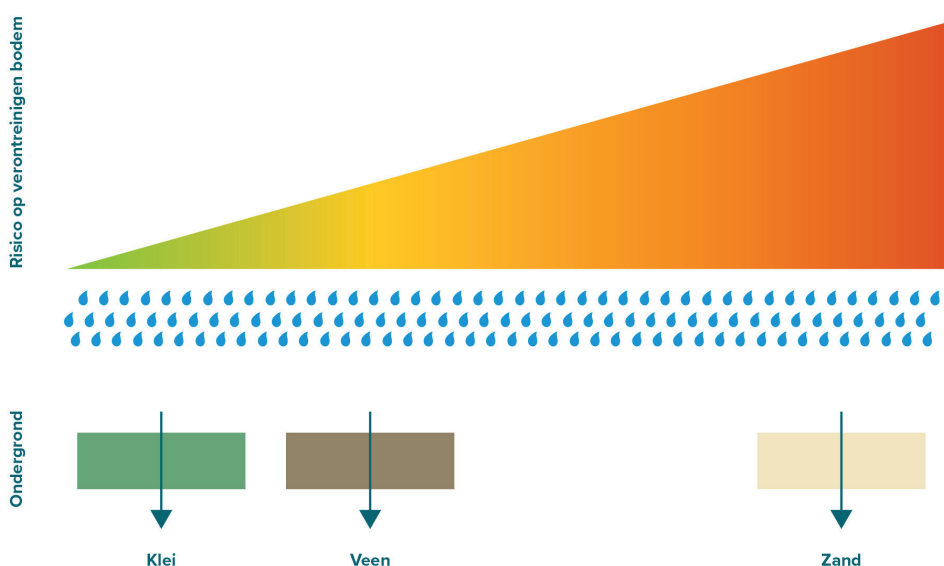
Of een verontreiniging lange tijd aan de bodem gebonden blijft, door adsorptie, of juist snel verspreidt, hangt in belangrijke mate af van het type en de samenstelling van de bodem. De bodem kan variëren in compositie en deeltjesgrootte. Deze bepalen samen de grootte van de poriën, de doorlatendheid en de porositeit. Een bodem (in Nederland) kan zijn opgebouwd uit klei, leem/löss, veen, zand of gravel en/of combinaties daarvan.

Een grond met weinig bindingscapaciteit en een goede doorlatendheid, zoals een arme zandgrond, zal een verontreiniging slechts in lichte mate aan zich binden. De verontreiniging kan dan in principe over een grote afstand worden meegevoerd. Weinig bindingscapaciteit wil zeggen dat er weinig verontreinigingen aan de bodem worden gebonden. Een goede doorlatendheid zorgt ervoor dat opgeloste verontreinigingen over grote afstand getransporteerd kunnen worden. Over het algemeen is een goede doorlatendheid van de bodem een maat voor de grootte van de poriën. In een bodem met grotere poriën kunnen ook verontreinigingen die zich aan deeltjes hebben gebonden, zich enigszins verspreiden.

En bodem die uit klei en of veen bestaat (of uit zand met voldoende humus erin) is beter in staat verontreinigingen aan zich te binden. Bijvoorbeeld metalen; deze komen in water voor als ionen, die zich sterk binden aan organische stof (adsorptie), lutumdeeltjes en ijzer- en aluminium(hydr)oxiden die in deze rijkere bodems aanwezig zijn. Ook organische verontreinigingen, zoals PAK, zullen zich sterk binden aan organische stof (omdat deze organische verontreinigingen hydrofoob zijn).

Daarbij speelt ook mee dat een bodem die uit klei en/of veen bestaat, een mindere doorlatendheid en kleinere poriën heeft. Dit maakt dat ook verontreinigingen die aan deeltjes gebonden zijn worden afgevangen en dat eventuele opgeloste verontreinigingen zich over minder grote afstanden kunnen verspreiden.

Figuur 4.3 laat zien dat het risico op verspreiding van verontreinigingen in afstromend hemelwater dat in de bodem infiltreert, afhankelijk is van het bodemtype. Dit risico is laag bij een bodem die voornamelijk bestaat uit klei en/of veen en hoog bij een bodem die voornamelijk bestaat uit zand. In de praktijk bestaat een bodem vaak uit een combinatie van bodemtypen.



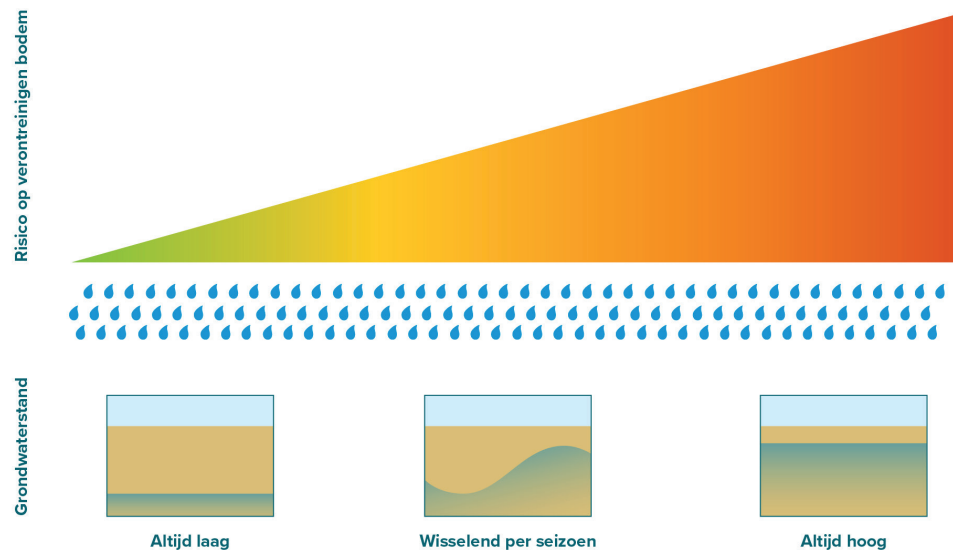
Figuur 4.3
Visualisatie toenemende mate van risico op verspreiding van verontreinigingen in afstromend hemelwater dat wordt geïnfiltreerd in een bodem die bestaat uit klei, veen en zand

4.3 Grondwaterstand

Bij een hoge grondwaterstand is het pad dat infiltrerend hemelwater in de bodem aflegt, korter dan bij een lage grondwaterstand. Bij een langer pad (met meer tijd) zou een verontreiniging in het infiltrerende hemelwater beter kunnen worden afgevangen of afgebroken. Bij een hoge grondwaterstand is het pad korter, waardoor er minder verontreinigingen kunnen worden afgevangen. Een hoge grondwaterstand wordt daarom beschouwd als een groter risico, zie figuur 4.4. Bij (sterk) wisselende grondwaterstanden bestaat het risico dat vastgelegde verontreinigingen in bijvoorbeeld een zomerperiode bij een stijging van de grondwaterstand zich alsnog verplaatsen of minder goed worden afgebroken.

Figuur 4.4

Visualisatie mate van risico op verspreiding van verontreinigingen in afstromend hemelwater dat wordt geïnfiltreerd in een gebied met een lage (relatief laag risico op verspreiding van verontreiniging) tot hoge grondwaterstand (relatief hoog risico op verspreiding van verontreiniging)



4.4 Positie van infiltratie in de bodem

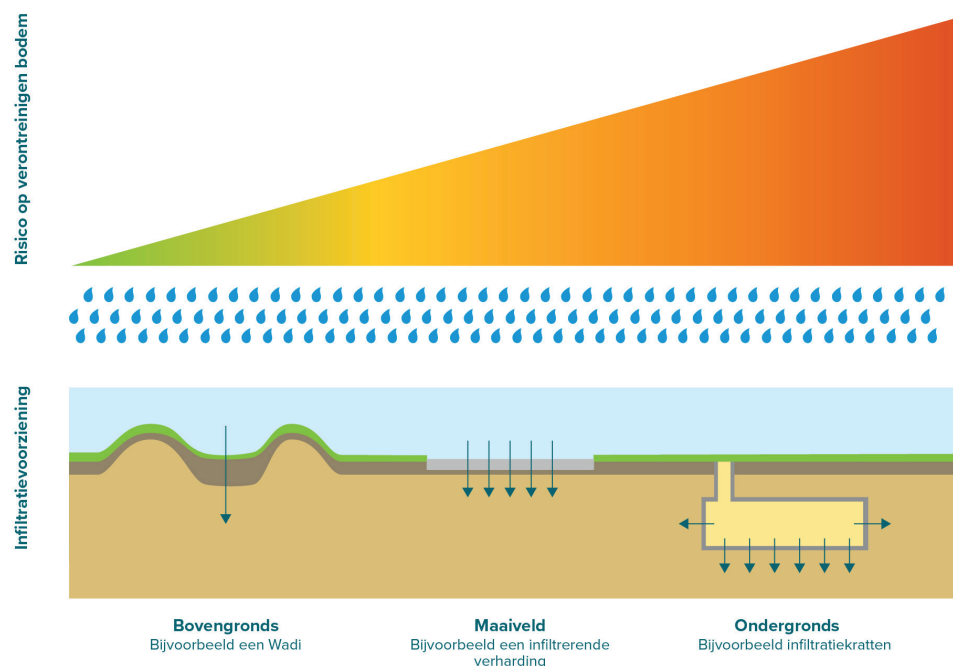
Behalve de grondwaterstand is de positie van de infiltratie in de bodem van belang, zie figuur 4.5. Het heeft de voorkeur om afstromend hemelwater zo hoog mogelijk in het bodemprofiel te infiltreren. Hiermee wordt de afstand die het afstromende hemelwater aflegt in de bodem groter. Bij een langer pad (met meer tijd) kunnen verontreinigingen in het infiltrerende hemelwater in principe beter worden afgevangen of afgebroken. Infiltratie op een grotere diepte in de bodem betekent dat de weg naar het grondwater veel korter is. Daarnaast is de adsorptiecapaciteit van de bodem op grotere diepte lager. Hierbij moet worden opgemerkt dat het niet altijd mogelijk is om zo hoog mogelijk in het bodemprofiel te infiltreren (bijvoorbeeld aan het maaiveld) vanwege ruimtegebrek.

