



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA



RIZA

In dit werkdocument wordt de visie van de auteur(s) weergegeven, niet die van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

The views expressed in this document are the authors or authors' own, not those of the Department of Transport, Public Works and Watermanagement.

REGENWATER IN DE STAD

Deel 1.

De samenstelling van (afstromend) regenwater

werkdokument 98.090X

RIZA
afdeling Diffuse en Communale Bronnen

drs. R.J.M. Teunissen

11 juni 1998.

Inhoudsopgave.

Inhoudsopgave	3
Samenvatting.	5
1. Inleiding.	9
2. De samenstelling van regenwater.	11
3. De samenstelling van afstromend regenwater.	15
3.1. De samenstelling van afstromend regenwater van wegen.	16
3.2. De samenstelling van afstromend regenwater afkomstig van daken.	18
3.3. De samenstelling van water in regenwaterriolen.	20
3.4. Emissies door regenwater (vrachten).	22
4. Factoren die de vuillast van (afstromend) regenwater bepalen.	25
4.1. Vervuilingsbronnen.	25
4.2. Factoren die de afstroming en emissie naar water beïnvloeden.	26
5. Conclusies en aanbevelingen.	29
6. Literatuur.	31
 Bijlagen.	 35
Bijlage 1. Componenten landelijk meetnet regenwater.	35
Bijlage 2. Bijlage 2. Meetgegevens meetnet regenwatersamenstelling RIVM.	36
Bijlage 3. Gebruikte literatuur samenstelling (afstromend) regenwater.	37

Samenvatting.

In dit rapport is informatie over de kwaliteit van (afstromend) regenwater gebundeld. De rapportage beschrijft de samenstelling van regenwater en het van verhard oppervlak afstromend regenwater.

Werkwijze.

De notitie is samengesteld aan de hand van literatuurgegevens. De verzamelde informatie over de samenstelling van regenwater en afstromend regenwater is, zoveel mogelijk per locatie, ingevoerd in een gegevensbestand. Op basis van de data-base zijn overzichten opgesteld voor regenwater en afstromend regenwater van verhard oppervlak met verschillende gebruiksfuncties. Er is in deze notitie gekozen om van enkele voor het waterbeheer relevante stoffen de gemiddelde concentratie en de spreiding (minimum en maximum) te presenteren.

De vergelijkbaarheid van de gegevens vormt een probleem. De kwaliteit van het (afstromend) regenwater wordt bepaald door een groot aantal (omgevings)factoren. Deze factoren zijn zelden allemaal beschreven. De presentatie van de resultaten, de wijze van bemonstering, het tijdstip van monsternamen tijdens de bui en het aantal bemonsteringen waarop de waarden zijn gebaseerd verschillen sterk tussen de onderzoeken. De in dit rapport gepresenteerde getallen moeten hierdoor als **indicatief** worden beschouwd.

Samenstelling regenwater.

De samenstelling van regenwater kent een opvallend grote variatie. Een concentratieverschil met een factor 10 vormt geen uitzondering. In regenwater kunnen dus, nog voordat het in contact is gekomen met verhard oppervlak, hoge concentraties voorkomen aan verontreinigingen. Bij snelwegen is een hoog zinkgehalte in de neerslag geconstateerd. Ook bij bedrijfsterreinen zijn hoge waarden gemeten. Uit de literatuur blijkt dat het aandeel dat atmosferische depositie (nat en droog) heeft in de totale belasting van het oppervlaktewater voor zware metalen relatief laag is (2-7%). Voor PAK, PCB en bestrijdingsmiddelen is de belasting van het oppervlaktewater via atmosferische depositie echter aanzienlijk (>11-100%).

Samenstelling afstromend regenwater afkomstig van wegen.

De gemiddelde gehalten in regenwater kunnen fors toenemen bij afstroming van wegen. De gemiddelde concentraties in afstromend regenwater van wegen met een hoge verkeersintensiteit liggen tot een factor 100 hoger dan de gemiddelden in de neerslag. Voor een aantal stoffen (zwevend stof, chemisch zuurstof verbruik, koper, zink en cadmium) neemt de gemiddelde vervuiling toe met de verkeersintensiteit. Voor Kjeldahl stikstof, lood, olie en PAK is dit minder het geval. Opvallend zijn verder de hoge waarden die gevonden worden voor zink, Kjeldahl stikstof en chemisch zuurstof verbruik in regenwater dat tot afstroming komt bij parkeerterreinen. Aan rustige wegen zijn zeer weinig metingen gedaan, slechts van één enkele locatie zijn gegevens beschikbaar. Om te komen tot een beoordeling bij welke verkeersintensiteit wegen zonder probleem voor de waterkwaliteit kunnen worden afgekoppeld, of niet aangesloten, is dit een smalle basis. Uit metingen aan afstromend regenwater van snelwegen blijkt dat het van zeer open asfaltbeton (ZOAB) afstromend wegwater aanzienlijk schoner is dan het regenwater dat van dicht asfaltbeton (DAB) afstroomt. De zware metalen vracht afkomstig van ZOAB ligt een factor 5 lager dan bij DAB. Afstromend regenwater van wegen is momenteel onderwerp van studie binnen de CIW/CUWVO.

Samenstelling afstromend regenwater van daken.

Er zijn weinig onderzoeken beschikbaar waarbij specifiek naar de kwaliteit van regenwater afkomstig van daken is gekeken. De beschikbare gegevens wijzen in de richting dat, indien voor dakbedekking en goten geen koper en/of zink wordt gebruikt, het afstromend regenwater van daken lage gehalten aan verontreinigingen bevat. Voor zwevend stof, chemisch zuurstof verbruik en Kjeldahl stikstof liggen de gemiddelde concentraties in dezelfde grootteorde als de gemiddelde concentraties in regenwater, of zijn een weinig verhoogd. Voor metalen echter liggen de gemiddelde concentraties fors hoger dan de gemiddelden in regenwater. Bij aanwezigheid van zinken dakdelen zelfs een factor 2000. In de literatuur wordt erop gewezen dat bij regenwater afkomstig van daken rekening moet worden gehouden met de invloed van allerlei lokale bronnen van verontreiniging, zoals een spoorlijn, een snelweg, of nabij gelegen industrie. Deze kunnen de concentraties in van daken afstromend regenwater aanzienlijk beïnvloeden.

Samenstelling water in regenwaterriolen.

Metingen aan water in regenwaterriolen in woonwijken laten zien dat de gemiddelde concentraties in het regenwaterriool een factor 1,5-20 hoger liggen dan in de neerslag voor afstroming van het verhard oppervlak. De spreiding in de gehalten is opvallend groot. Er komen zeer hoge maximale concentraties voor, bijvoorbeeld voor zwevend stof, chemisch zuurstof verbruik, fosfaat, metalen en olie.

Het water in regenwaterriolen van bedrijfsterreinen kan ernstig verontreinigd zijn. De concentraties zware metalen in het afstromend regenwater liggen over het algemeen hoger dan in het regenwater afkomstig van woonwijken. Overigens zijn bij bedrijven ook zeer lage concentraties gemeten. Lang niet altijd is het verband tussen een verhoogde concentratie in het afstromende regenwater en bepaalde bedrijfsactiviteiten duidelijk.

Omvang emissies door afstromend regenwater in woonwijken.

De berekende jaarvrucht per hectare verhard oppervlak kent voor een aantal stoffen hoge maximale waarden. Met name de vruchten zwevend stof, zink, lood en cadmium die met regenwater afstromen kunnen aanzienlijk zijn. Uit de cijfers blijkt dat bij afstroming van verhard oppervlak de verontreiniging sterk toeneemt (voor de gemiddelde jaarvrucht per hectare een factor 10-20). Vergelijking van de totale emissie door afstromend regenwater in Nederland met de totale landelijke emissie naar water en riool door alle bronnen laat zien dat de emissie van de metalen zink, cadmium en lood via afstromend regenwater relatief omvangrijk is. Voor het stedelijk waterbeheer vormt het terugdringen van de (diffuse) verspreiding naar water en riool van deze stoffen een belangrijk aandachtspunt.

Factoren die de vuillast van (afstromend) regenwater bepalen.

De neerslag raakt verontreinigd door emissies naar de lucht, afkomstig van de industrie, de huishoudens, het verkeer en de landbouw. Vervuiling van het van verhard oppervlak afstromende regenwater is met name afkomstig van de toegepaste materialen bij gebouwen, verharding en straatmeubilair, de op het verhard oppervlak neergeslagen vervuiling van het verkeer en onkruidbestrijding met chemische middelen. Slechts een deel van de regen die op verhard oppervlak terechtkomt stroomt af. De factoren die de afstroming beïnvloeden zijn verdamping, plasvorming, de hellingshoek van het terrein en mate van infiltratie van het regenwater. Het deel van de regen dat afstroomt, de afvloeingscoëfficiënt, kan sterk verschillen per oppervlak. Uit praktijkonderzoek blijkt dat de afvloeingscoëfficiënt in stedelijk gebied onder de, vaak gehanteerde, 0,6 ligt. De TU Delft is een nader onderzoek gestart om een reële waarde voor de afvloeingscoëfficiënt in stedelijk gebied vast te stellen.

Bij afspoeling van straatvuil zijn een groot aantal factoren van belang. Enkele in de literatuur genoemde factoren zijn: de regenintensiteit, de totale regenval, de droogweelperiode (tijd tussen de bui en de vorige bui bepaalt hoeveel vuil zich verzamelt), het verhardingsmateriaal (op asfalt is meer vuil aanwezig dan op beton), de conditie van het wegdek (meer vuil op wegen in slechte conditie), de aard en functie van het verhard oppervlak, de frequentie van straatvegen, de verkeersintensiteit tijdens een bui, de aanwezigheid van verticale wanden en de klimatologische omstandigheden.

Aanbevelingen.

Aanbevolen wordt:

- de kritische niveaus in lucht en regenwater, die in de rapportage van de Interdepartementale Werkgroep Integrale Normstelling Stoffen (IWINS) zijn opgenomen, in het stedelijk waterbeheer te gebruiken als toetsingskader. Worden waarden gevonden die hoger liggen dan deze kritische niveaus dan kunnen emissies naar de lucht van belang zijn voor de belasting van het oppervlaktewater of de bodem.
- regenwateronderzoek te standaardiseren door het opstellen van een protocol met betrekking tot monsternamen van (afstromend) regenwater en het opstellen van een checklist met relevante te registreren (omgevings)factoren.
- meer praktijkonderzoek uit te voeren. Met name het nader invullen van de invloed van het dakoppervlak en de verkeersintensiteit op de samenstelling van het afstromend regenwater is van belang om bij afkoppelen, of al dan niet aansluiten, van verhard oppervlak een afgewogen keuze te kunnen maken.
- in het stedelijk waterbeheer en het Duurzaam Bouwen beleid meer aandacht te schenken aan maatregelen met betrekking tot de voornaamste vervuilingbronnen: verkeer en bouwmaterialen.
- het aangelegde bestand up-to-date te houden en te benutten bij advies- en onderzoeksvragen en het overzicht te gebruiken om kentallen met betrekking tot (afstromend) regenwater te genereren en deze periodiek te actualiseren.

