



Universiteit Twente
de ondernemende universiteit

Zuiveren van afstromend hemelwater?!

**Beslismodel ter ondersteuning
van keuze voor bronmaatregelen
en ‘end of pipe’-voorzieningen**

Auteur: C.P.M. van Rens
Commissieleden: dr. ir. D.C.M. Augustijn (UT)
ir. S. Hommes (UT)
ir. E.C. Hartman (DHV)
ir. R.W. Stapel (DHV)
Dossiernummer: 35140-74-120
Registratienummer: WA-WA20060262
Versie: definitief
Datum: april, 2006

VOORWOORD

Het voor u liggende rapport is mijn afstudeerverslag voor de studie Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Voor Adviesbureau DHV te Amersfoort heb ik vanaf halverwege juli 2005 tot april 2006 een onderzoek uitgevoerd naar een afwegingsmethodiek van zuiverende maatregelen voor afstromend hemelwater. Ik heb een leuke tijd gehad bij de afdeling Watersystemen en veel kunnen leren over DHV en stedelijk waterbeheer.

Graag zou ik via deze weg mijn dankwoord willen geven aan mijn afstudeercommissie: Emil Hartman, Wouter Stapel, Denie Augustijn en Saskia Hommes. Ze hebben me regelmatig en tijdig voorzien van informatie en opbouwende feedback, waardoor er een prettige samenwerking heeft plaatsgevonden. Ook wil ik Wijnand Turkensteen bedanken, die twee maanden na het begin van mijn afstuderen naar Australië verhuisde en mijn afstudeercommissie moest verlaten. Waterschap Zuiderzeeland en Gemeente Almere wil ik bedanken voor hun bijdrage en voor de informatie uit de praktijk.

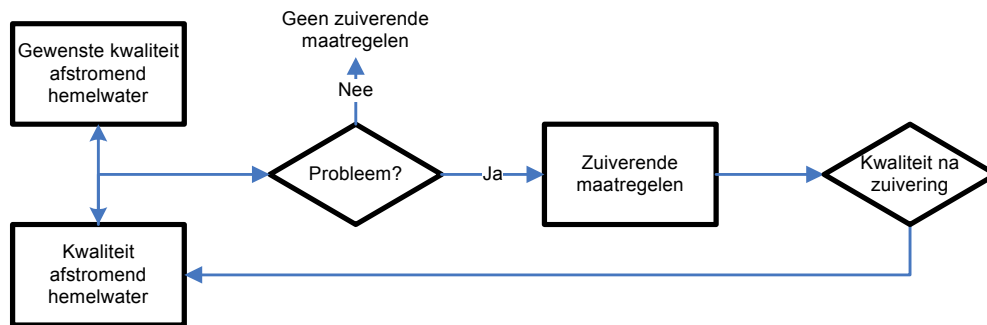
Daarnaast wil ik nog vele mensen bedanken die me tijdens mijn studie hebben bijgestaan. Zo hebben Thijs, Bertine, Nieke en Edwin, vrienden uit Horst, Zwicked! Het Huisch, Dispuut Panta Rhei, JC Amoras, studievrienden en hockeyclub Drienerlo allemaal een positieve bijdrage geleverd aan de voltooiing van mijn studie of de invulling van mijn studentenleven. Het was mooi!

Veel plezier met het doorlezen van mijn rapport,

Chris van Rens
April, 2006

SAMENVATTING

Het afkoppelen van afstromend hemelwater van het vuilwaterriool heeft een aantal milieuvoordelen en wordt daarom steeds vaker toegepast. Om verantwoord om te gaan met afkoppelen zijn beslisbomen opgesteld. De huidige beslisbomen zijn echter vrij algemeen en beperkt toepasbaar voor een specifieke locatie. De doelstelling van dit onderzoek is: *“ontwikkelen van een beslismodel waarmee, door invulling van specifieke gebiedsinformatie, kan worden bepaald of en hoe afstromend hemelwater gezuiverd moet worden en bronmaatregelen moeten worden toegepast, voordat het water wordt geloosd op het oppervlaktewater.”* Indien de kwaliteit van het afstromend hemelwater niet voldoet aan de gewenste kwaliteit van het afstromend hemelwater, moeten er zuiverende maatregelen worden toegepast. (Figuur S.1) Het model is getest met een case in Almere.



Figuur S.1: Structuur onderzoek

Werking van het beslismodel

De belangrijkste stappen in het model zijn:

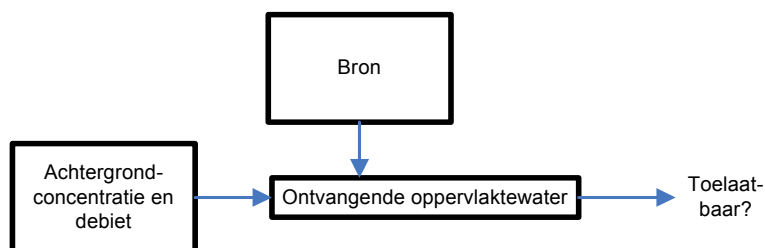
- Bepalen vracht probleemstoffen: aan de typen verhardingen zijn vuilgehalten gekoppeld. Door het oppervlak toe te kennen, wordt de vracht bepaald voor zink, koper, lood, PAK's en olie. De vracht wordt verminderd door invoer van percentages directe en indirecte bronmaatregelen en invoer van een percentage te zuiveren volume door 'end of pipe'-voorzieningen;
- Bepalen kwantiteit afstromend hemelwater: gemiddeld komt slechts 60% van het totale volume dat op verhard oppervlak valt tot afstroming. Invoer van percentages indirecte bronmaatregelen reduceert de hoeveelheid water die tot afstroming komt;
- Bepalen inpasbaarheid 'end of pipe'-voorzieningen: de dimensionering, afhankelijk van het te zuiveren jaarvolume, wordt vergeleken met het aanwezige oppervlak en de ruimte tot de grondwaterspiegel;
- Bepalen kosten: de aanlegkosten en de beheerskosten worden gekoppeld aan het aangesloten verhard oppervlak of de dimensionering van de maatregel.

Gewenste kwaliteit afstromend hemelwater

Niet overal wordt voldaan aan de gewenste oppervlaktewaterkwaliteit. De doelstelling voor het oppervlaktewater is vaak het op korte termijn realiseren van het MTR en het realiseren van de streefwaarde op langere termijn. Om tot een effectieve verdere verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit te komen is een duidelijkere afstemming tussen de waterkwaliteitsdoelstellingen en de daarvoor benodigde emissiereductie gewenst. Hiervoor zijn door het CUWVO twee benaderingen opgesteld: prioritering en de immissietoets. Prioritering resulteert in een identificatie van meeste vervuilende stoffen en (groepen van) bronnen op watersysteemniveau. In overeenstemming met NW4 heeft de CUWVO ervoor gekozen de mate van overschrijding van het MTR als

belangrijkste criterium voor prioritering te nemen. Dit geeft echter geen goed beeld van de vrachtbelasting, omdat het afstromend volume van de bronnen zal verschillen. Door vrachten van verschillende bronnen met elkaar te vergelijken, vindt een eerlijkere vergelijking plaats. Het model berekent bij invulling van vrachtgegevens van overige bronnen het rendement van een zuiverende maatregel voor het ontvangende water.

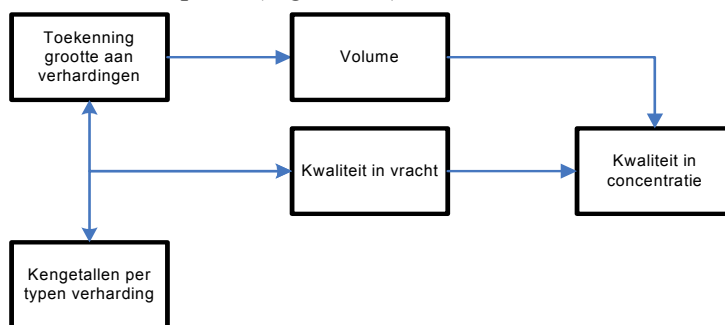
De immissietoets toets de toelaatbaarheid van een lozing. De maximale concentratie is afhankelijk van de achtergrondconcentratie en het debiet van de ontvangende watergang. (Figuur S.2) Hoewel de gegevens onnauwkeurig kunnen zijn, is dit een goede manier om de gewenste concentratie van het afstromend hemelwater te bepalen.



Figuur S.2: Immissietoets

Kwaliteit afstromend hemelwater

In dit onderzoek zijn vier typen verhardingen meegenomen: daken, wegen, parkeerplaatsen en schone oppervlakken. De eerste drie zijn opgedeeld in verschillende verontreinigingsklassen, die gekozen worden op basis van ‘verontreinigende activiteiten/eigenschappen’ van het oppervlak. Voor daken kan een keuze worden gemaakt op basis van het bouwjaar van de wijk, die is gerelateerd aan de uitloging van zink. Voor wegen en parkeerplaatsen zijn de verkeersintensiteit, snelheid en de zwaarte van het verkeer bepalend. Voor bedrijfsterreinen met kleine uitstoot gelden ongeveer de kengetallen die ook gelden voor wegen en daken in een normale wijk. Door berekening van het afstromend volume wordt de gemiddelde concentratie van het afstromend hemelwater bepaald (Figuur S.3).



Figuur S.3: Bepaling kwaliteit afstromend hemelwater

Zuiverende maatregelen

Er zijn in totaal elf zuiverende maatregelen meegenomen, die grofweg op te delen zijn in directe en indirecte bronmaatregelen, afscheiders en infiltratievoorzieningen. Afscheiders halen de aan slib gebonden delen uit het afstromende water door middel van bezinking. Infiltratievoorzieningen zuiveren naast een groot gedeelte van de gebonden stoffen ook een gedeelte van de opgeloste deeltjes. De maatregelen worden tegen elkaar afgewogen door vergelijking van de ‘score’ op volgende beoordelingscriteria: zuiveringspercentage, dimensionering en kosten.

Conclusies

- Het model legt, in tegenstelling tot de huidige beslisbomen, een directe relatie tussen kwaliteit van het afstromende hemelwater, het benodigde rendement van zuiverende maatregelen en de normen vanuit het ontvangende watersysteem.
- De gebruiker heeft de vrijheid zelf te bepalen hoe er tot de keuze van een zuiverende maatregel wordt gekomen. In hoofdlijnen kan dit op basis van 'rendement en kosten' en 'gewenste kwaliteit'. Voor beide benaderingen geldt dat de kengetallen slechts richtgetallen zijn.
 - o Door het rendement en kosten van de verschillende voorzieningen met elkaar te vergelijken, kan er een afweging worden gemaakt. Er kan hierbij ook rekening worden gehouden met andere bronnen die lozen op het ontvangend oppervlaktewater.
 - o De gewenste kwaliteit van het afstromend hemelwater kan worden bepaald door gebruik te maken van de immissietoets. Hoewel onnauwkeurig, kan hiermee de kwaliteit worden bepaald waaraan een lozing moet voldoen.
- Directe bronmaatregelen hebben beleidsmatig de voorkeur boven infiltreren. Infiltreren heeft vaak de voorkeur boven 'end of pipe'-voorzieningen.
- Het model heeft een aantal onbetrouwbaarheden:
 - o Voor voorzieningen met bering is de koppeling tussen het percentage jaarlijks te zuiveren volume en de benodigde berging niet gemaakt op basis van reeksberekeningen, maar op basis van regenduurlijnen. Dit is minder betrouwbaar, omdat er geen rekening wordt gehouden met de karakteristieken van een bui en de opeenvolging van buien.
 - o Door gebrek aan goede gegevens zijn de kosten niet aan de dimensionering van de voorzieningen gekoppeld.
 - o Zuiveringspercentages en bindingspercentages zijn moeilijk te voorspellen. Ze hebben wel veel invloed op de kwaliteit van het uitstromende water.

Aanbevelingen

- De kosten van de 'end of pipe'-voorzieningen moeten worden gekoppeld aan de dimensionering of de benodigde capaciteit van de voorziening.
- De berging in voorzieningen moet berekend worden met reeksberekeningen. De Leidraad Riolerings C2200, die binnenkort uitkomt, levert informatie voor de dimensionering van zuiverende voorzieningen van afstromend hemelwater.
- Een beter beeld van bindingspercentages van verontreiniging in afstromend hemelwater en zuiveringspercentages van zuiverende voorzieningen vergroot de betrouwbaarheid van het model.
- Het model kan worden uitgebreid indien er meer bekend is over de verontreiniging van busbanen en de aanwezigheid van bestrijdingsmiddelen in afstromend hemelwater.

INHOUDSOPGAVE

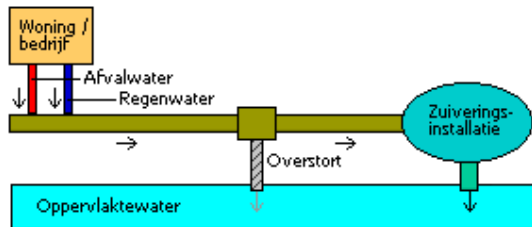
VOORWOORD.....	1
SAMENVATTING.....	2
INHOUDSOPGAVE	5
1 INLEIDING	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Probleemanalyse	8
1.3 Doelstelling.....	9
1.4 Onderzoeksopzet	9
2 BESLISMODEL.....	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Input	12
2.3 Model.....	14
2.4 Output	15
3 GEWENSTE KWALITEIT HEMELWATER.....	18
3.1 Wet- en regelgeving.....	18
3.2 Rijkswisje Waterketen.....	20
3.3 Europese Kaderrichtlijn Water	21
4 KWALITEIT HEMELWATER.....	23
4.1 Inleiding	23
4.2 Verontreiniging door atmosferische depositie.....	24
4.3 Verontreiniging door afstroming	24
5 VERBETEREN KWALITEIT HEMELWATER.....	27
5.1 Inleiding	27
5.2 Bronmaatregelen.....	28
5.3 Afscheiders.....	31
5.4 Zuiveren door infiltratie.....	34
5.5 Samenvatting beoordelingscriteria	37

6	CASE ALMERE.....	39
6.1	Situatieschets projectgebied.....	39
6.2	Maatregelen voor Waterwijk.....	42
6.3	Maatregelen voor virtuele Waterwijk	45
7	BETROUWBAARHEID MODEL	49
7.1	Zuiveringspercentage voorziening	49
7.2	Bindingspercentage verontreiniging	50
7.3	Duur neerslaggebeurtenis	51
7.4	Kengetallen	53
7.5	Afstromingscoëfficiënt doorlatende verharding.....	53
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	55
	LITERATUURLIJST	58
	VERKLARENDE WOORDENLIJST.....	60
	LIJST VAN TABELLEN EN FIGUREN.....	61
	BIJLAGE 1: BESLISBOOM WRW	61
	BIJLAGE 2: FORMULES IN MODEL	64
	BIJLAGE 3: IMMISSIETOETS	67
	BIJLAGE 4: INTRODUCTIE ONDERZOEKEN	69
	BIJLAGE 5: INDELING VERHARDINGEN.....	71
	BIJLAGE 6: OMREKENEN CONCENTRATIES EN VRACHTEN.....	73
	BIJLAGE 7: VERONTREINIGING OPGELOST OF GEBONDEN	75
	BIJLAGE 8: KENGETALLEN DAKEN	76
	BIJLAGE 9: KENGETALLEN WEGEN	79
	BIJLAGE 10: KENGETALLEN PARKEERPLAATSEN	81
	BIJLAGE 11: DIMENSIONERING ‘END OF PIPE’-VOORZIENINGEN	82
	BIJLAGE 12: AANLEG- EN BEHEERSKOSTEN.....	84

1 INLEIDING

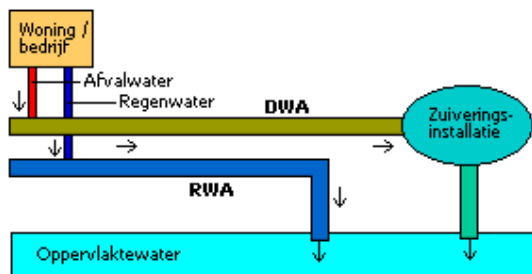
1.1 Aanleiding

Regenwater dat valt op verhard oppervlak, wordt traditioneel gezamenlijk met het huishoudelijk afvalwater naar de rioolwaterzuivering (RWZI) afgevoerd. Bij hevige neerslag is de capaciteit van gemengde stelsels (Figuur 1.1) niet toereikend. Dit leidt tot overstorten op het oppervlaktewater, waardoor het met afvalwater vermengde regenwater vissterfte kan veroorzaken.



Figuur 1.1: Schematisatie van gemengd stelsel [1]

Om de kwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren heeft de Coördinatiecommissie Uitvoering Wet verontreiniging oppervlaktewateren (CUWVO) gekozen voor een tweesporen aanpak, de basisinspanning en het waterkwaliteitsspoor. Via de basisinspanning was voor 2005 een vermindering van vuiluitworp van 50% beoogd ten opzichte van 1985. [2] De basisinspanning is bedoeld als referentieniveau voor de vuiluitworp vanuit rioolstelsels en geldt in principe voor alle rioolstelsels. Er bestaat geen direct verband tussen basisinspanning en de gewenste waterkwaliteit. Indien het realiseren van de basisinspanning niet leidt tot een acceptabele waterkwaliteit, is er voor gemengde stelsels aanleiding tot het treffen van verdergaande maatregelen volgens het waterkwaliteitsspoor [3], wat inhoudt dat, afhankelijk van de situatie, specifieke bronnen aangepakt moeten worden. Een goede methode om de vuilemissie te reduceren is het gebruik van een gescheiden stelsel, waarbij verhard oppervlak wordt afgekoppeld en de regenwaterafvoer (RWA) gescheiden wordt van de droogweerafvoer (DWA) (Figuur 1.2).



Figuur 1.2: Schematisatie van gescheiden stelsel [1]

Bijkomend voordeel van afkoppelen is een betere werking van de RWZI, door verhoogde temperatuur en constantere aanvoer van het water. Bovendien zijn met zowel transport als zuivering van verdund water grote maatschappelijke kosten gemoeid, gelet op de benodigde capaciteit van het transport- en zuiveringssysteem. Het verdient dan ook de voorkeur om het afgekoppelde water lokaal op of in de bodem of in het oppervlaktewater te brengen, zo nodig na beperkte zuivering. Regenwaterinfiltratie is in

laag Nederland soms niet mogelijk vanwege de hoge grondwaterstanden. In sommige gevallen is voor afstromend hemelwater een tijdelijke berging op locatie nodig. Dit is in lijn met de drietrapsstrategie “vasthouden-bergen-afvoeren” uit Waterbeheer 21^{ste} eeuw (WB21).

Afstromend hemelwater is meestal licht verontreinigd, dus door hemelwater af te koppelen, komt verontreiniging in het oppervlaktewater of grondwater. Voor lozing van verontreinigd water op oppervlaktewater is een vergunning vereist via de Wet verontreiniging oppervlaktewateren (Wvo). Nieuw beleid is er op gericht om het makkelijker te maken hemelwater op oppervlaktewater te lozen. [4] Het beheer van gescheiden stelsels en lokale berging/zuiveringen is complexer door toename van het aantal voorzieningen en de spreiding ervan. Om verantwoord om te gaan met afkoppelen, wordt gebruik gemaakt van afkoppelbeslisbomen.

1.2 Probleemanalyse

Er zijn meerdere beslisbomen voor afkoppelen [3] [5], waaronder die van de Werkgroep Riolering West-Nederland (wRw) (bijlage 1), waarin wordt aangegeven op welke wijze met afstromend hemelwater van afgekoppelde verharde oppervlakken moet worden omgegaan. Deze beslisbomen leggen een relatie tussen het type oppervlak en de noodzaak of aanbeveling voor een toe te passen zuiverende maatregel, maar geven geen directe relatie tussen kwaliteit van het afstromende hemelwater, het benodigde rendement van zuiverende voorzieningen en de normen vanuit het ontvangende watersysteem.

Voor gemeenten en waterschappen is het moeilijk te bepalen of en hoe afstromend hemelwater moet worden gezuiverd. Er zijn geen normen opgesteld voor de kwaliteit van afstromend hemelwater. De ernst van een lozing is afhankelijk van de capaciteit en de functie van het ontvangende oppervlaktewater. Er geldt dan ook dat het ontvangende watersysteem een belangrijke factor zou moeten zijn in de keuze voor een zuiverende voorziening.

Hoewel in de praktijk wordt onderkend dat het watersysteem een belangrijke factor is voor de bepaling van de minimale waterkwaliteit van afstromend hemelwater, wordt een keuze van een zuiverende voorziening hier vaak niet op gebaseerd. Indien een alternatieve zuivering voldoet aan het rendement van een bodempassage, mag deze van waterschappen vaak worden toegepast. Een onderbouwde afweging ontbreekt echter daarbij. In Leidsche Rijn en Almere wordt de kwaliteit van het afstromende water vergeleken met de uitstoot van een verbeterd gescheiden stelsel (VGS). Bij een VGS wordt 70% afgevoerd naar de RWZI en 30% ongezuiverd geloosd op het oppervlaktewater. Een VGS of een vergelijkbaar systeem is vaak de eis die gesteld wordt aan nieuwbouwwijken.

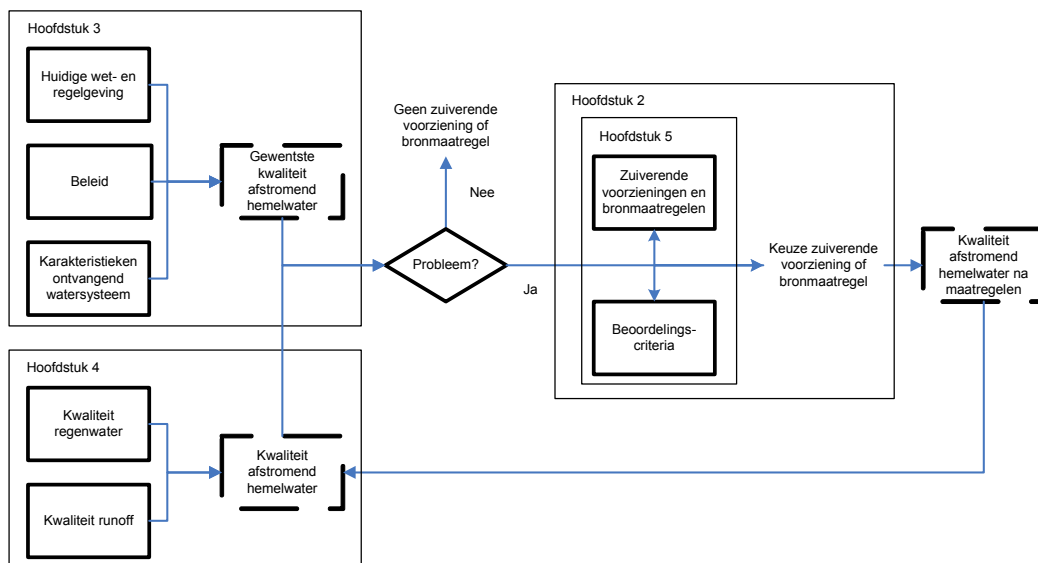
Momenteel dringt steeds meer het besef door dat afkoppelbeslisbomen onvoldoende rekening houden met gebiedsspecifieke aspecten en onvoldoende onderbouwing bieden voor de keuze van zuiverende voorzieningen of bronmaatregelen.

1.3 Doelstelling

Ontwikkelen van een beslismodel waarmee, door invulling van specifieke gebiedsinformatie, kan worden bepaald of en hoe afstromend hemelwater gezuiverd moet worden en bronmaatregelen moeten worden toegepast, voordat het water wordt geloosd op het oppervlaktewater.

1.4 Onderzoeksopzet

De opzet van het onderzoek is weergegeven in het onderzoeksschema (Figuur 1.3). Om te bepalen of het water gezuiverd moet worden, moet de kwaliteit van het afstromend hemelwater vergeleken worden met de gewenste kwaliteit. De kwaliteit van het afstromend hemelwater is afhankelijk van de verontreinigingen in regen en verontreinigingen die door afstroming van verhardingen in het water komen. De gewenste kwaliteit is afhankelijk van de huidige wet- en regelgeving, beleid en karakteristieken van het ontvangend watersysteem. Indien de kwaliteit niet voldoet aan de gewenste kwaliteit, is er sprake van een probleem, dat opgelost wordt door toepassing van zuiverende maatregelen. De keuze voor een maatregel is afhankelijk van de beoordelingscriteria. De kwaliteit na toepassing van zuiverende maatregelen wordt wederom vergeleken met de gewenste kwaliteit van het afstromende hemelwater, waardoor kan worden bepaald of de zuiverende maatregel voldoende effect heeft.



Figuur 1.3: Onderzoeksschema

Uit deze opzet zijn de volgende onderzoeksvragen af te leiden.

1. Hoe komt een keuze voor een zuiverende maatregel tot stand?

De keuze voor een maatregel is afhankelijk van de gewenste kwaliteit, de eigenschappen van het gebied en de mate waarin de verschillende maatregelen voldoen aan de beoordelingscriteria. In hoofdstuk 2 wordt het beslismodel toegelicht dat ontwikkeld is om een beheerder te ondersteunen in de keuze voor zuiverende voorzieningen of bronmaatregelen. Hierin worden de beoordelingscriteria en afwegingsmethodiek verder toegelicht.

2. Wat is de gewenste/vereiste kwaliteit van het afstromend hemelwater?

Om de gewenste/vereiste waterkwaliteit vast te stellen wordt de huidige wet- en regelgeving op het gebied van regenwaterbeleid bekeken. Hierbij komen zowel de Nederlandse wetten als de Europese Kader Richtlijn Water aan de orde. Het beleid wordt vertaald naar praktische toepassingen om de gewenste kwaliteit van afstromend hemelwater te bepalen. Hierbij speelt het ontvangende watersysteem een belangrijke rol. Hoofdstuk 3 beschrijft de gewenste waterkwaliteit.

3. Wat is de kwaliteit van afstromend hemelwater?

De kwaliteit van het afstromende hemelwater is afhankelijk van de kwaliteit van het regenwater en het type verharding waarvan het water afstroomt. In hoofdstuk 4 worden op basis van literatuuronderzoek kengetallen van mogelijke probleemstoffen gekoppeld aan verschillende typen verhardingen. Hierbinnen kan een keuze gemaakt worden voor een verontreinigingsklasse.

4. Hoe voldoen de maatregelen aan de beoordelingscriteria?

In het onderzoek worden verschillende zuiverende maatregelen meegenomen. Grofweg kan hierin onderscheid worden gemaakt in directe en indirecte bronmaatregelen en ‘end of pipe’-voorzieningen in de vorm van infiltratievoorzieningen en afscheiders. De meest voorkomende maatregelen worden meegenomen. In hoofdstuk 5 wordt per maatregel ingegaan op de beoordelingscriteria: zuiveringspercentage, inpasbaarheid en kosten.

5. Hoe werkbaar en betrouwbaar is het model?

De werkbaarheid en de betrouwbaarheid van het model bepalen samen de bruikbaarheid. De werkbaarheid gaat in op de input en de output van het model. Er wordt bekeken in hoeverre de input van het model te geven is en of de output voldoende onderscheidend is en de juiste informatie geeft voor de gebruiker van het model. De werking van het model wordt in hoofdstuk 6 getest aan de hand van een casestudie in Almere en geeft dus antwoord op het eerste deel van de onderzoeksvraag. De betrouwbaarheid betreft de gemaakte aannames in het model. In hoofdstuk 7 wordt een beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om het effect van onzekerheden in het model op de output te bekijken.