Daarnaast zijn er nog een aantal voordelen bij het aan het oppervlak infiltreren van water in de bodem:

- Foutieve aansluitingen en lozingen zijn zichtbaar.
- De infiltratievoorziening is goed bereikbaar voor onderhoud en bij calamiteiten.
- Het is beter mogelijk om het functioneren van de voorziening te controleren.

Figuur 4.5

Visualisatie mate van risico op verspreiding van verontreinigingen in afstromend hemelwater afhankelijk van de hoogte van de infiltratievoorziening in het bodemprofiel. Bij infiltratie aan het maaiveld is er relatief gezien minder risico op verspreiding van verontreinigingen dan bij infiltratie op een grotere diepte in de bodem



5 Infiltratievoorzieningen

Infiltratievoorzieningen vormen een belangrijk onderdeel van het pad dat afstromend hemelwater aflegt. De diverse infiltratievoorzieningen verschillen onder andere van elkaar wat betreft hydraulische belasting, de mate van reinigende werking van aan deeltjes gebonden verontreinigingen en van opgeloste verontreinigingen en de positie van infiltratie van water in het bodemprofiel. In tabel 5.1 is een indeling opgenomen van verschillende typen infiltratievoorzieningen. In het vervolg van dit hoofdstuk worden deze verschillende typen nader beschouwd. Daarnaast zijn er ook zuiverende onderdelen die aan een infiltratievoorziening kunnen worden toegevoegd. Hieraan is een aparte paragraaf gewijd.

Type voorziening	Voorbeelden
Groene infiltratievelden	Wadi, infiltratieveld, infiltratiegreppel, infiltratieberm
Horizontale infiltratiebuizen	Infiltratieriool, DIT-riool
Verticale infiltratiebuizen	Infiltratieput
Holle-ruimte-voorzieningen	Infiltratiereservoir, infiltratie-unit, infiltratiekoffer
Infiltrerende wegconstructies	Waterdoorlatende verharding, infiltrerende verharding, halfverharding

Tabel 5.1
Indeling infiltratievoorzieningen

5.1 Groene infiltratievelden

Groene infiltratievelden zijn bovengrondse bergings- en infiltratiesystemen aan het maaiveld die afstromend hemelwater gecontroleerd in de bodem infiltreren. In deze categorie kunnen drie verschillende varianten worden onderscheiden:

1. Wadi's: (begroeide) verlagingen in het maaiveld met een flauw talud, met eventueel additionele voorzieningen om de infiltratiecapaciteit te verhogen en een geprepareerde onderlaag. Een wadi heeft vaak één of meer instroompunten en staat (deels) onder water tijdens en kort na regenval.
2. Infiltratievelden of -bassins: ondiep uitgegraven bassins, waarin hemelwater kan infiltreren. Het oppervlak van een infiltratieveld of -bassin is groter dan dat van een wadi. Er zijn doorgaans gaan aanvullende voorzieningen aanwezig om de infiltratie te verbeteren. In principe staat er tijdens en kort na regenval water in de voorziening.
3. Infiltratiegreppels of zaksloten. Deze zijn vergelijkbaar met gewone sloten. Ze hebben een steiler talud en zijn dieper dan wadi's. Er staat veel vaker en langer water in dan in wadi's, maar ze vallen ook weleens droog.

Infiltratiebermen zijn een tussenvariant. Ze vangen het hemelwater op dat afstroomt van de verharding ernaast. In tegenstelling tot wadi's en infiltratievelden hebben infiltratiebermen meestal geen berging op het maaiveld. Het hemelwater infiltreert bij afstroming direct in de berm. Soms ligt er een drain onder de berm. Naast de berm kan een (zak)sloot liggen, die dient als overloopvoorziening voor het water dat niet direct infiltreert.

De verschillende groene infiltratievelden werken allemaal op dezelfde manier: ze laten deeltjes bezinken, ze filtreren deze deeltjes en zorgen voor de adsorptie van verontreinigingen in de toplaag van de bodem. Bij infiltratievelden en wadi's wordt afstromend hemelwater van daken en wegen vaak naar de voorziening geleid via een systeem van bijvoorbeeld afvoergoten.

Er zijn vaak één of meer instroompunten. Het water verzamelt zich vervolgens in de voorziening, waar het infiltreert in de bodem. Dit gaat langzaam, waardoor er tijdelijk een laagje water in de wadi of het bassin staat.

Als de bovengrondse berging volledig gevuld is, kan het overtollige hemelwater via een overloop wegstromen. Als bij vorst de bodem bevroren is, en het hemelwater dus niet infiltreert, kan het hemelwater via de overloop toch wegstromen. Vanuit het oogpunt van bescherming van de leefomgeving is het wenselijk om het aantal overlopen zoveel mogelijk te beperken en de hoeveelheid water die hierdoor wegstroomt, zo laag mogelijk te houden.

Wadi's zijn complexere systemen dan infiltratievelden en zaksloten. De bodem is op een speciale manier samengesteld, en heeft vaak een specifieke begroeiing. De bodem van de wadi moet goed verontreinigingen kunnen adsorberen, en daarnaast ook voldoende waterdoorlatend zijn om een bepaalde afvoercapaciteit te garanderen. Door de preparatie van de

bodem kan de wadi beter doorlatend zijn dan de omliggende grond. Om de lediging van de wadi in die gevallen te garanderen, wordt er vaak een drain (met een ontwateringsniveau ter hoogte van de gemiddeld hoogste grondwaterstand) onder de wadi aangelegd.

Deze drain heeft twee functies:

- In de drain verzamelt zich water dat de eerste circa 30 cm van de bovengrond al is gepasseerd. Dit water kan infiltreren in de bodem of zich via de drain verspreiden en uiteindelijk worden afgevoerd naar oppervlaktewater of de riolering. De drain is daarmee een verdeelmechanisme. Als bijvoorbeeld bepaalde delen van de wadi een minder doorlatende bodem hebben, kan water via de drain verderop alsnog infiltreren als de bodem daar beter doorlatend is.
- De drain kan ook dienen om hoge grondwaterstanden af te toppen.

Over het algemeen wordt er niet gemeten hoeveel water de drain onder de wadi afvoert. Ook is niet bekend wat de kwaliteit is van het water dat afkomstig is uit de afvoerdrain. De veronderstelling is dat dit water in de afvoerdrain een vergelijkbare kwaliteit heeft als het water dat in de bodem infiltreert en zich vermengt met het grondwater.

De toplaag van een wadi heeft als het goed is een bepaalde adsorptiecapaciteit om het water te zuiveren voordat het in de bodem infiltreert. Dit betekent dat onder andere de zware metalen die in het afstromende hemelwater zitten, in de bovenlaag van de wadi achterblijven en zich daar ophopen. Hiernaar is de afgelopen jaren veelvuldig onderzoek gedaan met behulp van röntgenfluorescentie (XRF). De bovenste laag van veel wadi's bevat na jaren van infiltratie vaak gehalten zware metalen (lood, koper, zink) die boven de interventiewaarden voor bodemsanering liggen. Dit is het eerste het geval bij de instroompunten, omdat sediment met daaraan gebonden metalen zich daar ophoopt. Vaak is duidelijk wat de bron van de verontreiniging is. Over het algemeen bevinden zich in de wadibodem meer verontreinigde stoffen dan in de bodem net naast de wadi. Daarom is het verstandig om de mate van verontreiniging in de wadibodem te monitoren. Na jaren gebruik kan het nodig zijn om de toplaag te vervangen om de verontreiniging te verwijderen. Het onderhoud van wadi's richt zich in de praktijk echter vaak op het behoud van de waterbergende en -afvoerende capaciteit. Wadi's worden daarnaast periodiek gemaaid en ontdaan van zwerfafval en andere objecten.