1. Inleiding.

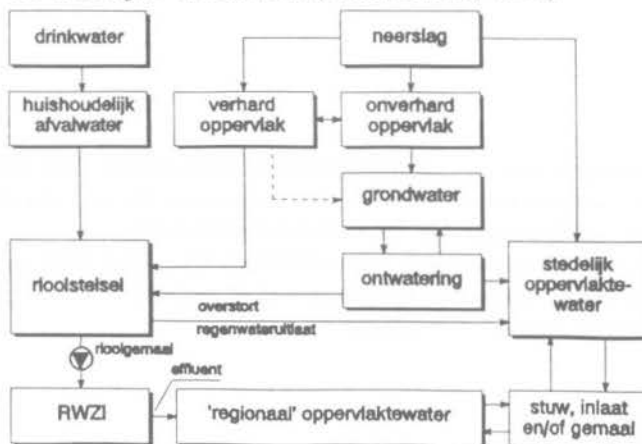
Achtergrond.

Het van verhard oppervlak afstromend regenwater is een belangrijk onderdeel van de stedelijke waterketen. (figuur 1). Het is gebruikelijk deze stroom via de riolering af te voeren; ofwel samen met het stedelijk afvalwater naar een rioolwaterzuiveringsinrichting (gemengd stelsel), ofwel naar nabij gelegen oppervlaktewater (gescheiden stelsel). Ongeveer 75% van de (vrijval) riolering in Nederland bestaat uit gemengde stelsels en ca. 23% van de Nederlandse rioolstelsels zijn gescheiden stelsels (Rioned, 1998).

Anders omgaan met afstromend regenwater is een actueel beleidsthema. Aanleiding hiervoor vormt een aantal geconstateerde nadelen van de traditionele werkwijze. Bij gemengde stelsels is een belangrijk nadeel dat bij hevige regenval overstorten van regenwater vermengd met ongezuiverd afvalwater optreden. Verder treden er grote fluctuaties op in de aanvoer naar de rwzi, wat van invloed kan zijn op het zuiveringsrendement. Rwzi's met een constante (hydraulische en organische) belasting zijn namelijk eenvoudiger te dimensioneren en te bedienen, waardoor de kans op fluctuaties in de effluentkwaliteit geringer wordt. Een ander mogelijk effect van het afvoeren van regenwater via het vuilwaterriool is dat dit bijdraagt aan het ontstaan van een tekort in de stedelijke wateren, waardoor om het waterpeil te handhaven, water van buiten het gebied moet worden ingelaten. Het gebiedsvreemd water is vaak meer verontreinigd dan het gebiedseigen water. Afvoer van regenwater via regenwaterriolen naar het oppervlaktewater heeft als nadeel dat verontreinigingen met het afstromende regenwater direct in het oppervlaktewater terechtkomen. De conventionele wijze van afvoeren van regenwater dat afstroomt van verhard oppervlak kan bovendien bijdragen aan grondwaterverlaging (verdroging), omdat grondwatervoorraden onvoldoende worden aangevuld.

De jaarlijkse vuilemissie uit een "gemiddeld" gemengd stelsel is vergelijkbaar met de vuiluitworp uit een gescheiden stelsel. De lozingen uit het gemengd stelsel zijn vuiler per gebeurtenis, maar de lozingen uit een gescheiden stelsel zijn groter in aantal (CUWVO, 1992). Om de vuiluitworp naar het oppervlaktewater van rioolstelsels te beperken wordt bij nieuwbouw tegenwoordig vaak een verbeterd gescheiden rioolstelsel toegepast. Bij dit type stelsel wordt regenwater afgevoerd naar een rwzi, maar bij hevige buien wordt een deel via een regenwaterriool afgevoerd naar oppervlaktewater. Bij een verbeterd gescheiden stelsel gaat zo'n 70% van het regenwater naar de zuivering (Lambrechts, 1996). Momenteel is ca. 2 % van de Nederlandse (vrijval) rioolstelsels van dit type (Rioned, 1998). De emissie naar oppervlaktewater uit een verbeterd gescheiden stelsel is lager dan uit beide eerder genoemde stelsels.

Figuur 1. De stedelijke waterketen. (bron: Geldof, 1997)



Recentelijk is de aandacht voor een andere benadering hoe met regenwater kan worden omgegaan toegenomen. Onder andere in het derde Nationaal Milieubeleidsplan (NMP-3) en in de vierde Nota Waterhuishouding komt dit binnen het beleidsthema "Water in de Stad" aan de orde. In de voorgestane aanpak wordt gezocht naar alternatieve opties voor de verwijdering van regenwater, zoals benutting in huishoudens, het verlevendigen van de wijk (bufferende waterpartijen), of het beperken van verdroging via infiltratie. Het te voeren beleid met betrekking tot de verschillende gebruiks- of verwijderingsopties voor regenwater is nog niet volledig uitgekristalliseerd. Ter ondersteuning van de beleidsontwikkeling stelt het RIZA de volgende twee rapporten samen: Onderhavig werkdocument geeft een overzicht van bestaande kennis over de samenstelling van (afstromend) regenwater. In een vervolgrapport zal aandacht worden besteed aan de juridische en beleidsmatige aspecten van het omgaan met regenwater.

De notities over regenwater zijn onderdeel van het projectprogramma stedelijk waterbeheer van het RIZA. Het programma clustert de projecten van het RIZA rond het beleidsthema "Water in de Stad".

Probleemstelling.

Voor een ontwikkeling naar duurzame en gezonde watersystemen in stedelijke gebieden is een andere wijze van omgaan met regenwater noodzakelijk. Bij de keuze voor alternatieven is de kwaliteit van het regenwater een belangrijke factor. Momenteel ontbreekt een up-to-date overzicht van de kwaliteit van (afstromend) regenwater. Deze is nodig om een afgewogen keuze te maken voor één van de gebruiks- c.q. verwijderingsopties voor regenwater.

Doelstelling.

De hoofddoelstelling van dit deelproject is kennis over de kwaliteit van (afstromend) regenwater te bundelen en beschikbaar te maken. De rapportage moet een overzicht geven van de bestaande kennis over de samenstelling van regenwater en het van verhard oppervlak afstromend regenwater en indien nodig aanbevelingen doen voor nader onderzoek.

Werkwijze.

Het overzicht is opgesteld aan de hand van literatuurgegevens. Er is daarbij niet uitputtend in allerlei (internationale) gegevensbestanden gezocht, maar gebruik gemaakt van de bij het RIZA beschikbare literatuur. De verzamelde informatie over de samenstelling van regenwater en afstromend regenwater is ingevoerd in een gegevensbestand, waarbij ernaar is gestreefd zoveel mogelijk de meetcijfers per locatie in te voeren. Door steeds nieuwe beschikbaar komende data aan het bestand toe te voegen kan het overzicht eenvoudig up-to-date worden gehouden.

Indeling rapport.

Op basis van de nu in het bestand aanwezige meetgegevens zijn overzichtstabellen samengesteld. Daarmee wordt een indruk gegeven van de kwaliteit van regenwater en de kwaliteit van het afstromende regenwater. Er is daarbij een indeling gemaakt naar gebruiksvorm van het oppervlak. De overzichtstabellen met kwaliteitsgegevens staan voor regenwater weergegeven in hoofdstuk 2 en voor afstromend regenwater in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 worden de factoren die de vuillast van het (afstromende) regenwater bepalen besproken. De conclusies en aanbevelingen staan beschreven in hoofdstuk 5.

2. De samenstelling van regenwater.

De chemische samenstelling van de neerslag in Nederland wordt gemeten door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). De laatst gepubliceerde gegevens van het Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling zijn de meetresultaten van 1994 (Somhorst, 1996). Het landelijk meetnet bestaat uit 15 stations. Metingen worden uitgevoerd op 4 wekelijkse monsters. Het analysepakket bestaat uit 12 hoofdcomponenten, 11 metalen en 13 bestrijdingsmiddelen (zie bijlage 1). Een aantal stoffen wordt op een beperkt aantal locaties gemeten. Bestrijdingsmiddelen en kwik bijvoorbeeld op slechts één locatie en chroom op drie locaties. In het kader van het landelijk meetnet wordt alleen de natte depositie gemeten. De opvangtrechters van de regenmeters zijn gesloten als er geen regen valt.

Overzicht kwaliteit van regenwater.

Om een beeld te krijgen van de kwaliteit van regenwater is het gemiddelde bepaald van de gewogen gemiddelde jaarconcentratie per meetpunt over 1994. Zie tabel 1. Tevens staat het minimum en maximum aangegeven. De tabel beperkt zich tot enkele stoffen uit het meetpakket, namelijk de stoffen, die in stedelijke wateren regelmatig de waterkwaliteitsnorm overschrijden. Een uitgebreidere tabel staat in bijlage 2. De gegevens zijn gebaseerd op 6-15 waarnemingen. Naast de gegevens van het landelijk meetnet zijn in de literatuur resultaten van metingen aan neerslag te vinden. Deze metingen zijn eenmalig uitgevoerd als onderdeel van uitgebreider onderzoek. De gevonden meetcijfers zijn verzameld in tabel 1.

Wat opvalt in tabel 1 is dat de samenstelling van regenwater een grote variatie kent. Een concentratieverschil met een factor 10 vormt geen uitzondering. In regenwater kunnen dus, nog voordat het in contact is gekomen met verhard oppervlak, hoge concentraties voorkomen aan verontreinigingen. Zo is bij snelwegen een hoog zinkgehalte in de neerslag geconstateerd. Ook bij bedrijfsterreinen (Tauw, 1991) zijn hoge waarden gemeten. Emissies van verkeer en industrie beïnvloeden blijkbaar de lokale regenwatersamenstelling. Wat verder opvalt is dat de door het RIVM gemeten concentraties een stuk lager zijn dan de gehalten bepaald in de overige onderzoeken. De keuze van de meetlocaties door het RIVM kan hierbij een rol spelen. Ook het verschil in de gebruikte bemonsteringsmethode zal van invloed zijn. Het RIVM gebruikt "wet-only" trechters en meet alleen de natte depositie. Bij de overige onderzoeken is ook de droge depositie meegenomen in de metingen.

Meetnet regenwatersamenstelling.