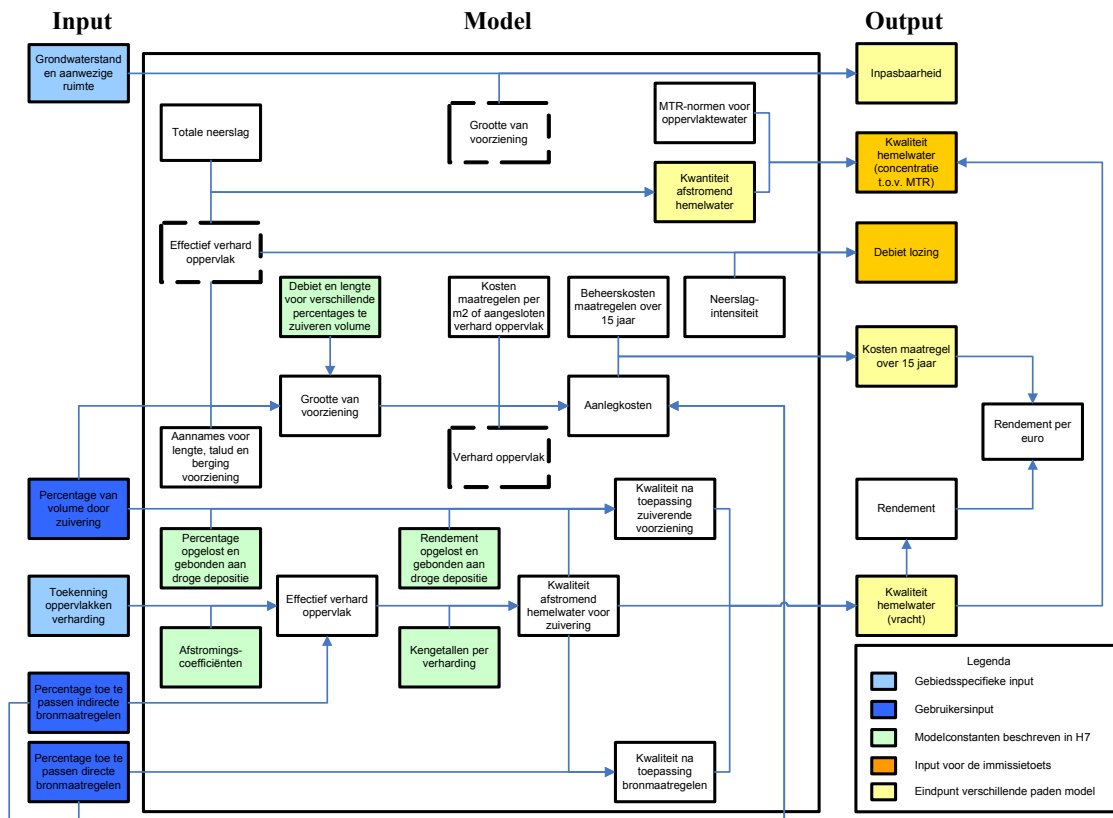
De conclusies en aanbevelingen worden in hoofdstuk 8 besproken.

2 BESLISMODEL

2.1 Inleiding

Het resultaat van het afstudeeronderzoek is een beslismodel, waarmee door invulling van gebiedsspecifieke informatie een keuze gemaakt kan worden voor bronmaatregelen en 'end of pipe'-voorzieningen. In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de eerste onderzoeksvraag. Paragraaf 2.2 gaat in op de benodigde input van het model. De input kan in één enkele sheet worden ingevuld, paragraaf 2.3 geeft hoe het model zelf is opgebouwd en paragraaf 2.4 geeft aan wat de output van het model is en hoe hiermee moet worden omgegaan. Figuur 2.1 geeft in een blokschema de structuur van het model weer. Er zijn drie gestippelde blokken dubbel meegenomen, om te voorkomen dat er te veel pijlen door elkaar lopen. Om een onduidelijk schema te voorkomen is er ook voor gekozen de volgende input niet in het schema te zetten:

- Optie 'bedrijventerrein'
- Aantal uitstroompunten
- Optie 'nog aan te leggen' of 'bestaande' wijk
- Doorlatendheid ondergrond
- Vracht ingelaten water en kwel



Figuur 2.1: Schematisatie van input, model en output

In de hierna volgende hoofdstukken worden onderdelen van het model nader toegelicht of onderbouwd.

2.2 Input

De input van het model is opgesplitst in gebiedsspecifieke input, Variabele input en overige input (Figuur 2.1). In Figuur 2.2 is een willekeurig voorbeeld van een invoersheet van het model te zien.

Toekennen verhardingen in huidige situatie			Aanwezige ruimte		
Soort verharding	[m2]		Opp. [m2]	5000	
D1	0		Grondw [m]	1	
D2	0				
D3	20000	Waarvan doorlatend [%]			
W1	18000	0			
W2	0	0			
P1	0	0			
P2	0	0			
Schoon	12000				
Totaal	50000				
	[m2]				
Koperen dakbedekking	0				
Zinken dakbedekking	0				
Aant. uitroompunten	17				
Nog aan te leggen of een reedsbestaande wijk			Indien bedrijventerrein, vul dan "1" in.		
Nog aan te leggen	0		Bedrijventerrein	0	
Bestaand	1				
Toepassen bronmaatregelen			Percentage door zuiverende voorziening		
Bronmaatregelen	[%]		99%	0	
Voorkomen uitloging zink	50		95%	0	
Voorkomen uitloging lood	50		90%	1	
Infiltreren water van dak	50		80%	0	
Doorlatende verharding	50		70%	0	
			60%	0	
			50%	0	
			T=25	0	
Maximale doorlatende verharding [%]	100				
Vrachtgegevens ingelaten water en kwel [kg/jaar]					
	Zink	Koper	Lood	PAK's	Olie
Ingelaten vracht	108	9	0	0	0

Gebieds-specifieke input
 Variabele input
 Overige input

Ga naar output (1)

Figuur 2.2: Invoersheet van het model

2.2.1 Gebiedsspecifieke input

Het projectgebied wordt in kaart gebracht door de groottes toe te kennen aan de verschillende verhardingen:

- Daken (drie verontreinigingsklassen: D1, D2 en D3)
- Wegen (twee verontreinigingsklassen: W1 en W2)
- Parkeerplaatsen (twee verontreinigingsklassen: P1 en P2)
- Schoon

Achter de verschillende verhardingen hangen kengetallen van verontreinigingen voor zink, koper, lood, PAK's en olie. Hoe er tot een keuze voor een verontreinigingsklasse gekomen kan worden, wordt toegelicht in hoofdstuk 4. Voor wegen en parkeerplaatsen is aan te geven of er doorlatende verharding is toegepast. Indien koperen en zinken dakbedekking is toegepast, kan dit apart in het model worden ingevoerd. Indien het om een bedrijventerrein gaat moet dit worden aangegeven, zodat er met een grotere vracht voor olie wordt gerekend. Verder kan voor bedrijventerreinen dezelfde indeling voor verhardingen worden toegepast. De stoep en verharde tuinen worden tot schone oppervlakken gerekend.

Het aantal uitstroompunten geeft aan via hoeveel punten het afstromende hemelwater in de wijk op het oppervlaktewater wordt geloosd. De beschikbare ruimte moet worden ingevoerd, zodat het model aan kan geven of een bepaalde voorziening inpasbaar is. Er wordt onderscheid gemaakt tussen het oppervlak en de diepte tot de grondwaterspiegel. Indien de doorlatendheid van de ondergrond te klein is, worden er extra kosten voor de onderlaag bij doorlatende verharding doorberekend.

2.2.2 Variabele input

Door te variëren met de percentages toe te passen bronmaatregelen en percentages te zuiveren volume van het afstromende water, kan een afweging worden gemaakt voor maatregelen. Directe bronmaatregelen voorkomen dat verontreinigingen in het systeem komen. Dit zijn:

- Voorkomen uitlogging zink
- Voorkomen uitlogging lood

Indirecte bronmaatregelen voorkomen dat het water tot afstroming komt. Dit zijn:

- Infiltreren water van dak
- Doorlatende verharding

De percentages te zuiveren volume zijn gekoppeld aan zeven ‘end of pipe’-voorzieningen. Tevens kan er gekozen worden om een zuiverende voorziening met berging te dimensioneren op een regenbui die eens per 25 jaar voorkomt (T=25). Een totaaloverzicht van meegenomen maatregelen is in Tabel 2.1 weergegeven.

Tabel 2.1: Overzicht van meegenomen zuiverende maatregelen

Bronmaatregelen		‘End of pipe’-voorzieningen	
Direct	Indirect	Afscheider	Infiltratievoorziening
1. Voorkomen uitlogging zink	3. Infiltreren dakwater	5. Lamellenfilter	8. Bodempassage
2. Voorkomen uitlogging lood	4. Doorlatende verharding	6. Bezinkbassin	9. Infiltratieveld met berging
		7. Olieafscheider met slibvang	10. Wadi
			11. Helofytenfilter

2.2.3 Overige input

De vracht van verontreinigingen in ingelaten water en kwel is een onderdeel dat los staat van de rest van het model. Door deze vrachtgegevens in te vullen, wordt het rendement van een zuiverende maatregel ten opzichte van de vracht in het ontvangende water bepaald of overige bronnen bepaald.

2.3 Model

In het model kunnen vier verschillende paden worden onderscheiden:

- Kwaliteit hemelwater
- Kwantiteit hemelwater
- Inpasbaarheid voorzieningen
- Kosten

2.3.1 Kwaliteit hemelwater

Aan de verschillende typen verhardingen zijn op basis van literatuurstudie vrachtgegevens gekoppeld [2] [6]. Hieruit blijkt dat in totaal ongeveer 60% van de neerslag tot afstroming komt. Op basis hiervan worden afstromingscoëfficiënten toegekend aan de verschillende verhardingen. Hierdoor ontstaat het effectief oppervlak, de denkbeeldige verharding waarvan al het regenwater tot afstroming komt.

Door toepassing van directe bronmaatregelen en ‘end of pipe’-voorzieningen wordt de kwaliteit van het afstromende hemelwater verbeterd. Het rendement neemt toe naarmate het volume door de zuiverende voorziening toeneemt. Wat betreft het zuiveringspercentage wordt onderscheid gemaakt tussen deeltjes opgelost in het water en deeltjes gebonden aan zwevend stof. De eerste twee formules uit bijlage 2 laten zien hoe de vracht van het afstromend hemelwater in het model berekend wordt.

2.3.2 Kwantiteit hemelwater

Door toepassing van indirecte bronmaatregelen, wordt het effectief oppervlak verkleind. Infiltratie van dakwater en toepassing van doorlatende verharding leiden immers tot een geringere afstroming van water. Door het effectieve oppervlak te combineren met de neerslag, wordt het totale volume aan water dat tot afstroming komt berekend. De derde formule in bijlage 2 laat zien hoe de kwantiteit van het hemelwater wordt berekend.

2.3.3 Inpasbaarheid voorzieningen

De dimensionering van afscheiders is rechtstreeks afhankelijk van het debiet dat door de zuivering gaat. Dit debiet is berekend op basis van een tienjarige neerslagreeks en is gekoppeld aan het gekozen percentage van het volume dat door de zuiverende voorziening moet gaan. Indien de zuiverende voorzieningen voorzien zijn van een berging, moet ook de duur van de neerslag meegenomen worden. Het te zuiveren volume leidt samen met de gemaakte aannames voor breedte, talud en berging in de voorziening, tot de dimensionering van de zuiverende voorzieningen met berging. De dimensionering van de voorziening wordt vergeleken met de aanwezige ruimte, waardoor er een uitspraak kan worden gedaan over de inpasbaarheid.

2.3.4 Kosten

De kosten van de voorzieningen zijn afhankelijk van de dimensionering van de voorziening. In de Leidraad Riolerings worden de kosten gekoppeld aan het aangesloten verhard oppervlak. De aanlegkosten worden gesublimeerd met de beheerskosten over 15 jaar, wat leidt tot de totale kosten van de voorziening.

2.4 Output

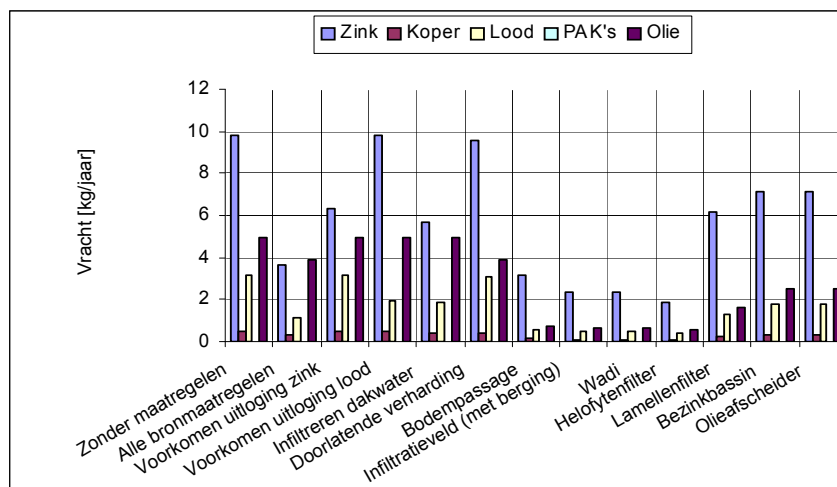
Op basis van de output kan een keuze worden gemaakt voor toepassing van een of meerdere bronmaatregelen en/of 'end of pipe'-voorzieningen. Er kan een keuze gemaakt worden op basis van kosten en rendement en/of op basis van gewenste kwaliteit van afstromend hemelwater. Beide opties worden in deze paragraaf beschreven. Het model geeft output voor:

- Vracht
- Rendement (procentuele reductie in vracht)
- Kosten
- Rendement per 10.000 euro
- Concentratie t.o.v. MTR en bijbehorend debiet
- Rendement inclusief overige bronnen

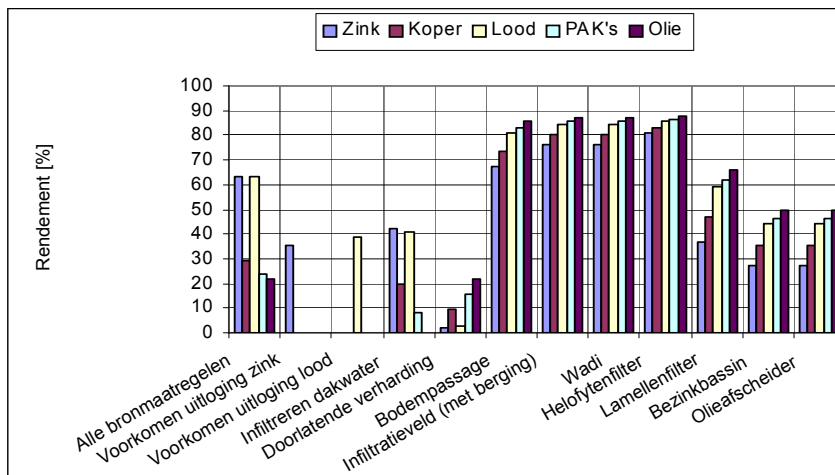
In het model wordt aangegeven of een voorziening inpasbaar is. De gebruiker kan aan de hand van de score op de beoordelingscriteria bepalen welke maatregel geschikt is.

2.4.1 Kosten en rendement

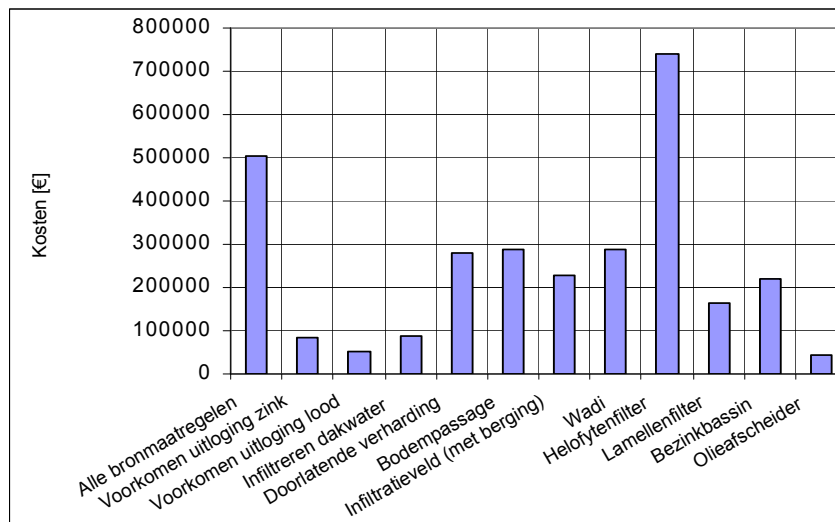
De vrachten beschreven in paragraaf 2.3.1 worden in deze paragraaf berekend bij toepassing van 50% van alle bronmaatregelen en een te zuiveren volume van 90% (Figuur 2.3). Hieruit volgt direct het rendement van de verschillende maatregelen (Figuur 2.4). De totale kosten over 15 jaar (Figuur 2.5) en het rendement per 10.000 euro (Figuur 2.6) worden gegeven. Hieronder staan de uitkomsten behorende bij de invoersheet van Figuur 2.2.



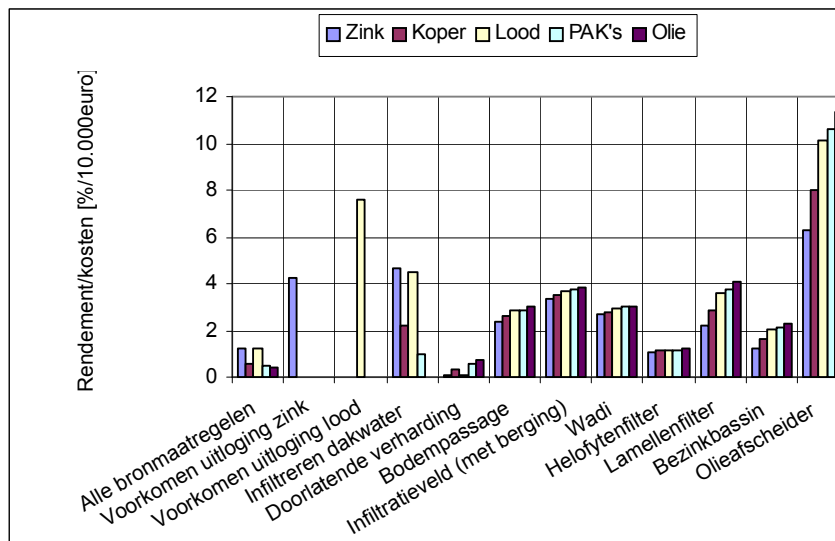
Figuur 2.3: Vracht na toepassing maatregelen



Figuur 2.4: Rendement na toepassing maatregelen



Figuur 2.5: Kosten van de maatregelen



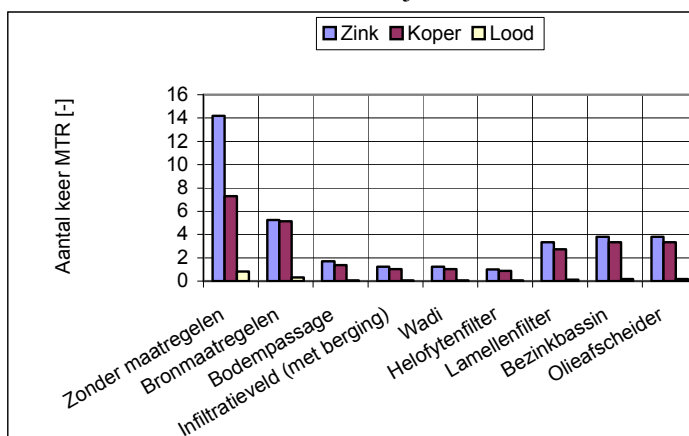
Figuur 2.6: Rendement/kosten voor maatregelen

2.4.2 Gewenste kwaliteit

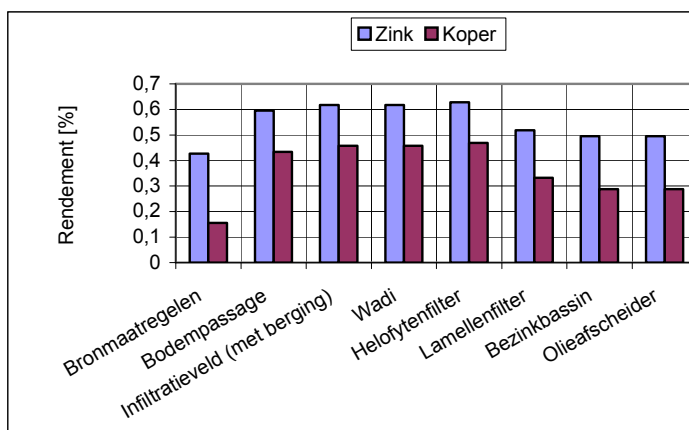
De gewenste kwaliteit wordt bepaald door de concentratie ten opzichte van het MTR (Figuur 2.7) te vergelijken met overige bronnen (prioritering) of door toepassing van de zogenaamde immissietoets. (bijlage 3) De concentratie wordt berekend door combinatie van de kwaliteit en kwantiteit uit paragraaf 2.3.1 en 2.3.2.

De input voor de immissietoets is de concentratie en het debiet van de lozing (Figuur 2.1). In combinatie met achtergrondconcentratie, dimensionering en debiet van het ontvangende watersysteem, wordt bepaald of een lozing toelaatbaar is of niet. Er kan iteratief worden bepaald wat de minimale kwaliteit van de lozing moet zijn. Door te variëren met de verschillende maatregelen kan worden bepaald hoe de kwaliteit op de goedkoopste manier wordt bereikt.

Het effect van een lozing is ook afhankelijk van de vracht die door andere bronnen in het oppervlaktewater terechtkomt. Door de input uit paragraaf 2.2.3 in te voeren, wordt het rendement berekend, rekening houdend met overige verontreinigingen op het ontvangend watersysteem (Figuur 2.8). In dit geval zijn alleen de rendementen voor zink en koper meegenomen, omdat de gegevens van lood, PAK's en olie voor de betreffende situatie niet bekend zijn.



Figuur 2.7: Concentratie t.o.v. het MTR



Figuur 2.8: Rendement rekening houdend met overige verontreinigingen

3 GEWENSTE KWALITEIT HEMELWATER

In dit hoofdstuk wordt bepaald wat de gewenste of vereiste kwaliteit is van het afstromende hemelwater en wordt dus antwoord gegeven op de tweede onderzoeksvraag. Dit is afhankelijk van de wetgeving en het regenwaterbeleid. In Nederland is de wetgeving veelal volgend op het actuele beleid. Het wettelijk kader is op het gebied van regenwater nog onvoldoende ontwikkeld. [7]

3.1 Wet- en regelgeving

3.1.1 Wet verontreiniging oppervlaktewater

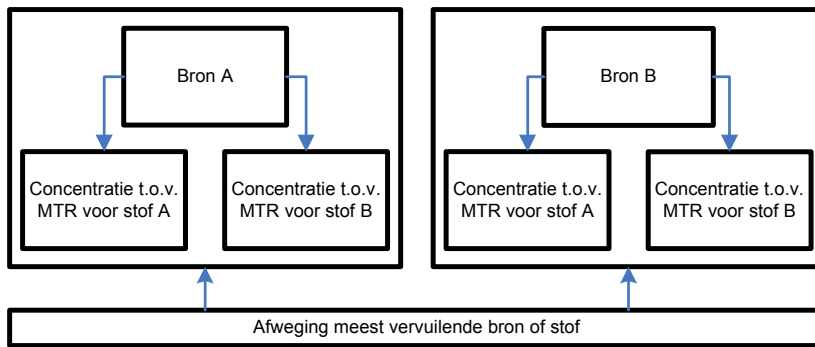
Op grond van de Wet verontreiniging oppervlaktewater (Wvo) is het verboden zonder vergunning afvalstoffen en verontreinigde of schadelijke stoffen te lozen op oppervlaktewater (Artikel 1.1). De vergunningverlenende instantie is de waterkwaliteitsbeheerder, vaak het waterschap. Voor het rechtstreeks lozen van niet verontreinigd hemelwater op oppervlaktewater of op het gemeentelijke regenwaterriool is volgens jurisprudentie echter geen Wvo-vergunning is vereist. [8] Er moet dan wel worden aangegeven dat hemelwater afkomstig is van niet verontreinigd oppervlak. Onder ‘niet verontreinigd’ oppervlak wordt hier verstaan oppervlak dat niet door bedrijfsactiviteiten (laden / lossen, opslag materialen, depositie van luchtafzuiging), dan wel bovenmatig autoverkeer of uitloging van specifieke bouwmaterialen en dergelijke wordt verontreinigd. Het bevoegd gezag kan een lozingsvergunning weigeren indien onvoldoende is gedaan aan het terugdringen van de emissie.

Ondanks de voortgaande vermindering van emissies uit puntbronnen en diffuse bronnen, wordt op diverse locaties nog niet voldaan aan de gewenste waterkwaliteit. Centraal staat de te realiseren waterkwaliteitsdoelstellingen: het op korte termijn realiseren van het MTR en het realiseren van de streefwaarde op langere termijn. Het MTR is de wetenschappelijk afgeleide waarde voor een stof, die aangeeft tot welke concentratie geen nadelig te waarden effect te verwachten is. [9] Tabel 3.1 geeft de MTR-waarden voor zink, koper en lood. MTR-waarden voor het oppervlaktewater bestaan niet voor de PAK's (wel voor individuele stoffen) en olie (wel voor sediment).

Tabel 3.1: MTR-waarden voor zink, koper en lood [µg/l]

	Zink	Koper	Lood
MTR-waarde	40	3,8	220

Om tot een effectieve verdere verbetering van de kwaliteit te komen is een duidelijkere afstemming tussen de waterkwaliteitsdoelstellingen en de daarvoor benodigde emissiereductie gewenst. De CUWVO heeft daarom de zogenaamde emissie-immissie benadering opgesteld. De relatie emissie-immissie kan vanuit twee kanten worden benaderd: vanuit het watersysteem en vanuit een specifieke bron. De eerste benadering, genoemd prioritering, resulteert in een identificatie van meeste vervuilende stoffen en (groepen van) bronnen op watersysteemniveau. In overeenstemming met NW4 is de mate van overschrijding van het MTR het belangrijkste criterium voor prioritering. Figuur 3.1 geeft aan hoe de verschillende bronnen worden vergeleken. Tabel 3.2 geeft de kleurcodering aan die gekoppeld is aan de overschrijding van het MTR.



Figuur 3.1: Prioritering

Tabel 3.2: Prioritering met kleurcodering [10]

Prioriteit 1	a. waarde $> 5 \cdot \text{MTR}$	Rood
	b. $2 \cdot \text{MTR} < \text{waarde} < 5 \cdot \text{MTR}$	Oranje
	c. $\text{MTR} < \text{waarde} < 2 \cdot \text{MTR}$	Geel
Prioriteit 2	streefwaarde $< \text{waarde} < \text{MTR}$	Groen
Geen prioriteit	waarde $< \text{streefwaarde}$	Blauw

Prioritering legt geen relatie tussen de vrachtbelasting van verschillende bronnen naar het oppervlaktewater. Dit is een probleem, omdat het volume van afstromend hemelwater groot is. Indien vrachtgegevens voor overige bronnen bekend zijn, kan er een vergelijk worden gemaakt in vracht. Dit geeft een eerlijker vergelijking tussen de verschillende verontreinigingsbronnen. Op basis van deze gegevens ontstaat een beter inzicht in het nut van toepassing van maatregelen.