Omdat de verhoogde gehalten zware metalen meestal rondom de instroompunten worden gevonden, zijn er experimenten uitgevoerd met een voorbezinkbak waar het water doorheen stroomt voordat het in de wadi terechtkomt. Het idee daarbij is dat de deeltjes al in de voorbezinkbak worden afgevangen, en daarmee ook de verontreinigingen die aan deze deeltjes gebonden zitten. De voorbezinkbak is gemakkelijker te onderhouden en de toplaag van de wadi hoeft daarmee minder verontreinigingen af te vangen en mogelijk minder snel te worden vervangen.

Wadi's zijn soms aangelegd in de buurt van speeltuinen of recreatiezones of er worden speeltoestellen in de wadi's geplaatst. Vanwege de aanwezigheid van verhoogde gehalten zware metalen in de toplaag kan dit onaantoonbare humane risico's opleveren. Zo kunnen spelende kinderen in contact komen met de verontreinigde grond. Het is bekend dat de ontwikkeling van kinderen negatief wordt beïnvloed door contact met en opname van grond die verontreinigd is met lood.

5.2 Horizontale infiltratiebuizen

Een infiltratieriool is een waterdoorlatende leiding met een poreuze wand of met openingen in de buiswand. Het water kan hierdoor in de bodem infiltreren. Een infiltratieriool heeft een bergings-, afvoer- en infiltratiefunctie. Het infiltratieriool heeft bij voorkeur een voorbezinkvoorziening voor vuilverwijdering, zoals een kolk, een zandvangput en/of een bladvanger. De voorbezinkvoorziening voorkomt zoveel mogelijk dat de infiltratievoorziening zich vult met bladeren, takjes, zwerfvuil of slib. Daarnaast kunnen ook deeltjes met verontreinigingen in deze voorziening bezinken. Ook in de voorziening zelf kunnen nog deeltjes met verontreiniging bezinken en achterblijven. Om de infiltratieriolen met een geperforeerde wand wordt geotextiel aangebracht om te voorkomen dat er zand in de voorziening komt. Bij infiltratieriolen met een poreuze wand is meestal geen geotextiel

nodig. Een infiltratieriool heeft een overloop voor de afvoer van water, bijvoorbeeld naar het oppervlaktewater.

Hoe hoger in het bodemprofiel de infiltratievoorziening zich bevindt, hoe gunstiger dit is voor het afvangen van verontreinigingen. Op grotere diepte is de bodem vaak armer van samenstelling dan de toplaag (waarin de grootste adsorptiecapaciteit aanwezig is). Dieper in de bodem is er ook minder zuurstof en geen begroeiing in de voorziening, waardoor stoffen langzamer afbreken en er geen opname is door gewassen. Daarbij is de afstand van de infiltratievoorziening tot het grondwater van belang voor de tijd die de verontreiniging in de bodem aanwezig is om bijvoorbeeld te kunnen worden geadsorbeerd of afgebroken. Horizontale infiltratiebuizen worden aangelegd in een cunet met vaak zand met een hoge doorlatendheid om een grote hydraulische belasting te kunnen verwerken. Als het noodzakelijk is om verontreinigingen af te kunnen vangen, kan hierop rond de voorziening worden geanticipeerd door:

- de bodem rond de voorziening te verrijken met humusrijke grond als de aanwezige bodem van nature zeer arm is;
- andere adsorberende materialen toe te voegen.

Het is hierbij wel belangrijk om te bedenken dat het aanbrengen van een dergelijke laag ter verhoging van de bindingscapaciteit gevolgen heeft voor de vereiste doorlatendheid en het hydraulisch functioneren van het systeem.

5.3 Verticale infiltratiebuizen

Een infiltratieput is een (zak)put die hemelwater infiltreert. Het is meestal een holle constructie die hemelwater kan bergen. Het water infiltreert via de bodem en/of via de wanden. Een infiltratieput heeft bij voorkeur een voorbezinkvoorziening voor vuilverwijdering, zoals een kolk, een zandvangput en/of een bladvanger, voordat het water in de put komt. Dit om zoveel mogelijk te voorkomen dat met name de onderkant van de infiltratieput verstopt raakt door bladeren, takjes, zwerfpuil of slib. De infiltratieput moet voorzien zijn van een overloop. Deze overloop voert het teveel aan water af, bijvoorbeeld naar het oppervlaktewater.

De enige zuiverende werking op verontreinigingen in verticale infiltratiebuizen is de voorzuivering/vuilverwijdering (die deeltjes wegvangt). Met monitoring en onderhoud kan worden gewaarborgd dat de voorzuivering optimaal blijft werken. Door het afvangen van slib en dit periodiek te verwijderen, behoudt de voorziening haar bergende en infiltrerende vermogen.

Een infiltratieput heeft geen eigen filterende werking en infiltreert het water rechtstreeks in de grond. Omdat de grond waarin het water infiltreert geen vegetatie en weinig zuurstof bevat, zal de afbraak in de bodem minder zijn vergeleken met bijvoorbeeld in groene infiltratievelden. Als passage van de toplaag wordt vermeden, is er meestal sprake van schralere grond en zal ook de adsorptie minder zijn.

Rond de voorziening kan een laag met humusrijke grond worden aangebracht om de bindingscapaciteit te vergroten. Het is daarbij wel van belang om te bedenken dat het aanbrengen van een dergelijke laag ter verhoging van de bindingscapaciteit gevolgen heeft voor de vereiste doorlatendheid en het hydraulisch functioneren van het systeem.

5.4 Holle-ruimte-voorzieningen

Holle-ruimte-voorzieningen zijn ondergrondse bergings- en infiltratiesystemen. In deze categorie kunnen twee verschillende varianten worden onderscheiden:

- Infiltratie-units. Een infiltratie-unit is meestal een constructie van kunststof, met een ondergrondse berging voor hemelwater. Deze berging is vaak blokvormig, maar soms ook bol- of koepelvormig. De units zijn meestal te koppelen tot grotere eenheden, en kunnen het hemelwater bufferen. Vervolgens kan het water uit deze buffers in de bodem infiltreren en naar het grondwater stromen.
- Infiltratiekoffers. Een infiltratiekoffer is een constructie die met een aggregaat gevuld is, en water kan bufferen. Het aggregaat kan bestaan uit verschillende materialen, zoals grind, lavaslakken, geëxpandeerde kleikorrels of puin. De holle ruimten tussen het

aggregaat bufferen het hemelwater, waarna het water in de bodem kan infiltreren. Een drain in het aggregaat kan voor het aan- en afvoeren van hemelwater zorgen.

Een infiltratie-unit of een infiltratiekoffer heeft bij voorkeur een voorbezinkvoorziening voor vuilverwijdering, zoals een kolk, een zandvangput en/of een bladvanger, voordat het water in de infiltratievoorziening komt. Dit om zoveel mogelijk te voorkomen dat er bladeren, takjes, zwerfvuil of slib in de infiltratievoorziening terechtkomen. Om de bovenzijde, de zijkanten en vaak ook de onderzijde van de unit of koffer, of van een aantal units samen, is meestal geotextiel aangebracht. Dit voorkomt dat er bodemmateriaal in de voorziening terechtkomt, en zorgt ervoor dat klein materiaal in de voorziening blijft. De units en de koffer moeten een overloop bevatten die het teveel aan water afvoert, bijvoorbeeld naar het oppervlaktewater.

Infiltratie-units en -koffers zijn permeabele constructies, waardoor het hemelwater in de bodem infiltreert. In het algemeen passeert het water eerst een put of een kolk, waarin (het grovere) zand en slib wordt afgevangen. Dit is belangrijk om verstopping en het volraken van de voorziening met zand en slib te voorkomen. In de voorziening zelf kan ook nog slib bezinken en achterblijven. Het water met de opgeloste verontreinigingen (en mogelijk ook fijne deeltjes) infiltreert in de bodem en kan daar door reactie met de bodem worden gezuiverd of vastgelegd. Bij de belasting van de ondergrond speelt de mate waarin deeltjes de voorziening passeren een belangrijke rol.

In een infiltratiekoffer kan aggregaat aanwezig zijn dat van invloed is op de waterkwaliteit. Aggregaat zorgt voor filtratie van het water en adsorptie van verontreinigingen, die daarmee uit het infiltrerende hemelwater worden verwijderd.

Voorbeelden van dergelijke materialen zijn diverse fracties van puingranulaat en allerlei soorten gebroken natuursteen, zoals lava, graniet en basalt. Daarnaast is het mogelijk om specifieke adsorbentia toe te voegen.

Materialen zoals lava zijn adsorberend en worden op grote schaal toegepast, maar het primaire doel is in het algemeen niet het zuiveren van afstromend hemelwater. Meestal wordt de reinigende werking niet onderzocht en wordt hierop niet specifiek gemonitord.