De rapportage van het RIVM over de regenwatersamenstelling gaat niet in op oorzaken van regionale verschillen of trends in de tijd. Deze aspecten komen wel aan de orde in de Milieuverkenning en de Milieubalans (RIVM, 1996). Voor deze beleidsrapporten vormen echter emissieberekeningen naar de lucht de basis en niet de cijfers uit het meetnet.

Het RIVM heeft op slechts één meetstation de concentratie van een aantal bestrijdingsmiddelen in regenwater bepaald. In de literatuur zijn verschillende rapportages gevonden over onderzoek naar bestrijdingsmiddelen in regenwater. Metingen zijn bijvoorbeeld gedaan door het Hoogheemraadschap Fleverwaard (Boom, 1995), de Provincie Zuid-Holland (Provincie Zuid-Holland, 1994), het Waterschap Friesland (Schaminée, 1996) en TNO-MEP (Baas, 1997). Uit deze onderzoeken blijkt dat regionaal zeer hoge concentraties bestrijdingsmiddelen in regenwater kunnen voorkomen. De Poorte (1997) concludeert naar aanleiding van een risicobeoordeling van het gehalte aan bestrijdingsmiddelen in regenwater in Zuid Holland dat voor sommige bestrijdingsmiddelen schadelijke effecten op aquatische organismen niet zijn uit te sluiten. Gezien de context van dit werkdokument, zijnde een deelproject binnen het projectprogramma stedelijk waterbeheer, wordt op landbouwbestrijdingsmiddelen verder niet ingegaan.

Momenteel vindt er door TNO een evaluatie plaats van het landelijk meetnet regenwatersamenstelling. De evaluatie kan aanleiding geven tot aanpassingen in het meetnet.

Tabel 1. De samenstelling van regenwater.

Component		RIVM (Somhorst, 1996)	RIZA (Berbee, 1996)	TAUW (Tauw, 1991)	div. lit. (De Waal, 1982)
pH	gem.	5,16	-	-	-
	min.	4,53	-	-	-
	max.	5,55	-	-	-
CZV mg/l	gem.	-	-	23,2	-
	min.	-	-	5,0	-
	max.	-	-	67,0	-
zw. stof mg/l	gem.	-	-	16,8	-
	min.	-	-	8,0	-
	max.	-	-	28,0	-
NH4 µg/l	gem.	1296	-	-	-
	min.	1044	-	-	-
	max.	1890	-	-	-
NO3 µg/l	gem.	2108	-	-	-
	min.	1798	-	-	-
	max.	2356	-	-	-
SO4 µg/l	gem.	2979	-	-	-
	min.	2306	-	-	-
	max.	3748	-	-	-
PO4 µg/l	gem.	19	-	-	-
	min.	10	-	-	-
	max.	48	-	-	-
Cu µg/l	gem.	1,9	34,4	35,2	14,6
	min.	1,3	5,3	10,0	6,2
	max.	2,5	104,9	80,0	21,0
Zn µg/l	gem.	13,1	56,3	*86,3	135
	min.	6,5	12	13,0	80
	max.	26,2	194	980,0	263
Cd µg/l	gem.	0,1	0,3	0,4	1,5
	min.	0,1	<0,04	0,2	0,6
	max.	0,3	0,7	0,6	4,0
Pb µg/l	gem.	4,1	7,3	9,0	38,2
	min.	2,1	0,9	4,0	9,5
	max.	4,1	27,2	13,0	79,0
locaties:		15 meetstations n=6-15 1994	2 snelwegen n=8 1994/95	5 bedrijven n=5 1990/91	13 locaties, berekening onbekend.

* het extreem hoge maximum, gemeten bij een metaalbedrijf, is bij de bepaling van het gemiddelde weggelaten.

Emissie via depositie.

Voor het schatten van de emissie via regen naar oppervlaktewater zijn modellen beschikbaar (bijvoorbeeld in Van Liere, 1997). Deze modellen kunnen voor grote oppervlakken globaal de atmosferische depositie berekenen en maken daarbij geen onderscheid tussen natte en droge depositie. De modellen zijn niet geschikt om in lokale situaties de depositie te bepalen.

In Baart (1995) is op basis van een schatting van de atmosferische depositie (nat en droog) op het zoete oppervlaktewater het aandeel hiervan in de totale belasting van het oppervlaktewater berekend. De resultaten staan in onderstaande tabel aangegeven.

Tabel 2. Aandeel atmosferische depositie in totale belasting zoete oppervlaktewater 1990.
(Bron: Baart et al. , 1995)

STOF	aandeel depositie in totale belasting zoete oppervlaktewater ¹⁾ 1990	
	atm. depositie (ton/j)	aandeel (%)
Cd	0,4	7
Cu	3,1	2
Hg	0,1	6
Zn	22	3
Pb	16	7
PAK (6)	5,0	19
PCB	0,03	91
bestrijdingsmiddelen	0,03-1,4	>11-99,8

¹⁾ Exclusief IJsselmeer, Waddenzee, Eems, Dollard, Oosterschelde, Westerschelde en 12 mijlszone.

Uit deze cijfers blijkt dat voor zware metalen het aandeel dat atmosferische depositie heeft in de totale belasting van het zoete oppervlaktewater in Nederland relatief laag is. Voor PAK, PCB en bestrijdingsmiddelen is de belasting van het oppervlaktewater via atmosferische depositie aanzienlijk.

3. De samenstelling van afstromend regenwater.

Regenwater verandert bij afstroming van verhard oppervlak van samenstelling, met name door afspoeling van vervuiling die aanwezig is op het verhard oppervlak en corrosie van metalen objecten. Dit hoofdstuk geeft een overzicht om welke vervuiling het gaat en de mate waarin het regenwater ermee verontreinigd raakt. Naar de samenstelling van het van verhard oppervlak afstromend regenwater zijn diverse onderzoeken gedaan. Het meest uitgebreide onderzoek is uitgevoerd door de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (NWRW), eind jaren tachtig. Meer recent zijn in de gemeenten Amsterdam en Utrecht een groot aantal metingen aan afstromend regenwater verricht. Het RIZA heeft metingen gedaan aan afstromend water van snelwegen. Vermeldenswaard is verder een literatuuroverzicht dat DHV heeft opgesteld in opdracht van de dienst Riolering en Waterhuishouding Amsterdam. DHV heeft met behulp van enkele zoeksystemen literatuurgegevens verzameld over de samenstelling van afstromend regenwater. In het DHV rapport zijn tevens relevante internationale publicaties beschreven. Een lijst met alle voor dit hoofdstuk gebruikte literatuur staat vermeld in bijlage 3.

Vergelijkbaarheid van onderzoeken aan afstromend regenwater.

Uit de beschikbare literatuur blijkt dat de kwaliteit van het afstromend regenwater bepaald wordt door een groot aantal factoren: bijvoorbeeld lokale/regionale bronnen van luchtverontreiniging (industrie, verkeer, landbouw), de aard van het verhard oppervlak, het reliëf, de droogweeperperiode, de bui-intensiteit en de hoeveelheid regenwater per bui. In hoofdstuk 4 zal hier dieper op worden ingegaan. In de literatuur zijn de factoren, die de kwaliteit van het afstromend regenwater bepalen, zelden aangegeven. Ook de wijze van presenteren van de resultaten is zeer wisselend. Soms staat de spreiding in de gevonden concentraties aangegeven. Soms is alleen het gemiddelde gepubliceerd. Ook zijn er onderzoeken waarbij een gewogen gemiddelde concentratie, de mediaan van de gevonden concentraties, of de vracht wordt gepresenteerd. De wijze van bemonstering, het tijdstip van monsternamen tijdens de bui en het aantal bemonsteringen waarop de waarden zijn gebaseerd verschillen ook sterk tussen de onderzoeken. Dit alles maakt de onderzoeksgegevens niet eenduidig en onderling moeilijk vergelijkbaar. De in dit hoofdstuk gepresenteerde waarden moeten dan ook als **een indicatie** worden beschouwd.

Werkwijze overzichtstabellen samenstelling afstromend regenwater.

Op basis van de beschikbare gegevens zijn overzichtstabellen samengesteld van de kwaliteit van afstromend regenwater van verhard oppervlak. Er is daarbij onderscheid gemaakt tussen oppervlak met verschillende gebruiksfuncties. Achtereenvolgens worden besproken afstromend regenwater afkomstig van wegen, daken, woonwijken en bedrijfsterreinen. Ook waarden uit buitenlandse literatuur zijn meegenomen. De representativiteit hiervan voor de Nederlandse situatie is niet altijd zeker. Over het algemeen verstoren deze gegevens het beeld echter niet (DHV, 1997).

Er is voor gekozen om van enkele voor het waterbeheer relevante stoffen de gemiddelde concentratie en de spreiding (minimum en maximum) te presenteren. Hiervoor zijn uit de beschikbare literatuur zoveel mogelijk de meetgegevens per onderzoekslocatie verzameld. In enkele gevallen is de gemiddelde waarde niet in de publicatie opgegeven, maar kon deze zelf worden berekend. Uit een aantal onderzoeken kon of alleen het gemiddelde, of alleen de spreiding worden gehaald. Het aantal waarnemingen kan daardoor voor gemiddelde en spreiding verschillen. Als alleen het gemiddelde beschikbaar is voor meerdere locaties is dit getal toch meegenomen. In een enkel geval is zelfs alleen een gemiddelde van meerdere literatuurgegevens beschikbaar. Het meenemen van deze getallen is statistisch discutabel. Er is toch voor deze handelwijze gekozen, omdat anders zeer weinig gegevens overblijven. Voor een indicatie van de kwaliteit van afstromend regenwater wordt deze pragmatische aanpak acceptabel geacht.

3.1. De samenstelling van afstromend regenwater van wegen.

In tabel 3 staan de verzamelde gegevens over de samenstelling van afstromend regenwater afkomstig van wegen samengevat. Zoals hierboven aangegeven is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van gegevens per locatie, maar was dit niet in alle gevallen mogelijk. De n in de tabel betreft daarom niet het aantal locaties maar het aantal gebruikte gegevens, zoals aangegeven in de inleiding van hoofdstuk 3.

Overzicht samenstelling afstromend wegwater.

Uit tabel 3 blijkt dat de gemiddelde gehalten in regenwater fors kunnen toenemen bij afstroming van wegen. De gemiddelde concentraties in afstromend regenwater bij wegen met een hoge verkeersintensiteit liggen tot een factor 100 hoger dan de gemiddelden in regenwater. Voor een aantal stoffen (zwevend stof, chemisch zuurstofverbruik, koper, zink en cadmium) neemt de gemiddelde vervuiling toe met de verkeersintensiteit. Voor Kjeldahl stikstof, lood, olie en PAK is dit minder het geval. Opvallend zijn verder de hoge waarden die gevonden worden voor zink, Kjeldahl stikstof en chemisch zuurstofverbruik in regenwater dat tot afstroming komt bij parkeerterreinen.