De tweede benadering, genoemd immissietoets, omvat het beoordelen van de toelaatbaarheid van de lozing. [10] De gewenste kwaliteit van het afstromende hemelwater is afhankelijk van voornamelijk de achtergrondconcentratie en het debiet van de ontvangende watergang. Met behulp van de immissietoets kan iteratief worden bepaald wat de concentratie van het afstromend hemelwater moet zijn. Indien er volgens het model voldaan wordt aan de immissietoets, betekent dit in de praktijk echter geen gegarandeerd resultaat, omdat het model slechts gemiddelde concentraties geeft en de concentraties in de praktijk een grote spreiding vertonen. Bijlage 3 geeft een verdere toelichting op de immissietoets.

3.1.2 Wet bodembescherming

De Wet bodembescherming (Wbb) bevat regels om bodemverontreinigingen te voorkomen en verontreinigde bodems te saneren. Artikel 13 van de Wbb is van belang voor het infiltreren van regenwater in de bodem. Dit artikel bevat een algemene plicht om ervoor te zorgen dat de bodem niet wordt verontreinigd. “Ieder die op of in de bodem handelingen verricht en die weet of redelijkerwijs had kunnen vermoeden dat door die handelingen de bodem kan worden verontreinigd, is verplicht alle maatregelen te nemen die redelijkerwijs van hem kunnen worden gevergd om die verontreiniging te voorkomen.”

In het Lozingenbesluit Bodembescherming, gebaseerd op de Wbb, staat dat niet verontreinigd hemelwater in principe in de bodem geïnfiltreerd kan worden, ook als dat in contact is geweest met oppervlakken als daken, wegen of parkeerterreinen. Hemelwater dat vermengd is met ander afvalwater moet op het riool worden geloosd. Er moet dus altijd bekeken worden of de infiltratie niet tot onverantwoorde verontreiniging

leidt, zeker als er een redelijk vermoeden bestaat dat het afstromend hemelwater in contact is geweest met een vervuילend oppervlak. Dit sluit dus aan op de Wvo. In beide gevallen worden er echter geen normen gegeven en is dus niet geheel duidelijk wanneer het afstromend water te vervuילd is.

3.2 Rijkvisie Waterketen

De Rijkvisie Waterketen geeft verdere invulling aan het op duurzame wijze omgaan met regenwater.¹ Dit houdt in dat tegen de laagst mogelijke maatschappelijk kosten:

- Onaanvaardbare risico's voor de gezondheid van de mens en voor het milieu worden tegengegaan,
- Wateroverlast in het stedelijk gebied en in de ontvangende watersystemen zo veel mogelijk wordt voorkomen en
- Oplossingen worden gezocht die goed inpasbaar zijn in de stedelijke leefomgeving.

Het regenwaterbeleid steunt op vier pijlers:

1. Aanpak bij de bron: het voorkomen van verontreiniging van regenwater.

Degenen die oppervlakken verhard en overkappen moeten er zo veel mogelijk voor zorgen, dat het regenwater niet (verder) verontreinigd raakt door uitloging of afspoeling. De regelgeving die betrekking heeft op het omgaan met regenwater wordt zodanig aangepast, dat regenwater zonder vergaande technische maatregelen in de bodem of het oppervlaktewater mag worden geloosd, tenzij uit de lokale afweging blijkt dat lozing op bodem of oppervlaktewater ongewenst is.

2. Regenwater vasthouden en bergen.

Regenwater wordt waar mogelijk ter plekke in de bodem geïnfiltreerd of in het oppervlaktewater gebracht. Waar mogelijk vindt berging plaats en wordt het regenwater nuttig toegepast. Daarmee wordt het omgaan met regenwater op lokaal niveau afgestemd op het waterbeleid zoals dat is vastgelegd in het Nationaal Bestuursakkoord Water: zoveel mogelijk binnen de locatie / het gebied vasthouden, bergen en dan pas afvoeren. Dit alles om wateroverlast elders te voorkomen.

3. Regenwater scheiden en dan pas afvoeren.

Voor al in dichtbebouwd stedelijk gebied zal het niet altijd mogelijk zijn om regenwater binnen de locatie in de bodem of het oppervlaktewater te brengen of te bergen. Regenwater moet dan in beginsel afzonderlijk van afvalwater worden ingezameld. Bij gemengde afvoer is er geen keuze mogelijk, omdat door de vermenging met afvalwater het regenwater ook tot afvalwater is verworpen. Het moet dan, vaak over grote afstanden, naar de RWZI worden getransporteerd. Bij afzonderlijk ingezameld regenwater is dat juist niet de bedoeling.

4. Integrale afweging op lokaal niveau.

De daadwerkelijke keuze voor de wijze van omgaan met regenwater en het tijdpad waarbinnen eventuele veranderingen moeten worden gerealiseerd, vindt op lokaal niveau plaats en is het resultaat van een integrale afweging. De eerste drie pijlers zijn het resultaat van de integrale afweging op nationale schaal en geven een voorkeursvolgorde aan voor het omgaan met regenwater. Deze voorkeursvolgorde komt voort uit een aantal algemene en door de tijd beproefde uitgangspunten van het milieubeleid:

- preventie is beter dan 'end of pipe'-oplossingen;
- relatief vuile en relatief schone stromen moeten niet worden vermengd;

¹ Deze paragraaf is aangepast overgenomen van het achtergrondartikel bij de presentatie van Krystof Krijt (VROM) op de Landelijke Afkoppeldag van Stichting Rioned op 10 november 2005.

- onnodig transport van relatief schone stromen (in dit geval regenwater) moet worden voorkomen;
- afwenteling van milieuproblemen moet worden voorkomen.

De lokale situatie is dus uiteindelijk mede bepalend voor de vraag welke wijze van omgaan met regenwater het meest doelmatig is. Daarom plaatst de vierde pijler de verantwoordelijkheid voor de keuze nadrukkelijk op lokaal niveau. Daar wordt in een integrale afweging door de gemeente, de waterbeheerder en andere betrokken partijen bepaald hoe aan de verschillende randvoorwaarden die mede op provinciaal en rijksniveau zijn geformuleerd (milieu, water, volksgezondheid, mogelijkheden van inbedding in de ruimtelijke structuur) tegen de laagst mogelijke maatschappelijke kosten recht kan worden gedaan.

De nieuwe hemelwaterzorgplicht (verwoord in het Wetsvoorstel “gemeentelijk watertaken”) heeft als uitgangspunt dat de verantwoordelijkheid voor afvoer van afstromend hemelwater primair ligt bij degene bij wie afstromend hemelwater vrijkomt. Deze verantwoordelijkheid is tweeledig: zo veel mogelijk voorkomen van verontreiniging van hemelwater en zoveel mogelijk ter plaatse in de bodem infiltreren of op oppervlaktewater lozen van hemelwater. Pas hierna komt de overheid in beeld om hemelwater waar nodig in te zamelen om het (zo lokaal mogelijk) in het milieu te brengen. Slechts indien hemelwater is vermengd met huishoudelijk afvalwater geldt de wettelijke verplichting om hemelwater naar de RWZI te vervoeren en te zuiveren.

3.3 Europese Kaderrichtlijn Water

De Europese Gemeenschap wil dat we niet alleen nu, maar ook in de toekomst schoon water hebben. Daarom is sinds eind 2000 de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) van kracht. Die moet ervoor zorgen dat het Europese oppervlakte- en grondwater in 2015 een ‘goede toestand’ heeft bereikt. In dat jaar moet het oppervlaktewater voldoen aan bepaalde normen voor chemische stoffen. Worden die normen gehaald, dan spreken we van ‘een goede chemische toestand’. Daarnaast moet het oppervlaktewater goed zijn voor een gevarieerde planten- en dierenwereld. Is dat het geval, dan heet dat ‘een goede ecologische toestand’. [11] In de KRW worden waterkwaliteitsnormen wettelijk vastgelegd. Alle waterbeheerders zijn verplicht waterverontreiniging aan te pakken en maatregelen te nemen, zodat het grond- en oppervlaktewater aan de normen voldoet van de door de KRW opgestelde prioritaire stoffen. Deze lijst komt slechts voor een klein gedeelte overeen met de hier gedefinieerde probleemstoffen, aangezien alleen een aantal PAK’s en lood op de lijst staan. Wanneer de waterkwaliteit beneden peil blijft, volgen sancties vanuit Brussel. De invoering van de KRW gebeurt in fases. Twee fases zijn voltooid. In 2003 werden nationale wetten, zoals de Wet op de waterhuishouding en de Wet milieubeheer, aangepast aan de KRW. In 2004 werd de huidige ecologische en chemische toestand van alle ‘waterlichamen’ beschreven. De volgende fase is reeds in volle gang. Doelen en maatregelen worden geformuleerd die nodig zijn om een goede waterkwaliteit te kunnen garanderen. Hierbij worden belanghebbenden als natuurbeheerders, land- en tuinbouworganisaties, waterschappen en gemeenten intensief betrokken. Op basis van de gestelde doelen en maatregelen worden in overleg met het Rijk, de provincies en de gemeenten stroomgebiedbeheersplannen opgesteld. Deze treden in 2009 in werking. In principe moet in 2015 al het grond- en oppervlaktewater aan de Europese kwaliteitsnormen voldoen. [12]

Conclusie

De wet- en regelgeving geeft geen normen voor de kwaliteit van afstromend hemelwater. Vanuit de Wvo geldt dat afstromend hemelwater van wegen met lichte verkeersbelasting en daken met weinig uitgelooide materialen rechtstreeks op het oppervlaktewater mag worden geloosd. Indien er sprake is van (sterke) verontreiniging van hemelwater, moet dit water beschouwd worden als afvalwater en is voor een lozing hiervan op oppervlaktewater een vergunning vereist. Het beleid voor regenwater is erop gericht om verontreiniging te voorkomen door toepassing van bronmaatregelen. Daarnaast wordt de voorkeur gegeven om water vast te houden, te bergen en dan pas af te voeren. Indien mogelijk, heeft plaatselijke infiltratie dus de voorkeur boven afvoeren naar oppervlaktewater.

Doelen aan het watersysteem worden in overleg opgesteld door de beleidsbepalers. Het doel wordt vaak gesteld op het behalen van MTR-normen op korte termijn of streefwaarden op lange termijn. Vanuit de KRW wordt gesteld dat het Europese oppervlaktewater in 2015 een 'goede toestand' bereikt moet hebben.

Om tot een effectieve verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit te komen is een duidelijkere afstemming tussen de waterkwaliteitsdoelstellingen en de daarvoor benodigde emissiereductie gewenst. Er is door het CUWVO gekozen voor de zogenaamde emissie-immissie benadering, die vanuit het watersysteem en vanuit een specifieke bron benaderd kan worden. De eerste benadering, genoemd prioritering, resulteert in een prioritering van stoffen en (groepen van) bronnen op watersysteemniveau, waarbij de mate van overschrijding van het MTR in het geloosde water als belangrijkste criterium voor prioritering is genomen. Dit geeft echter geen goed beeld van de vrachtbelasting, omdat het afstromend volume van de bronnen zal verschillen. Het is beter om de vracht van verschillende bronnen met elkaar te vergelijken. De tweede benadering, genoemd immissietoets, omvat het beoordelen van de toelaatbaarheid van de lozing. Hoewel de input van de toets in de praktijk onzeker zal zijn, is het een bruikbaar instrument om te bepalen wat de maximaal toelaatbare concentraties in het afstromend hemelwater zijn.

4 KWALITEIT HEMELWATER

4.1 Inleiding

Afstromend hemelwater neemt verontreinigende stoffen met zich mee, waardoor bij lozing het ontvangende watersysteem verontreinigd raakt. Om de kwaliteit van het afstromend hemelwater in de praktijksituatie te voorspellen, moet per type verharding bekeken worden welke hoeveelheid aan verontreinigende stoffen wordt meegenomen. Dit hoofdstuk geeft antwoord op de derde onderzoeksvraag.

Uit de literatuurstudie voorafgaande aan het onderzoek [13] is gebleken dat zink, koper, lood, PAK's en olie de probleemstoffen in afstromend hemelwater zijn. Ook toepassing van bestrijdingsmiddelen kan schadelijk zijn, echter worden deze bij gebrek aan gegevens niet meegenomen. In dit hoofdstuk worden kengetallen opgesteld voor daken, wegen en parkeerplaatsen, waarbij in dit onderzoek onderscheid wordt gemaakt in verschillende verontreinigingsklassen per verharding. In het model wordt ook onderscheid gemaakt in 'schone' verhardingen, zoals verharde tuinen en stoepen. De opdeling van verhardingen wordt beschreven in bijlage 5. Hieruit blijkt dat de verontreinigingen in afstromend hemelwater van bedrijventerreinen ongeveer gelijk zijn aan die van verhardingen uit een wijk. Om een goede inschatting te maken voor kengetallen van verontreiniging zijn diverse onderzoeken met elkaar vergeleken (bijlage 4), waarbij sommige onderzoeken uitgaan van vrachtgegevens, anderen van concentraties. De formule hieronder laat zien hoe vrachtgegevens en concentraties met elkaar worden vergeleken.

$$C = \frac{V_r * y * 100}{P}$$

C	= Concentratie na afstroming	[µg/l]
V _r	= Vracht aan bron	[kg/ha/jaar]
P	= Neerslag	[m/jaar]
y	= Afstromingscoëfficiënt	[-]

Voor neerslag wordt gerekend met 0,8 m per jaar. De afstromingscoëfficiënten (Tabel 4.1) geven aan welk gedeelte (0-1) van verontreiniging en volume tot afstroming komt voor de betreffende verharding. De coëfficiënten uit Tabel 4.1 zijn groter dan de afstromingscoëfficiënten van een wijk, omdat er bij de concentratiemetingen rechtstreeks aan de verharding is gemeten. Vanuit een wijk komt gemiddeld maar 60% tot afstroming.

Tabel 4.1: Afstromingscoëfficiënten van verhardingen

Verharding	y [-]
Daken	0,95
Wegen	0,85
Parkeerplaatsen	0,85

Bijlage 6 geeft meer uitleg over de vergelijking van vrachten en concentraties en gaat verder in op de afstroming van verontreiniging. Paragraaf 4.2 gaat in op verontreiniging vanuit de atmosfeer, paragraaf 4.3 gaat in op de verontreiniging van afstromend hemelwater door de verschillende verhardingen.

4.2 Verontreiniging door atmosferische depositie

Uit de literatuurstudie [13] is gebleken dat de kwaliteit van het regenwater afhankelijk is van de verstedelijking en de aanwezigheid van industrie en wegen. Door het Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling is in heel Nederland gemeten aan de kwaliteit van regenwater. Het meten van de natte depositie is relatief eenvoudig door de concentratie in de neerslag te meten. Het meten van de droge of totale depositie is minder eenvoudig en levert vaak matig betrouwbare resultaten. [14] De gemiddelde concentraties in regenwater zijn verwaarloosbaar ten opzichte van de concentraties in afstromend hemelwater. Lokaal kan een verhoogde concentratie in regenwater wel van invloed zijn. Bij metingen aan afstromend hemelwater is geen onderscheid gemaakt tussen verontreiniging door atmosferische depositie en verontreiniging door afstroming en uitloging. Er is dan ook gekozen om de kwaliteitsverschillen van regenwater niet apart mee te nemen in het model.

4.3 Verontreiniging door afstroming

4.3.1 Daken

Metalen worden van oudsher toegepast in dakgoten en regenpijpen. Tegenwoordig is de toepassing van koperen, maar vooral zinken dakbedekking ook een trend. In Tabel 4.2 en 4.3 worden de kengetallen voor daken gegeven. Voor daken wordt onderscheid gemaakt in drie categorieën, afhankelijk van de aanwezigheid van uitlopende materialen zink en lood, wat gekoppeld is aan het jaartal van de bouw van de wijk. Indien koperen dakbedekking wordt toegepast, geldt een extra vracht van 15 kg/ha/jaar. Indien zinken dakbedekking wordt toegepast geldt een extra vracht van 35 kg/ha/jaar. [2] Dit kan apart in het model worden ingevoerd. De kengetallen worden per stof onderbouwd in bijlage 8.

Verontreinigingsklassen voor daken (D):

- D1 Wijk zonder zink en lood.
- D2 Nieuwe wijk (na 1985) met zink en lood.
- D3 Oude wijk (voor 1985) met zink en lood. Wanneer er in een nieuwe wijk alleen zinken dakgoten worden toegepast, kan voor nieuwe wijken ook voor deze verontreinigingsklasse worden gekozen.

Tabel 4.2: Kengetallen daken [kg/ha/jaar]

Verontreinigingsklasse	Zink	Koper	Lood	PAK	Olie
D1	0,6	0,16	0,12	0,005	0
D2	3,0	0,16	2,19	0,005	0
D3	7,0	0,16	2,19	0,005	0

Tabel 4.3: Kengetallen daken [µg/l]

Verontreinigingsklasse	Zink	Koper	Lood	PAK	Olie
D1	71	19	14	0,6	0
D2	356	19	260	0,6	0
D3	831	19	260	0,6	0
Spreiding	40-6000	10-150	7-1400	0,03-0,6	0

De spreiding (Tabel 4.3) is gebaseerd op data van verschillende bronnen. De extreme waarden van zink komen deels voort uit de grote verschillen in metingen. Het zou ook kunnen dat in de wijk van de hoge meting zinken dakbedekking toegepast is. Voor de

extreme waarde van koper geldt dat er in deze wijk koperen dakbedekking is toegepast. De hoge concentratie van lood lijkt niet representatief.

4.3.2 Wegen

Van wegen komen meer verschillende stoffen tot afstroming. RIZA [15] geeft aan dat de gemiddelde concentraties in afstromend hemelwater van wegen met een hoge verkeersintensiteit tot een factor 100 hoger liggen dan de gemiddelden in de neerslag. Omdat de spreiding van de verontreinigingen een stuk minder groot is, worden maar twee verontreinigingsklassen gedefinieerd. Een duidelijke indeling is echter niet te maken. De Grontmij [42] definieert een woonstraat als straat met minder dan 1000 voertuigbewegingen per etmaal als minder vervuילend. DHV [6] maakt een onderverdeling in ‘rustige’ straat en ‘drukke’ straat. Andere onderzoeken geven aan dat er geen eenduidige relatie is tussen de verkeersintensiteit en de concentraties in het afstromende hemelwater [16] [17]. Ook TNO [18] concludeert dat het criterium van een verkeersintensiteit > 1000 voertuigbewegingen beperkt is.

Voor een aantal stoffen (zwevend stof, koper en zink) neemt de gemiddelde verontreiniging toe met de verkeersintensiteit. Voor lood, olie en PAK's is dit minder het geval. [16] Andere omstandigheden als het type wegbedekking, type voertuigen en rijnsnelheid zijn van invloed op de kwaliteit van het afstromende wegwater, waardoor een verkeersweg met een lage verkeersintensiteit toch een aanzienlijke emissie kan hebben. Geleiderail wordt in de stad niet toegepast en wordt als bron van zink dan ook niet meegenomen.

Er wordt geconcludeerd dat de intensiteit een van de belangrijkste onderscheidende factoren is. De grens kan gesteld worden op 1000 bewegingen per dag, echter is de scheiding moeilijk te maken. Daarnaast zijn de snelheid en zwaarte van het vervoer belangrijke factoren. Het type wegdek wordt niet meegenomen in de keuze voor verontreinigingsklasse, aangezien doorlatende verharding apart kan worden meegenomen in het model. Bij doorlatende verharding komt minder water en verontreiniging tot afstroming.

De kengetallen (Tabel 4.4 en 4.5) worden per stof onderbouwd in bijlage 9. Verontreinigingsklasse voor wegen (W):

W1 Lagere verkeersintensiteit, lagere snelheid en minder zwaar vervoer

W2 Hogere verkeersintensiteit, hogere snelheid en zwaarder vervoer

Tabel 4.4: Kengetallen wegen [kg/ha/jaar]

	Zink	Koper	Lood	PAK's	Olie
W1	1,0	0,2	0,35	0,024	4,71
W2	1,5	0,4	0,35	0,024	4,71

Tabel 4.5: Kengetallen wegen[µg/l]

	Zink	Koper	Lood	PAK's	Olie
W1	106	27	37	2,6	500
W2	159	43	37	2,6	500
Spreiding ²	18-248	0-48	18-48	0,021-5,3	100-816

² Zink, koper en lood geven uiterste waarden van 478 en 111 en 234 µg/l. Deze zijn echter als niet representatief aangemerkt. (Bijlage 9)

In Tabel 4.5 is te zien dat de spreiding in de concentratie redelijk goed door de verschillende verontreinigingsklassen wordt gedekt.

4.3.3 Parkeerplaatsen

Er zijn relatief weinig metingen aan parkeerplaatsen gedaan, waardoor de kengetallen voor parkeerplaatsen weinig betrouwbaar zijn. Om de spreiding van de bestaande metingen te dekken, worden er twee verontreinigingsklassen onderscheiden (Tabel 4.6 en Tabel 4.7). In de metingen is vooral een grote spreiding te zien in zink en lood. De kengetallen worden onderbouwd in bijlage 10. Vooral het aantal vervoersbewegingen is bepalend voor de verontreiniging. Een goede scheiding is echter niet aan te geven.

Verontreinigingsklassen voor parkeerplaatsen (P):

P1 Klein aantal vervoersbewegingen

P2 Groot aantal vervoersbewegingen

Tabel 4.6: Kengetallen parkeerplaatsen [kg/ha/jaar]

	Zink	Koper	Lood	PAK's	Olie
P1	0,7	0,53	0,25	0,02	5,0
P2	2,5	0,53	0,63	0,02	5,0

Tabel 4.7: Kengetallen parkeerplaatsen [µg/l]

	Zink	Koper	Lood	PAK's	Olie
P1	70	53	25	2,0	500
P2	250	53	63	2,0	500

Er wordt voor parkeerplaatsen geen spreiding gegeven, aangezien er maar enkele metingen zijn gedaan, die gedekt wordt door de verschillende verontreinigingsklassen van parkeerplaatsen.

Conclusie

Er zijn diverse onderzoeken uitgevoerd naar de kwaliteit van afstromend hemelwater van daken en wegen, sommige gebaseerd op vrachtgegevens, andere op concentratiemetingen. De spreiding van concentraties is groot. Metingen van korte duur in een projectgebied geven dan ook onbetrouwbare informatie over de vuilvracht.

In dit onderzoek zijn daken, wegen, parkeerplaatsen en schone oppervlakken meegenomen. De mate van verontreiniging is afhankelijk van de 'vervuilende activiteiten' op het oppervlak. Hieraan zijn verschillende verontreinigingsklassen toegekend. Voor daken kan een keuze worden gemaakt op basis van de hoeveelheid uitlogende metalen zink en lood in daken, die gekoppeld is aan het jaar van de bouw. Voor wegen en parkeerplaatsen wordt een keuze gemaakt op basis van de verkeersintensiteit, snelheid en de zwaarte van het verkeer op wegen.

Er kan gesteld worden dat alle gegevens redelijk onbetrouwbaar zijn en slechts een richtlijn geven. De indeling van kengetallen is bedoeld om verhardingen met verschillende mate van verontreiniging te onderscheiden. Aan parkeerplaatsen zijn weinig metingen gedaan, waardoor deze kengetallen nog minder betrouwbaar zijn. Voor bedrijfsterreinen geldt dat de kengetallen van normale wegen en daken meegenomen mogen worden indien de uitstoot van de bedrijven zelf klein is.

5 VERBETEREN KWALITEIT HEMELWATER

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat in op maatregelen die genomen kunnen worden ter verbetering van de kwaliteit van afstromend hemelwater. Er wordt beschreven wat het zuiveringspercentage is, hoe de zuiverende maatregelen worden gedimensioneerd en wat de kosten zijn. Er wordt dus antwoord gegeven op de vierde onderzoeksvraag.

Er is een keuze gemaakt voor 11 typen voorzieningen, die grofweg zijn op te splitsen in bronmaatregelen en 'end of pipe'-voorzieningen. Bronmaatregelen kunnen worden opgedeeld in maatregelen die gericht zijn op het verminderen van de verontreiniging in het water (directe bronmaatregelen) en maatregelen die voorkomen dat het water tot afstroming komen (indirecte bronmaatregelen). 'End of pipe'-voorzieningen worden opgesplitst in afscheiders en infiltratievoorzieningen. In Tabel 5.1 is een overzicht gegeven van de maatregelen die meegenomen zijn. Tabel 5.6 t/m 5.8 geeft een overzicht hoe de maatregelen voldoen aan de verschillende beoordelingscriteria.

Tabel 5.1: Overzicht van de meegenomen maatregelen

Bronmaatregel	Direct	Voorkomen uitloging zink uit daken - Vervangen of voorkomen zinken dakgoot - Coaten dakgoten	5.2.1
		Voorkomen uitloging lood uit daken - Coaten loodslabben	5.2.2
	Indirect	Doorlatende verharding	5.2.3
		Lokale infiltratie van dakwater	5.2.4
'End of pipe' - voorziening	Afscheiders	Lamellenfilter	5.3.1
		Bezinkbassin	5.3.2
		Olieafscheider met slibvang	5.3.3
	Infiltratievoorziening	Bodempassage	5.4.1
		Infiltratieveld met berging	5.4.2
		Wadi	5.4.3
		Helofytenfilter	5.4.4

Per maatregel worden de volgende aspecten behandeld:

- Zuiveringspercentage. Onderzoeken naar zuiveringspercentages geven uiteenlopende uitkomsten. Het zuiveringspercentage is afhankelijk van veel factoren, waarvan geen goed overzicht bestaat. Het verschil tussen de zuiverende maatregelen is met name van belang. Er wordt onderscheid gemaakt tussen het zuiveringspercentage voor deeltjes gebonden aan zwevend stof en opgeloste deeltjes. (bijlage 7)
- Dimensionering. De dimensionering van zuiverende voorzieningen wordt berekend met behulp van debiet en geschatte lengte van de neerslaggebeurtenis. Voor bezinkbassin, bodempassage, infiltratieveld met berging en wadi wordt gebruik gemaakt van bestaande berekeningen. (bijlage 11)
- Kosten. De kosten worden opgesplitst in aanlegkosten en beheerskosten. De aanlegkosten worden berekend voor het jaar 2006. Per jaar worden de kosten vanwege inflatie vermeerderd met 4%. Wat betreft de beheersperiode wordt uitgegaan van 15 jaar. De beheerskosten worden berekend naar het jaar 2013, halverwege de beheerperiode. (bijlage 12)

Aspecten als esthetiek en draagvlak bij de bevolking zijn niet meegenomen. Ze zijn te abstract om mee te nemen in het model, echter wel belangrijk in het hele proces en dus niet uit te sluiten in het besluitvormingsproces. De Leidraad Riolering biedt handreikingen met algemeen geaccepteerde uitgangspunten, methoden en technieken op het gebied van rioleringbeheer in brede zin. De Leidraad Riolering komt tot stand in samenwerking met alle professioneel bij de rioleringszorg betrokken partijen en kent daardoor een zeer breed draagvlak. In juni 2006 wordt de vernieuwde Leidraad Riolering C2200 verwacht, waarin richtlijnen worden gegeven voor de dimensionering van zuiverende voorzieningen voor afstromend hemelwater.