5.5 Infiltrerende wegconstructies

Infiltrerende wegconstructies zijn er in vier varianten:

- Waterdoorlatende verharding. Waterdoorlatende verharding bestaat uit poreus (bestratings)materiaal dat hemelwater doorlaat. Onder de toplaag kan een waterbergingslaag aanwezig zijn. Het hemelwater zakt dan door de poriën in de verharding naar de ondergelegen vlijlaag, waarna het in de bergingslaag terechtkomt. Het water infiltreert vervolgens in de bodem, of een drain voert het water af naar het oppervlaktewater. Tussen de vlijlaag en de bergingslaag en/of tussen de bergingslaag en het zandbed kan geotextiel worden aangebracht. Dit om te voorkomen dat de verschillende lagen zich met elkaar vermengen en dat kleine (verontreinigde) deeltjes zich naar beneden verplaatsen. De bergingslaag kan, afhankelijk van de opbouw en de dikte, een aanzienlijke hoeveelheid hemelwater bufferen. Een overloopvoorziening wordt dan ook aanbevolen om (in extreme situaties) altijd een noodafvoer te hebben.
- Waterpasserende verharding. Waterpasserende verharding heeft vergrote voegen (de stenen hebben al dan niet nokken aan de zijkant) waardoor het water passeert. De stenen zelf zijn niet of nauwelijks waterdoorlatend. De voegen kunnen gevuld zijn met een natuurlijk materiaal zoals split, maar ook met bijvoorbeeld naaldviltstroken. Waterpasserende verharding heeft qua constructie dezelfde opbouw als waterdoorlatende verharding.
- Halfverharding. Halfverharding bestaat uit doorlatend materiaal aan het maaiveld. Halfverharding dient twee doelen: je mag erop lopen en rijden, en daarnaast kan halfverharding hemelwater infiltreren. De toplaag bestaat doorgaans uit puin, kiezels, grasbetonkeien of grasplaten. Halfverharding bevat meestal geen overstortvoorziening.
- Infiltrerende wegfundatie met verharding. Infiltrerende wegfundatie bevindt zich onder een afgesloten laag (bijvoorbeeld een asfaltweg). Het afstromende hemelwater wordt via kolken naar deze fundering geleid.

Soms is er in genoemde constructies in feite sprake van directe bodeminfiltratie, omdat het hemelwater min of meer zonder over verhard oppervlak te stromen direct in de bodem infiltreert. Het infiltrerende water zou dan ongeveer dezelfde kwaliteit hebben als hemelwater.

Onder de infiltrerende verharding is vaak een doorlatende en/of bergende fundering of een bergend zandpakket aangebracht. (Slib)gebonden verontreinigingen kunnen in deze laag (en ook al in de voegen) achterblijven. Als de voegen dichtslibben, vindt infiltratie langzaam plaats nadat het water een tijdje op de verharding heeft gestaan.

5.6 Voorzuiverende voorzieningen

Voorzuiverende voorzieningen zijn in de volgende paragraaf niet genoemd als technieken om water te zuiveren, maar kunnen wel degelijk een positieve invloed hebben op de kwaliteit van water dat door de infiltratievoorziening gaat en infiltreert. Een voorzuiverende voorziening kan zand en andere kleine delen afvangen. Voorbeelden van voorzuiverende voorzieningen zijn bladvangers en bladscheiders, slib- en zandvangputten en straat- en trottoirkolken. In deze voorzieningen is een ruimte aanwezig waarin onopgeloste bestanddelen kunnen bezinken. Onopgeloste bestanddelen kunnen verontreinigingen bevatten die met behulp van een voorzuiverende voorziening uit het water worden gehaald. Het aandeel verontreinigingen is meestal het grootst in de fractie met de kleinste deeltjesgrootte. In voorzieningen met een holle ruimte kunnen grotere onopgeloste bestanddelen bezinken. In voorzieningen met een gevuld systeem, met bijvoorbeeld grind, kunnen ook de kleinere deeltjes (voor een deel) bezinken. Vanuit het oogpunt van het uit het water halen van verontreinigingen heeft het dus de voorkeur een gevuld systeem toe te passen boven een voorziening met holle ruimte. De levensduur van de infiltratievoorziening/zuiverende voorziening kan met een voorzuiverende voorziening worden verlengd. Een voorzuiverende voorziening is doorgaans eenvoudiger te beheren en te onderhouden.

5.7 Voorzieningen met zuiverende werking

Er bestaan diverse producten die een zuiverende werking hebben. Enkele daarvan komen in deze paragraaf aan bod. Daarvan zijn er diverse producten in de handel. Als u overweegt om dit soort materialen en producten te gebruiken, kunt u het beste de leverancier om een onderbouwing van de werking ervan vragen.

Olie-adsorberend geotextiel heeft een geweven structuur met speciaal ontwikkelde vezels (met name polypropreen en polyester). Water kan zonder problemen door het textiel heen stromen. Wel vertraagt het doek de stroming, waarbij mogelijk aanwezige vervuiling over het doek wordt verspreid. Met name olieachtige verontreinigingen worden in het doek gevangen. Het aanwezige bodemleven kan deze verontreinigingen vervolgens afbreken. Dit type geotextiel wordt op aanzienlijke schaal in de praktijk toegepast. Deze techniek kon in het verleden alleen gebruikt worden bij verontreiniging met koolwaterstoffen (minerale olie). Maar er komen steeds meer commerciële producten in de handel die claimen ook andere verontreinigingen (bijvoorbeeld metalen en PFAS) af te vangen (voornamelijk gebaseerd op adsorptie). Wat betreft minerale olie laten beschikbare onderzoeksgegevens zien dat het doek effectief is bij relatief hoge concentraties; het rendement bij lage concentraties is niet bekend. Daarom wordt toepassing vooral aanbevolen voor situaties waarin hoge concentraties aan minerale olie worden verwacht (ppm's = milligrammen/l) of als er een duidelijk risico is op lekkage van olie.

Zoals al eerder aangegeven, bestaan er ook diverse adsorberende materialen die kunnen worden toegepast rondom infiltratievoorzieningen of als onderdeel hiervan (bijvoorbeeld in funderingen of wegbermen). Er zijn verschillende constructies mogelijk. Behalve aan toepassing in fundering kunt u denken aan sleuven gevuld met het adsorberende materiaal (bijvoorbeeld een lavakoffer) of andere filterconstructies. Materialen zoals fracties van puingranulaat en allerlei soorten gebroken natuursteen, zoals lava, graniet en basalt, worden op grote schaal toegepast, maar het primaire doel is in het algemeen niet het zuiveren van afstromend hemelwater. Meestal wordt de reinigende werking niet onderzocht en wordt hierop niet specifiek gemonitord. Ook kan de adsorptiecapaciteit van natuurlijke materialen sterk variëren. De gangbare materialen kunnen deeltjes en (tot op zekere hoogte) anorganische verontreinigingen afvangen. De bindingscapaciteit voor opgeloste organi-

sche verontreinigingen is beperkt. Hiervoor zouden specifieke adsorbentia, zoals actiefkool, toegevoegd moeten worden.

Een helofytenfilter (soms ook wel zuiveringsmoeras genoemd) is een oppervlaktewatersysteem dat bestaat uit (een combinatie van) sloten en vijvers die begroeid zijn met waterplanten. Er zijn drie verschillende systemen: vloeivelden, horizontaal doorstroomde helofytenfilters en verticaal doorstroomde helofytenfilters. De verblijftijd van het water is relatief lang. De werking berust op een combinatie van bezinking van deeltjes, microbiologische omzettingen, opname van nutriënten door planten en bodempassage (als infiltratie optreedt). De meeste helofytenfilters worden horizontaal doorstroomd, hoewel een deel van het water vaak wegzijgt in de bodem. Verticaal doorstroomde filters worden minder vaak toegepast. Hierbij gaat het in feite om een laag belaste variant van een infiltratiesloot. In een helofytenfilter worden alle typen verontreinigingen verwijderd. Wel variëren de rendementen per stof en zijn de rendementen soms beperkt.

Met een helofytenfilter wordt het hoogste rendement behaald als het gelijkmatig wordt belast en de ledigingstijd niet te kort is (omdat de biologische processen hun werk moeten kunnen doen). De helofyten zijn (in alle varianten) niet goed bestand tegen grote schommelingen in weertype (natte en droge perioden).

5.8 Samenvatting

Tabel 5.2 bevat een overzicht van de verschillende processen om verontreinigingen te verwijderen per type infiltratievoorziening. Hierin staan ook de mogelijkheden per type voorziening om een zuiverende werking in te voegen en/of uit te breiden. In figuur 5.1 is vervolgens aangegeven welke stoffen/stofgroepen door middel van processen kunnen worden verwijderd. Binnen een stofgroep zijn er zeker ook andere beoordelingen (die onderbouwd moeten worden met gegevens) mogelijk, maar het overzicht is richtinggevend bedoeld.