Aan rustige wegen zijn zeer weinig metingen gedaan, slechts van één enkele locatie zijn gegevens beschikbaar. Om te komen tot een beoordeling bij welke verkeersintensiteit wegen zonder probleem voor de waterkwaliteit kunnen worden afgekoppeld of niet aangesloten is dit een smalle basis. In de literatuur wordt over het algemeen de grens gelegd bij 1000 voertuigen per dag (bv. Lambrechts, 1997). Om te bepalen of dit een juist criterium is voor de beslissing wel / niet afkoppelen of aansluiten is nog nader onderzoek nodig.

Het relatief lage loodgehalte bij snelwegen kan veroorzaakt worden doordat een groot deel van de gegevens van snelwegen van zeer recente datum zijn. Deze gegevens komen dus uit een periode waarin minder loodhoudende benzine werd gebruikt dan in de periode dat de onderzoeken aan de andere wegtypen plaatsvonden.

Afstromend wegwater van snelwegen.

Snelwegen zijn in tabel 3 gepresenteerd als één wegtype. Uit metingen aan afstromend regenwater van snelwegen blijkt dat het van zeer open asfaltbeton (ZOAB) afstromend wegwater aanzienlijk schoner is dan het regenwater dat van dicht asfaltbeton (DAB) afstroomt (Berbee, 1996). De zware metalen vracht afkomstig van ZOAB ligt een factor 5 lager dan bij DAB. De gegevens wijzen erop dat de plaatsing van een verzinkt stalen vangrail op de weg of in de (midden)berm mogelijk van grote invloed is op het zinkgehalte in het afstromende regenwater (Berbee, 1996). De gemeten gehalten in wegwater van Nederlandse snelwegen staan in tabel 4. Afstromend regenwater van wegen is momenteel onderwerp van studie binnen de CIW/CUWVO.

Tabel 4. Vergelijking gemeten gehalten in wegwater afkomstig van twee typen verharding (Bron: Berbee, 1996).

STOF	DAB	ZOAB
zw. stof (mg/)	28-354	0-140
N-kj (mg/l)	1-2	0,3-0,5
CZV (mg/l)	143-149	16-18
Cd (µg/l)	0-6,9	0,1-3,0
Cu (µg/l)	0-163	10-107
Pb (µg/l)	0-195	0-83
Zn (µg/l)	90-860	18-1500
olie (mg/l)	0-8	0-0,8
PAK-B. (µg/l)	2-3,2	<0,1-2 (gem.)

Tabel 3. De samenstelling van afstromend regenwater van oppervlakken met als functie openbare weg.

Component		rustige weg ¹⁾ (<1000 voertuigen/dag)		drukke weg ¹⁾		parkeerterrein ¹⁾		snelweg ¹⁾		regenwater
zw. stof (mg/l)	gem.	44	²⁾ⁿ⁼¹	120	n=6	143	n=4	147	n=4	16,8
	min.	-		8,4	n=7	8,1	n=11	0	n=11	8,0
	max.	-		937	n=7	388	n=11	354	n=11	28,0
CZV (mg/l)	gem.	15	n=1	77	n=6	211	n=3	97	n=4	23,2
	min.	10	n=1	19	n=7	14	n=3	16	n=5	5,0
	max.	19	n=1	447	n=7	625	n=3	230	n=5	67,0
Nkj (mg/l)	gem.	1,2	n=1	1,7	n=4	5,2	n=3	1,5	n=2	2,2
	min.	0,4	n=1	0,2	n=4	0,9	n=3	0,3	n=3	1,3
	max.	1,9	n=1	5,2	n=4	13	n=3	3	n=3	3,9
Cu (µg/l)	gem.	12	n=1	50	n=6	53	n=1	77	n=4	1,9
	min.	12	n=1	5	n=6			0	n=10	1,3
	max.	12	n=1	184	n=6			163	n=10	2,5
Pb (µg/l)	gem.	12	n=1	190	n=3	158	n=2	77	n=3	4,1
	min.	10	n=1	20	n=6	10	n=2	0	n=9	2,1
	max.	14	n=1	³⁾³⁵²	n=5	495	n=2	³⁾¹⁹⁵	n=9	4,1
Zn (µg/l)	gem.	150	n=1	282	n=5	1337	n=2	319	n=4	13,1
	min.	49	n=1	36	n=5	50	n=3	18	n=11	6,5
	max.	250	n=1	2892	n=5	4700	n=3	1500	n=11	26,2
Cd (µg/l)	gem.	0,1	n=1	3,2	n=6	2,4	n=1	6,8	n=3	0,1
	min.			0,5	n=6			0	n=9	0,1
	max.			47	n=6			68	n=9	0,3
olie (mg/l)	gem.	0,8	n=1	3,9	n=5	3,9	n=2	3,6	n=3	-
	min.	0,4	n=1	0,8	n=6	2,2	n=2	0	n=11	-
	max.	1,3	n=1	70	n=6	7,8	n=2	27	n=11	-
PAK-16 (µg/l)	gem.	1,6	n=1	5,1	n=3	3,4	n=3	2,8	n=2	-
	min.	0,6	n=1	0,7	n=3	0,8	n=3	<0,3	n=2	-
	max.	2,5	n=1	12	n=3	6,9	n=3	5,8	n=2	-

1) gebruikte literatuur staat vermeld in bijlage3.

2) n geeft het aantal gebruikte gegevens aan.

3) Oudere literatuurgegevens met hoge waarden (1562 en 2900) zijn weggelaten. Door het invoeren van loodvrije benzine zijn deze waarden waarschijnlijk niet meer representatief.

a) bron: TAUW, 1991. De gegevens zijn afkomstig van neerslag in een omgeving met bedrijven. De waarden kunnen daarom aan de hoge kant zijn.

b) bron: RIVM, 1996.

3.2. De samenstelling van afstromend regenwater afkomstig van daken.

Er zijn weinig onderzoeken beschikbaar waarbij specifiek naar de kwaliteit van regenwater afkomstig van daken is gekeken. De conclusies over afstromend regenwater van daken berusten daarom noodgedwongen op een beperkt aantal waarnemingen. In tabel 5 staat een overzicht van de gegevens over de samenstelling van afstromend regenwater afkomstig van daken. Het aantal gebruikte gegevens is in de tabel aangegeven met n.

Overzicht samenstelling afstromend regenwater van daken.

De beschikbare gegevens wijzen in de richting dat, indien voor dakbedekking en goten geen koper en/of zink wordt gebruikt, het afstromend regenwater van daken lage gehalten aan verontreinigingen bevat. Voor zwevend stof, chemisch zuurstofverbruik en Kjeldahl stikstof liggen de gemiddelde concentraties in dezelfde grootteorde als de gemiddelde concentraties in regenwater, of zijn een weinig verhoogd. Voor metalen echter liggen de gemiddelde concentraties fors hoger dan de gemiddelden in regenwater. Bij de aanwezigheid van zinken dakdelen zelfs een factor 2000. Zinken en koperen dakdelen hebben blijkbaar een grote invloed op de samenstelling van het afstromende regenwater. In de beschouwde literatuur is de invloed van loodslabben op het afstromend regenwater geen onderwerp van studie geweest. Of de gevonden verschillen in loodconcentratie in tabel 5 samenhangen met het gebruik van lood als afdichtingsmateriaal is daarom niet na te gaan.

Zink bevat over het algemeen sporen cadmium. Dit zou moeten leiden tot een relatie tussen de zink- en cadmiumconcentratie. Deze blijkt echter niet uit de onderzoeksgegevens. In regenwater afkomstig van daken met zinken delen wordt wel een hoog zinkgehalte gemeten, maar is het cadmiumgehalte niet verhoogd in vergelijking met andere daktypen.

Wat verder opvalt in tabel 5 is het relatief hoge zinkgehalte in het van een bitumen dak afstromende regenwater. Mogelijk speelt het hoge gehalte aan zwevend stof hierbij een rol.

Invloed lokale vervuiliingsbronnen.

In de literatuur wordt erop gewezen dat bij regenwater afkomstig van daken rekening moet worden gehouden met de invloed van allerlei lokale bronnen van verontreiniging, zoals een spoorlijn, een snelweg, of nabij gelegen industrie. Deze kunnen de concentraties in van daken afstromend regenwater aanzienlijk beïnvloeden (bv. Oldenkamp, 1989 en Tauw, 1991).

Tabel 5. Samenstelling afstromend regenwater van daken.

Component		dak zonder koper en zink ¹⁾	dak met koperen delen ¹⁾	dak met zinken delen ¹⁾	zinken dak ¹⁾	bitumen dak ¹⁾	diverse daken ¹⁾	regenwater
zw.stof (mg/l)	gem.	12,6	54	3,3	46	476	39	16,8
	min.	2,1	47	1,3	-	476	14	8,0
	max.	32	60	7	-	476	27	28,0
CZV (mg/l)	gem.	19	35	14	-	76	22	23,2
	min.	14	22	12	-	19	-	5,0
	max.	26	47	17	-	132	-	67,0
Nkj (mg/l)	gem.	1,8	-	2,4	-	6,8	-	2,2
	min.	0,7	-	0,8	-	4,9	-	1,3
	max.	2,8	-	3,1	-	8,6	-	3,9
a)								
Cu (µg/l)	gem.	-	295	5	15	24	40	1,9
	min.	-	235	5	-	41	9	1,3
	max.	-	355	6	-	41	110	2,5
Pb (µg/l)	gem.	-	71	114	20	418	64	4,1
	min.	-	39	15	-	395	9	2,1
	max.	-	104	255	-	1200	41	4,1
Zn (µg/l)	gem.	-	39	1488	26397	1115	1291	13,1
	min.	-	24	385	-	2050	49	6,5
	max.	-	54	2500	-	2200	330	26,2
Cd (µg/l)	gem.	-	0,7	0,9	0,7	1,0	2,2	0,1
	min.	-	0,4	0,6	-	1,3	-	0,1
	max.	-	1	1,2	-	1,3	-	0,3
b)								
PAK-16 (µg/l)	gem.	-	-	1,5	-	0,9	0,5	-
	min.	-	-	0,4	-	0,5	-	-
	max.	-	-	3,1	-	1,3	-	-

1) gebruikte literatuur staat vermeld in bijlage 3.

2) n geeft het aantal gebruikte gegevens aan.

a) bron: TAUV, 1991. De gegevens zijn afkomstig van neerslag in een omgeving met bedrijven. De waarden kunnen daarom aan de hoge kant zijn.

b) bron: RIVM, 1996.