5.2 Bronmaatregelen

5.2.1 Voorkomen van uitloging zink van dakgoten

Door schadelijke materialen in de bouw te verwijderen of niet toe te passen, wordt voorkomen dat schadelijke stoffen in het milieu komen. Hierbij is het niet toepassen van zinken dakgoten de belangrijkste maatregel. Andere bronnen zijn zinken regenpijpen en in enkele gevallen zinken dakbedekking. Voorkomen van uitloging van zinken dakgoten levert dus geen 100% afname van zink op [36]. Er wordt onderscheid gemaakt in 'bestaande' wijken en 'nog aan te leggen' wijken.

Bestaande wijken

Voor bestaande wijken is het te duur om zinken dakgoten te vervangen zonder dat ze hier aan toe zijn. Daarom wordt coaten als bronmaatregel meegenomen. Indien de dakgoten wel toe zijn aan vervanging, dan kan in het model worden gerekend met 'nog aan te leggen' wijken, waardoor slechts het verschil in kosten van zinken en kunststof dakgoten wordt meegenomen. Bij aanbrenging van coating moet een dakgoot schoongemaakt worden, wat neerkomt op vetvrij maken, droog maken en opruwen met een staalborstel om de zinkoxide te verwijderen. [19] Indien dit niet goed gebeurt, laat de coating los en loogt de goot weer zink uit. Daarnaast kan er ook nog zink uitloggen van regenpijpen en via atmosferische depositie op oppervlakken terechtkomen. [36] Er wordt uitgegaan van 80% zuiveringspercentage van het toepassen van de bronmaatregel.

Voor wijken met categorie D1 is aangenomen dat er geen zinken dakgoten worden toegepast. Het gedeelte zink dat wel is toegepast, kan dus niet worden tegengegaan door deze bronmaatregel. Het zinkoppervlak per woning varieert van 5-10 m². [37] Voor categorie D2 wordt uitgegaan van een zinkoppervlak van 7 m² per dak (bijlage 8). Er wordt uitgegaan van een gemiddeld dakoppervlak van 70 m². Per vierkante meter dakoppervlak moet er 0,1 m² zink gecoat worden. Voor categorie D3 wordt uitgegaan van een zinkoppervlak van 10 m². Per vierkante meter dakoppervlak moet er 0,14 m² zink worden gecoat. Voor de kosten wordt gerekend met een zinkoppervlak van 0,12 m² per vierkante meter dakoppervlak voor beide categorieën.

Het coaten van dakgoten kost ongeveer 69 euro per m² goot [20]. Per m² dakoppervlak zijn de kosten dus 8,3 euro. Indien de coating goed is aangebracht, kan een levensduur van 15 jaar worden gehaald. Er zijn dus geen beheerskosten.

Nog te ontwikkelen wijken

Voor nog te ontwikkelen wijken wordt het toepassen van kunststof dakgoten als bronmaatregel meegenomen. Kunststof dakgoten geven in tegenstelling tot coating een gegarandeerd resultaat en brengen geen beheerskosten met zich mee. Het zuiveringspercentage van deze oplossing op het voorkomen van uitloging van daken wordt daarom geschat op 90%. De overige 10% is wederom de zink afkomstig van regenpijpen en atmosferische depositie. [36]

De kosten van vervanging van zinken voor kunststof dakgoten bedraagt 62,9 euro per meter. [20] Indien de oude dakgoten wederom worden vervangen voor zinken dakgoten, bedragen de kosten 39,3 euro per meter. De extra kosten voor kunststof dakgoten zijn dus 23,6 euro per meter. Voor een rijtjeshuis is uitgegaan van een lengte van 12 meter dakgoot en een dakoppervlak van 55 m². [20] De totale kosten voor het toepassen van kunststof dakgoten in plaats van zinken dakgoten bedraagt dus 5,1 euro per m² dakoppervlak. Er zijn geen beheerskosten noodzakelijk want de dakgoten gaan langer dan 15 jaar mee.

5.2.2 Voorkomen uitloging lood uit daken

Ook loodslabben kunnen worden gecoat. De kosten hiervan worden geschat op 200 euro per huis. [20] Met een gemiddeld dakoppervlak van 70 m² komt dit neer op 2,9 euro / m² dakoppervlak. Ook hiervoor geldt een zuiveringspercentage van 90%. De coating heeft een minimaal rendement van 15 jaar, dus ook hier zijn geen extra beheerskosten meegenomen. [20]

5.2.3 Doorlatende verharding

Door toepassing van doorlatende verharding wordt het water dat tot afstroming komt verminderd. Uit bodemonderzoeken volgt dat toepassing van doorlatende verharding geen nadelige invloed heeft op de bodemkwaliteit. [14] Ook uit de Wbb blijkt dat toepassing van doorlatende verharding meestal geen probleem vormt.

Doorlatende verharding bestaat uit twee elementen, het bestratingsdeel en de infiltrerende funderingslaag. Het bestratingmateriaal heeft een zeer hoge doorlatendheid, zodat de neerslag direct infiltreert naar de funderingslaag. Hier vindt tijdelijke berging plaats. De infiltratiecapaciteit van de ondergrond is van belang. Indien deze te klein is, moet een aparte zandlaag van ongeveer 40 cm worden aangelegd. In het model kan daarom de k-waarde (m/dag) worden aangegeven. Deze waarde geeft aan hoe snel het water door de bodem zakt. Indien $k < 3$, worden de kosten van een extra onderlaag automatisch meegerekend.

Het zuiveringspercentage van doorlatende verharding wordt rechtstreeks gekoppeld aan de mate waarin de afstroming wordt verminderd. Bij infiltratie via voegen in onvervuilde staat is de doorlatendheid zeer hoog. Globaal zelfs 100 keer de maatgevende neerslagintensiteit. [14] Tijdig onderhoud voorkomt dat de doorlatendheid tot onder de maatgevende intensiteit daalt. Ook ander onderzoek [21] laat zien dat bijna al het water door de doorlatende verharding gaat. Er wordt echter geen afstromingscoëfficiënt gegeven. STOWA [14] concludeert dat 16% van de neerslag op doorlatende verhardingen tot afstroming komt. In dit onderzoek wordt daarom gerekend met een afstromingscoëfficiënt van 0,16. Voor normale wegen komt 58% uit een wijk tot afstroming. In vergelijking met een normale weg, komt dus slecht 28% tot afstroming. Dit geeft een rendement van 72%. Een klinkerweg met dichtgegroeide

groeven of slecht doorlatende ondergrond mag niet worden meegenomen als doorlatende verharding, omdat deze onvoldoende doorlatend is.

De kosten van doorlatende verharding (Tabel 5.2) zijn groot in vergelijking met die van normale verharding. De kosten van doorlatende verharding zijn voor de verschillende situaties in Tabel 5.3 uiteengezet. Bij een ‘nog aan te leggen’ wijk worden de kosten verminderd met de kosten van een normale weg van Dicht Asfalt Beton, wat neerkomt op 17 euro / m². [22]

Tabel 5.2: Kosten doorlatende verharding per m² [20]

	Kosten [€]
Verwijdering bestaande verharding	18
Aanleg doorlatende verharding	30
Drainagezand	14

Tabel 5.3: Overzicht kosten per m² doorlatende verharding in verschillende situaties

	Nog aan te leggen wijk	Bestaande wijk
Goed doorl. ondergrond	13	48
Slecht doorl. ondergrond	27	62

Indien een bestaande weg toe is aan vervanging, kan er met ‘nog aan te leggen’ wijk worden gerekend. Met verbeterde klinkers en een zorgvuldig gekozen funderingslaag zijn de ervaringen in het buitenland dat vegen/zuigen voldoende is om de doorlatendheid onder normale omstandigheden op peil te houden. Als er door extreme omstandigheden toch sprake is van verstopping, kan een vacuümcleaner het voegmateriaal uit de sparingen tussen de stenen zuigen. Na vervanging van het voegmateriaal is de doorlatendheid weer bijna volledig hersteld. [26] De extra kosten zijn niet bekend, maar verwacht wordt dat ze ten opzichte van de aanlegkosten niet groot zijn. Beheerskosten worden dan ook niet meegenomen.

5.2.4 Gecontroleerd infiltreren van dakwater

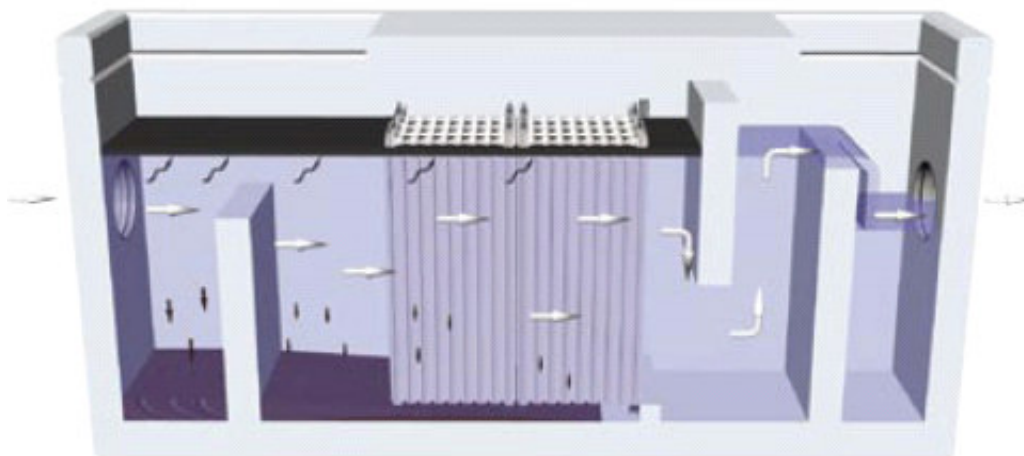
Gecontroleerd infiltreren vindt plaats via een infiltratievoorziening (koffers, kratten, riolen, kolken). Onder gecontroleerd infiltreren wordt verstaan infiltreren in bodem met daarin voldoende adsorptiecapaciteit voor verontreinigen, voldoende infiltratiecapaciteit en het toepassen van een bodemcontrole programma (grond en grondwater). Indien dit op de juiste manier gebeurt, wordt aangenomen dat de verontreinigingen van het dak voldoende worden gezuiverd. Dit wordt ondersteund door het beleid, dat erop is gericht om soepeler om te gaan met de infiltratie van hemelwater. In geval van hoge concentraties zink, moet zorgvuldig omgesprongen worden met deze maatregel. Vanuit de Leidraad Riolerig [23] wordt aangegeven dat de dimensionering van een infiltratievoorziening zo groot moet zijn, dat 95% van het volume kan worden afgevoerd. Bij toepassing van deze bronmaatregel neemt het aangesloten verhard oppervlak dan ook met dit percentage af. In de praktijk is dit niet terecht, omdat bij een bui van bijvoorbeeld T=25 de berging snel vol is en bij de gegeven bij dan veel meer dan 5% tot afstroming komt. In het model wordt de dimensionering van bronmaatregelen niet apart meegenomen. In de praktijk moet wel bekeken worden of de grondwaterstand laag genoeg staat.

De kosten van infiltratie met infiltratiekrat bedraagt 21 euro / m² aangesloten dakoppervlak [23]. Volgens de Leidraad Riolerig [43] zijn de kosten echter slechts 9 euro. Dit laat de grote spreiding in de kosten zien. Ter vergelijking wordt uitgegaan van de

kosten van de Leidraad. De infiltratiecapaciteit van infiltratievoorzieningen kan door verontreiniging afnemen. Het is niet bekend in hoeverre verstoppingsprocessen daadwerkelijk optreden, welke onderhoudsmaatregelen effectief zouden kunnen zijn en welke aanpassingen aan de constructie nodig zijn om goed onderhoud mogelijk te maken [26]. Er worden dan ook geen kosten meegenomen voor het beheer.

5.3 Afscheiders

5.3.1 Lamellenfilter



Figuur 5.1: Dwarsdoorsnede lamellenfilter [24]

Een lamellenfilter (Figuur 5.1) filtert zwevende stoffen. Het regenwater passeert eerst een zandvang voor de grove delen en daarna een lamellenpakket voor de fijnere delen. Lamellenfilters moeten eenmaal per jaar leeggezogen worden, waarna de lamellen worden schoongespoten. Het bezinksel is eenvoudig met een kolkenzuiger te verwijderen. Bij een te geringe drooglegging kan de voorziening niet meer onder vrij verval op het oppervlaktewater lozen. Dan biedt een pomp uitkomst.

Volgens de Leidraad Riolering [25] is een zuiveringspercentage van 50% haalbaar, maar er wordt aangegeven dat er nog niet veel bekend is aan metingen. Volgens een fabrikant is het zuiveringspercentage 95% voor vaste delen en kunnen zelfs opgeloste deeltjes zich aan het slib in de lamellen binden. Erg geloofwaardig is dit echter niet, maar metingen laten wel zien dat het zuiveringspercentage voor vaste stoffen hoger is dan 50%. Grontmij [26] gaat bij een berekening uit van een zuiveringspercentage van 70%. In dit onderzoek wordt gerekend met een zuiveringspercentage van 80% van vaste delen en 0% voor opgeloste delen. Dit komt goed overeen met waarden uit Tabel 5.4.

Tabel 5.4: Zuiveringspercentages lamellenfilters volgens onderzoek uit Frankrijk [27]

Gemiddelde verwijderingsrendementen uit run-off water met Hydrocompact® afscheiders (gewogen gemiddelden)					
zwevende delen	CZV	BZV	totaal stikstof	koolwaterstoffen	lood
70-80%	60-75%	60-75%	45-65%	57-80%	68-80%
Gemiddelde effluentwaarden in run-off water na Hydrocompact® afscheiders					
zwevende delen	CZV	BZV	koolwaterstoffen	zware metalen tot.	zink
10-20 mg/l	< 90 mg/l O ₂	< 30 mg/l O ₂	< 1 mg/l	< 0.2 mg/l	< 150 µg/l

Lamellenfilters zijn makkelijk inpasbaar, omdat ze weinig ruimte in beslag nemen en weinig verval nodig hebben. Er wordt daarom geen aparte berekening voor de dimensionering van een lamellenfilter meegenomen. De wRw [3] geeft aan dat een lamellenfilter zo gedimensioneerd moet worden dat 90% van het totale volume door de voorziening gaat.

Volgens de Leidraad Riolering [43] bedragen de kosten van een lamellenfilter in 2004 ongeveer 6 euro / m² aangesloten verhard oppervlak, wat voor 2006 neerkomt op 6,49 euro. De kosten van onderhoud bedragen ongeveer 0,02 euro/m² per jaar per m² aangesloten verhard oppervlak. Over een geheel van 15 jaar bedragen de beheerskosten dus 0,43 euro per aangesloten m² verhard oppervlak. Er blijkt echter dat niet zozeer het aangesloten oppervlak, maar vooral het aantal lamellenfilters van belang zijn. (Tabel 5.5)

Tabel 5.5: Kosten van een lamellenfilter³

Debiet	Kosten
5 l/s	8.700
14 l/s	13.750
50 l/s	16.500

Zo zijn er in de Almeerse wijk Waterwijk 17 uitstroompunten (bijlage 13). In het model is daarom ook de mogelijkheid ingevoegd om het aantal uitstroombakken aan te geven. Samen met het totale debiet geeft dit het gemiddelde debiet per filter. Van 0-9 l/s wordt er met een bedrag van 8.700 gerekend, van 10-30 met een bedrag van 13.750 euro en vanaf 30 l/s bedragen de kosten per lamellenfilter 16.500 euro. In dit geval wordt ervoor gekozen om de kosten per debiet mee te nemen en niet de kosten per m² van de Leidraad Riolerings. De beheerskosten worden wel overgenomen.

5.3.2 Bezinkbassin

Een bezinkbassin (ook wel: retentievijver) is een bovengronds bassin voor het lozen van water. In de voorziening kunnen zwevende delen bezinken. In vergelijking met zwevende stof afscheiders is de verblijftijd langer. Hierdoor kan flocculatie van fijne deeltjes en aërobe afbraak plaatsvinden. Een bezinkbassin moet niet worden verward met een bergbezinkbassin, een betonnen bak die na overstorten wordt geplaatst bij een verbeterd gemengd stelsel.

Onderzoeken geven aan dat het zuiveringspercentage voornamelijk afhankelijk is van de verblijftijd in het bezinkbassin, met een maximum van 70% tot 20% voor een verblijftijd van 48 tot 2 uur voor verontreiniging gebonden aan zwevende deeltjes. [28] In een ander rapport wordt uitgegaan van een zuiveringspercentage van ongeveer 80% voor zwevende delen. [29] Er wordt gerekend met een percentage van 60% voor zwevende delen. Zuivering van opgeloste delen vindt (vrijwel) niet plaats.

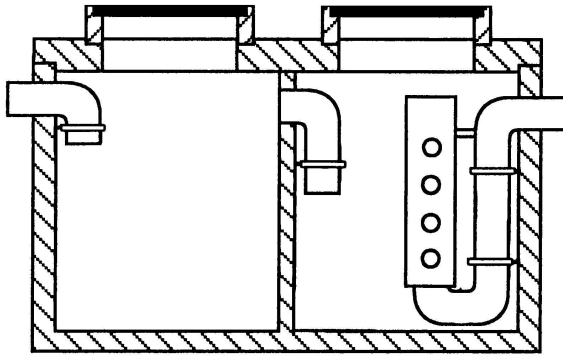
Vanwege de lange verblijftijd benodigd in het bassin, is de dimensionering van een bezinkbassin redelijk groot. In de praktijk worden voorzieningen vaak groter gedimensioneerd dan voor een te zuiverend volume van 90%, om 'water op straat' te voorkomen. In het model is de mogelijkheid te rekenen met T=25.

³ Persoonlijke communicatie met fabrikant. 17-02-06

Voor een te zuiveren volume van 90% geldt een dimensionering van 5,2% van het aangesloten verhard oppervlak. Voor $T=25$ is dit 14%. De benodigde hoogte vanaf de grondwaterstand is gelijk aan de hoeveelheid berging in de voorziening, omdat er geen ruimte nodig is om het water te laten infiltreren. Deze maatregel kan dus goed worden toegepast bij hoge grondwaterstanden.

De kosten voor een bezinkbassin zijn afhankelijk van de gekozen benadering. In de praktijk neemt de voorziening veel bergingsruimte in. Er wordt aangenomen dat de kosten gelijk zijn aan de kosten van een infiltratieveld met berging, omdat een bezinkbassin iets groter is, maar er geen grondverbetering hoeft plaats te vinden. De kosten zijn 6 euro per m^2 aangesloten verhard oppervlak voor een te zuiveren volume van 90%. Voor $T=25$ zijn de kosten 12 euro per m^2 aangesloten verhard oppervlak. Het slib dat in de bassins bezinkt, moet worden verwijderd. De frequentie waarmee dit moet plaatsvinden, is afhankelijk van de gereserveerde ruimte voor slibberging en de werkelijke slibaanwas. Aangezien de ruimte heel groot is, wordt ervan uitgegaan dat de beheerskosten heel laag zijn, en worden daarom niet meegenomen.

5.3.3 Olieafscheider met slibvang



Figuur 5.2: Dwarsdoorsnede slibvang en olieafscheider [30]

Olieafschers met slibvang (Figuur 5.2) zijn ondergrondse voorzieningen die zwevende delen door stroomverlamming afvangen. Een olieafscheider bestaat uit twee compartimenten, een slibvangput en een olieafscheidingsruimte. De olie vormt een drijflaag op het water. De Grontmij geeft een zuiveringspercentage van 50% voor zwevende delen [26]. In literatuur wordt aangegeven dat het zuiveringspercentage relatief hoog is [3], maar ze liggen naar verwachting lager dan die van lamellenfilters. [26] Het zuiveringspercentage wordt voor gebonden deeltjes op 60% gesteld.

De voorzieningen worden vaak op perceelniveau toegepast. De hoeveelheid toe te passen voorzieningen wordt afhankelijk gesteld van het debiet. Er wordt uitgegaan van een capaciteit van 5 l/s en aanlegkosten van 5000 euro per stuk. Deze gegevens zijn niet betrouwbaar.

Net als bij lamellenfilters, wordt het oppervlak vanwege het kleine ruimtebeslag niet apart berekend. Olieafschers kunnen ook onder de grondwaterspiegel worden aangelegd, dus is de diepte niet van belang. Omdat de olieafscheider moet worden leeggezogen, worden de beheerskosten gelijk gesteld aan die van lamellenfilters, namelijk 0,43 euro per 15 jaar per m^2 aangesloten verhard oppervlak.

5.4 Zuiveren door infiltratie

Infiltratievoorzieningen zuiveren zowel gebonden als opgeloste bestanddelen. Het zuiveringspercentage is afhankelijk van onder andere de pH, de redox, organische stof gehalte en aanwezigheid van klei(soort). Bij verlaging van de pH tot waarden <6 neemt de adsorptiecapaciteit van de bodem snel af, wat resulteert in een hogere mobiliteit van de metalen. Beheer en onderhoud van de filterende bodemlaag is essentieel voor het goed functioneren ervan. Een voortdurende monitoring levert inzicht in de opbouwsnelheid en aard van de verontreinigingen in deze laag. De kosten hiervan zijn niet bekend, maar er wordt aangenomen dat deze de helft zijn van de lamellenfilter en de olieafscheider. Bij langdurig gebruik en hoge accumulatie van verontreiniging dient deze laag te worden vervangen. De vervangingstermijn van de toplaag is afhankelijk van de grondsoort en het infiltratiedebiet. Deze ligt in de orde van tientallen jaren. [3] Hoe langer het water in de bodem blijft, hoe beter het gezuiverd kan worden en hoe beter opgeloste delen gebonden kunnen worden in de bodem. Het zuiveringspercentage van een infiltratievoorziening neemt toe naarmate het water langzamer door de voorziening gaat. De snelheid wordt aangegeven met de k-waarde [m/dag].

5.4.1 Bodempassage

Een bodempassage is een infiltratievoorziening zonder ondergronds systeem. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een bermassage. Het toepassen van een bodempassage is in West-Nederland met de hoge grondwaterstanden niet altijd makkelijk in te passen. Dit geldt met name voor bestaand stedelijk gebied, aangezien de ruimte niet beschikbaar is om regenwater via het maaiveld te infiltreren.

De doorlatendheid bij een bodempassage is in de praktijk vaak groter dan die van een wadi of een infiltratievoorziening. Het zuiveringspercentage voor opgeloste delen is daarom ook lager. Er wordt gerekend met 50% voor opgeloste delen en 99% voor gebonden delen.

Voor een te zuiveren volume van 90% is de dimensionering ongeveer 5,2% van het totale aangesloten verhard oppervlak. De benodigde diepte van de voorziening bedraagt ongeveer 0,5 meter. Al het water dat niet verwerkt kan worden door de bodempassage wordt zonder zuivering op nabijgelegen water overgestort.

Volgens de Leidraad Riolering zijn de kosten van een bodempassage 7 euro/m² aangesloten verhard oppervlak in 2004. Dit komt neer op 7,6 euro/m² voor het jaar 2006. Onderhoud bestaat uit 24 keer maaien per jaar en een maal per jaar beluchting.

5.4.2 Infiltratieveld met berging

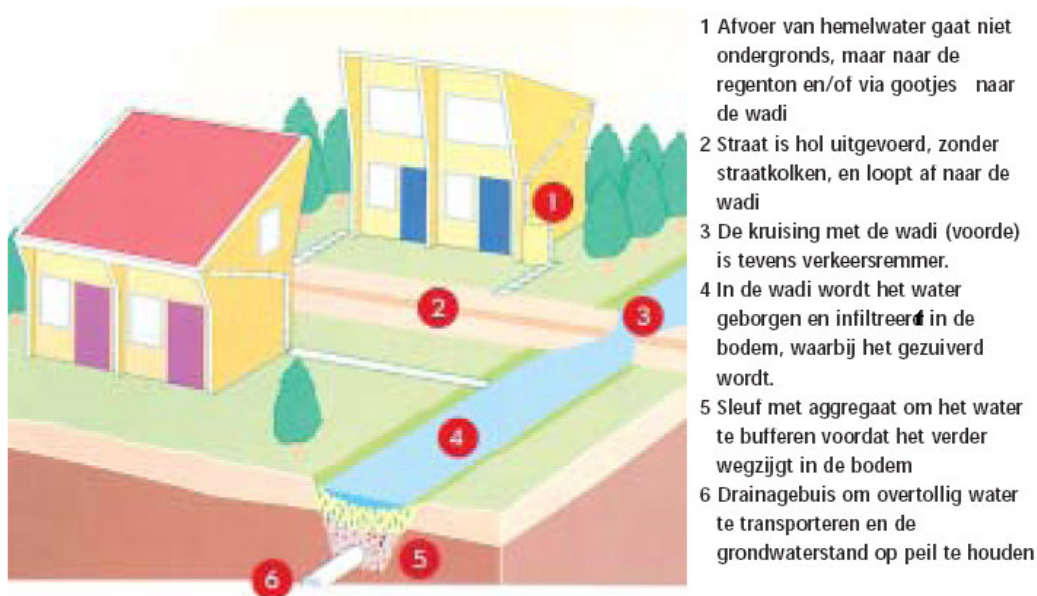
Een infiltratieveld met berging heeft dezelfde zuiverende werking als een bodempassage. De doorlatendheid is kleiner door grondverbetering en dus is het zuiveringspercentage hoger. Er wordt gerekend met een zuiveringspercentage van 70% voor opgeloste deeltjes. De dimensionering van een infiltratieveld is in de praktijk groter dan een bodempassage, omdat een infiltratieveld met berging net als het bezinkbassin vaak groter wordt gedimensioneerd. Voor $T=25$ is de dimensionering 12% van het aangesloten verhard oppervlak. Voor een te zuiveren volume van 90% is dit slechts 4,0% van het aangesloten verhard oppervlak.

De Leidraad Riolering geeft geen kosten voor een infiltratieveld met berging. Andere literatuur [20] blijkt dat de kosten per vierkante meter aangesloten verhard oppervlak 12

euro bedragen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de kosten zijn gebaseerd op 35 m² aangesloten verhard oppervlak. Bij een groter infiltratieveld zullen de kosten per vierkante meter minder zijn. Omdat de kosten voor de aanleg niet evenredig teruglopen voor een zuiverende voorziening, wordt voor een te zuiverend volume van 90% gerekend met 6 euro per m² aangesloten verhard oppervlak.

5.4.3 Wadi

Een wadi is een oppervlakkige infiltratievoorziening aangevuld met een ondergrondse infiltratievoorziening. Deze is toepasbaar bij slecht doorlatende grond en hoge grondwaterstanden. De werking wordt uitgelegd in Figuur 5.3. Vanwege de slecht doorlatende grond geldt voor een wadi ook een hoog zuiveringspercentage. Net als bij een infiltratieveld met berging wordt gerekend met 70% zuivering voor opgeloste delen.



Figuur 5.3: Doorsnede en werking wadi [31]

De dimensionering moet anders worden bepaald dan bij de andere voorzieningen, waarbij het water bij grote neerslag overstort naar ander oppervlaktewater. In een wadi wordt het water geborgen in de infiltratiekoffer, die in het model en volgens een voorbeeldberekening [31] een bui van T=25 aan moet kunnen. Voor een te zuiveren volume van 90%, is de dimensionering voorgerekend. In een regenbui van T=25 moet 40 mm worden geborgen. Er blijkt dat het totale oppervlak van een wadi 6,7% van het totaal aangesloten verhard oppervlak is. Dit komt goed overeen met de 5-10% uit de literatuur [26] [31]. Het is in het model niet mogelijk een wadi op een lager percentage te dimensioneren. De bovengrondse berging wordt dan zo klein, dat de ondergrondse kratten veel te groot moeten worden om de bui van T=25 te bergen.