Tabel 5.2
Samenvattend overzicht met
processen om verontreinigingen te verwijderen per
type voorziening

Type voorziening	Mogelijkheden tot bezinking (onopgeloste verontreiniging)	Mogelijkheden tot filtratie (onopgeloste verontreiniging)	Mogelijkheden tot adsorptie (onopgeloste en opgeloste verontreiniging)	Mogelijkheden tot afbraak (opgeloste verontreiniging)
Groene infiltratievelden.	In de voorbezinkvoorziening, op het maaiveld en in de slokop.	Aanwezig (mogelijk van nature of d.m.v. aangebrachte laag). Eventueel uitbreiden met voorbezinkbak en/of anders inrichten en intensiever onderhouden van voorziening bij instroompunten.	Designparameter (lutum-/humusgehalte).	Aanwezig (bovenste deel bodem, soort vegetatie).
Horizontale infiltratiebuizen.	In de voorbezinkvoorziening. In de buizen kunnen ook voornamelijk grotere onopgeloste delen bezinken.	In de voorbezinkvoorziening enige mate van filtratie (van voornamelijk grotere onopgeloste delen).	Van nature op grotere diepte vaak beperkter. Kan worden aangebracht door een laag (met bijv. humusrijke grond of adsorberende materialen) om de buis aan te brengen.	Van nature op grotere diepte vaak beperkter.
Verticale infiltratiebuizen.	In de voorbezinkvoorziening. In de buizen zelf beperkte bezinking van grotere onopgeloste delen, die lastig te verwijderen is.	In de voorbezinkvoorziening enige mate van filtratie (van voornamelijk grotere onopgeloste delen).	Van nature beperkt aanwezig. Kan worden aangebracht door een laag om de buis aan te brengen.	Van nature beperkt aanwezig.
Holle-ruimtevoorzieningen.	In de voorbezinkvoorziening. In de voorziening blijft bezinking beperkt tot de grotere delen; de kleine fractie zal niet bezinken.	Ruimte kan zijn gevuld met granulair materiaal en dan kan er filtratie plaatsvinden.	Mogelijk aan aangebrachte materialen.	Van nature beperkt aanwezig.
Infiltrerende wegconstructies.	In de voorbezinkvoorziening.	In de constructie zelf.	Kan aan deeltjes van de constructie, maar de constructie kan ook speciaal op een specifieke stof worden ontworpen, zodat de werking (voor die specifieke stof) aanwezig is.	Van nature beperkt aanwezig.

Stof(groep)	Te verwijderen middels filtratie	Te verwijderen middels adsorptie	Te verwijderen middels afbraak
Zware metalen	✓	✓	✗
Zouten	✗	✗	✗
Organische verontreinigingen	✓	✓	✓
Pesticiden	✓	✓	✓ ✗
Medicijnresten	✗	✗	✓ ✗ ?
Micro-plastics	? ✓	?	?
PFAS	? ✗	? ✗	? ✗
ZZS	?	?	?

- ✓ Behoort tot mogelijkheden van gedeeltelijke verwijdering
 ✗ Vermoedelijke verwijdering laag ingeschat
 ? Weinig onderzoeksgegevens voorhanden

Figuur 5.1
Globaal overzicht stof(groep)
te verwijderen door middel
van een proces

6 Afkoppelen van afstromend hemelwater in de praktijk

6.1 Inleiding

Afstromend hemelwater moet ergens heen. Vanuit het oogpunt van de rioolwaterzuivering biedt het voordelen om afstromend hemelwater af te koppelen. Hiermee wordt de hoeveelheid water die gezuiverd moet worden, flink verkleind en de kwaliteit van afstromend hemelwater is beter dan van het overige afvalwater dat ze moeten zuiveren. De kans op overstorten en daarmee de belasting van de leefomgeving met verontreinigd water wordt met het afkoppelen van afstromend hemelwater een stuk kleiner. Het afstromende hemelwater kan, als het van goede kwaliteit is, worden geïnfiltreerd in de bodem of worden geloosd op oppervlaktewater.

6.2 Acceptabele belasting

In de praktijk blijkt niet altijd duidelijk te zijn wat een ‘acceptabele belasting’ is. Welk water is schoon genoeg om het te kunnen afkoppelen van het riool en welke zuiverings-technologieën kunnen waarvoor worden ingezet? De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) stelt dat de kwaliteit van het grondwater niet achteruit mag gaan (de inbreng van gevaarlijke en verontreinigende stoffen moet worden voorkomen en beperkt en er mogen geen significante effecten voor grondwaterafhankelijke ecosystemen optreden). De Wet milieu-beheer, waarin de omgang met afvalstoffen is geregeld, geeft aan dat het de voorkeur heeft om schoon water in de bodem te brengen ten opzichte van het aansluiten op de riolering. In de Omgevingswet is opgenomen dat activiteiten niet mogen leiden tot een verslechtering van de bodemkwaliteit.

Huishoudelijk afvalwater moet worden geloosd op het riool. Infiltratie in de bodem of lozing op oppervlaktewater mag alleen via een goedgekeurde voorziening voor de individuele behandeling van afvalwater (IBA). De Best Beschikbare Techniek (BBT) is hierbij altijd het uitgangspunt. Dit geldt ook voor de toepassing van bouwstoffen en grond of baggerspecie. Het Besluit activiteiten leefomgeving biedt mogelijkheden voor ruimtelijke ontwikkelingen waarbij het rekening houdt met de bescherming van de leefomgeving. Er zijn daarom kwaliteitseisen gesteld waarbij toepassing van bouwstoffen, grond of baggerspecie mogelijk is. Dit kan de bodemkwaliteit weliswaar enigszins aantasten, maar levert geen risico's op.

Al sinds de jaren negentig is er aandacht voor de kwaliteit van afstromend hemelwater. Om de afweging te kunnen maken welke oppervlakken wel en niet in aanmerking komen voor afkoppelen, zijn er leidraden opgesteld. De eerste leidraad stamt uit 1996. In een rapport uit 1999¹⁰ zijn drie beslisbomen opgenomen: één voor dakoppervlakken, één voor de overige verharde oppervlakken en één voor de keuze van de afkoppeltechniek. Winkelstraten en marktterreinen mochten niet worden afgekoppeld. Bedrijventerreinen en parkeerterreinen mochten niet worden afgekoppeld tenzij uit onderzoek blijkt dat het wel kan. Straten zouden mogen worden afgekoppeld bij een beperkte verkeersintensiteit.

Voor daken is er een voorkeursvolgorde voor afkoppeltechniek bepaald:

1. Regenwaterbenutting.
2. Vegetatiedaken.
3. Infiltratie van afstromend hemelwater.
4. Afvoeren van afstromend hemelwater naar oppervlaktewater.

In de jaren 2003-2005^{11,12} zijn er beslisbomen ontwikkeld met een onderverdeling in daken en gevels en licht verontreinigde, matig verontreinigde en verontreinigde opper-

¹⁰ Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid. Deelrapport I Vooronderzoek, TAUW, gemeente Zwolle, provincie Overijssel, Stichting RIONED, Dienst Landelijk Gebied, Waterschap Groot Salland.

¹¹ Beslisboom aan- en afkoppelen verharde oppervlakken, Werkgroep Riolering West-Nederland (wRw), TAUW, kenmerk R001-425929TTD-D01-U, 10 juli 2003.

¹² Beslisboom aan- en afkoppelen, Aanvulling bezinkvoorzieningen voor regenwaterafvoer, Werkgroep Riolering West-Nederland, 28 januari 2005.

vlakken. Tot de licht verontreinigde oppervlakken worden fietspaden en parkeerplaatsen voor personenauto's met lage wisselfrequentie gerekend. De matig verontreinigde oppervlakken zijn woonerven, winkelstraten en doorgaande wegen en parkeerplaatsen voor personenauto's met hoge wisselfrequentie en vrachtwagens. Onder de verontreinigde oppervlakken vallen onder meer bedrijfsterreinen, marktpleinen, busstations en tunnels. Ook komt er meer nadruk op de zuiverende werking en wordt een zand- en slibafvang en/of bodempassage vereist.

Anno 2024 zijn er diverse provincies, gemeenten en waterschappen met een handreiking, leidraad of visie die de eisen aan en de voorwaarden voor het afkoppelen van afstromend hemelwater beschrijven. In essentie geven ze allemaal aan dat schoon water mag worden afgekoppeld en dat verontreinigd water moet worden aangesloten op het riool. Water met een tussenliggende kwaliteit kan bijvoorbeeld worden gezuiverd voordat het in de bodem wordt geïnfiltrerd. Hoofdstuk 7 bevat een aanzet tot een algemene richtlijn hiervoor.