3.3 De samenstelling van water in regenwaterriolen.

De samenstelling van het water dat zich in regenwaterriolen verzamelt is in diverse onderzoeken beschreven. Hierbij gaat het dus om regenwater afkomstig van al het op het riool aangesloten verharde (en soms onverharde) oppervlak. Bij metingen in een regenwaterriool moet rekening worden gehouden met processen in het rioolstelsel die de kwaliteit van het water beïnvloeden: zoals bezinking, opwoeling, foutieve rioolaansluitingen, lozingen van grondwater (drainage), etc.

Samenstelling van water in regenwaterriolen van woonwijken.

Een overzicht van meetgegevens met betrekking tot de samenstelling van water in regenwaterriolen in woonwijken staat in tabel 6. Ter vergelijking zijn in de laatste kolom de gehalten in neerslag, dus waarden voordat de regen tot afstroming komt, aangegeven. In tabel 6 is te zien dat de gemiddelde concentraties in het regenwaterriool een factor 1,5-20 hoger liggen dan in de neerslag voor afstroming. Wat verder opvalt is dat de spreiding in de gehalten groot is. Er komen zeer hoge maximale concentraties voor, bijvoorbeeld voor zwevend stof, chemisch zuurstofverbruik, fosfaat, metalen en olie.

Samenstelling van water in regenwaterriolen van bedrijfsterreinen.

Een samenvatting van gemeten gehalten in afstromend regenwater afkomstig van bedrijfsterreinen staat weergegeven in tabel 6. Uit de tabel blijkt dat het afstromend regenwater van bedrijfsterreinen ernstig verontreinigd kan zijn. De hoge waarde voor zink is gemeten bij een verzinkerij. Over het algemeen komen bij bedrijven hogere concentraties zware metalen in het afstromend regenwater voor dan in het regenwater afkomstig van woonwijken. Overigens zijn bij bedrijven ook opvallend lage concentraties gemeten. Net als bij woonwijken is bij bedrijven de spreiding in de gehalten zeer groot. Lang niet altijd is het verband tussen een verhoogde concentratie in het afstromende regenwater en bepaalde bedrijfsactiviteiten duidelijk.

Samenstelling van water in regenwaterriolen van winkelgebied.

Voor de volledigheid zijn in tabel 6 ook waarden vermeld voor winkelgebied. Deze komen uit één literatuurbron (Oldenkamp, 1986) en zijn gebaseerd op verschillende buitenlandse studies. De getallen laten zien dat het regenwater afkomstig van winkelgebieden doorgaans sterker verontreinigd is dan afstromend regenwater van woonwijken.

Tabel 6. Samenstelling van water in regenwaterriolen.

Component		woonwijk ¹⁾		bedrijfsterrein ¹⁾		winkelgebied ¹⁾		regenwater
a)								
S.S. (mg/l)	gem.	74	n=6 ²⁾	78,1	n=18	45-303	n=1	16,8
	min.	2	n=6	<0,1	n=18	-	-	8,0
	max.	11300	n=4	3347	n=22	-	-	28,0
CZV (mg/l)	gem.	65	n=8	114	n=15	73-123	n=1	23,2
	min.	5	n=8	8	n=15	-	-	5,0
	max.	3100	n=8	1850	n=19	-	-	67,0
Nkj (mg/l)	gem.	3,2	n=7	4,7	n=15	0,1-1,1	n=1	2,2
	min.	0,2	n=7	0,4	n=15	-	-	1,3
	max.	15	n=8	200	n=18	-	-	3,9
P tot. (mg/l)	gem.	0,5	n=8	-	-	0,1-0,6	n=1	-
	min.	0,04	n=8	1,6	n=1	-	-	-
	max.	125	n=8	22	n=1	-	-	-
b)								
Cu (µg/l)	gem. ³⁾	30	n=7	92	n=9	-	-	1,9
	min.	2	n=7	8	n=9	-	-	1,3
	max.	4300	n=8	6100	n=13	-	-	2,5
Pb (µg/l)	gem.	61	n=9	69	n=9	400	n=1	4,1
	min.	0	n=9	1	n=9	-	-	2,1
	max.	1900	n=9	12000	n=14	-	-	4,1
Zn (µg/l)	gem.	278	n=8	1046	n=10	100-600	n=1	13,1
	min.	2,5	n=8	7	n=10	-	-	6,5
	max.	4600	n=9	40000	n=12	-	-	26,2
Cd (µg/l)	gem.	0,7	n=7	3,2	n=10	0,9	n=1	0,1
	min.	0,1	n=7	0,3	n=10	-	-	0,1
	max.	6,0	n=9	600	n=13	-	-	0,3
olie (mg/l)	gem.	0,1	n=2	4,7	n=6	-	-	-
	min.	0	n=2	0,8	n=6	-	-	-
	max.	110	n=3	100	n=5	-	-	-
PAK-16 (µg/l)	gem.	2,2	n=1	5,0	n=8	-	-	-
	min.	0,4	n=1	0,3	n=8	-	-	-
	max.	1,0	n=4	37	n=7	-	-	-

1) gebruikte literatuur staat vermeld in bijlage 3.

2) n geeft het aantal gebruikte gegevens aan.

3) gem. = het gemiddelde van in de literatuur aangegeven gemiddelde waarden. Indien in de literatuur slechts de spreiding was beschreven is deze niet bij de berekening van het gemiddelde meegenomen. Vandaar dat extreme maxima in deze tabel soms niet doorwerken in het gemiddelde.

a) bron: TAUW, 1991. De gegevens zijn afkomstig van neerslag in een omgeving met bedrijven. De waarden kunnen daarom aan de hoge kant zijn.

b) bron: RIVM, 1996.

3.4. Emissies door regenwater (vrachten).

Om een beeld te krijgen van de emissies naar oppervlaktewater door afstromend regenwater zijn ook gegevens over jaarvrachten per hectare verhard oppervlak verzameld. Vrachten worden echter maar in een beperkt aantal onderzoeken aangegeven. Indien mogelijk is door bewerking van de gegevens een schatting van de jaarvracht gemaakt. Een overzicht van de berekende vrachten voor woonwijken staat weergegeven in tabel 7.

Overzicht emissies door afstromend regenwater in woonwijken.

In tabel 7 is te zien dat voor een aantal stoffen hoge maximale waarden worden berekend voor de jaarvracht per hectare verhard oppervlak, met name de vrachten zwevend stof, zink, lood en cadmium die met regenwater afstromen kunnen aanzienlijk zijn. Net als in voorgaande tabellen is te zien dat bij afstroming van verhard oppervlak de verontreiniging sterk toeneemt (voor de gemiddelde vracht een factor 10-20). Ook voor de vrachten geldt dat de spreiding groot is.

In het literatuuroverzicht "Regenwaterlozingen" (DHV, 1997) worden ook vrachtgegevens gepresenteerd. In het DHV rapport staan voor chemisch zuurstofverbruik, lood en zink hogere gemiddelde vrachten aangegeven. Het verschil kan samenhangen met het feit dat in dit werkdocument is uitgegaan van meer (recente) gegevens.

Totale Nederlandse emissie via afstromend regenwater.

Uit de gepresenteerde schatting van de jaarvracht per hectare kan een indicatie van de totale emissie via afstromend regenwater in woonwijken in Nederland worden afgeleid. Uitgaande van 100.000 ha woongebied (CBS, 1997) levert dit de waarden op die staan weergegeven in tabel 8. In de tabel wordt de berekende emissie door afstromend regenwater vergeleken met de totale landelijke emissie naar water en riool door alle bronnen.

Uit tabel 8 blijkt dat de emissie van de metalen zink, cadmium en lood via afstromend regenwater relatief omvangrijk is. Voor het stedelijk waterbeheer vormt het terugdringen van de (diffuse) verspreiding naar water en riool van deze stoffen een belangrijk aandachtspunt.

Tabel 8. Schatting van de emissie via afstromend regenwater in woonwijken in Nederland en vergelijking met de totale emissie naar riool en oppervlaktewater uit alle emissiebronnen.

Component	woonwijken	landelijke emissie direct op oppervlaktewater ¹⁾	landelijke emissie op riolering ¹⁾
kton/j			
zw.stof	24	-	-
CZV	27	-	-
Nkj	1	-	-
Ptot	0,2	6,8	9,5
ton/j			
koper	9	45	153
lood	21	64	125
zink	181	202	597
cadmium	0,9	0,6	1,0
olie	22	-	-
PAK-16	0,5	-	-

1) Bron: Draaijers, 1997.

Tabel 7. Emissie door afstromend regenwater (vrachten).

component		woonwijk ¹⁾		natte depositie	droge depositie
zwevend stof (kg/ha/j)	gem. ³⁾	243	n ²⁾ =6		
	min.	88	n=6		
	max.	596	n=6		
CZV (kg/ha/j)	gem.	273	n=9		
	min.	77	n=9		
	max.	505	n=9		
Nkj (kg/ha/j)	gem.	11,4	n=5		
	min.	3,0	n=5		
	max.	28,7	n=5		
P tot. (kg/ha/j)	gem.	2,2	n=11		
	min.	0,8	n=11		
	max.	3,7	n=11		
Cu (g/ha/j)	gem.	88	n=11	a) 14	b) -
	min.	20	n=11	9	-
	max.	201	n=11	17	-
Pb (g/ha/j)	gem.	209	n=11	30	35
	min.	30	n=11	24	17
	max.	440	n=11	39	49
Zn (g/ha/j)	gem.	1811	n=11	126	30
	min.	238	n=11	86	13
	max.	5460	n=11	176	51
Cd (g/ha/j)	gem.	9,1	n=7	1,0	0,56
	min.	0,2	n=7	1,0	0,41
	max.	24,0	n=7	2,0	1,00
olie (g/ha/j)	gem.	218,5	n=3		
	min.	95,3	n=3		
	max.	343,1	n=3		
PAK-16 (g/ha/j)	gem.	4,7	n=3		
	min.	1,1	n=3		
	max.	8,2	n=3		

1) gebruikte literatuur staat vermeld in bijlage 3.

2) n geeft het aantal gebruikte gegevens aan.

3) gem. = het gemiddelde van in de literatuur aangegeven gemiddelde waarden. Indien in de literatuur slechts de spreiding was beschreven is deze niet bij de berekening van het gemiddelde meegenomen. Vandaar dat extreme maxima in deze tabel soms niet doorwerken in het gemiddelde.

a) bron: RIVM, 1996.

b) bron: SPEED, 1993.

4. Factoren die de vuillast van (afstromend) regenwater bepalen.

4.1 Vervuilingsbronnen.

Vervuilingsbronnen regenwater.