De aanlegkosten van een wadi bedragen volgens de leidraad 5 euro/m² aangesloten oppervlak voor het jaar 2004. Er wordt aangegeven dat indien er wordt uitgegaan van 2 meter PVC-buis per meter wadi, de kosten nog met 2 euro/m² aangesloten oppervlak toenemen. De totale aanlegkosten voor het jaar 2006 bedraagt dan 7,6 euro per aangesloten verhard oppervlak. De beheerskosten voor maaien en beluchting zijn niet bekend.

5.4.4 Helofytenfilter

Een helofytenfilter is een bodem, die beplant is met helofyten. Dit zijn waterplanten, die kunnen groeien in een drassige of permanente ondergelopen bodem en waarvan de onderste plantendelen zijn ondergedoken, terwijl bladeren en bloemen boven het water uitsteken. In een helofytenfilter vindt zowel een biologisch zuiveringsproces plaats door in de bodem aanwezige micro-organismen als een fysisch chemisch zuiveringsproces door de filterende werking van de bodem. Op de wijze waarop het afvalwater door de zuivering stroomt wordt onderscheid gemaakt tussen drie typen helofytenfilters [23]:

- het vloeiveld
- het horizontaal helofytenfilter
- het verticaal helofytenfilter

Van deze typen worden verticale helofytenfilters verreweg het meest toegepast. Vloeivelden worden doorgaans aangelegd als nazuivering, dus na een ander biologisch zuiveringssysteem. Afstromend hemelwater kan dus aangesloten worden op een helofytenfilter dat effluent van een RWZI zuivert. Voor dit onderzoek wordt dan ook uitgegaan van een verticaal doorstromend helofytenfilter. (Figuur 5.4) Op 60 tot 100 cm diepte wordt het water door middel van drains afgevoerd. Voor de diepte wordt uitgegaan van de berging plus 0,8 meter tot de grondwater spiegel.



Figuur 5.4: Dwarsdoorsnelde van verticaal helofytenfilter [32]

Het zuiveringspercentage is hoger dan die van een bodempassage. Er wordt gerekend met een percentage van 99% van gebonden delen en 80% voor opgeloste delen. De dimensionering van een helofytenfilter is volgens de leidraad minimaal $0,05\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$, waardoor de dimensionering te bepalen is. Voor een te zuiveren volume van 90% is het oppervlak van een helofytenfilter als percentage van het aangesloten verhard oppervlak 17%.

De kosten van een helofytenfilter zijn voor een simpel filter ongeveer 25.000 euro. [33] Andere bronnen laten zien dat dit overeenkomt met een inwoner equivalent van ongeveer 50. [34] Het inwonerequivalent wordt gekoppeld aan het dakoppervlak. Met een aantal van 7 miljoen huishoudens ligt het gemiddelde aantal inwoners per huis op ongeveer 2,4. Het gemiddelde dakoppervlak bedraagt 70m^2 . De kosten van een helofytenfilter zijn 17 euro/ m^2 indien huishoudelijk afvalwater zou worden geloosd. Deze prijs wordt overgenomen.

$$\text{Kosten} = \frac{25000 * 2,4}{50 * 70} = 17 \text{ euro} / \text{m}^2$$

Het onderhoud bestaat uit het maaien van het riet waarbij de door de planten opgenomen stoffen worden afgevoerd. Er moet bovendien rekening gehouden worden met de groeicondities van de helofyten zodat ze niet afsterven. Men dient het filter regelmatig te controleren op mogelijke verstopping en het optreden van voorkeurstromen. [3] De beheerskosten zijn niet bekend.

5.5 Samenvatting beoordelingscriteria

Tabel 5.6: Zuiveringspercentage

	Totaal [%]	
Voorkomen zink	80 (coaten) / 90 (kunststof)	
Voorkomen lood	90	
Infiltreren dakwater	95	
Doorlatende verharding	72	
Zuiveringspercentage	Gebonden delen [%]	Opgeloste delen [%]
Lamellenfilter	80	0
Bezinkbassin	60	0
Olieafscheider met slibvang	60	0
Bodempassage	99	50
Infiltratieveld (met berging)	99	70
Wadi	99	70
Helofytenfilter	99	80

Tabel 5.7: Dimensionering

	[% van aangesloten verhard oppervlak]	
	90% te zuiveren volume	T=25
Voorkomen zink	-	-
Voorkomen lood	-	-
Infiltreren dakwater	-	-
Doorlatende verharding	-	-
Lamellenfilter	<	<
Bezinkbassin	5,8	14
Olieafscheider met slibvang	<	<
Bodempassage	5,2	-
Infiltratieveld (met berging)	4,0	12
Wadi	-	6,7
Helofytenfilter	17	-

Tabel 5.8: Kosten

	Per voorziening [euro]	Per m ² aangesloten verhard oppervlak [euro/m ²]	
Voorkomen zink	-	8,3 (bestaand) / 5,1 (nieuw)	
Voorkomen lood	-	2,9	
Infiltreren dakwater	-	9	
Doorlatende verharding	-	13/27/48/62	
		90% te zuiveren volume	T=25
Lamellenfilter	8700/13750/16500	-	-
Bezinkbassin	-	6	12
Olieafscheider met slibvang	5000	-	-
Bodempassage	-	7,6	-
Infiltratieveld (met berging)	-	6	12
Wadi	-	7,6	7,6
Helofytenfilter	-	17	-

Conclusie

De meegenomen directe bronmaatregelen verminderen verontreinigingen van zink of lood in afstromend hemelwater. Niet al het zink is afkomstig van dakgoten en coating heeft geen absoluut rendement. Voor coating geldt in dit onderzoek een rendement van 80%, voor kunststof dakgoten een rendement van 90%. Voor coating van lood geldt een zuiveringsrendement van 90%. Indirecte bronmaatregelen voorkomen dat het water tot afstroming komt. Infiltratie van dakwater heeft een rendement van 95% en mag alleen worden toegepast als de uitloging van metalen niet te groot is. Het rendement van doorlatende verharding ten opzichte van normale verharding is 72%. Bij doorlatende verharding is onderhoud erg belangrijk. Dichtgegroeide voegen en een ondoorlatende onderlaag zorgen voor grotere afstroming. De kosten worden omgerekend naar aangesloten dakoppervlak en voor doorlatende verharding per oppervlakte van wegen en parkeerplaatsen.

Afscheiders zuiveren opgeloste delen door bezinking. Het rendement van lamellenfilters is 80% voor gebonden deeltjes. Olieafscheiders in combinatie met een slibvang zijn simpele kleine zuiverende voorzieningen en worden vaak op perceelniveau toegepast. Het rendement is 60%. De twee voorzieningen zijn klein en dus goed inpasbaar. De kosten worden afhankelijk gesteld van de hoeveelheid water die door de zuiverende voorziening gaat en de hoeveelheid toe te passen afscheiders. Een bezinkbassin is een grote vijver, waarin bezinking plaatsvindt en wordt alleen toegepast wanneer de grondwaterstand te hoog is voor infiltratie. Ook hiervoor geldt een rendement van 60%.

Bij een bodempassage is de doorlatendheid in de praktijk vaak hoger dan bij een infiltratievoorziening. Het rendement is daarom ook lager. Het rendement voor opgeloste delen wordt gesteld op 99%. Voor een infiltratieveld en een wadi is het rendement voor opgeloste delen 70% en voor een bodempassage 50%. Een helofytenfilter wordt in de praktijk niet toegepast voor zuivering van enkel hemelwater, omdat de helofyten gevoed moeten worden met voedingsstoffen en de kosten groot zijn. Er wordt gerekend met een rendement van 99% voor gebonden deeltjes en 80% voor opgeloste delen. De dimensionering van een voorziening met berging is afhankelijk van het volume. In dit onderzoek wordt uitgegaan van $T=25$. In de praktijk wordt dit vaak op basis van reeksberekeningen gedaan.

Bij 90% zuivering van het volume is een bodempassage ongeveer 5,4% van het aangesloten oppervlak. Een infiltratieveld met berging 4,0 %, een wadi 6,7%, een helofytenfilter 17% en een bezinkbassin 5,8%. Voor $T=25$ geldt voor een infiltratieveld met berging een dimensionering van 12% en voor een bezinkbassin 14% van het aangesloten verhard oppervlak. De kosten zijn hierop aangepast.

6 CASE ALMERE

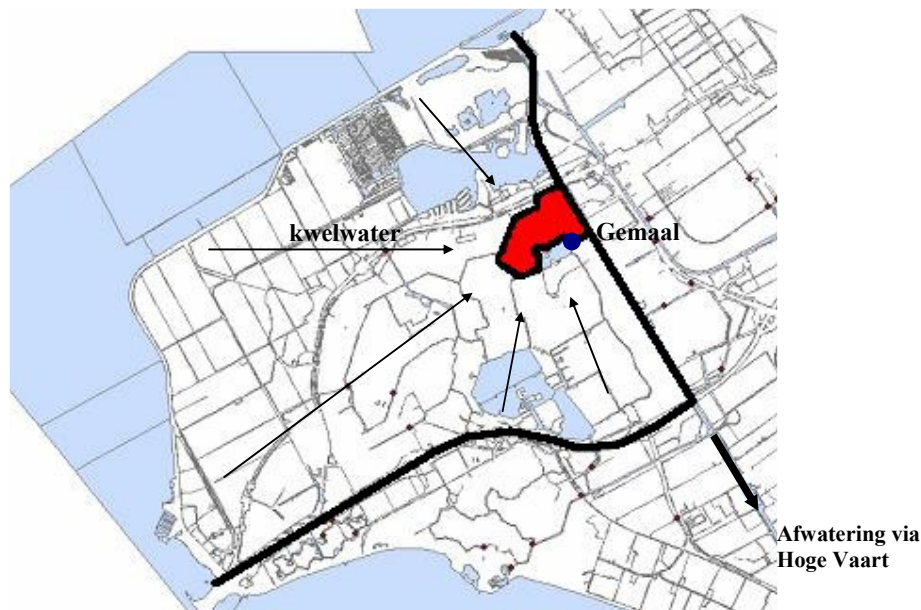
Het doel van de case Almere is het model te testen aan de hand van een concrete situatie en voor de stad Almere een keuze te maken voor zuiverende maatregelen. Hiermee wordt antwoord gegeven op het eerste deel van de vijfde onderzoeksvraag: de werkbaarheid. De betrouwbaarheid, die samen met de werkbaarheid de bruikbaarheid van het model bepaalt, wordt behandeld in hoofdstuk 7.

In paragraaf 6.1 wordt een inleiding gegeven van het watersysteem van Almere en de opbouw van de Waterwijk. In paragraaf 6.2 wordt de case voor de reeds bestaande Waterwijk uitgevoerd. Om de werkbaarheid goed te kunnen bepalen, worden de uitgangspunten in paragraaf 6.3 voor de Waterwijk aangepast en wordt er daarom gesproken van de ‘virtuele’ Waterwijk.

6.1 Situatieschets projectgebied

6.1.1 Almere

Almere is geschikt om te gebruiken als case. Het hemelwater wordt in de stad veelal rechtstreeks afgevoerd naar het oppervlaktewater, waardoor de kwaliteit van het oppervlaktewater wordt beïnvloed. Bij droog weer wordt de kwaliteit van het oppervlaktewater bepaald door de kwel. Al het kwelwater binnen de zwarte lijnen wordt afgevoerd via het gemaal ten zuidoosten van de Waterwijk. Al het water stroomt dus ten zuiden van de Waterwijk door het meer. (Figuur 6.1)



Figuur 6.1: Watersysteem Almere en Waterwijk (rood)

Er is een onderzoek gedaan naar de kwaliteit van de kwel. [35] De concentratie van zink is 12 $\mu\text{g/l}$, de concentratie van koper 1,0 $\mu\text{g/l}$. Gegevens van lood, PAK's en olie zijn niet beschikbaar. De gemiddelde kwel is 0,0005 m/dag. [36] Het totale oppervlak van het gebied is ongeveer 5.000 ha, wat neerkomt op een kwelvolumen (droog weer) van 9 miljoen m^3/jaar . Het debiet is dus 0,29 m^3/s .

Uitgaande van representatieve schattingen van koper en zink, wordt berekend dat er per jaar door het kwelwater alleen een vracht van 108 kg zink en 9 kg koper wordt afgevoerd van het projectgebied naar de Hoge Vaart. In tegenstelling tot prioritering wordt bij deze benadering gekeken naar vracht en niet naar concentratie. Dit is nauwkeuriger, omdat het volume afstromend hemelwater erg groot is.

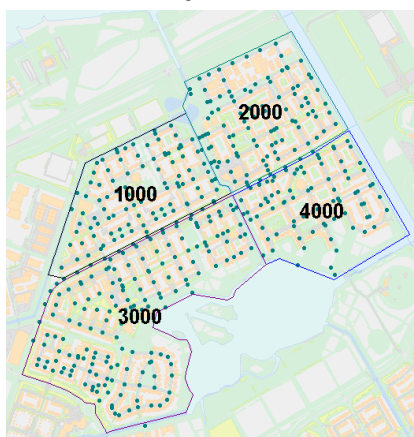
Het is interessant te bekijken wat de totale vracht is van alle verharde oppervlakken in Almere. Dit is een zeer grove inschatting, waarbij de onderverdeling gedaan door TNO [2], wordt overgenomen. Hierin wordt uitgegaan van 20% daken, 20% wegen en 60% onverhard. Er wordt voor heel Almere uitgegaan van 50% wijken voor 1985 en 50% wijken na 1985. De verontreiniging van wegen wordt ingeschat op W1, met als uitgangspunt dat de helft van de doorlatende verharding goed functioneert. Het totale oppervlak van Almere voor dit gedeelte bedraagt ongeveer 2.400 ha. In Tabel 6.1 zijn de berekende vrachten uit het model gegeven.

Tabel 6.1: Herkomst van verontreiniging in het watersysteem Almere [kg/jaar]

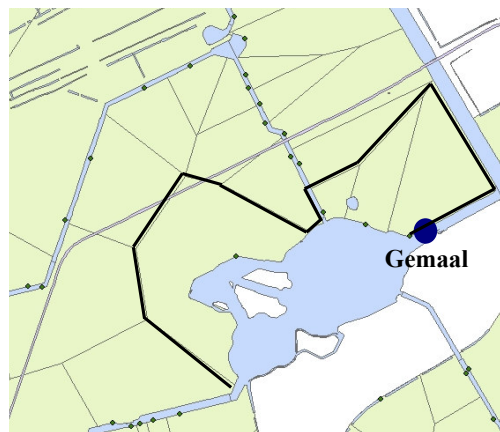
	Zink	Koper	Lood	PAK's	Olie
Kwel	108	9	Onbekend	Onbekend	Onbekend
Hemelwater	1330	80	580	5	590

Hoewel bovenstaande analyse erg grof is, wordt geconcludeerd dat een kwaliteitsverbetering van het afstromende hemelwater een grote invloed kan hebben op de kwaliteit van het oppervlaktewater.

6.1.2 Waterwijk



Figuur 6.2: Waterwijk met instroombakken

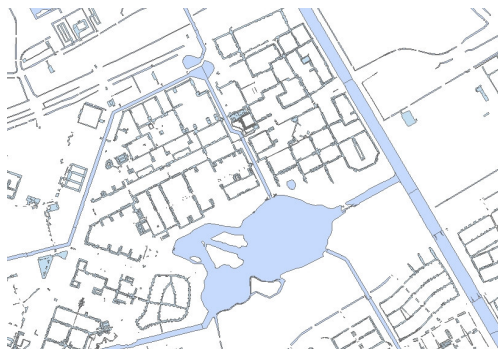


Figuur 6.3: Waterwijk met uitstroompunten

In de Waterwijk wordt onderscheid gemaakt in de wijk 1000, 2000, 3000 en 4000. (Figuur 6.2) Via 17 uitstroompunten wordt geloosd op het oppervlaktewater (Figuur 6.3). In Figuur 6.4 t/m 6.7 zijn de verhardingen van de wijk gegeven. Er wordt geconcludeerd dat de verblijfsobjecten (daken), klinkers (gedeeltelijk doorlatende verharding) en tegels (schoon oppervlak) gelijkmatig zijn verdeeld. De verdeling van asfaltwegen is minder gelijkmatig. In Tabel 6.2 zijn de gegevens gekwantificeerd, waaruit blijkt dat wijken 1000 en 4000 een lichte afwijking vertonen in verdeling van verharding. Tabel 6.3 geeft de percentages van asfaltwegen en klinkerwegen. De wijk is voor 1985 aangelegd en de intensiteit, zwaarte en snelheid van het verkeer is laag.



Figuur 6.4: Verblijfsobjecten



Figuur 6.5: Klinkers



Figuur 6.6: Asfalt



Figuur 6.7: Tegels

Tabel 6.2: Verdeling oppervlakken in de Waterwijk

	Dak		Weg		Stoep		Totaal
	[m ²]	[%]	[m ²]	[%]	[m ²]	[%]	
1000	43.360	40	35.070	32	31.290	29	109.720
2000	52.510	42	44.480	36	26.620	22	123.610
3000	77.740	42	66.690	36	42.270	23	186.700
4000	36.750	38	37.940	39	21.530	22	96.220
Totaal	210.360	41	184.180	36	121.710	24	516.250

Tabel 6.3: Verdeling wegen in klinkers en asfalt

	Klinkers [%]	Asfalt [%]
1000	89	11
2000	83	17
3000	76	24
4000	76	24
Totaal	80	30

Voor de Waterwijk geldt een grondwaterstand van 1 meter onder maaiveld en een goed doorlatende ondergrond. Plaatselijke infiltratie van dakwater is dan ook mogelijk. Er is geen ruimte om infiltratievoorzieningen toe te passen (in 6.3 wordt aangenomen dat deze ruimte wel aanwezig is). In Tabel 6.4 wordt de emissie van de Waterwijk naar het ontvangende oppervlaktewater gegeven. Het debiet van een gemiddelde lozing van het afstromend hemelwater bedraagt voor de hele wijk 307 m³/uur.

Door gebruik te maken van de immissietoets wordt bepaald wat de maximale concentratie van het afstromende hemelwater moet zijn. Aangezien de immissietoets uitgaat van één puntlozing en de afvoer bij neerslag moeilijk te bepalen is, moeten er aannames worden gedaan. Dit kan door uit de uitstroompunten die rechtstreeks op het

meer lozen te clusteren, waardoor ongeveer 30% van het oppervlak direct tot afstroming komt (Figuur 6.3). Indien dit gebeurt, mag worden verondersteld dat het overige water uit de stad tijdens de lozing nog niet bij het meer is. De lozing kan zo worden getoetst aan het kwelwater. Voor het uitstromende debiet wordt 30% van het hierboven genoemde gemiddeld debiet genomen. Uitvoering van de immissietoets laat zien dat zowel voor koper als zink aanvullende maatregelen nodig zijn. (Tabel 6.4)

Tabel 6.4: Emissie uit de Waterwijk

	Zink	Koper	Lood	PAK's	Olie
Vracht [kg/jaar]	99,5	4,3	32,0	0,28	35,4
Concentratie [ug/l]	420	18,1	135	1,19	149
Aantal keer MTR [-]	11	4,8	0,6	-	-
Vereiste concentratie volgens immissietoets [ug/l]	125	12	n.v.t.	-	-

In de volgende paragrafen wordt uitgegaan van verschillende uitgangspunten, om de werking van het model beter te kunnen testen. In paragraaf 6.3 wordt aangenomen dat de wijk nog aangelegd moet worden, zodat ook voorzieningen met een groot ruimtebeslag meegenomen kunnen worden. In paragraaf 6.2 wordt een keuze gemaakt op 'rendement en kosten', in paragraaf 6.3 op basis van 'gewenste kwaliteit'. Tabel 6.5 geeft de uitgangspunten die voor paragraaf 6.2 en 6.3 verschillen.

Tabel 6.5: Verschillende uitgangspunten van paragraaf 6.2 en 6.3

	6.2	6.3
Wijk	Bestaand	Nog aan te leggen
Immissietoets	Niet leidend	Wel leidend

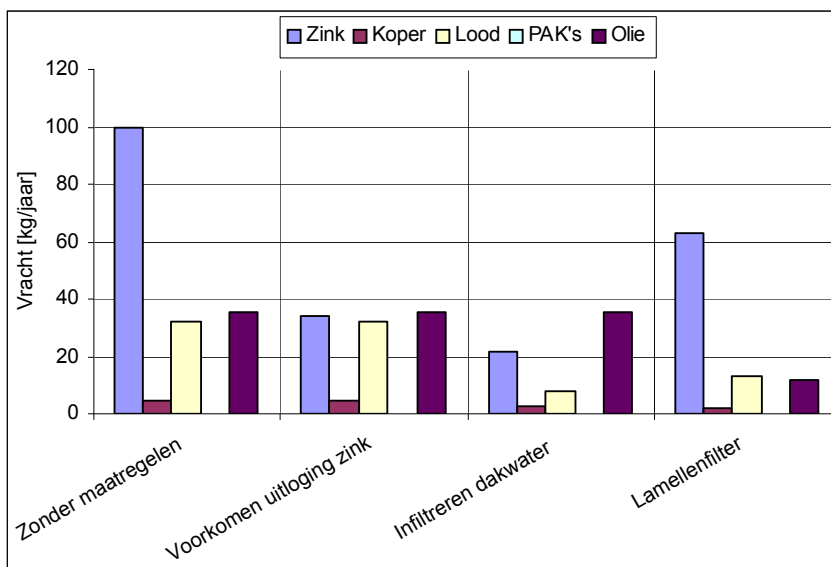
6.2 Maatregelen voor Waterwijk

De gemeente Almere denkt erover om lamellenfilters te plaatsen op de locatie van de uitstroompunten. Dit zijn er in het totaal 17 (Figuur 6.3). Daarnaast worden twee bronmaatregelen meegenomen. De maatregelen zijn:

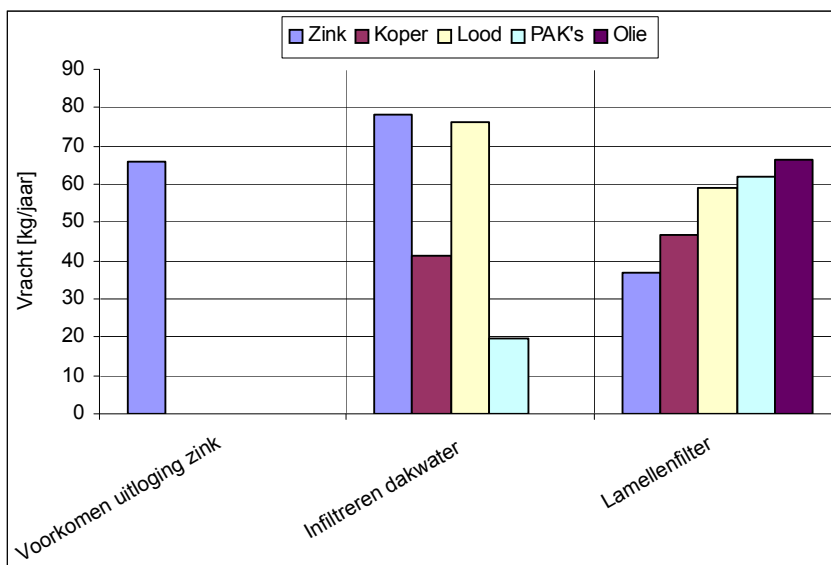
1. Plaatsing van lamellenfilters
2. Voorkomen uitloging zink
3. Infiltreren van dakwater

Het toepassen van goede doorlatende verharding wordt niet meegenomen, omdat dit een te dure oplossing is voor bestaand gebied. Uit het model blijkt dat de lamellenfilters voor een te zuiveren volume van 90% in totaal 386 l/s moeten kunnen verwerken. De totale kosten zijn 455 duizend euro. (hierbij moet worden opgemerkt dat, indien was uitgegaan van de Leidraad, de kosten voor een lamellenfilter 3,2 miljoen euro zouden bedragen) Er wordt aangenomen dat het water eerlijk over de lamellenfilters wordt verdeeld. Ter vergelijking wordt gekozen om ook de bronmaatregelen voor 90% toe te passen.

Figuur 6.8 geeft de uitkomsten voor de vrachten van de verschillende stoffen bij toepassing van de maatregelen. Figuur 6.9 geeft de rendementen.



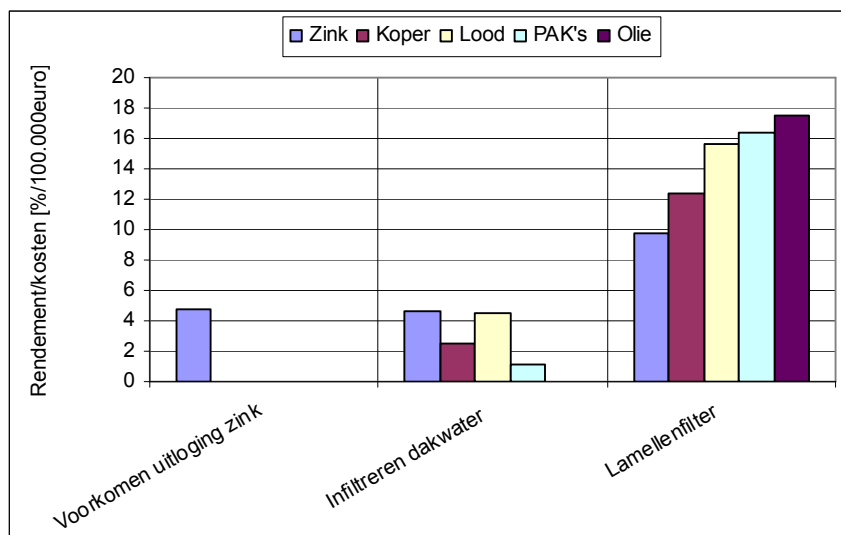
Figuur 6.8: Vrachten van de maatregelen voor 90% toepassing



Figuur 6.9: Rendementen van de maatregelen voor 90% toepassing

Infiltreren van dakwater lijkt een beter effect te hebben dan het toepassen van bronmaatregelen tegen zink. Beide bronmaatregelen hebben een groot rendement voor zink. Omdat 95% van het dakwater wordt geïnfiltreerd, wordt bij het infiltreren van dakwater ook voorkomen dat koper en lood van het dak tot afstroming komen. Voor het lamellenfilter geldt een hoger rendement voor PAK's en olie, omdat ook het wegwater wordt gezuiverd. Het rendement voor zink is daarentegen een stuk lager.

In Figuur 6.10 zijn de rendementen uitgezet tegen de kosten. Hieruit volgt dat lamellenfilters voordeliger zijn.



Figuur 6.10: Rendement per 100.000 euro na toepassing maatregelen

Lamellenfilters geven voor alle stoffen het beste resultaat. Beleidsmatig hebben ze echter niet de voorkeur. Omdat de zinkvracht van daken in dit geval groot is, verdient infiltreren zonder toepassing van bronmaatregelen beleidsmatig ook niet de voorkeur. In Tabel 6.6 is een overzicht gegeven van de maatregelen op het gebied van kosten, beleid en effectiviteit voor de verschillende stoffen.