Binnen het kennisprogramma Droogte van STOWA heeft een consortium van KWR, Deltares en Flo Legal de studie "Verantwoord infiltreren en aanvullen van grondwater"¹³ uitgevoerd. Het doel van dit project is helderheid verschaffen in de geldende wet- en regelgeving op Europees en nationaal niveau voor het aanvullen van grondwater met aandacht voor de grondwaterkwaliteit. Er is allereerst een maatregelentabel opgesteld die een overzicht geeft van maatregelen van infiltratie en aanvulling in Nederland, in verschillende watersystemen, voor verschillende doeleinden en met verschillende bronnen van water. Het biedt daarnaast inzicht in risico's voor het ontvangende grondwatersysteem en de grondwaterkwaliteit, eventuele maatregelen voor risicobeheersing en van toepassing zijnde landelijke en decentrale wet- en regelgeving. Naast de maatregelentabel is het juridische kader voor aanvullen van grondwater en het infiltreren van water in de bodem beschreven. Beide onderdelen zijn input voor een raamwerk dat wordt gepresenteerd, waarbij maatschappelijke waarden van grondwater, het juridische kader en (een praktische en doelmatige invulling voor) de waterkwaliteit, risicobeheersing en monitoring worden meegenomen. Afhankelijk van de kwetsbaarheid van het geohydrologische systeem worden sterkte of minder strenge eisen gesteld aan de kwaliteit van het infiltratiewater. Er wordt een oproep gedaan in de provinciale verordening ruimtelijk gedifferentieerde doelwaarden voor de grondwaterkwaliteit op te (gaan) nemen.

6.3 Inzicht in milieuhygiënisch functioneren infiltratievoorzieningen

In 2007¹⁴ is er een onderzoek uitgevoerd in opdracht van Stichting RIONED naar het milieuhygiënisch functioneren van infiltratievoorzieningen op de lange termijn. Er is informatie verzameld op basis van literatuur- en praktijkonderzoek. Deze informatie kunt u aanwenden voor de invulling van richtlijnen bij het ontwerp, de aanleg en het beheer van infiltratievoorzieningen. Er zijn voor het praktijkonderzoek diverse locaties in Nederland geselecteerd om een representatieve doorsnee van Nederland te maken op basis van diversiteit in geohydrologische omstandigheden en infiltratievoorzieningen. De stoffen die zijn onderzocht, zijn zware metalen en in een aantal gevallen minerale olie. Een dergelijk onderzoek verschaft veel informatie en het verdient aanbeveling om dit onderzoek te herhalen. Hierbij is het zinvol het meetpakket uit te breiden, met in ieder geval bestrijdingsmiddelen.

Tot op de dag van vandaag moeten we constateren dat we niet voldoende data hebben over het milieuhygiënisch functioneren van infiltratievoorzieningen. Hiervoor is het nodig om voorzieningen beter te registreren en het onderhoud en de controle op het milieuhygiënisch functioneren goed vast te leggen. De enige infiltratievoorzieningen waarnaar veel onderzoek is verricht, zijn wadi's.

Deze zijn veelvuldig onderzocht op de aanwezigheid van zware metalen in de toplaag. Welke verhoogde aanwezig zijn nabij de instroomvoorzieningen. Het is aanbevolen om een overkoepelende analyse te maken van het functioneren van deze infiltratievoorzieningen

¹³ Verantwoord infiltreren en aanvullen van grondwater. Een praktisch raamwerk voor infiltreren en aanvullen met zorg voor de grondwaterkwaliteit | STOWA, rapport 21 2025 ISBN 978.94.6479.115.0.

¹⁴ Milieutechnische functioneren infiltratievoorzieningen, TAUW, kenmerk: R004-4512567JNR-sec-V01, 12 december 2007.

en hierbij ook het aangesloten verharde oppervlak (en een inschatting van de belasting) mee te nemen.

Ook binnen het Topconsortium voor Kennis en Innovatie (TKI) wordt gekeken hoe afstromend regenwater afkomstig van straten gebruikt kan worden voor plantirrigatie of grondwateraanvulling.¹⁵ Er wordt gezocht naar een praktische en geïntegreerde natuurgebaseerde oplossing waarmee de vervuiling die van de straten meekomt, wordt afgevangen en zo mogelijk afgebroken. Onderdeel is een inventarisatie van bestaande producten en methoden om vervuilingen uit water te filteren. Daarnaast worden er twee filters ontworpen die in een laboratoriumopstelling en een opstelling in de praktijk worden getest. Dit project loopt van 2023 tot en met 2026.

6.4 Juridische status infiltratievoorzieningen

Daarnaast wordt er een discussie gevoerd over de vraag of het cunet of de bodemverbetering rond een infiltratievoorziening bij de voorziening hoort of bij de omringende bodem. 'Iets soortgelijks speelt ook bij wadi's. Doordat de toplaag wordt gedimensioneerd voor het afvangen van verontreinigingen, raakt de toplaag in een bepaalde mate verontreinigd, voornamelijk met zware metalen. Er heerst onduidelijkheid over de status van de wadi: is het een zuiverende voorziening waarvan het evident is dat deze verontreinigd raakt en dat deze moet worden onderhouden (c.q. waarvan op termijn de toplaag moet worden vervangen) of gaat het hierbij om een (bewuste) bodemverontreiniging die in het kader van de zorgplicht moet worden gesaneerd?

¹⁵ Straatwater Filtratie voor Infiltratie – TKI deltatechnologie invoermodule.

7 Aanzet algemene richtlijn/beslisboom

7.1 Regelgeving

Diverse lokale overheden (provincie, gemeente, waterschap) hebben regelgeving gemaakt over de toegestane lozingen op oppervlaktewater en infiltratie in de bodem. Deze regels moeten worden gevolgd. Als er geen regels zijn, kan het schema in figuur 7.1 richting geven.

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen afkoppelen binnen en buiten grondwaterbeschermingsgebieden.¹⁶ Om de grondwaterkwaliteit te beschermen met het oog op de winning van drinkwater zijn de eisen binnen grondwaterbeschermingsgebieden (en andere gebieden waar risico's op aantasting van de grondwaterkwaliteit onwenselijk zijn) strenger dan erbuiten. In sommige situaties mag er worden afgekoppeld als wordt voldaan aan een aantal voorwaarden.

Categorie	Binnen grondwaterbeschermingsgebieden*	Buiten grondwaterbeschermingsgebieden*
1: Geringe emissies	Infiltreren in de bodem mogelijk, mits voldoende absorptiecapaciteit bodem	Infiltreren in de bodem mogelijk
2: Beperkte emissies	Infiltreren in de bodem mogelijk, mits er een zuiveringstechniek wordt ingezet	Infiltreren in de bodem mogelijk
3: Significante emissies	Infiltreren in de bodem mogelijk, mits er een zuiveringstechniek wordt ingezet	Infiltreren in de bodem mogelijk, mits er een zuiveringstechniek wordt ingezet
4: Hoge emissies	Niet infiltreren in de bodem	Niet infiltreren in de bodem

Figuur 7.1
Bestisschema afkoppelen en infiltreren in de bodem van hemelwater

7.2 Categorie-indeling op basis van aangesloten verhard oppervlak (wegen/daken)

Er wordt onderscheid gemaakt in vier categorieën afstromend hemelwater:

- Categorie 1: Geringe emissies.
- Categorie 2: Beperkte emissies.
- Categorie 3: Significante emissies.
- Categorie 4: Hoge emissies.

Het vergt maatwerk om te bepalen wat onder welke categorie valt. Soms is per provincie en/of gemeente nader bepaald welke verharde oppervlakken onder welke categorie vallen.

Vanuit de Europese Kaderrichtlijn Water zijn er minimum-kwaliteitseisen waaraan infiltratiewater moet voldoen. De normen voor een goede chemische toestand van grondwaterlichamen bestaan uit Europese grondwaterkwaliteitsnormen voor nitraat (50 mg/l) en werkzame stoffen van gewasbeschermingsmiddelen en biociden (0,1 µg/l per stof 0,5 µg/l in totaal).

In Nederland zijn kwaliteitseisen voor infiltratiewater met als doel dit (gedeeltelijk) terug te winnen opgenomen in Bijlage XIX van het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl). Dit besluit bevat meer stoffen dan de Europese wetgeving. De toetsingswaarden uit het Bkl voor het te infiltreren water kunnen worden gebruikt als indicatie voor de categorie-indeling. De toetsingswaarden zijn *concentraties* in oplossing in het afstromende regenwater. De indeling van de categorieën is als volgt:

- Geringe emissies (categorie 1): gemiddelde concentraties voldoen aan de grenswaarden van Bijlage XIX uit het Bkl of de totale vrachten zijn dermate beperkt dat specifieke maatregelen niet nodig zijn (situaties met beperkte vrachten worden navolgend gespecificeerd).
- Beperkte emissies (categorie 2): gemiddelde concentraties liggen maximaal een factor 2 boven de grenswaarden van Bijlage XIX uit het Bkl.
- Significante emissies (categorie 3): gemiddelde concentraties liggen een factor 2 tot 5 boven de grenswaarden van Bijlage XIX uit het Bkl.

¹⁶ Onder grondwaterbeschermingsgebieden kunnen de volgende gebieden worden gerekend:

- Waterwingebieden.
- Boringsvrije zones.
- Beschermingszones oppervlaktewaterwinning.
- 100-jaarsaandachtsgebieden.
- De kwetsbare strategische grondwatervoorraad en de matig kwetsbare strategische grondwatervoorraad.