De neerslag raakt verontreinigd door emissies naar de lucht. Belangrijke vervuilingsbronnen zijn:

- de industrie (bv. stofdeeltjes, metalen, vluchtige organische stoffen);
- de huishoudens (bv. metalen en PAK, bij onvolledige verbranding in allesbranders/open haarden);
- het verkeer (bv. PAK, metalen en olie; door slijtage van banden, wegdek en remvoeringen, door verbrandingsresten van benzine en diesel, door lekverliezen van motorolie, door corrosie van metalen onderdelen en door slijtage van bovenleidingen);
- de landbouw (bv. bestrijdingsmiddelen).

Atmosferische depositie.

De verwijdering van stoffen uit de atmosfeer vindt plaats volgens een aantal fysische en chemische processen, namelijk:

- droge depositie van gasvormige stoffen en aerosolen;
- natte depositie van gassen en aerosolen;
- coagulatie van aerosolen gevolgd door depositie;
- chemische omzettingen in de atmosfeer.

De verspreiding van verontreinigingen via de lucht is zeer complex. Als stoffen in hogere luchtlagen terecht komen kunnen ze over zeer grote afstanden worden verspreid. Dit is lang niet altijd het geval. Bijvoorbeeld bij (spoor)wegen slaat de meeste vervuiling op korte afstand neer. De mate van verwaaiing is sterk afhankelijk van de verkeersintensiteit (Oldenkamp, 1986 en Berbee, 1996).

Vervuilingsbronnen afstromend regenwater.

Zoals uit voorgaande hoofdstukken blijkt neemt bij afstroming van regenwater van verhard oppervlak de verontreiniging toe. Vuildeeltjes spoelen af, stoffen lossen op, of komen via uitloging of corrosie in het regenwater terecht. Stoffen in straatvuil die goed oplossen en met regen worden weggespoeld zijn: NO, SO₃, HF, HCl, H₂S, CS₂, benzopyreen, roet, stof en vliegias (Oldenkamp, 1986).

Belangrijke vervuilingsbronnen bij afstroming van regenwater zijn:

- De toegepaste materialen bij gebouwen, verharding en straatmeubilair. Door corrosie en uitloging van bouwmaterialen, met name daken, dakgoten, regenpijpen, balustrades, wegdek (asfalt, beton of steen), lantaarnpalen en overig straatmeubilair komen verontreinigende stoffen (bijvoorbeeld PAK en metalen) in het regenwater terecht.
- Het verkeer. De op verhard oppervlak neergeslagen vervuiling (PAK, metalen olie) stroomt voor een deel mee af.
- Onkruidbestrijding met chemische middelen.

Bij geringe regenval is de verontreiniging afkomstig van het verhard oppervlak, bij zware buien speelt ook de bijdrage van niet-verhard oppervlak mee (De Burger, in prep.). In Oldenkamp (1986) worden tuinen als belangrijke bron voor het zwevend stof gehalte in het afstromende water genoemd..

Een recent overzicht van de omvang van de emissies staat beschreven in Kuppen (in prep.). In dit rapport is getracht een massabalans op te stellen voor verontreinigingen in communaal afvalwater. In tabel 9 staat de door Kuppen berekende omvang van de vervuilingsbronnen van afstromend regenwater samengevat.

**Tabel 9. Omvang emissies van voornaamste vervuiliingsbronnen van afstromend regenwater.
(Bron: Kuppen, in prep.)**

kg/j	Hg	Cd	Pb	Zn	Ni	Cr	PAK
atmosferische depositie	8	111	4977	4190	3238	437	1451
bouwmaterialen	-	40	100.425	442.948	5342	13.362	-
verkeer	-	50	8297	12.759	238	285	1730
Totaal	8	201	113.699	459.897	8818	14.084	4181

4.2. Factoren die de afstroming en emissie naar water beïnvloeden.

Afvloeiingscoëfficiënt.

De gemiddelde regenval ligt in Nederland tussen de 750 mm en de 850 mm per jaar (Oldenkamp, 1986). Er zijn behoorlijke verschillen per regio. Regionale verschillen worden bepaald door temperatuurverschillen tussen land en zee, door hoogteverschillen en door industriële activiteiten. Slechts een deel van de regen die op verhard oppervlak terechtkomt stroomt af. De factoren die de afstroming beïnvloeden zijn verdamping, plasvorming, de hellingshoek van het terrein en mate van infiltratie van het regenwater. Het deel van de regen dat afstroomt, de afvloeiingscoëfficiënt, kan sterk verschillen per oppervlak. Bijvoorbeeld bij platte daken is er relatief meer retentie en verdamping dan bij schuine daken en bij klinkerbestrating spoelt minder af dan bij asfaltverharding.

Op basis van gegevens uit 1972 zijn in Oldenkamp (1986) afvloeiingscoëfficiënten voor diverse materialen aangegeven:

- asfalt (DAB) 0,8-0,95
- beton 0,8-0,95
- klinkers 0,4-0,85
- plaveisel 0,4-0,5
- steenslag 0,3-0,5
- daken 0,75-0,95

In Kuppen (in prep.) wordt een gemiddelde van 0,7 voor stedelijk gebied gehanteerd (0,65 voor wegen en 0,85 voor daken). Bij de regenwater onderzoeken in Amsterdam en Utrecht is een gemiddelde afvloeiingscoëfficiënt van 0,6 aangehouden. In beide steden bleek dat in de praktijk een lagere afvloeiingscoëfficiënt realiteit is. Inmiddels is TU Delft een nader onderzoek gestart naar het deel van de neerslag dat afspoelt in stedelijk gebied.

Afspoeling van verontreinigingen.

Bij afspoeling van verontreinigingen zijn een groot aantal factoren van belang. In de literatuur staan de volgende factoren genoemd:

- de regenintensiteit (snelheid i.v.m. kinetische energie);
- de stromingsprocessen;
- de totale regenval;
- de verliezen tijdens de afstroming;
- de droogweelperiode (tijd tussen de bui en de vorige bui bepaalt hoeveel vuil zich verzamelt);
- het verhardingsmateriaal (op asfalt is meer vuil aanwezig dan op beton);
- de konditie van het wegdek (meer vuil op wegen in slechte konditie);
- de deeltjesgrootte van het vuil (in straatvuil zijn de meeste deeltjes tussen de 45-850 μm);
- de functie van het verhard oppervlak (bijvoorbeeld de aanwezigheid straatmeubilair);
- het seizoen;
- klimatologische omstandigheden;
- atmosferische expositie;
- aanwezigheid corrosieve componenten (chloride, SO_2);
- de frequentie van straatvegen;
- de verkeersintensiteit tijdens een bui (in verband met het waseffect van de bui);
- de aanwezigheid van een trottoirband (deze beïnvloedt de afstroming en zorgt voor ophoping van straatvuil);
- de snelheid van het verkeer;
- de nabijheid van verticale wanden (gebouwen, schermen);
- calamiteiten.

Opname van verontreinigingen door afstromend regenwater en transport van de verontreinigingen is dus afhankelijk van zowel de intensiteit als het debiet van de neerslag. De regenintensiteit bepaalt onder andere het losmaken van deeltjes die verkleefd zijn met het oppervlak (Oldenkamp, 1986).

Een deel van de verontreiniging afkomstig van verkeer verwaait door wind, of turbulentie veroorzaakt door langsrijdend verkeer, een ander deel komt in het wegwater terecht. In de rapportage van het CIW/CUWVO over regenwater van wegen zal nader op de verspreiding van stoffen afkomstig van het wegverkeer worden ingegaan.

De literatuurgegevens over de effecten van straatvegen op de vuillast zijn wisselend (Oldenkamp, 1986). Vegen kan de vuillast met 10-30% terugbrengen. Het effect is laag, omdat kleine deeltjes niet worden weggeveegd, terwijl het gehalte aan verontreinigingen aan deze deeltjes relatief hoog is. Er zijn ook studies waar zelfs een hogere vuillast na vegen is gevonden. Waarschijnlijk worden door het vegen deeltjes losgemaakt, die dan met de volgende bui kunnen afspoelen. Gebleken is dat de tijd tussen een bui en de laatste veegbeurt van belang is. Overigens is het verwijderen van bloesem en bladeren in het voor- en najaar wel effectief om de vuillast te beperken (met name voor BZV).

Klimatologische omstandigheden en atmosferische expositie zijn voor de mate van corrosie van materialen van belang (vorst/dooi cycli, wind en regen). Chloride (bijvoorbeeld afkomstig van strooizout) en SO_2 in lucht en regenwater zijn belangrijke corrosieve componenten.

Een directe invloed van bovengenoemde factoren is niet altijd aantoonbaar. In Bakker (1988) staat een onderzoek beschreven naar de vuiluitworp van twee gescheiden stelsels. In dit onderzoek kon geen verband worden aangetoond tussen de droogweelperiode en de vervuiling van het geloosde regenwater en ook niet tussen het geloosde volume en het vuilgehalte. Dit betekent echter niet dat deze factoren niet van invloed zijn, maar dat de droogweelperiode en het volume in dat onderzoek blijkbaar beperkter van invloed waren dan andere factoren. Er was bijvoorbeeld wel verband tussen de neerslagintensiteit en de uitworp van chemisch zuurstofverbruik en zwevend stof. Uit het onderzoek bleek dat ondanks een groot verschil in gehalten tussen de twee onderzoeksgebieden de vuilvrachten per gebeurtenis van gelijke grootteorde waren.

5. Conclusies en aanbevelingen.

Regenwater.

In regenwater kunnen, nog voordat het in contact is gekomen met het verhard oppervlak, hoge concentraties voorkomen aan verontreinigingen. De geografische verschillen zijn groot door de bijdrage van allerlei lokale emissiebronnen. De neerslag kan een belangrijk aandeel van de totale belasting van oppervlaktewater voor z'n rekening nemen. Op landelijke schaal geldt dit met name voor PAK, PCB en bestrijdingsmiddelen. Lokaal, bijvoorbeeld nabij industrie en wegen, kan ook de natte depositie van andere stoffen (met name metalen) een belangrijke diffuse verontreinigingsbron voor het oppervlaktewater vormen.

Er zijn geen wettelijke normen vastgesteld waaraan neerslag moet voldoen. Toch is het in het kader van het gebiedsgericht diffuse bronnen beleid zinnig om over een toetsingskader te beschikken waarmee ruwweg kan worden nagegaan of de regenwatersamenstelling een probleem vormt. Een bruikbaar toetsingskader vormen de kritische niveaus in lucht en regenwater, die in de rapportage van de Interdepartementale Werkgroep Integrale Normstelling Stoffen (IWINS, 1997) zijn opgenomen. Worden waarden gevonden die hoger liggen dan deze kritische niveaus dan kunnen emissies naar de lucht van belang zijn voor de belasting van het oppervlaktewater of de bodem. Voor een aantal stoffen staan de kritische niveaus aangegeven in tabel 10.