Tabel 6.6: Overzicht van maatregelen (--/-/0/+/++)

	Beleid	Kosten	Rendementen				
			Zink	Koper	Lood	PAK's	Olie
Voorkomen zink	++	-	++	--	--	--	--
Infiltreren	--/+	-	++	+	++	-	--
Lamellen	-	+	0	0	+	+	+

Er kan geconcludeerd worden dat het lamellenfilter voor de stoffen koper, PAK's en olie de beste resultaten geeft, zowel op het gebied van rendement als op het gebied van kosten. Ook de bronmaatregel van 90% coaten wordt doorgerekend.

Tabel 6.7: Relatieve verontreiniging oppervlaktewater en kosteneffectiviteit voor 6.2

	Kosten [euro]	Zink		Koper	
		[-]	[%/miljoen euro]	[-]	[%/miljoen euro]
Oorspronkelijke situatie	0	100	-	100	-
Lamel 90%	0,46 milj.	97,5	5,3	97,8	4,8
90% bronmaatregelen	1,57 milj.	95,4	2,9	100	0

In Tabel 6.7 is de relatieve vuilvracht te zien. De oorspronkelijke vuilvracht is gesteld op 100. Een investering van 0,46 miljoen levert een rendement voor zink van 2,5% en voor koper van 2,2%. Het coaten van zink kost 1,57 miljoen en levert een totaal rendement op van 4,6%.

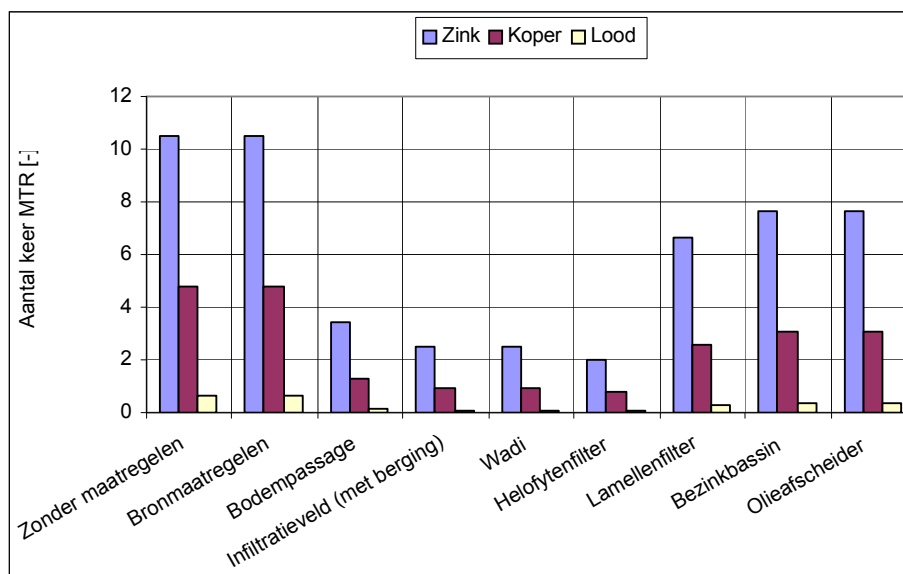
Bovenstaande benadering zegt nog niks over de mate waarin het zink gevaar oplevert voor het ontvangende water.

6.3 Maatregelen voor virtuele Waterwijk

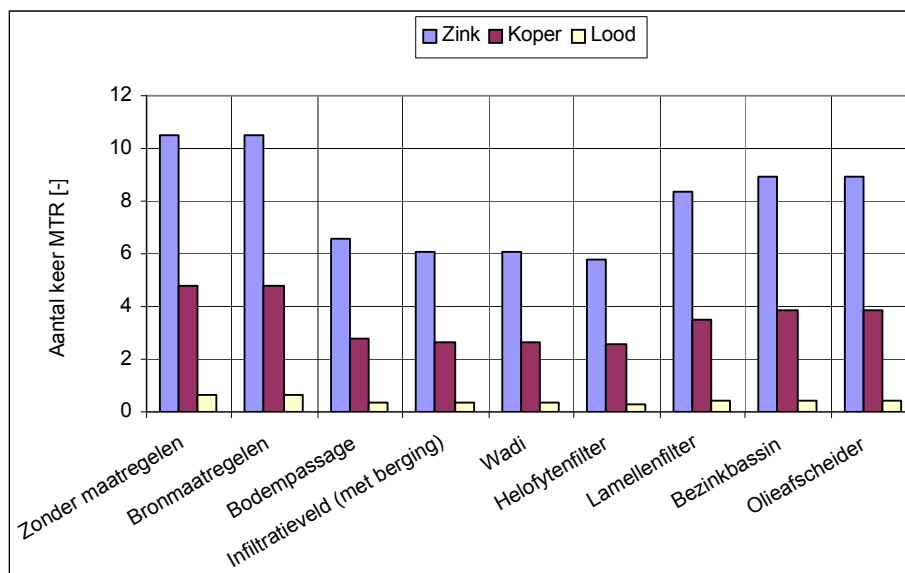
In de Waterwijk in Almere is weinig ruimte voor zuiverende voorzieningen. Om ook infiltratievoorzieningen mee te nemen als serieuze keuzemogelijkheid, wordt in deze paragraaf aangenomen dat de wijk nog aangelegd moet worden en er dus ruimte is voor infiltratievoorzieningen. Uit paragraaf 6.1 is gebleken dat er een concentratie van 125 $\mu\text{g/l}$ ($3,1 \cdot \text{MTR}$) voor zink en 12 $\mu\text{g/l}$ ($3,1 \cdot \text{MTR}$) voor koper behaald moet worden, om de lozing van een gemiddelde bui rechtmatig te laten zijn. Indirecte bronmaatregelen hebben geen effect op de concentratie, maar zorgen alleen dat het debiet afneemt (en de vuilvracht afneemt). Uit de immissietoets blijkt dat een afnemend debiet bijna geen invloed heeft op de maximale toelaatbare concentratie in het afstromend hemelwater.

Er zijn dus geen bronmaatregelen die rechtstreeks effect hebben op de concentratie van het koper in het regenwater. Er wordt daarom eerst bepaald welke maatregel noodzakelijk is om de concentratie van koper terug te dringen. Daarna kan bepaald worden met welk percentage de uitlozing van zink moet worden voorkomen.

Bij een gezuiverd volume van 90% voor afscheiders wordt de gewenste concentratie bereikt. (Figuur 6.11) Voor infiltratievoorzieningen hoeft slechts 50% gezuiverd te worden. (Figuur 6.12)



Figuur 6.11: Concentratie t.o.v. MTR voor te zuiveren volume van 90%



Figuur 6.12: Concentratie t.o.v. MTR voor te zuiveren volume van 50%

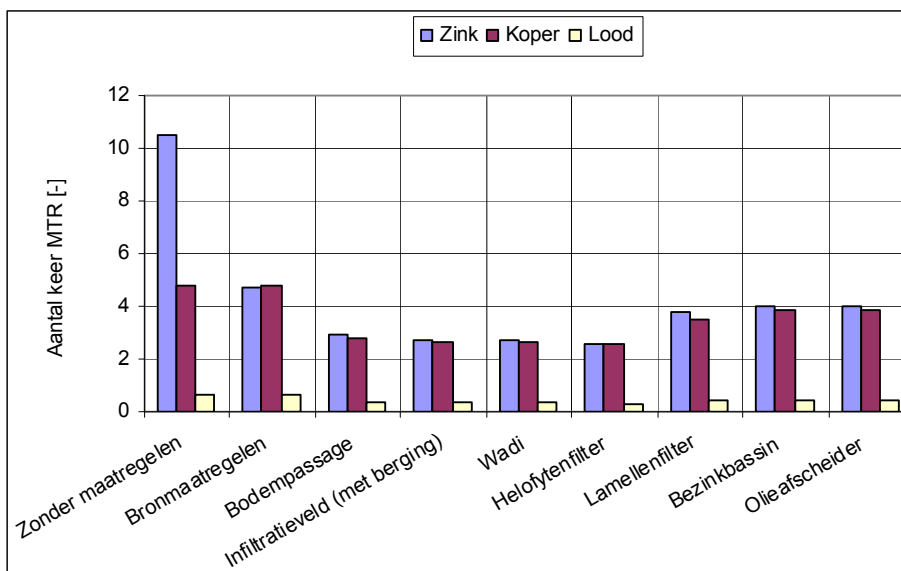
De kosten en dimensionering van infiltratievoorzieningen die een percentage van 50% zuiveren en afscheiders die een percentage van 90% zuiveren, zijn weergegeven in Tabel 6.8.

Tabel 6.8: Kosten en dimensionering t.o.v. aangesloten verhard oppervlak

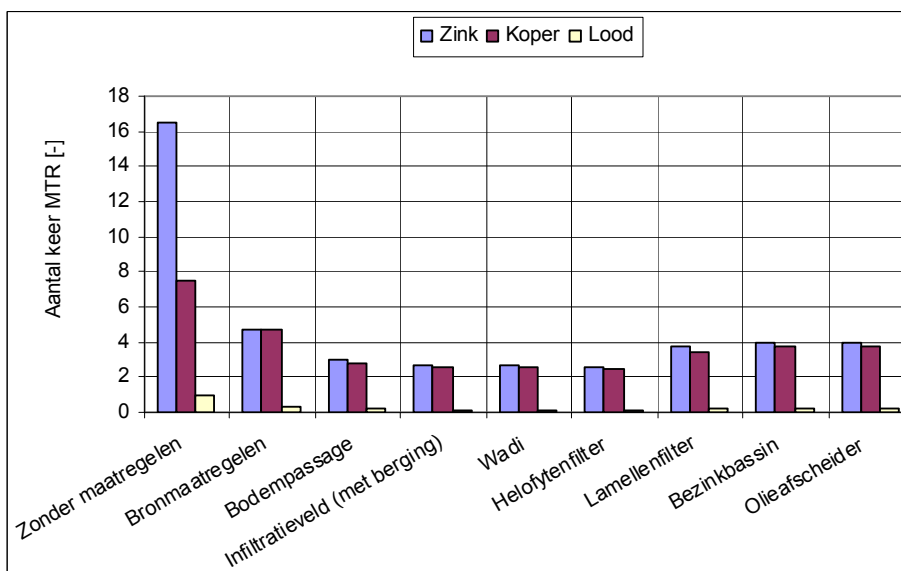
	Te zuiveren volume	Dimensionering [%]	Kosten [euro]
Bodempassage	50%	0,8	2,2 miljoen
Infiltratieveld met berging	50%	0,6	1,8 miljoen
Wadi	50%	5,9	2,2 miljoen
Helofytenfilter	50%	2,6	5,8 miljoen
Lamellenfilter	90%	<	0,46 miljoen
Bezinkbassin	90%	4,6	3,1 miljoen
Olieaafscheider	90%	<	0,61 miljoen

Een wadi is relatief groot, omdat deze niet is ontworpen op kleine volumes te zuiveren. De lamellenfilters en olieaafscheiders zijn goedkoop en makkelijk inpasbaar. Uit deze tabel is dan ook te concluderen dat het lamellenfilter de beste oplossing is. Hierbij moet worden opgemerkt dat de kosten uit de Leidraad Riolering voor lamellenfilters groter zijn, namelijk 6,5 euro per aangesloten verhard oppervlak voor een te zuiveren volume van 90%. De kosten voor een infiltratieveld met berging zijn 6 euro. Aangezien het infiltratieveld in dit voorbeeld op een kleinere capaciteit gedimensioneerd wordt, moet het lamellenfilter dus duurder zijn. Daarvan uitgaand kan dus geconcludeerd worden dat het infiltratieveld met berging de beste maatregel is.

Uit Figuur 6.13 volgt dat het coaten van 75% van de zinken dakgoten de vereiste concentratie van 3,1 keer MTR wordt bereikt. De totale kosten voor deze ingreep zijn 3,1 miljoen euro. Uit Figuur 6.14 volgt dat 82% van het dakwater moet worden geïnfiltereerd om de gewenste concentratie te bereiken.



Figuur 6.13: Concentratie t.o.v. MTR na toepassing 75% 'voorkomen uitloging zink'



Figuur 6.14: Concentratie t.o.v. MTR na toepassing 82% 'infiltreren dakwater'

In Tabel 6.9 worden de kosten en de relatieve vrachtbelasting voor de verschillende maatregelen gegeven.

Tabel 6.7: Relatieve verontreiniging oppervlaktewater en kosteneffectiviteit voor 6.3

	Kosten [euro]	Zink		Koper	
		[-]	[%/miljoen euro]	[-]	[%/miljoen euro]
Oorspronkelijke situatie	0	100	-	100	-
Infiltr. veld en 75% zink	3,1 milj.	94,9	1,6	97,9	0,68
Infiltr. veld en 82% infiltr.	2,8 milj.	94,2	2,1	96,8	1,1

Uit de tabel kan worden geconcludeerd dat het infiltreren van dakwater combinatie met een infiltratieveld met berging goedkoper is dan het coaten van zink en het toepassen

van een infiltratieveld. Ook de afstroming van vracht is voor zowel zink als koper minder. Beleidsmatig verdient coaten wel de voorkeur boven het infiltreren.

Conclusie

Uit de case blijkt dat met behulp van GIS-kaarten een goede inschatting is te geven van de hoeveelheid verhardingen. De indeling is echter niet altijd even makkelijk. Zo moet er worden ingeschat of de klinkerverharding goed doorlatend is en is niet duidelijk in hoeverre de kengetallen de werkelijkheid nabootsen.

Door inventarisatie van overige verontreinigingen op het watersysteem, wordt het effect van zuivering van afstromend hemelwater bepaald ten opzichte van de overige bronnen. De vrachtbenadering geeft goede uitkomsten over het rendement van zuiverende voorzieningen, maar zegt weinig over het probleem dat een lozing veroorzaakt. Door gebruikt te maken van de immissietoets kan gerekend worden naar een gewenste concentratie in het afstromende hemelwater. Een goede afweging is echter pas te maken als er meer zekerheid is over de kosten van de maatregelen. Er kan dan ook niet zomaar worden geconcludeerd dat de lamellenfilter voor de Waterwijk de beste oplossing is.

Het beleid is niet meegenomen, maar door de verschillende maatregelen naast elkaar te zetten, kan de beleidsmaker wel zelf een afwegen of men voorkeur geeft aan het beleid of aan de kosten.

7 BETROUWBAARHEID MODEL

In dit hoofdstuk wordt een globale gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Door constanten in het model te variëren wordt bekeken wat het effect is op de uitkomsten van het model. De onzekere constanten zijn gegeven in Tabel 7.1 (en Figuur 2.1). Om de duidelijkheid te behouden, wordt uitgegaan van een basissituatie:

- Wadi
- Te zuiveren volume van 90%
- 20.000 m² daken met categorie D2
- 18.000 m² wegen met categorie W1
- 12.000 m² schoon oppervlak
- 80% doorlatende verharding

De verhouding van de verhardingen is rechtstreeks afgeleid van de Waterwijk.

Tabel 7.1: Onzekere constanten en output die wordt bekeken

Zuiveringspercentage voorziening	Vracht
Bindingspercentage verontreiniging	Vracht
Lengte neerslaggebeurtenis	Dimensionering
Kengetallen	Vracht
Afstromingscoëfficiënt	Vracht

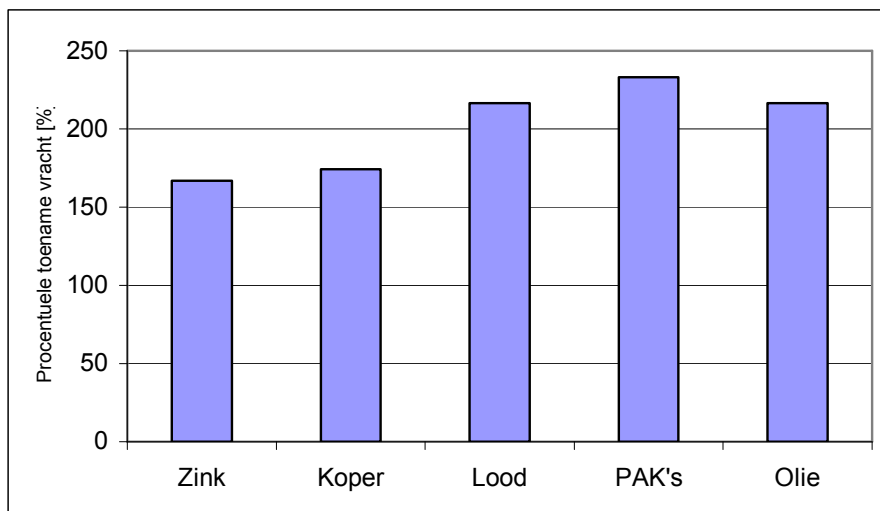
7.1 Zuiveringspercentage voorziening

Door hoge accumulatie of daling van de pH-waarde neemt het zuiveringspercentage van de wadi (en andere infiltratievoorzieningen) af. De Grontmij [26] geeft aan dat het zuiveringspercentage voor koper tussen de 30 en 90% ligt. Het model rekent met een zuiveringspercentage voor koper van 89%. (99% voor gebonden deeltjes en 70 voor opgeloste deeltjes) Omdat in de tijd vooral het zuiveringspercentage voor opgeloste delen afneemt, wordt het percentage voor opgeloste delen verlaagd naar 13%, voor gebonden delen naar 70%. Het rendement voor koper is dan 50%. In Tabel 7.2 zijn de zuiveringspercentages per stof en de procentuele toename van de vracht gegeven.

Tabel 7.2: Toegepaste zuiveringspercentages voor verschillende stoffen

	Zink	Koper	Lood	PAK's	Olie
99%-70%	87	89	97	95	97
70%-13%	45	50	65	62	65
Toename vracht [%]	167	174	216	205	216

Uit Figuur 7.1 blijkt dat het effect van veranderend zuiveringpercentage een zeer groot effect heeft op de vrachtemissie. De vracht kan bij afnemend zuiveringspercentage zelfs verdrievoudigen.



Figuur 7.1: Procentuele toename na vermindering zuiveringspercentage

7.2 Bindingspercentage verontreiniging

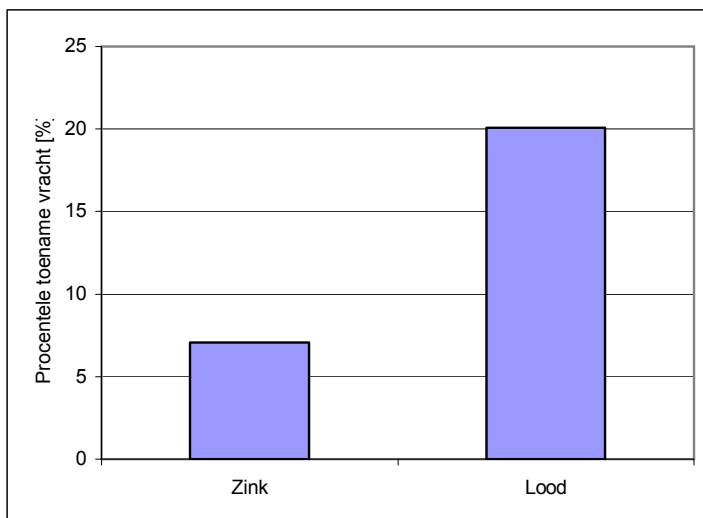
In hoofdstuk 5 wordt beschreven dat de verdeling van metalen over de vaste fase en de vloeibare fase afhankelijk is van onder andere de pH, de redox, organische stof gehalte en aanwezigheid van klei(soort). Daarnaast leidt een grotere hoeveelheid zwevend stof tot een grotere binding van deeltjes.

Tabel 7.3 geeft de bindingspercentages zoals toegepast in het model en geeft percentages die volgens literatuur ook voor zouden kunnen komen. (bijlage 7)

Tabel 7.3: Bindingspercentage voor probleemstoffen in model en voor kleine binding

	Zink	Koper	Lood	PAK's	Olie
Model	57	65	92	86	92
Alternatief	49	-	82	-	-

Uit metingen aan een weg [14] is voor zink een binding van 49%, voor koper een binding van 66%, voor PAK een binding van 86% en voor lood een binding van 82% gevonden. Er is geen spreiding aangegeven. In dit voorbeeld worden zink en lood als voorbeeld meegenomen, omdat hiervan de afwijking het grootst is. Dit betekent niet dat de andere stoffen geen spreiding vertonen. Figuur 7.2 geeft de procentuele toename van de vracht voor zink en lood.

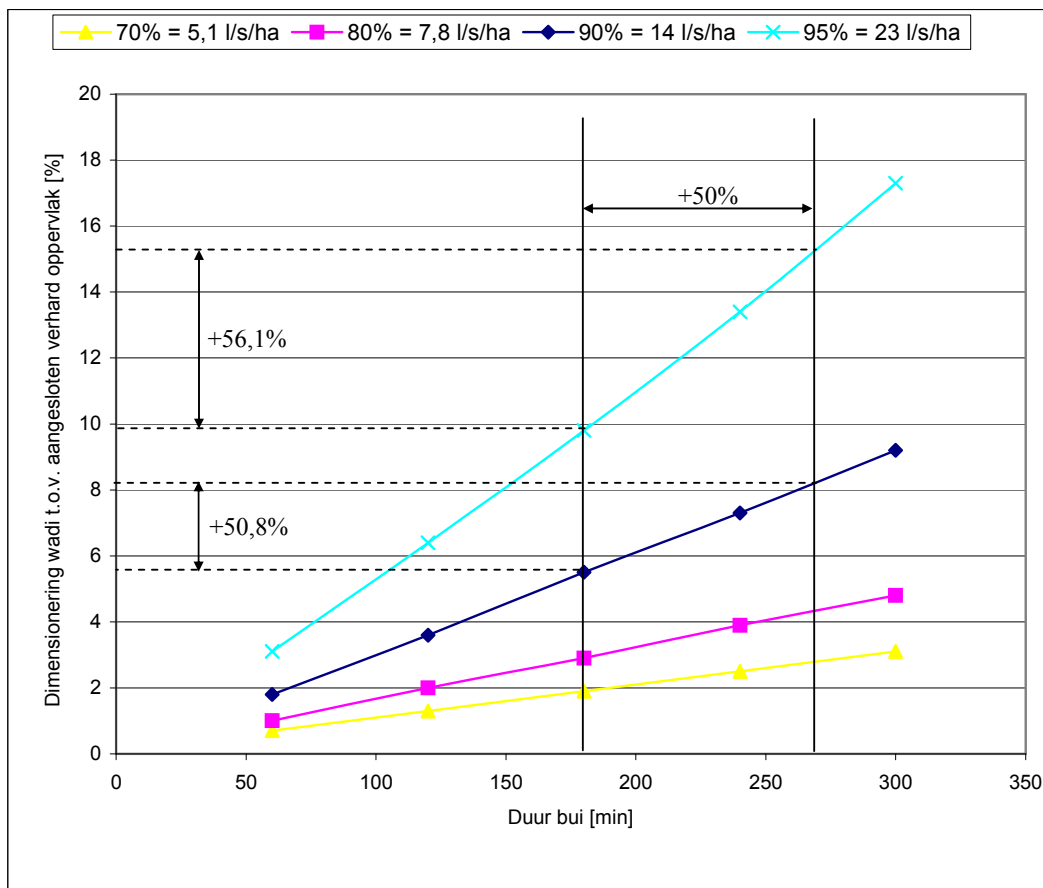


Figuur 7.2: Procentuele toename zink en lood na verandering bindingspercentage

Het verschil in vracht is vooral voor lood toegenomen, omdat het gedeelte opgelost meer dan verdubbeld is. Voor zink, waarvan een groot gedeelte toch al in opgeloste toestand aanwezig was, heeft een verschuiving minder effect. Omdat een spreiding op basis van de beschikbare informatie niet te geven is, is het effect moeilijk te bepalen. Wel kan geconcludeerd worden dat het effect minder groot is dan bij het teruglopen van het zuiveringspercentage van een ‘end of pipe’-voorziening.

7.3 Duur neerslaggebeurtenis

De duur van een neerslaggebeurtenissen is gesteld op 172 minuten. Voor buien van bijvoorbeeld 23 l/s/ha (95%) kan echter zowel een kortere (buien met veel neerslag duren vaak korter) als langere tijd worden gekozen (achtereenvolgende buien worden hier niet meegenomen). Een inschatting van deze afwijking is echter moeilijk te geven, omdat hier langdurige rekenreeksen voor nodig zijn. In Figuur 7.3 is de dimensionering van een wadi gegeven ten opzichte van het effectief aangesloten verhard oppervlak voor verschillende debieten en duur van neerslaggebeurtenis.



Figuur 7.3: Dimensionering wadi t.o.v. aangesloten verhard oppervlak

Er is te zien dat een toename duur van een bui een groter effect heeft op de procentuele toename van de dimensionering van de grotere te zuiveren volumes. In Tabel 7.4 is per percentage de verhouding aangegeven van de fout voor een verkeerd gekozen debiet.

Tabel 7.4: Dimensionering t.o.v. effectief verhard oppervlak

Percentage	Dimensionering bij 180 l/s/ha [%]	Dimensionering bij 270 l/s/ha [%]	Procentuele verandering	Fout
99	32,5	62,0	91%	1,82
95	9,82	15,3	56%	1,12
90	5,49	8,28	51%	1,02
80	2,96	4,38	48%	0,96
70	1,93	2,83	47%	0,93
60	1,34	1,95	46%	0,91
50	0,95	1,38	45%	0,91

Uit Tabel 7.4 is te concluderen dat naarmate het totale te zuiveren volume wordt vergroot, de fout van de dimensionering groter wordt. Het verschil tussen te zuiveren volume van 50% en 90% is echter nog klein. (11%) Voor een te zuiveren volume van 80% en 90% geldt ongeveer een rechtevenredige fout tussen het gekozen debiet en de dimensionering. Indien het debiet 10% groter gekozen moet worden vanwege bijvoorbeeld opeenvolgende buien, dan geldt dat de dimensionering ook 10% groter zou moeten zijn.

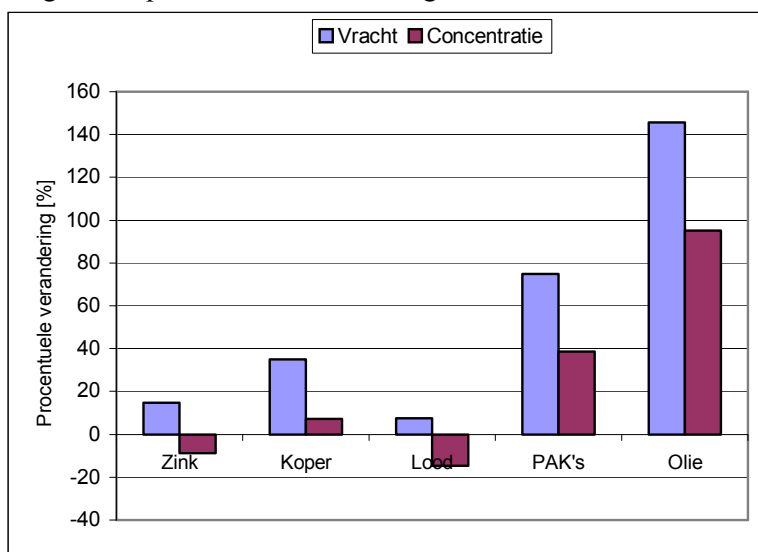
7.4 Kengetallen

Uit de analyse van de onderzoeken is gebleken dat de spreiding in concentratiemetingen erg groot kan zijn. Vooral voor zink zijn zeer grote maximale concentraties gevonden van 2500 µg/l en 6000 µg/l. Het is niet goed om deze concentraties rechtstreeks te vertalen naar vrachten, omdat zich in natuurlijke omstandigheden altijd een grote spreiding aanwezig is. De concentratie behorende bij de maximale verontreinigingsklasse D3 is daarom nog minder dan 1000. Binnen een neerslag kan de concentratie echter dus ongeveer 6 keer zo hoog zijn. Plaatselijk is het niet ondenkbaar dat een dubbele vracht ten opzichte van de hoogste verontreinigingsklasse plaats kan vinden.