- Hoge emissies (categorie 4): gemiddelde concentraties liggen meer dan een factor 5 boven de grenswaarden van Bijlage XIX uit het Bkl en/of het risico op calamiteiten is hoog (bijvoorbeeld door op- en overslag van producten die de grondwaterkwaliteit kunnen bedreigen).

Aanvullend wordt op beperkte schaal gebruikgemaakt van een vrachtbenadering. Dit is het geval als de concentraties de grenswaarden overschrijden, maar de totale vracht gering is. Dit geldt bijvoorbeeld voor vrijstaande huizen in het buitengebied. Op basis van concentraties zou het dakwater van deze huizen (als er bijvoorbeeld zinken dakgoten zijn toegepast) niet geïnfiltreerd mogen worden. De totale vracht van enkele huizen is echter dermate beperkt, dat infiltratie acceptabel is. In paragraaf 7.4 is onderbouwd waarom calamiteiten niet richtinggevend worden meegenomen.

Categorie 1 (hieronder vallen bijvoorbeeld licht belaste wegen, wegen in woongebieden en fietspaden) kan worden beschouwd als 'schoon' en mag in de meeste gevallen worden afgekoppeld zonder behandeling/zuivering voor infiltratie in de bodem, op voorwaarde dat de bodem voldoende adsorptiecapaciteit bezit.

Categorie 4 kan worden beschouwd als water dat te zeer verontreinigd is om te mogen worden afgekoppeld. Dit water moet zijn/worden aangesloten op de rwzi. Denk hierbij aan verontreinigd afstromend hemelwater van sommige bedrijfsterreinen.

Voor categorie 2 en 3 is het onderscheid de mate van emissie. Bij categorie 2 is de mate van emissie lichter dan bij categorie 3. Hierna volgt een nadere invulling van verharde oppervlakken die onder deze categorie vallen en is beschreven welke verontreinigingen er te verwachten zijn. Figuren 7.2 en 7.3 geven een indeling weer van water afkomstig van verhard oppervlak van pleinen/wegen en daken. Er kunnen goede redenen zijn om hiervan af te wijken, bijvoorbeeld als bekend is dat er soms aan oude auto's wordt gesleuteld op een parkeerplaats of als er op een weinig bereden busbaan alleen nog maar elektrische bussen rijden.

Categorie-2-emissies zijn beperkt qua omvang en zijn afkomstig van:

- matig drukke wegen en stroomwegen ((stads)autosnelwegen, provinciale wegen), al dan niet in combinatie met water van daken waarin geen teerhoudende producten of bouwmetalen zijn toegepast en parkeerterreinen voor bussen en vrachtwagens;
- sommige bedrijfsterreinen.

Het water van categorie-3-locaties bevat hogere gehalten metalen en organische bestanddelen, zoals PAK. Categorie-3-emissies zijn afkomstig van:

- busstations, laad- en losplaatsen, trambanen en terreinen waar regelmatig markten en evenementen worden gehouden, al dan niet in combinatie met water van daken waarin teerhoudende producten of bouwmetalen zijn toegepast;
- daken waarin teerhoudende producten of bouwmetalen zijn toegepast (met uitzondering van verspreide bebouwing in het buitengebied met basistoepassing van bouwmetalen);
- sommige bedrijfsterreinen.

¹⁷ Deltafact, Kennisimpuls waterkwaliteit. Effecten van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater op de grondwaterkwaliteit, STOWA, april 2022.

Categorie	Binnen grondwaterbeschermingsgebieden*	Buiten grondwaterbeschermingsgebieden*
Categorie 1: geringe emissies Toegangswegen woonwijk en erftoegangswegen Vrijliggende voet- en fietspaden Woonerven Schoolpleinen Parkeerplaatsen voor auto's	Infiltreren in de bodem mogelijk, mits voldoende absorptiecapaciteit bodem	Infiltreren in de bodem mogelijk
Categorie 2: beperkte emissies Provinciale en rijkswegen Winkelstraten en -centra Busbanen Parkeerplaatsen met bussen en vrachtwagens	Infiltreren in de bodem mogelijk, mits er een zuiveringstechniek wordt ingezet	Infiltreren in de bodem mogelijk
Categorie 3: significante emissies Marktplaatsen Evenemententerreinen Laad- en losplaatsen Busstations Trambanen	Infiltreren in de bodem mogelijk, mits er een zuiveringstechniek wordt ingezet	Infiltreren in de bodem mogelijk, mits er een zuiveringstechniek wordt ingezet
Categorie 4: hoge emissies Industrieterreinen	Niet infiltreren in de bodem	Niet infiltreren in de bodem

Figuur 7.2

Algemene indeling afstromend hemelwater afkomstig van wegen/pleinen of vergelijkbare oppervlakken

Categorie	Binnen grondwaterbeschermingsgebieden*	Buiten grondwaterbeschermingsgebieden*
Categorie 1: geringe emissies Dakbedekking en gevelbekleding zonder bouwmetalen (Cu, Pb, Zn) en teerbitumen (niet-uitlozende bouwmaterialen)	Infiltreren in de bodem mogelijk, mits voldoende absorptiecapaciteit bodem	Infiltreren in de bodem mogelijk
Categorie 2: beperkte emissies Vrijstaande huizen in het buitengebied met alleen toepassing bouwmetalen (Cu, Pb, Zn) in dakgoten, afvoerpijpen en loodslabben	Infiltreren in de bodem mogelijk, mits er een zuiveringstechniek wordt ingezet	Infiltreren in de bodem mogelijk
Categorie 3: significante emissies Daken en gevelbekleding met bouwmetalen (Cu, Pb, Zn) en teerbitumen toepassingen	Infiltreren in de bodem mogelijk, mits er een zuiveringstechniek wordt ingezet	Infiltreren in de bodem mogelijk, mits er een zuiveringstechniek wordt ingezet
Categorie 4: hoge emissies Industrieterreinen	Niet infiltreren in de bodem	Niet infiltreren in de bodem

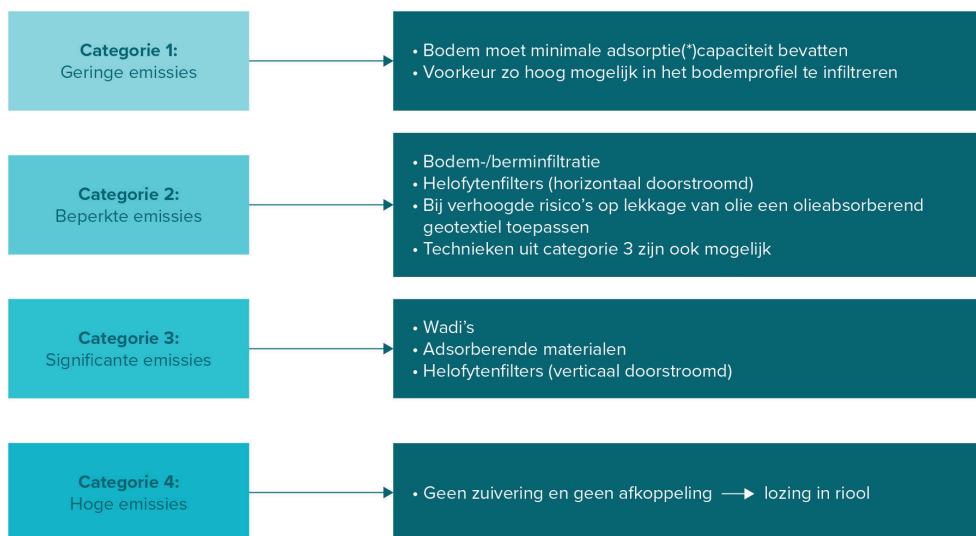
Figuur 7.3

Algemene indeling afstromend hemelwater afkomstig van daken

7.3 Typen infiltratievoorzieningen

Situaties die zijn ingedeeld in de diverse categorieën, kunnen worden gekoppeld aan een infiltratievoorziening. Dit is gevisualiseerd in figuur 7.4.

Categorie 1 (hieronder vallen bijvoorbeeld licht belaste wegen, wegen in woongebieden en fietspaden) kan worden beschouwd als 'schoon' en mag in de meeste gevallen worden afgekoppeld zonder behandeling/zuivering voor infiltratie in de bodem, op voorwaarde dat de bodem voldoende adsorptiecapaciteit bezit. Zuiver/kaal zand (zonder humus of lutum) is onvoldoende filterend en zuiverend. Ook directe infiltratie in het grondwater geeft onvoldoende filtering en zuivering. De minimale adsorptiecapaciteit wordt vastgesteld door middel van het percentage humus (organische stof) en lutum van de bodem. Het afstromende hemelwater van categorie-1-situaties vereist 1% humus en 1% lutum. Dit betreffen minimale gehalten; voor de vastlegging van verontreinigingen zijn hogere gehalten gunstig.