Aanbevolen wordt met dit toetsingskader voor regenwater praktijkervaring op te doen in het stedelijk waterbeheer. Er kan mee worden nagegaan of atmosferische depositie een lokale (diffuse) bron is waarvoor nader onderzoek naar de oorzaak en mogelijke maatregelen gewenst is.

Tabel 10. Kritische niveaus in lucht en regenwater.
(Bron: IWINS, 1997).

Stof	kritisch niveau regenwater ($\mu\text{g/l}$)	kritisch niveau lucht ($\mu\text{g/m}^3$)
Benzo(a)pyreen	0,2	0,001 ¹⁾
Naftaleen	7,8	140
Anthraceen	6,5	8,6
Fenanthreen	28	33
Fluorantheen	54	13
Benzo(a)anthraceen	5	0,2
Chryseen	230	1,3
Benzo(k)fluorantheen	47	0,2
Benzo(ghi)peryleen	147	0,7
Indeno(123-cd)pyreen	115	0,6
Cadmium	7,5	0,08
Chroom	920	9,2
Koper	41	0,4
Lood	50 ²⁾	0,5 ³⁾
Anorganisch kwik	18	0,09
Methyلكwik	6	0,03
Nikkel	320	3,2
Zink	1000	10

¹⁾ humane MTR, die lager is dan berekende kritische niveau lucht.

²⁾ afgeleid van de wettelijke grenswaarde voor lood in lucht.

³⁾ wettelijke grenswaarde, deze is lager dan het berekende kritische niveau.

Afstromend regenwater.

De concentratie aan verontreinigingen in het regenwater neemt bij afstroming van verhard oppervlak aanzienlijk toe. In de literatuur baseert men zich voor wat betreft de kwaliteit van afstromend regenwater vooral op het onderzoek dat door de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit eind jaren tachtig is uitgevoerd. Dit onderzoek is gebaseerd op metingen aan een beperkt aantal rioolstelsels. Gezien het grote aantal bepalende (lokale) factoren voor de kwaliteit van afstromend regenwater zijn de meetcijfers van het NWRW- onderzoek dus niet zonder meer voor elke situatie in Nederland representatief. Meer praktijkonderzoek, zoals uitgevoerd in gemeenten Amsterdam en Utrecht, kan de kennis over de samenstelling van afstromend regenwater en de factoren die de kwaliteit beïnvloeden vergroten. Met name het nader invullen van de invloed van het dakoppervlak en de verkeersintensiteit op de samenstelling van het afstromend regenwater is van belang om bij afkoppelen van verhard oppervlak een afgewogen keuze te kunnen maken. De rol van het RIZA kan zijn de nu in een data base verzamelde gegevens up-to-date te houden en de gegevens te analyseren en beschikbaar te stellen.

Aanbevolen wordt meer praktijkonderzoek uit te voeren naar de kwaliteit van afstromend regenwater, alle gegevens centraal te registreren en op basis van het overzicht actuele kentallen te genereren met betrekking tot (afstromend) regenwater.

Momenteel zijn de meetcijfers uit de literatuur door verschillen in methode en presentatie moeilijk vergelijkbaar. Ook is er vaak weinig aandacht voor het vastleggen van relevante factoren, die de kwaliteit van het afstromend regenwater beïnvloeden. Door standaardisatie van de monitoring kunnen onderzoeken onderling beter vergelijkbaar worden gemaakt. Een aanzet tot harmonisatie van de monsternamen is te vinden in de STOWA studie "Metingen aan rioolstelsels en oppervlaktewater" (STOWA, 1996). STOWA doet in dit onderzoek aanbevelingen voor metingen aan water in regenwaterriolen.

Het is wenselijk om regenwateronderzoek te standaardiseren door het opstellen van een protocol met betrekking tot monsternamen van (afstromend) regenwater per type verhard oppervlak en het opstellen van een checklist van relevante te registreren (omgevings)factoren.

Uit de beschikbare meetcijfers blijkt dat het meestal om dezelfde stoffen gaat die in het afstromend regenwater in hoge concentratie voorkomen. Dit zijn zink, koper, lood, olie en PAK.

Aanbevolen wordt om in het stedelijk waterbeheer en het duurzaam bouwen beleid meer aandacht te schenken aan het nemen van maatregelen met betrekking tot de voornaamste vervuilingbronnen van regenwater, zijnde verkeer en bouwmaterialen, en de effecten van de genomen maatregelen te monitoren.

6. Literatuur.

- Baart, A.C., J.J.M. Berdowski en J.A. van Jaarsveld, 1995.
Calculation of atmospheric deposition of contaminants on the North Sea.
TNO-MW, Delft. Rapportnr.: R95/138.
- Baas, J. en J.H. Duyzer, 1997.
Pilotstudie naar concentraties pesticiden in lucht en regenwater in Naaldwijk, de Zilk en Meetpost Noordwijk.
TNO-MEP, Apeldoorn in opdracht van RIKZ en TNO-MEP.
- Bakker, K., J. Timmer en L. Wensveen, 1988.
De vuiluitwerp van gescheiden rioolstelsels. NWRW 5.3.
DHV, Amersfoort. In opdracht van STORA.
- Berbee, R.P.M., G.B.J. Rijs en M.W. de Brouwer, 1996.
Behandeling afstromend wegwater van snelwegen.
RIZA, Lelystad. RIZA Notanr. 96.017.
- Boom, van L. en D. Heijnis, 1995.
Ernstige verontreiniging van oppervlaktewater en neerslag door bestrijdingsmiddelen in een agrarisch gebied.
H2O (28) 1995, pp. 489-493.
- Burger, M., de, in prep.
Kwaliteit afstromend hemelwater en de mogelijkheid tot afkoppelen in de vinex-locatie Leidsche Rijn.
Ingenieursbureau Utrecht, Utrecht. Dossiernr. 970601.
- CBS, 1997. Statistiek van het bodemgebruik 1993.
Centraal Bureau voor de Statistiek.
- Coppoolse, J., F. van Bentum, M. Schwartz, J. Annema en C. Quarles van Ufford, 1993.
Zware metalen in oppervlaktewater. Bronnen en maatregelen. SPEED. RIZA nota 93.012 en RIVM nota 773003001.
- CUWVO, 1992. Overstortingen uit rioolstelsels en regenwaterlozingen. Coördinatiecommissie Uitvoering Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren, werkgroep VI, april 1992.
- Dienst Waterbeheer en Riolering, in prep.
Tussenrapportage Project Helofytenfilter Erasmusgracht.
Dienst Waterbeheer en Riolering, sector Waterbeheer Amsterdam.
- DHV, 1997.
Regenwaterlozingen. Samenstelling en vrachten van deelstromen uit gescheiden stelsels. Fase 1 literatuuronderzoek. DHV, Amersfoort. In opdracht van Riolerings- en waterhuishouding Amsterdam. Rapportnr. L8058-01-001.
Primaire literatuurbronnen voor meetcijfers:
Ven, van de F., & A. Oldekamp, 1987. Kwaliteit van de afgevoerde neerslag van een hoofdweg in Lelystad. H2O, 20 (7): 148-151.
Dannecker, W., M. Au and H. Stechman, 1990. Substance load in rainwater runoff from different streets in Hamburg. The Science of the Total Environment, (93): 385-392.
Grottke, M., 1986. Runoff quality from a street with medium traffic loading. Institut für wasserwirtschaft, Universität Hannover. Highway Pollution, second International Symposium 7, july 1986. Middlesex Polytechnic and University of Essex.
Gupta, M., R. Agnew, D. Graber and D. Kreutzberger, 1981. Characteristics of Highway Runoff from Operating Highways. Constituents of Highway Runoff Volume IV. Research Report no. FHWA/RD-81/045.

- Klein, H., 1982. Die Beschaffenheit der Niederschlagsabflüsse von Autobahnen. *Wasserwirtschaft* 72, (2): 37-43.
- Sieker, F. and R. Harms, 1987. Kriterien für Betrieb und Bemessung von Anlagen zur gezielten Versickerung des Niederschlagsabflusses. Teil 2: abschlussberichtes zum BMFT-Forschungsvorhaben. Hannover 1987.
- Xanthopoulos, C. and H. Hahn, 1993. Antropogenic pollutants wash-off from street surfaces. *Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage*. Volume I: 417-422.
- Sansalone, J. and S. Buchberger, 1995. An infiltration device as a best management practice for immobilizing heavy metals in urban highway runoff. *Water Science and Technology*, vol. 32, no.1, pp. 119-125.
- Bannerman, R., D. Owens, R. Dodds and N. Hornewr, 1993. Sources of pollutants in Wisconsin stormwater. *Water Science and Technology*, vol. 28, no. 3-5, pp. 241-259.
- Paulsen, O., 1984. Analyse und Simulation von Schmutz-stoffganglinien des Regenwasserabflusses. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover.
- Hewitt, C. and M. Rashed, 1992. Removal rates of selected pollutants in the runoff waters from a major highway. *War.Res.*, 26 (3): 311-319.
- Astruc, A., M. Astruc, S. Beguin and P. Mericam, 1979. Qualite chimique des eaux de ruisellement d' une ville moyenne. *T.S.M.-L'eau*, 74 (2): 79-85.
- Kern, U., W. Wüst, J. Daub, T. Striebel and R. Herrman, 1992. Abspülverhalten von Schwermetallen und organischen Mikroschadstoffen im Strassenabfluss. *Gwf-Wasser/Abwasser*, 133 (11): 567-574.
- Golwer, A. and W. Schneider, 1979. Belasting des onderirdischen wassers met anorganische Spurstoffen im Gebiet von Strassen. *Gwf-Wasser/Abwasser*, 120 (10): 461-467.
- Golwer, A. and W. Schneider, 1982. Belasting des Grundwassers met anorganische Stoffen im Gebiet von Strassen. *Gwf-Wasser/Abwasser*, 123 (7): 329-342.
- Youssef et al. 1985. Consequential Species of Heavy Metals in Highway Runoff. *Transportation Research Record* 1017, TRB, National Research Council, Washington D.C.: 56-62.
- Quek, U. & J. Förster, 1993. Trace metals in roof runoff. *Water, Air and Soil Pollution*, 68: 373-389.
- Daktype: zink, pannen met koper, bitumen.
- Bannerman, R., D. Owens, R. Dodds and N. Hornewr, 1993. Sources of pollutants in Wisconsin stormwater. *Water Science and Technology*, vol. 28, no. 3-5, pp. 241-259.
- Pitt, R., R. Field, L. Melinda and M. Brown, 1995. Urban stormwater toxic pollutants: assessment, sources, and treatability. *Water Environment Research*, vol. 67, no.3.
- Draaijers, G., J. Berdowski, H. Leneman, G. Rood, D. de Vries en E. Zonneveld, 1997. Emissies in Nederland. Trends, thema's en doelgroepen 1995 en ramingen 1996. *Publicatiereeks Emissieregistratie*, nr. 38.
- Geldof, G., S. de Jong, A. de Braal en E. Marsman, 1997. Water in de stad; gescheiden waterstromen. *TauwMabeg Civiel en Bouw*, Deventer. In opdracht van Rijkswaterstaat RIZA.
- Interdepartementale Werkgroep Integrale Normstelling Stoffen (IWINS), 1997. Integrale Normstelling Stoffen - Milieukwaliteitsnormen bodem, water, lucht VROM rapportnr. 22152/208.
- Koot, A., 1977. Inzameling en transport van rioolwater. Uitgeverij Waltman Delft.
- Kuppen, I., in prep. Strategie voor de aanpak van microverontreinigingen in communaal afvalwater. Deelrapport fase II inventarisatie emissiebronnen. Haskoning, Nijmegen. In opdracht van RIZA.
- Lambrechts, A., S. de Jong, 1996. Leidraad aan- en afkoppelen verharde oppervlakken. Rapportnr. 950689. *Tauw Civiel en Bouw*, Deventer. In opdracht van werkgroep Riolerings West-Nederland.
- Liere et al., van, 1997. Emissies naar lucht, en atmosferische depositie op Nederland en de Noordzee. *Watersysteemverkenningen* 1996. RIVM, Bilthoven en RIZA, Lelystad. RIZA werkdocument 97.050X en RIVM rapport 732404008.