Indien er onterecht voor verontreinigingsklasse D2 wordt gekozen in plaats van D3, dan is de inschatting ook meer dan twee keer zo laag. Voor de overige stoffen is de spreiding minder groot en wordt dan ook verwacht dat de vrachtgegevens redelijk betrouwbaar zijn. Een goede inschatting van de hoeveelheid zinken dakgoten is dus van belang. Het model zal een fout in kengetallen 1 op 1 doorrekenen.

7.5 Afstromingscoëfficiënt doorlatende verharding

Doorlatende verharding kan dichtslibben, waardoor de afwatering verslechtert en doorlatende verharding zich als normale verharding gedraagt. In dit voorbeeld wordt uitgegaan van alle 80% van de verharding, die nu op 0% wordt teruggebracht. Figuur 7.4 geeft de procentuele verandering van de vracht en concentratie.



Figuur 7.4: Verandering bij slechte doorlatendheid verharding t.o.v. doorlatende verharding

Indien doorlatende verharding minder doorlatend is dan gedacht, zal voor een gemiddelde wijk vooral de vracht van PAK's en olie toenemen. Het is dus zaak kritisch naar doorlatende verharding te kijken.

Conclusie

Het zuiveringspercentage van zuiverende voorzieningen heeft een grote invloed op de kwaliteit van het geloosde water. Dit is een probleem, want zuiveringspercentages van afscheiders zijn moeilijk in te schatten. Zuiveringspercentages van infiltratievoorzieningen kunnen sterk teruglopen. Ook heeft het bindingspercentage invloed, echter minder groot dan het zuiveringsrendement.

In hoofdstuk 5 is geconcludeerd dat het moeilijk is het volume te koppelen aan de dimensionering van een voorziening met berging. Alleen voor een te zuiveren volume van 90% is de koppeling gemaakt. Uit analyse van deze onzekerheid blijkt dat een fout in het volume voor de hogere volumes zelfs een meer dan rechtevenredige fout veroorzaakt voor de dimensionering. Voor kleinere volumes is dit niet het geval. Een verkeerde inschatting van het volume in het model blijft ook voor deze volumes echter van grote invloed. De dimensionering van voorzieningen met berging voor volumes anders dan 90% is niet betrouwbaar.

De doorlatendheid van de verharding is van belang voor de vracht die afstroomt. Het is voor de gebruiker dus belangrijk om goed te bekijken of klinkerverharding ook goed werkt als doorlatende verharding. Vooral voor PAK's en olie kunnen de verschillen groot zijn.

De onzekerheden in het model komen deels voort uit de weerbarstigheid van de praktijk, deels door tekortkomingen in het model zelf. Ook indien de onbetrouwbaarheden in het model zelf worden opgelost (kosten en dimensionering), zijn de uitkomsten slechts richtgetallen. Meer inzicht in de zuiveringspercentages van zuiverende voorzieningen zal de betrouwbaarheid van de uitkomsten wel sterk vergroten. Ook zonder deze gegevens, geeft het model betrouwbare uitkomsten over het verschil in effect op de kwaliteit van de verschillende zuiverende maatregelen.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De doelstelling van het onderzoek is: *“Ontwikkelen van een beslismodel waarmee, door invulling van specifieke gebiedsinformatie, kan worden bepaald of en hoe afstromend hemelwater gezuiverd moet worden en bronmaatregelen moeten worden toegepast, voordat het water wordt geloosd op het oppervlaktewater.”* In dit hoofdstuk worden de conclusies getrokken aan de hand van de onderzoeksvragen. Daarna worden de aanbevelingen gegeven.

1. Hoe komt een keuze voor een zuiverende maatregel tot stand?

Het model legt in tegenstelling tot de huidige beslisbomen een directe relatie tussen kwaliteit van het afstromende hemelwater, het benodigde rendement van zuiverende maatregelen en de normen vanuit het ontvangende watersysteem. Factoren als verkeerde aansluitingen, calamiteiten en draagvlak bij de bevolking worden niet in het model meegenomen.

De verschillende bronmaatregelen en ‘end of pipe’-voorzieningen worden tegen elkaar afgewogen door vergelijking van de ‘score’ op volgende beoordelingscriteria: zuiveringspercentage, dimensionering en kosten. Door variatie in percentages toe te passen bronmaatregelen en percentage te zuiveren volume, wordt een output gegenereerd, die voor elke maatregel bestaat uit de kwaliteit van afstromend hemelwater in vracht en concentratie, het rendement, de kosten, het rendement per kosteneenheid en het debiet. De bronmaatregelen zijn zowel parallel als in serie geschakeld met de ‘end of pipe’-voorzieningen, zodat een vergelijking kan worden gemaakt tussen de maatregelen en de kwaliteit van afstromend hemelwater kan worden bepaald indien meerdere maatregelen samen worden toegepast.

De gebruiker heeft de vrijheid zelf te bepalen hoe er tot de keuze van een zuiverende maatregel wordt gekomen. In hoofdlijnen kan dit zijn op basis van ‘rendement en kosten’ en op basis van ‘kwaliteit’. De gewenste concentratie kan worden bepaald door gebruik te maken van de immissietoets.

2. Wat is de gewenste/vereiste kwaliteit van het afstromend hemelwater?

Vanuit de wetgeving zijn geen normen opgesteld waaraan de kwaliteit van afstromend hemelwater moet voldoen. Wel wordt er aangegeven dat afstromend hemelwater van wegen met lichte verkeersbelasting en daken met weinig uitgeloopte materialen rechtstreeks op het oppervlaktewater mag worden geloosd. Het meer verontreinigde water mag zonder maatregelen niet geloosd worden. Beleids technisch geldt de volgende voorkeursvolgorde:

1. Directe bronmaatregelen
2. Infiltreren
3. Berging
4. ‘End of pipe’-voorzieningen

Dit wordt in het beslismodel niet als beoordelingscriterium meegenomen.

De gewenste kwaliteit van het ontvangende water wordt opgesteld door de beleidsbepalers. Het doel wordt vaak gesteld op het behalen van MTR-normen op korte termijn of streefwaarden op lange termijn. Om tot een effectieve verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit te komen is afstemming tussen de doelstelling en de daarvoor

benodigde emissiereductie gewenst, de zogenaamde emissie-immissie benadering, die vanuit het watersysteem (1) en vanuit een specifieke bron (2) benaderd kan worden. De eerste benadering resulteert in een prioritering van stoffen en (groepen van) bronnen, waarbij de mate van overschrijding van het MTR het belangrijkste criterium is. Prioritering houdt geen rekening met de vrachtbelasting vanuit verschillende bronnen naar het oppervlaktewater. Indien vrachtgegevens voor overige bronnen bekend zijn, kan er een vergelijk worden gemaakt in vracht. Dit geeft een eerlijker vergelijking tussen de verschillende verontreinigingsbronnen. De tweede benadering, genoemd immissietoets, omvat het beoordelen van de toelaatbaarheid van de lozing. Met kennis van de achtergrondconcentratie, dimensionering en debiet van het ontvangende watersysteem kan de maximale concentratie van het afstromend hemelwater iteratief worden bepaald. Indien er volgens het model voldaan wordt aan de immissietoets, betekent dit in de praktijk echter geen gegarandeerd resultaat, omdat het model slechts gemiddelde concentraties geeft, terwijl de concentratie door de grote spreiding in de praktijk veel groter kan zijn.

3. Wat is de kwaliteit van afstromend hemelwater?

De vrachten in het model zijn afhankelijk van het type verharding waarover het water afstroomt. Spreiding van verontreinigingen in regenwater worden niet meegenomen. Er wordt onderscheid gemaakt in daken, wegen, parkeerplaatsen en schone oppervlakken. Zink, koper en lood kunnen vooral bij daken een probleem vormen. Voor wegen en parkeerplaatsen kunnen naast deze zware metalen ook PAK's en olie worden aangetroffen in het afstromende hemelwater. Omdat niet alle daken en wegen even vervuילend zijn, kan er in het model een keuze worden gemaakt in verontreinigingsklassen, voornamelijk afhankelijk van het jaartal van bouw van de wijk en de intensiteit, snelheid en zwaarte van het verkeer. Indien de uitstoot van bedrijven niet groot is, dan mag de indeling in het model ook voor bedrijventerreinen toegepast worden.

Langdurige meetprogramma's kunnen tot meer inzicht leiden in een projectgebied, echter geldt dat individuele metingen, door de grote natuurlijk spreiding, geen betrouwbaardere informatie leveren. Busbanen en bestrijdingsmiddelen zijn niet meegenomen in het onderzoek, omdat hiervan geen of weinig metingen beschikbaar zijn.

4. Hoe voldoen de maatregelen aan de beoordelingscriteria?

De zuiveringspercentages in dit onderzoek geven in dit onderzoek een goede weerspiegeling van de huidige kennis. Er blijkt dat rendementen per lokatie sterk kunnen verschillen. Ook kan het zuiveringspercentage bij veranderende omstandigheden sterk afnemen.

De dimensionering van voorzieningen zonder berging is rechtstreeks gekoppeld aan het debiet, dat berekend is met behulp van een 10-jarige neerslagreeks. Per te zuiveren volume geeft dit een nauwkeurige uitkomst. Voor voorzieningen met berging is de koppeling van debiet gemaakt op basis van regenduurlijnen. Dit geeft onbetrouwbare resultaten, omdat er geen rekening wordt gehouden met de karakteristieken en openvolging van regenbuien. Rond april 2006 komt de nieuwe Leidraad Riolerings C2200 uit, die gericht is op dimensionering van hemelwatervoorzieningen.

Het is niet goed gelukt de kosten te koppelen aan de verschillende maatregelen. De beschikbare literatuur geeft uiteenlopende resultaten en beheerskosten zijn weinig beschikbaar. Voor de meeste ‘end of pipe’-voorzieningen is uitgegaan van de kosten uit Leidraad Riolering, waarbij de dimensionering afhankelijk wordt gesteld van het aangesloten verhard oppervlak. De kosten worden dus niet rechtstreeks aan de dimensionering van de voorziening gekoppeld.

5. Hoe werkbaar en betrouwbaar is het model?

Uit de case blijkt dat met behulp van GIS-kaarten een goede inschatting is te geven van de hoeveelheid verhardingen. De indeling is echter niet altijd even makkelijk. Zo moet er worden ingeschat of de klinkerverharding goed doorlatend is en is niet duidelijk in hoeverre de kengetallen de werkelijkheid nabootsen. Door inventarisatie van overige verontreinigingen op het watersysteem, wordt het effect van zuivering van afstromend hemelwater bepaald ten opzichte van de overige bronnen. Op deze manier kan een goede inschatting worden gemaakt in het effect van zuiveren van afstromend hemelwater. Uit de case blijkt dat er op basis van de immissietoets kan worden bepaald wat de maximale concentratie van afstromend hemelwater moet zijn en kan een afweging gemaakt worden voor de toe te passen maatregelen. De input is goed te geven en de output geeft onderscheidende uitkomsten.

De betrouwbaarheid is afhankelijk van de natuurlijke onnauwkeurigheden en onbetrouwbaarheid van het model zelf. Natuurlijke onnauwkeurigheden: het zuiveringspercentage van voorzieningen heeft een grote invloed op de kwaliteit van het geloosde water en het bindingspercentage van stoffen is door gebrek aan metingen moeilijk te voorspellen. Door de weerbarstige praktijk kan de kwaliteit van het afstromend hemelwater plaatselijk sterk afwijken van de opgestelde kengetallen. De doorlatendheid van de verharding is van belang voor de vracht die afstroomt. Het is voor de gebruiker dus belangrijk om goed te bekijken of klinkerverharding ook goed werkt als doorlatende verharding. Het model geeft ondanks deze onbetrouwbare uitkomsten wel een beter beeld dan de huidige beslisbomen. De onbetrouwbaarheden in het model moeten dan wel worden verbeterd: de koppeling van verschillende percentages te zuiveren volume aan de dimensionering van voorzieningen met berging is gebaseerd op regenduurlijnen en geven daarom onbetrouwbare uitkomsten. Uit analyse van deze onzekerheid blijkt dat een fout in het volume voor de hogere volumes zelfs een meer dan rechtevenredige fout veroorzaakt voor de dimensionering. Door de onbetrouwbaarheden in de kosten, is het nog niet mogelijk dit onderdeel van het model als betrouwbaar te bestempelen.

Aanbevelingen

- De kosten van de ‘end of pipe’-voorzieningen moeten worden gekoppeld aan de dimensionering van de voorziening. In het geval van lamellenfilters en olieafscheiders moeten de kosten afhangen van het te zuiveren debiet.
- Voor voorzieningen met berging moet gerekend worden met reeksberekeningen. Ook de nog niet gepubliceerde Leidraad Riolering C2200 levert informatie voor de dimensionering van hemelwatervoorzieningen.
- Een beter beeld over het zuiveringspercentage vergroot de betrouwbaarheid van het model. Er ontstaat meer zekerheid over het rendement van een maatregel.
- Het model kan worden uitgebreid indien er meer bekend is over de verontreiniging van busbanen en bestrijdingsmiddelen.

LITERATUURLIJST

- [1] http://nl.wikipedia.org/wiki/Riolering#Soorten_riolering. Bezocht op 24-11-05.
- [2] M. Oosterhuis & R.H.J. Korenromp (2002). Verontreiniging van de infiltratievoorziening. TNO-rapport R 2002/618.
- [3] F.C. Boogaard & T.T. Do (2003). Beslisboom aan- en afkoppelen verharde oppervlakken 2003. Tauw bv. Rapport R001-425929TTD-D01-U.
- [4] www.becobouwplaats.nl/IBOS. Bezocht op 16-11-05.
- [5] F. Loots (2004). Regenwater verantwoord afkoppelen in Zeeland. Universiteit Utrecht. Rapport P-UB-2004-06.
- [6] J.W. van Sluis (2005). SESRIO, Snelle emissieschatting voor gemengde en gescheiden rioolstelsels. STOWA Rapport 2004-31. ISDN 90-5773-272-6, Utrecht.
- [7] <http://www.hetwaterendestad.nl>.
- [8] Commissie Integraal Waterbeheer (2003). Standaardisatie Wvo-vergunningen. Werkgroep 4: Water en Milieu.
- [9] G. van Eck (2001). Risicobeoordeling Munitiestort Oosterschelde. Rapport van Rijkswaterstaat RIKZ/2001.022.
- [10] CUWVO (2000). Emissie-Immissie.
- [11] <http://www.kaderrichtlijnwater.nl/download-document.php?id=1235>. Bezocht op 24-03-06.
- [12] www.kaderrichtlijnwater.nl. Bezocht op 06-02-06.
- [13] C.P.M. van Rens (2005). Kwaliteit afstromend hemelwater. Niet gepubliceerd.
- [14] T. van Mosseveld (2005). Kwaliteitsaspecten infiltreren stedelijk water beter bekeken. STOWA Rapport 2005-23. ISDN 90.5773.312.9, Utrecht.
- [15] R.J.M. Teunissen (1998). Regenwater in de stad. Deel 1. De samenstelling van afstromend regenwater. RIZA Afdeling Diffuse en Communale bronnen. Werkdocument 98.090.X.
- [16] Commissie Integraal Waterbeheer (2002). Afstromend wegwater. Werkgroep 4 Water en Milieu.
- [17] F.C. Boogaard & S.P. de Jong (2002). Overzicht samenstelling afstromend regenwater. Tauw bv. Rapport R001-3934314FCB-D01-U.
- [18] M. Oosterhuis & R.H.J. Korenromp (2002). Verontreiniging van de infiltratievoorziening. rapport R 2002/618.
- [19] Natuur en milieu Utrecht (2005). Metalen in de bouw, niet in het water. Basisdocument bouwmaterialen professionele bouwpartijen.
- [20] DHV (1999). Handreiking bij een keuze voor behandelmethoden na afkoppelen. Azu\EH\ONA992903.
- [21] M.A. Rus (2004). Doorlatende verharding. Proefvlakken op parkeerplaats bij noodschool 3T, resultaten van 1 jaar monitoring. Dienst Stadwerk Almere.
- [22] <http://www.cpb.nl/nl/research/sector5/mi/data/reistijdbotenZOAB.xls>. Bezocht op 15-02-06.

-
- [23] Leidraad Riolering (2005). Module B2200. Functioneel ontwerp: inzameling en transport van afvalwater en regenwater.
- [24] Facet International. Zeer efficiënte olie- en regenwater run-off afscheiders. Elementaire oplossingen in beton.
- [25] Leidraad Riolering (2005). Functioneel ontwerp: inzameling en transport van afvalwater en verontreinigd regenwater.
- [26] Grontmij (2005). Aanbevelingen voor de behandeling van regenwater.
- [27] http://www.xs4all.nl/~ftpaq005/hydrocompact_prestaties.htm. Bezocht op 20-03-06
- [28] Stahre T, Urbonas B. Stormwater detention for drainage, water quality and CSO management. New Jersey: Pretice Hall, 1990.
- [29] R.P.M. Berbee, G.B.J. Rijs en M.W. Brouwer. (1996) Behandeling afstromend wegwater van snelwegen. RIZA Nota nr.: 96.017. ISBN: 9036945488.
- [30] www.aquafix.nl. Bezocht op 12-12-05.
- [31] R. Wentink, F.C. Boogaard, G. Bruins, P. Bode (2003). Wadi's doorgelicht. Tussenrapportage over het hydraulisch en milieuhygiënisch functioneren en de waardering van bewoners. Stichting RIONED. IDBN 90 73645 16 6.
- [32] www.ibasinbeeld.nl. Bezocht op 8-02-06.
- [33] Arcadis (2005). Gevolgen van de KRW voor het stedelijk gebied van Roosendaal. 110502/ZF5/4J9/201169
- [34] www.zibb.nl/bouw. Bezocht op 13-02-06.
- [35] Kuppen (2002). Emissies naar oppervlaktewater in Provincie Flevoland. Inventarisatie en kwantificering per watersysteem. Rapport Royal Haskoning. 4L1063.A0/R0004/CHVK/DHEN/Nijm.
- [36] DHV (2005). OAS Almere fase B. Deelstudie Watersystemen. Dossier: W8626-01-005.
- [37] M. Oosterhuis & R.H.J. Korenromp (2002). Verontreiniging van de infiltratievoorziening. TNO-rapport R 2002/618.
- [38] F.C. Boogaard & P.P. van der Pijl (2005). Regenwater op bedrijventerreinen. Tauw bv. Rapport R001-4270427FCB-leh-V01-NL.
- [39] STOWA (2004). Omgaan met hemelwater van bedrijfs- en bedrijventerreinen. Rapportnummer 2004-23. ISBN 90.5773.257.2, Utrecht.
- [40] M. Drost (2000). Afkoppeling van hemelwater "van initiatief tot vervanging". Rapportage DHV Water.
- [41] http://www.duurzaambouwmetaal.nl/index.php?option=com_content&task=view&id=53&Itemid=54&lang=. Bezocht op 9 november.
- [42] G.B. Lemmen (2005). Aanbevelingen voor de behandeling van regenwater. Rapport Grontmij Nederland bv. 13/99055133/GL, Houten.
- [43] Leidraad Riolering (2005). Module B1100. Schetsontwerp: inzameling en transport van afvalwater en regenwater.

VERKLARENDE WOORDENLIJST

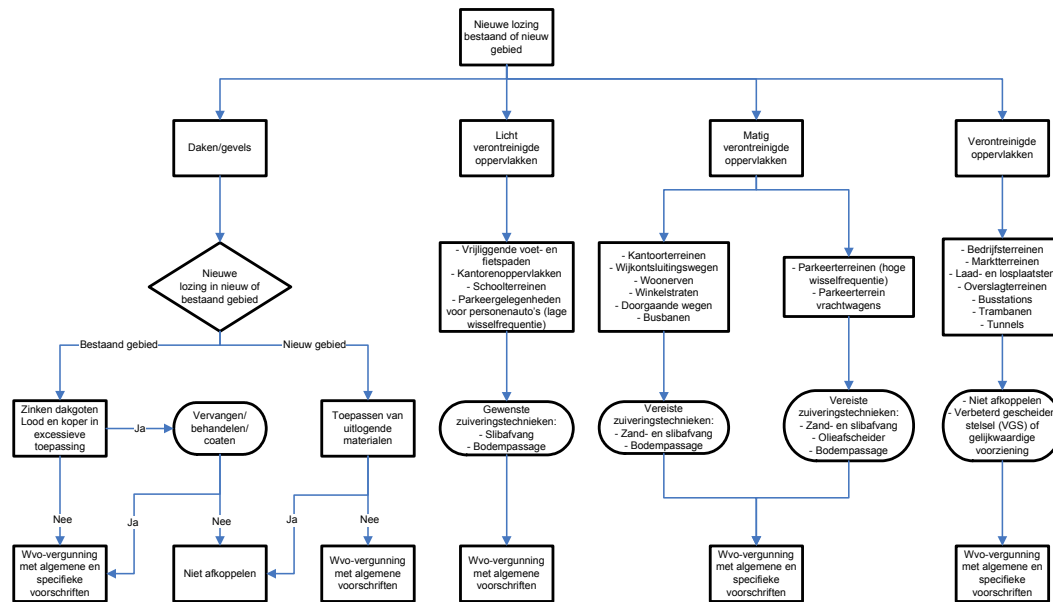
- Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR): wetenschappelijk afgeleide waarde voor een stof, die aangeeft bij welke concentratie geen nadelig te waarden effect te verwachten is
- Afstromingscoëfficiënten: gedeelte van water en verontreiniging dat per verharding tot afstroming komt
- Immissietoets: toets om toelaatbaarheid van een lozing te checken
- Prioritering: rangschikken van verontreiniging van bronnen op basis van overschrijding MTR
- Gemengd stelsel: rioolstelsel waarbij hemelwater gezamenlijk met de droogweerafvoer (afvalwater) naar de zuivering wordt getransporteerd
- Verbeterd gemengd stelsel: gemengd stelsel met bergbezinkbassin achter overstort
- Gescheiden stelsel: rioolstelsel waarbij hemelwater niet wordt aangesloten op de droogweerafvoer
- Verbeterd gescheiden stelsel: rioolstelsel waarbij 70% van het hemelwater wordt afgevoerd naar de zuivering en 30% ongezuiverd wordt geloosd op het oppervlaktewater
- Overstort: lozing van afvalwater vanuit het gemengde stelsel op het oppervlaktewater bij overschrijding capaciteit riolering
- PAK: Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen
- Vracht: verontreiniging in kg/jaar
- Concentratie: verontreiniging in ug/l
- Verontreinigingsklasse: indeling van de mate van verontreiniging, afhankelijk van verontreinigde eigenschappen van verharding
- Hemelwater: regenwater dat in aanraking is gekomen met de grond
- Afstromend hemelwater: hemelwater
- Zuiverende maatregel: 'End of pipe'-voorziening of bronmaatregel
- 'End of pipe'-voorziening: zuiverende maatregel geplaatst voor lozing op het ontvangende water
- Bronmaatregel: zuiverende maatregel voordat het hemelwater tot afstroming komt
- Regenwater: water vanuit de atmosfeer dat nog niet met de grond in aanraking is gekomen
- Rendement: procentuele reductie van de vracht bij toepassing maatregel
- Zuiveringspercentage: percentage waarmee een voorziening de verontreinigingen uit het water kan zuiveren

LIJST VAN TABELLEN EN FIGUREN

Tabel 2.1: Overzicht van meegenomen zuiverende maatregelen	13
Tabel 3.1: MTR-waarden voor zink, koper en lood [$\mu\text{g/l}$]	18
Tabel 3.2: Prioritering met kleurcodering	19
Tabel 4.1: Afstromingscoëfficiënten van verhardingen	23
Tabel 4.2: Kengetallen daken [kg/ha/jaar]	24
Tabel 4.3: Kengetallen daken [$\mu\text{g/l}$]	24
Tabel 4.4: Kengetallen wegen [kg/ha/jaar]	25
Tabel 4.5: Kengetallen wegen [$\mu\text{g/l}$]	25
Tabel 4.6: Kengetallen parkeerplaatsen [kg/ha/jaar]	26
Tabel 4.7: Kengetallen parkeerplaatsen [$\mu\text{g/l}$]	26
Tabel 5.1: Overzicht van de meegenomen maatregelen	27
Tabel 5.2: Kosten doorlatende verharding per m^2	30
Tabel 5.3: Overzicht kosten per m^2 doorlatende verharding in verschillende situaties	30
Tabel 5.4: Zuiveringspercentages lamellenfilters volgens onderzoek uit Frankrijk	31
Tabel 5.5: Kosten van een lamellenfilter	32
Tabel 5.6: Zuiveringspercentage	37
Tabel 5.7: Dimensionering	37
Tabel 5.8: Kosten	37
Tabel 6.1: Herkomst van verontreiniging in het watersysteem Almere [kg/jaar]	40
Tabel 6.2: Verdeling oppervlakken in de Waterwijk	41
Tabel 6.3: Verdeling wegen in klinkers en asfalt	41
Tabel 6.4: Emissie uit de Waterwijk	42
Tabel 6.5: Verschillende uitgangspunten van paragraaf 6.2 en 6.3	42
Tabel 6.6: Overzicht van maatregelen (--/-/0/+ /++)	44
Tabel 6.7: Relatieve verontreiniging oppervlaktewater en kosteneffectiviteit voor 6.2	44
Tabel 6.8: Kosten en dimensionering t.o.v. aangesloten verhard oppervlak	46
Tabel 6.9: Relatieve verontreiniging oppervlaktewater en kosteneffectiviteit voor 6.3	47
Tabel 7.1: Onzekere constanten en output die wordt bekeken	49
Tabel 7.2: Toegepaste zuiveringspercentages voor verschillende stoffen	49
Tabel 7.3: Bindingspercentage voor probleemstoffen in model en voor kleine binding	50
Tabel 7.4: Dimensionering t.o.v. effectief verhard oppervlak	52
Tabel B4.1: Overzichtstabel van verschillende algemene onderzoeken	70
Tabel B5.1: Verontreinigingsklassen voor verhardingen	72
Tabel B6.1: Afstromingscoëfficiënten rechtstreeks aan verharding	74
Tabel B6.2: Afstromingscoëfficiënten voor een wijk	75
Tabel B7.1: Bindingspercentage voor probleemstoffen	76
Tabel B11.1: Debieten behorende bij percentage door zuiverende voorziening	83