Figuur 7.4

Algemene geschiktheid van infiltratievoorzieningen voor categorieën

Het water van locaties uit categorie 2 bevat licht verhoogde concentraties van enkele metalen, mogelijk ook fosfaat en organische componenten, zoals PAK of minerale olie. De minimale standaard voor behandeling van dit water is:

- Bodem-/berminfiltratie (bij voorkeur zo hoog mogelijk in het bodemprofiel).
- Helofytenfilters (horizontaal doorstroomd).
- Als er verhoogde risico's op lekkage van olie zijn geconstateerd, moet er een zuiverende voorziening worden toegepast geschikt voor minerale olie (bijvoorbeeld een olie-adsorberend geotextiel).

Technieken uit categorie 3 mogen ook worden toegepast. Dit zijn:

- Wadi's.
- Adsorberende materialen. In de regel zal er een mengsel van materialen toegepast moeten worden. Alleen lava of alleen een olie-adsorberend doek is bijvoorbeeld onvoldoende, tenzij voor een specifieke locatie is aangetoond dat slechts één stofgroep (metalen of minerale olie) relevant is.
- Een helofytenfilter is alleen toegestaan als het wordt gecombineerd met bodeminfiltratie en het filter een laag bevat met materialen die de verontreinigingen in voldoende mate kunnen afvangen. Dit is een verticaal doorstroomd filter.
- Alleen bodempassage (infiltratie zonder voorbehandeling) heeft niet de voorkeur, maar is acceptabel mits wordt onderbouwd dat de bindingscapaciteit van de bodem voldoende is en er monitoring plaatsvindt.

Er moeten altijd technieken worden toegepast die voor zowel metalen als organische stoffen effectief zijn voor locaties met categorie 3 (tenzij voor een bepaalde locatie, bijvoorbeeld een specifiek bedrijfsterrein, is aangetoond dat slechts een van de stofgroepen relevant is).

Met de volgende technieken kunnen hogere gehalten metalen en organische stoffen verwijderd worden. Deze zijn toepasbaar voor water van categorie-3-locaties:

- Wadi's.
- Adsorberende materialen. In de regel zal er een mengsel van materialen toegepast moeten worden, zoals in de reinigende wegberm. Alleen lava of alleen een olie-adsorberend doek is onvoldoende, tenzij voor een specifieke locatie is aangetoond dat slechts één stofgroep (metalen of minerale olie) relevant is.
- Een helofytenfilter is alleen toegestaan als het wordt gecombineerd met bodeminfiltratie en het filter een laag bevat met materialen die de verontreinigingen in voldoende mate kunnen afvangen. Dit is een verticaal doorstroomd filter.
- Alleen bodempassage (infiltratie zonder voorbehandeling) heeft niet de voorkeur, maar is acceptabel mits wordt onderbouwd dat de bindingscapaciteit van de bodem voldoende is en er monitoring plaatsvindt.

Bodempassage in combinatie met ondergrondse infiltratie is voor water van categorie-3-locaties niet toegestaan, tenzij via de maatwerkregeling wordt onderbouwd dat dit mogelijk is en er voldoende monitoring plaatsvindt. Sommige zuiverende voorzieningen kunnen ook ondergronds aangelegd worden. Het water kan bijvoorbeeld door een laag adsorberend materiaal worden geleid, of er kan rondom infiltratieputten dergelijk materiaal worden aangebracht. Dit is acceptabel, mits er sprake is van bewezen technieken.

7.4 Calamiteiten

Emissies bij calamiteiten zijn op voorhand niet bekend. Het is mogelijk om via scenario's en kansberekening (risico = kans dat er iets gebeurt x het effect) een inschatting te maken van de risico's. Denkbare scenario's zijn:

1. Kleine incidenten, zoals een lichte botsing van voertuigen met beperkte emissies (koelvloeistof) of lekkage van bijvoorbeeld motorolie van beperkte omvang.
2. Een zware botsing van voertuigen, waarbij allerlei vloeistoffen (olie, remvloeistof, accu-zuur, brandstof en dergelijke) kunnen vrijkomen.
3. Een autobrand, al dan niet in combinatie met een botsing.
4. Calamiteiten waarbij gevaarlijke ladingen van vrachtwagens vrijkomen.
5. Een brand in een woning of bedrijf, emissies via bluswater.
6. Illegale lozingen op het regenwaterriool van bijvoorbeeld afgewerkte motorolie, verfresten, schoonmaakmiddelen.
7. Overstromingen.

Sommige calamiteiten zijn niet of nauwelijks relevant voor woongebieden (2 en 4), maar kunnen wel op grotere wegen of bedrijfsterreinen optreden. Voor bedrijven met bekende risico's zijn in vergunningen eisen opgenomen, zoals de aanwezigheid van vloeistofdichte verhardingen en voorzieningen voor de opvang van vloeistoffen, waaronder bluswater, bij calamiteiten.

Het is niet mogelijk om de (potentiële) emissies van alle mogelijke scenario's te kwantificeren. Hierover is in dit kader geen relevante literatuur gevonden. Evenmin is het mogelijk om, door onvoorspelbaarheid of door praktische beperkingen, maatregelen te treffen om gevolgen van calamiteiten altijd te neutraliseren. Als bijvoorbeeld een brandend huis geblust wordt, zal het meestal niet mogelijk zijn om het bluswater op te vangen en af te voeren. En als voertuigen na een botsing van de weg raken, zullen er emissies naar de bodem optreden, ook als er een systeem aanwezig is om afstromend wegwater op te vangen en af te voeren. Alleen bij relatief kleine incidenten kan een opvangsysteem werken. Hierbij zijn twee vragen van belang:

1. Komt de verontreiniging in het zuiverende systeem? Dit is alleen het geval als de emissie plaatsvindt op een verhard oppervlak en het afstromende regenwater (met verontreiniging) naar een zuiverende voorziening wordt geleid.
2. Kan het systeem de verontreiniging verwerken? Dit kan alleen als de belasting beperkt is en niet goed oplosbare stoffen bevat.

Bezinkvoorzieningen zijn naar verwachting niet erg effectief. Motorolie blijft bijvoorbeeld drijven en gaat door een infiltratievoorziening (die niet geschikt is om drijfvlagen te verwijderen) heen. Een zuiverend substraat zal de olie (voor een groot deel) adsorberen, net als bij 'bovengrondse' bodempassage. In dat geval is er tijd om de verontreiniging op te ruimen. Ondergrondse infiltratievoorzieningen kunnen motorolie ook adsorberen, maar het is wel veel lastiger om een verontreiniging daarin op te ruimen.

Illegale lozingen en foute aansluitingen van het vuilwaterriool kunnen bij inspecties gesignaleerd worden als infiltratie plaatsvindt via bovengrondse systemen, zoals wadi's. De risico's voor het grondwater zullen sowieso kleiner worden omdat de vervuiling een langere afstand moet afleggen voordat deze het grondwater bereikt. Het heeft daarom de voorkeur om afstromend hemelwater zo hoog mogelijk in het bodemprofiel te infiltreren. Gezien het voorgaande is de conclusie dat infiltratievoorzieningen geen functie hebben in het preventief voorkomen van risico's als gevolg van calamiteiten. Calamiteiten kunnen beter curatief worden aangepakt en calamiteitenplannen kunnen voor bepaalde situaties worden opgesteld. Daarnaast zijn voor bedrijven met hogere risico's op calamiteiten vaak al in de vergunning maatregelen voorgeschreven, zoals waterdichte verharding, opvang van bluswater, lekbakken bij opslagtanks en dergelijke.

STOWA en Stichting RIONED in het kort

Stichting RIONED is de koepelorganisatie voor stedelijkwaterbeheer in Nederland. RIONED is er voor en door alle relevante overheden en bedrijven. Inspelend op nieuwe opgaven en mogelijkheden komt Stichting RIONED op voor het belang van stedelijk waterbeheer: goed zorgen voor afval-, hemel- en grondwater in de steden en dorpen. Stichting RIONED bevordert innovatie, nieuwe kennis en verspreiding van kennis. Wij begrijpen en ondersteunen de vakwereld.

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.

© 2025 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 auteur en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van deze publicatie.

Auteurs

Marian Langevoort en Ronald Wentink

Opdrachtgever

Stichting RIONED

omslagfoto

Ruud van der Linden | Stichting RIONED

vormgeving

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

rapportnummer

2026-02

isbn/ean

978-90-836408-4-6

Bij het aanleggen van een infiltratievoorziening is het belangrijk om de kwaliteit van het aangesloten afstromende hemelwater mee te nemen. De kwaliteit bepaalt namelijk mede welke infiltratievoorzieningen geschikt zijn, en of er voorzuivering nodig is om vervuiling van de bodem en het grondwater te voorkomen. Grondwater vormt namelijk de voorraad voor onze drinkwaterwinning. In dit rapport is de kennis over dit onderwerp gebundeld. Deze kennis is relevant bij de keuze, het ontwerp en het beheer van infiltratievoorzieningen.