- Oldenkamp, S., A. van Campen, F. Szücs en J. Woelders, 1986.
Verhard oppervlak en watervervuiling. NWRW rapportnr. 7.1.
Tauw Infra Consult, Deventer. In opdracht van het ministerie van VROM.
- Oldenkamp, S. en A. van Campen, 1989.
De kwaliteit van afstromend regenwater. Praktijkonderzoek in Nederland. NWRW rapport nr. 7.2.1.
Tauw Infra Consult, Deventer. In opdracht van het ministerie van VROM.
- Poorte, J. de en C. van Leeuwen, 1997.
Hoe giftig is regenwater? H2O (30) 1997, nr.6, pp. 168-171.
- Provincie Zuid Holland, 1994.
Milieukwaliteit van het landelijk gebied in Zuid-Holland 1983-1992. Overzicht van 10 jaar meten in het kader van het Project Integratie Milieumetingen. Provincie Zuid-Holland, Den Haag.
- Provincie Zuid-Holland, 1994.
Bestrijdingsmiddelen in neerslag in Zuid-Holland. Provincie Zuid-Holland, den Haag.
- Rioned, 1998.
Riool in cijfers 1996. Stichting Rioned. (via Internet).
- RIVM, 1996.
Achtergronden bij Milieubalans 1996. Samsom H.D. Tjeenk Willink, Alphen aan de Rijn.
- Schaminée, J, R. Maasdam en R. van der Meer, 1996.
Bestrijdingsmiddelen klei. Waterschap Friesland, Leeuwarden.
- Somhorst, M.H.M., A.P. Stolk, 1996.
Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling. Meetresultaten 1994.
RIVM, Bilthoven. Rapportnr. 723101027.
- STOWA, 1996.
Metingen aan rioolstelsels en oppervlaktewater. Leidraad voor metingen en meetprogramma's
ISBN 90.74476.48.1.
- Tauw, 1991.
Onderzoek naar de verontreiniging van hemelwater op bedrijfsterreinen.
Tauw Infra Consult. Deventer, in opdracht van ministeries van Verkeer en Waterstaat en Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Rapportnr.5101319.
- Waal Malefijt, de A.J.W., 1982.
Cadmium, chroom, koper, lood, nikkel en zink in huishoudelijk afvalwater en in af te voeren neerslag.
H2O (15) 1982, blz. 355-361.
Primaire literatuurbronnen voor meetcijfers:
RIZA. Onderzoek naar de aanwezigheid van niet-zuurstofbindende en milieuvreemde stoffen in afvalwaterstromen, effluënten van rioolwaterzuiveringsinrichtingen en regenwaterafvoeren. Rapport nr. 80.034, Rijkswaterstaat, 1980.
Locaties: Epe, Dordrecht.
Brinkman, F. Meetnet regenwaterkwaliteit. H2O (11) 1978, nr 21.
Locatie: Epe, Dordrecht, Spijkenisse, Zierikzee, Middelburg.
Centraal Bureau voor de Statistiek. Voorlopige uitkomsten concentraties luchtverontreiniging. Metingen april 1978 - maart 1979. Voorburg, 1979.
Locaties: Eindhoven, Limburg.
Conrads, L. A. en Buysman, E. Chemie van regenwater. De invloed van stad en industrie. KRP-rapport 34, Utrecht, 1973.
Locaties: Utrecht e.o.

Wagemaker, F., G. Verstappen, 1997.
Verslag van de emissie-analyse. Watersysteemverkenningen 1996.
RIZA, Lelystad. Werkdocument 97.130X.

BIJLAGEN.

Bijlage 1. Componenten landelijk meetnet regenwater.

Het landelijk meetnet bestaat uit 14 meetstations, de volgende componenten werden in 1994 bepaald:

- hoofdcomponenten:

geleidbaarheid, pH, hydronium (vrij zuur), natrium, kalium, calcium, magnesium, fluoride, chloride, nitraat, sulfaat en fosfaat.

- anorganische microcomponenten:

cadmium, koper, ijzer, mangaan, lood en zink.

Op drie stations (*) werden ook arseen, chroom, nikkel en vanadium gemeten en op twee stations (#) werd tevens kwik gemeten.

- op één station (B) werden de volgende bestrijdingsmiddelen gemeten:

2,4-D, 2,4,5-T, atrazine, bentazon, cyanazin, desethylatrazin, desisopropylatrazin, dichloorprop, lindaan, MCPA, mecoprop, metalochloor en simazin.

Lindaan werd tevens op twee andere stations (#) gemeten.

De meetstations bevinden zich op de volgende locaties:

locaties meetnet regenwater
Beek
Biddinghuizen
Bilthoven
Braakman
De Bilt (B) (#)
De Zilk (*) (#)
Eibergen
Gilze-Rijen
Huijbergen
Kollumerwaard (*)
Rotterdam (*)
Speulderveld
Vredepeel
Wageningen
Wieringerwerf
Witteveen

Bijlage 2. Meetgegevens meetnet regenwatersamenstelling RIVM.

Enkele meetgegevens uit het meetnet regenwatersamenstelling RIVM. Gepresenteerd zijn de jaargemiddelde concentratie en de natte depositie in 1994. $Q_{1994} = 936,5 \text{ mm}$.

component	concentratie				natte depositie			
	gem.	min.	max.	eenheid	gem.	min.	max.	eenheid
pH	5,16	4,53	5,55	-	-	-	-	-
K25 (geleidbaarheid)	26,9	22,3	37,1	S/cm	-	-	-	-
H+	5,0	-14	38	$\mu\text{g/l}$	4,5	-14,1	26,7	mg/m^2
NH ₄	1296	1044	1890	„	1211,4	759,6	1742,4	„
NO ₃	2108	1798	2356	„	1959,2	1413,6	2548,2	„
SO ₄	2979,1	2306,4	3747,9	„	2748,5	2200,7	3305,8	„
PO ₄	19,0	9,5	47,5	„	21,3	2,47	37,1	„
F	17,1	7,6	36,1	„	15,0	7,9	25,4	„
Cl	2378,5	1278	4757	„	2204,6	972,7	4178,4	„
Na	1357	713	2714	„	1251,2	556,6	2373,6	„
K	164,2	121,2	258,1	„	152,9	115,0	226,8	„
Mg	170,1	97,2	340,2	„	162,6	85,1	305,0	„
Ca	280,7	160,4	601,5	„	262,7	179,6	530,5	„
Fe	44,7	22,4	78,3	$\mu\text{g/l}$	37,5	24,3	67,9	$\mu\text{g/m}^2$
Cu	1,9	1,3	2,5	„	1,4	0,9	1,7	„
Zn	13,1	6,5	26,2	„	12,6	8,6	17,6	„
Cd	0,1	0,1	0,3	„	0,1	0,1	0,2	„
Pb	4,1	2,1	4,1	„	3,0	2,4	3,9	„

Bijlage 3. Gebruikte literatuur samenstelling (afstromend) regenwater.

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de literatuur die gebruikt is om een EXEL data base te vullen met gegevens over de samenstelling van (afstromend) regenwater. De in de data base verzamelde gegevens vormen de basis van de in hoofdstuk 2 en 3 gepresenteerde overzichtstabellen. In de database zijn naast gehalten ook zoveel mogelijk andere relevante gegevens opgenomen, zoals het aantal genomen monsters e.d.

Type gegevens		Literatuur (n) ¹⁾	
samenstelling neerslag		Somhorst et al., 1996.	(15)
		Tauw, 1991.	(5)
		Berbee et al., 1996.	(2)
		Waal Malefijt, 1982.	(1)
afstromend regenwater van wegen	rustige weg	Oldenkamp et al., 1989.	(1)
	drukke weg	Oldenkamp et al., 1989.	(3)
		DHV, 1997.	(3)
		Oldenkamp et al., 1986.	(2)
	parkeerterrein	Oldenkamp et al., 1989.	(3)
afstromend regenwater van daken	snelweg	Berbee et al., 1996.	(11)
		DHV, 1997.	(1)
	dak zonder koper en zink	Oldenkamp et al., 1989.	(1)
	dak met koperen delen	DHV, 1997.	(1)
	dak met zinken delen	Oldenkamp et al., 1989.	(2)
water in regenwaterriolen	zinken dak	DHV, 1997.	(2)
	bitumen dak	Oldenkamp et al., 1989.	(1)
		DHV, 1997.	(1)
	diverse daken	DHV, 1997.	(2)
	woonwijken	De Burger, in prep.	(3)
vrachten		Oldenkamp et al., 1989.	(1)
		Bakker et al., 1998.	(3)
		DHV, 1997.	(1)
		DWR, in prep.	(1)
		Oldenkamp et al., 1986.	(1)
vrachten		Koot, 1977.	(1)
	bedrijfstereinen	Oldenkamp et al. 1989.	(18)
		Tauw, 1991.	(6)
	winkelgebied	Oldenkamp et al., 1986.	(1)
	woonwijk	De Burger, in prep.	(3)
		Bakker et al. 1988	(2)
		DHV, 1997.	(6)

¹⁾ n = aantal locaties/gebruikte gegevens.