Figuur S.1: Structuur onderzoek.....	2
Figuur S.2: Immissietoets	3
Figuur S.3: Bepaling kwaliteit afstromend hemelwater	3
Figuur 1.1: Schematisatie van gemengd stelsel	7
Figuur 1.2: Schematisatie van gescheiden stelsel	7
Figuur 2.1: Schematisatie van input, model en output.....	11
Figuur 2.2: Invoersheet van het model.....	12
Figuur 2.3: Vracht na toepassing maatregelen.....	15
Figuur 2.4: Rendement na toepassing maatregelen	16
Figuur 2.5: Kosten van de maatregelen.....	16
Figuur 2.6: Rendement/kosten voor maatregelen	16
Figuur 2.7: Concentratie t.o.v. het MTR.....	17
Figuur 2.8: Rendement rekening houdend met overige verontreinigingen.....	17
Figuur 3.1: Prioritering	19
Figuur 5.1: Dwarsdoorsnede lamellenfilter	31
Figuur 5.2: Dwarsdoorsnede slibvang en olieaafscheider	33
Figuur 5.3: Doorsnede en werking wadi	35
Figuur 5.4: Dwarsdoorsnede van verticaal helofytenfilter	36
Figuur 6.1: Watersysteem Almere en Waterwijk (rood)	39
Figuur 6.2: Waterwijk met instroombakken	40
Figuur 6.3: Waterwijk met uitstroompunten.....	40
Figuur 6.4: Verblijfsobjecten.....	41
Figuur 6.5: Klinkers.....	41
Figuur 6.6: Asfalt.....	41
Figuur 6.7: Tegels.....	41
Figuur 6.8: Vrachten van de maatregelen voor 90% toepassing	43
Figuur 6.9: Rendementen van de maatregelen voor 90% toepassing.....	43
Figuur 6.10: Rendement per 100.000 euro na toepassing maatregelen.....	44
Figuur 6.11: Concentratie t.o.v. MTR voor te zuiveren volume van 90%.....	45
Figuur 6.12: Concentratie t.o.v. MTR voor te zuiveren volume van 50%.....	46
Figuur 6.13: Concentratie t.o.v. MTR na toepassing 75% 'voorkomen uitloging zink'	47
Figuur 6.14: Concentratie t.o.v. MTR na toepassing 82% 'infiltreren dakwater'	47
Figuur 7.1: Procentuele toename na vermindering zuiveringspercentage.....	50
Figuur 7.2: Procentuele toename zink en lood na verandering bindingspercentage.....	51
Figuur 7.3: Dimensionering wadi t.o.v. aangesloten verhard oppervlak.....	52
Figuur 7.4: Verandering bij slechte doorlatendheid verharding t.o.v. doorlatende verharding.....	53
Figuur B1.1: Beslisboom Werkgroep riolering West-Nederland.	63
Figuur B3.1: Schema immissietoets.....	67
Figuur B3.2: Immissietoets bestaande lozing	67
Figuur B3.3: Immissietoets nieuwe lozing.....	68
Figuur B6.1: Omrekenen van concentraties en vrachten naar kengetallen	74
Figuur B7.1: Binding van stoffen in afstromend regenwater	75
Figuur B11.1: Neerslaggegevens voor eerste vier maanden van 1970 per 15 min met 95%-lijn	82

BIJLAGE 1: BESLISBOOM WRW



Figuur B1.1: Beslisboom Werkgroep riolering West-Nederland. [3]

BIJLAGE 2: FORMULES IN MODEL

Vracht na toepassing van bronmaatregelen

$$\begin{aligned}
 Vr_{\text{bronmaatr}} = & (A_{D1} * Vr_{D1} * y_D) * \frac{R_{VU} * (100 - M_{VU})}{100} * \frac{R_{GI} * (100 - M_{GI})}{100} + \\
 & (A_{D2} * Vr_{D2} * y_D) * \frac{R_{VU} * (100 - M_{VU})}{100} * \frac{R_{GI} * (100 - M_{GI})}{100} + \\
 & (A_{D3} * Vr_{D3} * y_D) * \frac{R_{VU} * (100 - M_{VU})}{100} * \frac{R_{GI} * (100 - M_{GI})}{100} + \\
 & A_{W1} * Vr_{W1} * y_{DLV} * \frac{M_{DLV}}{100} + A_{W1} * Vr_{W1} * y_W * \frac{100 - M_{DLV}}{100} + \\
 & A_{W2} * Vr_{W2} * y_{DLV} * \frac{M_{DLV}}{100} + A_{W2} * Vr_{W2} * y_W * \frac{100 - M_{DLV}}{100} + \\
 & A_{P1} * Vr_{P1} * y_{DLV} * \frac{M_{DLV}}{100} + A_{P1} * Vr_{P1} * y_W * \frac{100 - M_{DLV}}{100} + \\
 & A_{P2} * Vr_{P2} * y_{DLV} * \frac{M_{DLV}}{100} + A_{P2} * Vr_{P2} * y_W * \frac{100 - M_{DLV}}{100}
 \end{aligned}$$

$Vr_{\text{bronmaatr}}$ [kg/jaar/m²] = Vracht na toepassing bronmaatregelen

A [m²]

= Oppervlakte van betreffende verharding

Vr [kg/jaar/m²]

= Kengetal verontreinigingen van betreffende verharding

y_D [-]

= Afstromingscoëfficiënt daken = 0,62

y_W [-]

= Afstromingscoëfficiënt wegen en parkeerplaatsen = 0,58

y_{DLV} [-]

= Afstromingscoëfficiënt doorlatende verharding = 0,16

M_{VU} [%]

= Percentage maatregel 'Voorkomen Uitloging' zink en lood

R_{VU} [-]

= Zuiveringspercentage 'Voorkomen uitloging' = 0,8 of 0,9

M_{GI} [%]

= Percentage maatregel 'Gecontroleerd Infiltreren'

R_{GI} [-]

= Zuiveringspercentage 'Gecontoleerd Infiltreren' = 0,95

M_{DLV} [%]

= Percentage maatregel 'Doorlatende Verharding'

De vracht na toepassing van bronmaatregelen is afhankelijk van het oppervlak van de verharding (A), de kengetallen (Vr) en de hoeveelheid die tot afstroming komt (y_D). Het oppervlak van de verhardingen moet door de gebruiker zelf worden ingevuld. Er kunnen voor daken directe en indirecte bronmaatregelen worden toegepast in de vorm van 'voorkomen uitloging zink en lood' (zijn in deze formule dus samengenomen, in het model worden ze wel apart berekend) en infiltreren van dakwater. Door toepassing van de bronmaatregelen, neemt de vracht af met een zuiveringspercentage. Voor voorkomen uitloging zink is dit 0,8 (bestaande wijk) of 0,9 (nieuwe wijk), voor lood is dit 0,9. Dakwater wordt met een zuiveringspercentage van 95% geïnfiltreerd bij toepassing van die maatregel. Omdat het om twee maatregelen gaat die gericht zijn op dakwater, zijn ze in serie geschakeld. Toepassen doorlatende verharding is alleen gericht op het wegwater. Indien er geen doorlatende verharding wordt toegepast, zal het water met een afstromingscoëfficiënt van 0,58 afstromen (y_W). Wordt de doorlatende verharding wel toegepast, dan stroomt het af met een coëfficiënt van 0,16 (y_{DLV}). De percentages toe te passen maatregelen worden door de gebruiker zelf ingevoerd.

Vracht na toepassing van 'end of pipe'-voorzieningen

De vracht die afkomstig is van de verhardingen, eventueel na toepassing van bronmaatregelen bestaat gedeeltelijk uit opgeloste deeltjes en deeltjes gebonden aan zwevend stof. Per probleemstoffen verschillen deze percentages.

$$Vr_{bronmaat} = Vr_{opgelost} + Vr_{gebonden}$$

$$Vr_{endofpipe} = Vr_{opgelost} * \left(\frac{100 - R_{opgelost}}{100} \right) * \frac{E}{100} +$$

$$Vr_{gebonden} * \left(\frac{100 - R_{gebonden}}{100} \right) * \frac{E}{100} + Vr_{bronmaat} * \frac{100 - E}{100}$$

$Vr_{bronmaat}$ [kg/jaar/m²] = Vracht na bronmaatregel en voor 'end of pipe'-voorziening

$Vr_{opgelost}$ [kg/jaar/m²] = Vracht opgelost in afstromende hemelwater

$Vr_{gebonden}$ [kg/jaar/m²] = Vracht gebonden aan zwevend stof

$Vr_{endofpipe}$ [kg/jaar/m²] = Totale vracht na 'end of pipe'-voorziening

$R_{opgelost}$ [%] = Zuiveringspercentage voor opgeloste stoffen

$R_{gebonden}$ [%] = Zuiveringspercentage voor gebonden stoffen

E [%] = Percentage door zuiverende voorziening

De vracht na toepassing van 'end of pipe'-maatregelen ($Vr_{endofpipe}$) is afhankelijk van de vracht die er in gaat ($Vr_{opgelost}$ en $Vr_{gebonden}$), het zuiveringspercentage ($R_{opgelost}$ en $R_{gebonden}$) en de hoeveelheid volumepercentage dat door de voorziening (E) gaat. Per voorziening is het zuiveringspercentage verschillend (Tabel 5.1). Het volumepercentage is door de gebruiker zelf in te voeren. Alles dat niet door de voorziening gaat ($100-E$), heeft de vracht na toepassing van (eventuele) bronmaatregelen ($Vr_{bronmaat}$) en wordt uiteindelijk ongezuiverd geloosd op het oppervlaktewater.

Volumebalans afstromend hemelwater

$$V = \left[\left(A_{D1+D2+D3} - A_{D1+D2+D3} * \left(\frac{R_{GI} * M_{GI}}{100} \right) \right) * y_D + \left(A_{W1+W2+P1+P2} * \left(\left(y_W * \frac{100 - M_{DLV}}{100} \right) + \left(y_{DLV} * \frac{M_{DLV}}{100} \right) \right) \right) \right] * P(\text{jaar})$$

$V [m^3]$	= Volume dat tot afstroming komt
$A_{D1+D2+D3} [m^2]$	= Oppervlak daken
$R_{GI} [-]$	= Zuiveringspercentage 'Gecontroleerd Infiltreren' = 0,95
$M_{GI} [\%]$	= Percentage maatregel 'Gecontroleerd Infiltreren'
$y_D [-]$	= Afstromingscoëfficiënt dak = 0,62
$A_{W1+W2+P1+P2} [m^2]$	= Oppervlak wegen
$y_W [-]$	= Afstromingscoëfficiënt weg en parkeerplaats = 0,58
$M_{DLV} [\%]$	= Percentage maatregel 'Doorlatende Verharding'
$y_{DLV} [-]$	= Afstromingscoëfficiënt doorlatende verharding = 0,16
$P(\text{jaar}) [m]$	= Neerslag = 0,8

Het dakoppervlak wordt verminderd met het gedeelte dat rechtstreeks wordt geïnfiltreerd. Dit gedeelte bestaat uit het percentage toegepaste maatregel 'Gecontroleerd Infiltreren' (M_{GI}) en het zuiveringspercentage (R_{GI}). Dit alles wordt vermenigvuldigd met de afstromingscoëfficiënt van daken. Indien er geen doorlatende verharding (M_{DLV}) wordt toegepast, komt het water met y_W tot afstroming. Wordt doorlatende verharding wel toegepast, komt het met y_{DLV} tot afstroming.

Concentratie verontreiniging in afstromend hemelwater

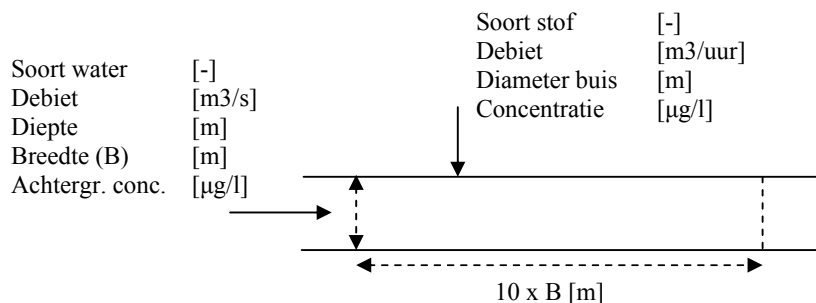
$$C = \frac{Vr}{V}$$

$C [g/m^3]$	= Concentratie van de lozing
$Vr [g/jaar]$	= Vracht van lozing
$V [m^3/jaar]$	= Volume van lozing

Het model berekent de gemiddelde concentratie van de lozing door de totale vracht die tot afstroming komt te delen door het totale volume.

BIJLAGE 3: IMMISSIETOETS

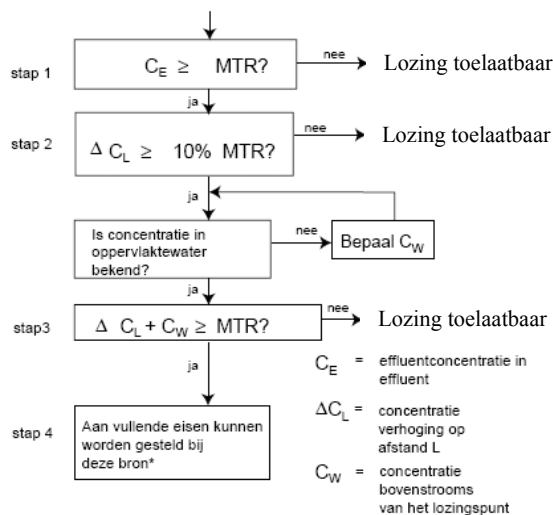
De immissietoets is een instrument in het kader van de Wvo-vergunningverlening dat zich richt op de beoordeling van de gevolgen van een specifieke lozing voor de waterkwaliteit, met als doel het bereiken van de gewenste waterkwaliteit. In Figuur B3.1 is een schema gegeven van de benodigde input voor de immissietoets.



Figuur B3.1: Schema immissietoets

Als output geeft de immissietoets aan of een lozing toelaatbaar is of niet. Er wordt onderscheid gemaakt tussen het bepalen van het effect van bestaande lozingen en het bepalen van het effect van nieuwe lozingen. Deze worden hieronder kort uitgelegd (Figuur B3.2 en B3.3).

Bestaande lozingen



* eventueel complexe berekening i.o.m. waterkwaliteitsbeheerder door bedrijf uit te voeren

Figuur B3.2: Immissietoets bestaande lozing

Stap 1

Toets of de effluentconcentratie reeds voldoet aan het MTR. Indien de concentratie lager is, dan hoeft de immissietoets niet verder uitgevoerd te worden.

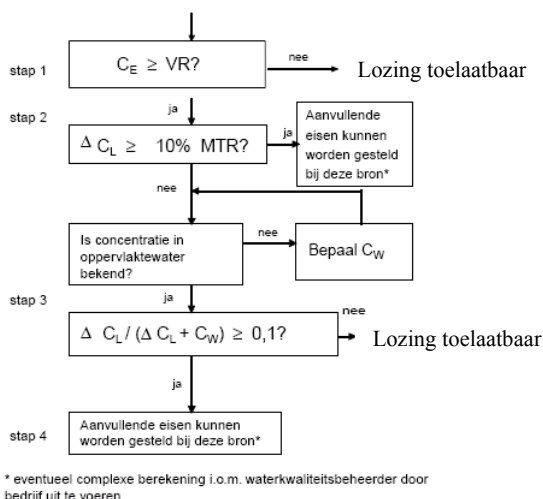
Stap 2

Toets of de concentratie na menging over een bepaalde afstand gelijk of meer is dan 10% van het MTR. Als dit niet het geval is dan hoeft de toets niet verder uitgevoerd te worden.

Stap 3

Toets of de concentratie, na menging over een bepaalde afstand en rekening houdend met de concentratie bovenstrooms van het lozingspunt, boven het MTR ligt. Is er geen sprake van overschrijding van de MTR dan hoeven aanvullende eisen niet overwogen te worden. Met deze stap wordt nagegaan of de concentratie bovenstrooms van het lozingspunt en de bijdrage van de lozing tezamen leiden tot overschrijding van het MTR. Indien dit het geval is, dan dienen er maatregelen getroffen te worden.

Nieuwe lozingen



Figuur B3.3: Immissietoets nieuwe lozing

Stap 1

Toets of de effluentconcentratie reeds voldoet aan het streefwaarde. Indien de concentratie lager is, dan hoeft de immissietoets niet verder uitgevoerd te worden.

Stap 2

Toets of de concentratie na menging over een bepaalde afstand gelijk of meer is dan 10% van het MTR. Als dit niet het geval is dan hoeft de toets niet verder uitgevoerd te worden.

Stap 3

Toets of de relatieve bijdrage van de lozing ten opzichte van de concentratie voor het lozingspunt gelijk of meer dan 10% is.

BIJLAGE 4: INTRODUCTIE ONDERZOEKEN

Om de gebruikte literatuur inzichtelijk te maken, worden ze hieronder geïntroduceerd. De eerste vier onderzoeken gaan in op de kwaliteit van verschillende verhardingen. De laatste drie onderzoeken gaan specifiek in op afstroming van bepaalde verhardingen. Een samenvatting van de eerste vier onderzoeken wordt gegeven in Tabel B4.1.

Tabel B4.1: Overzichtstabel van verschillende algemene onderzoeken

	DHV/STOWA	Tauw	Grontmij	TNO
Verhardingen	- Nieuw en schoon - Bestaand zonder zink - Bestaand met zink - Rustige straat - Drukke straat	- Hemelwater stedelijk gebied - Daken - Wegen - Daken en wegen - Overige	- Dak hellend met zink - Dak hellend zonder zink - Dak vlak - Woonstraat - Drukke weg - Parkeerplaats - Woonwijk - Industrierrein	- Atmosferische depositie - Bouwmaterialen - Verkeer
Meegenomen probleemstoffen	- Zink - Koper - Lood	- Zink - Koper - Lood - PAK - Olie	- Zink - Koper - Lood - PAK	- Zink - Koper - Lood - PAK
Eenheid	- Vrachten	- Concentraties	- Concentraties	- Vrachten

In 2002 hebben DHV en STOWA het rapport SESRIO opgesteld. [6] SESRIO is speciaal bedoeld voor het verrichten van stofstroomstudies met betrekking tot het oppervlaktewater. DHV/STOWA kwantificeert de belasting van het oppervlaktewater door vrachtgegevens te koppelen aan de verschillende verhardingen, die bepaald zijn door langdurige metingen aan concentraties.

In 2002 heeft Tauw het rapport ‘Overzicht samenstelling afstromend regenwater’ opgesteld. [17] Dit rapport is een actualisatie c.q. aanpassing van de beslisboom voor aan- en afkoppelen uit 1996. De metingen uit dit rapport zijn voor een groot deel uit het jaar 2002 en zijn goed gedocumenteerd, waarbij maximale, gemiddelde en mediane waarden zijn bepaald voor zeer veel stoffen. Het nadeel is dat het aantal metingen tamelijk beperkt is en dat de indeling in typen verharding vrij grof is.

In 2005 heeft de Grontmij [42] het rapport ‘Aanbevelingen voor de behandeling van regenwater’ opgesteld. Omdat de opgestelde ‘beslisboom afkoppelen 2003’ [3] niet concreet genoeg blijkt te zijn, probeert dit rapport het verwachte rendement van de mogelijke maatregelen voor de behandeling van water voor verschillende vuilparameters op basis van de beschikbare kennis te beschrijven. De vuilparameters van deze onderzoeken zijn gedeeltelijk gebaseerd uit het bovengenoemde rapport van Tauw. Omdat de opdeling naar type verharding te grof is, heeft dit onderzoek gewerkt met een uitgebreidere database van meetgegevens, waarin gegevens van een groter aantal metingen is opgenomen. Helaas is niet na te gaan hoe de Grontmij tot de kengetallen is gekomen en welke extra metingen zijn gebruikt.

In 2002 heeft TNO het rapport ‘Verontreiniging van infiltratievoorzieningen’ opgesteld. [37] Het doel van de studie is om de bodem- en grondwaterverontreiniging als gevolg van hemelwaterinfiltratie in kaart te brengen. In dit rapport wordt de verontreiniging door afstromend water weergegeven in vrachten, echter worden deze niet rechtstreeks gekoppeld aan een bepaalde verharding en is de herkomst van de getallen niet duidelijk. Dit rapport is gebruikt indien bovenstaande rapporten niet voldoen.

In 2002 heeft het CIW het rapport ‘Afstromend wegwater’ opgesteld [16], waarin metingen zijn opgenomen van de kwaliteit van afstromend wegwater. Deze zijn gegeven in concentraties.

In 2004 heeft STOWA het rapport ‘Omgaan met hemelwater op bedrijfs- en bedrijventerreinen’ opgesteld. [39] Het doel is het vergroten van de kennis omtrent de samenstelling van afstromend regenwater op bedrijventerreinen en het geven van aanbevelingen om duurzaam en verantwoordelijk om te gaan met dit hemelwater.

In 2005 heeft Tauw het rapport ‘Regenwater op bedrijventerreinen’ opgesteld. [38] Doel van het onderzoek is beleid te ontwikkelen ten aanzien van het afkoppelen van verhard oppervlak op bedrijventerreinen.

Het rapport van DHV/STOWA wordt als basis gebruikt vanwege het gebruik van betrouwbare gegevens en reeds berekende jaarvrachten. Hoewel de herkomst van de verschillende metingen niet altijd duidelijk is, worden de vrachten vergeleken met de metingen van de Grontmij, omdat beide rapporten een redelijk goede indeling hebben qua verhardingen. Vervolgens wordt bekeken of deze getallen passen binnen de metingen van Tauw. Indien nodig worden de gegevens van TNO gebruikt. De overige rapporten worden uiteraard gebruikt voor het type verharding waarvoor het is opgesteld.

BIJLAGE 5: INDELING VERHARDINGEN

Onderverdeling naar verharding is afhankelijk van verschillende factoren. Voor de gebruiker van het model is het van de ene kant van belang dat er een goed onderscheid gemaakt kan worden, zodat praktijksituaties gedetailleerd beschreven kunnen worden. Aan de andere kant wordt ook aangegeven dat het indelen van verhardingen (bijvoorbeeld bij bepaling van zinken dakgoten) soms moeilijk kan zijn. Hierin ontstaat dus een spanningsveld in de mate van detail.

Onderzoeken naar de kwaliteit van afstromend hemelwater hebben verschillende indelingen in verhardingen. Over het algemeen worden verhardingen ingedeeld in de hoofdcategorieën ‘daken’ en ‘wegen’. [6] [17] Daken worden onderverdeeld in daken met uitlogende materialen en daken zonder uitlogende materialen. Soms wordt er onderscheid gemaakt in vlakke en hellende daken. [14] De verontreiniging van wegen is afhankelijk is van het soort materiaal (Doorlatende verharding / DAB / ZOAB), de verkeersintensiteit en snelheid, mate van verwaaiing, soort voertuigen en afstand naar open water. [16] Sommige onderzoeken maken ook onderscheid in parkeerplaatsen [14] en bedrijventerreinen. [17] [39] Metingen van de kwaliteit van afstromend water van busbanen is bijna niet gedaan en deze worden in verder onderzoek dan ook niet meegenomen.

In Tabel B5.1 is de opdeling van de verschillende verhardingen gegeven, inclusief het aantal verontreinigingsklassen.

Tabel B5.1: Verontreinigingsklassen voor verhardingen

Daken	D1
	D2
	D3
Wegen	W1
	W2
Parkeerplaatsen	P1
	P2

De keuze voor verontreinigingsklasse voor daken is afhankelijk van de mate waarin uitlogende materialen zijn toegepast, wat vertaald is naar het jaartal van de bouw (voor/na 1985). Voor wegen zijn twee klassen opgesteld, afhankelijk van de intensiteit, snelheid en de zwaarte van het vervoer. Ook voor parkeerplaatsen zijn twee klassen opgesteld, afhankelijk van de intensiteit. Naast al deze verhardingen is er ook nog de mogelijkheid om ‘schone oppervlakken’ mee te nemen, waaronder bijvoorbeeld stoep en verharde tuinen behoren. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat juist bestrijdingsmiddelen en uitwerpselen, de stoffen die in dit onderzoek niet zijn meegenomen, op deze oppervlakken voor kunnen komen. Het water van enkele verhardingen dient bij voorkeur afgevoerd te worden naar een RWZI. Het gaat hierbij om marktplaatsen, laad- en losplaatsen, busstations en andere plaatsen waarbij een verhoogd risico op verontreiniging is, bijvoorbeeld bij industrieterreinen met vervuilende atmosferische depositie.

Er is de laatste jaren geregeld onderzoek gedaan naar de kwaliteit van afstromend hemelwater op bedrijventerreinen. Op het distributiecentrum Hoogeveen en Beilen werden relatief hoge concentraties verontreinigingen aangetroffen, die verklaard kunnen

worden door het hoge aantal bedrijfsactiviteiten. [38] Op vier andere bedrijventerreinen was het water relatief schoon. Toch wordt er geconcludeerd dat er geen duidelijke relatie is aangetroffen tussen de bedrijfsactiviteiten en de aangetroffen verontreiniging. STOWA adviseert om bedrijventerreinen in verschillende categorieën in te delen, onder andere lettende op stofuitstoot, gevaar en verkeersaantrekkende werking. Hoewel er binnen categorieën uitschieters kunnen zitten, wordt geconcludeerd dat de indeling in milieucategorieën wordt ondersteund door praktijkcijfers en daarom een goede maat geeft voor de mogelijkheid van afkoppelen. [39] Zo is de kwaliteit van het afstromend hemelwater van bedrijventerreinen met milieucategorie 1 en 2 in algemene zin vergelijkbaar met de gemeten vuilemissie uit woonwijken. Het hemelwater van bedrijven met een hogere milieucategorie (3 t/m 5) is door bedrijfsprocessen of opslag van materialen op de verharde oppervlakken over het algemeen sterker vervuild en zijn aanvullende zuiveringsvoorzieningen gewenst voor het lozen op oppervlaktewater als waterkwaliteitswaarborg. In het rapport van STOWA is een lijst toegevoegd van bedrijven met grote stofuitstoot, waaruit de milieucategorie kan worden gekozen. Indien bedrijven geen grote uitstoot hebben, mogen voor wegen en daken normale categorieën worden gebruikt. In het model kan de optie 'bedrijventerreinen' apart worden aangegeven, zodat er met een iets hogere vracht wordt gerekend.

BIJLAGE 6: OMREKENEN CONCENTRATIES EN VRACHTEN

Onderzoeken naar de verontreiniging door afstroming van verhardingen zijn gebaseerd op verschillende uitgangspunten. Het rapport van DHV/STOWA geeft vrachtgegevens die daadwerkelijk uit een wijk tot afstroming komen. De concentratiegegevens zijn afkomstig van metingen rechtstreeks aan het oppervlak. Om de gegevens met elkaar te kunnen vergelijken, worden ze teruggerekend naar de verontreiniging aan de bron.

Omrekenen concentraties naar bron

Concentratietingen aan wegen en daken zijn rechtstreeks aan de oppervlakken gemeten. Om deze concentratie terug te rekenen naar de bron, moet er rekening gehouden worden met de afstromingscoëfficiënten. Deze zijn gebaseerd op de Leidraad Riolering, waarin wordt gesteld dat buien van 1 mm en kleiner geheel niet tot afstroming komen. Uit berekening [40] blijkt dat dit in het totaal ongeveer 12% bedraagt. De afstromingscoëfficiënten voor de verschillende oppervlakken zijn weergegeven in Tabel B6.1.

Tabel B6.1: Afstromingscoëfficiënten rechtstreeks aan verharding

Type verharding	Afstromingscoëfficiënten
Daken	0,95
Wegen	0,85

Uitgaande van een neerslag van 800 mm per jaar, kan de vracht aan de bron worden berekend.

Omrekenen vracht naar bron

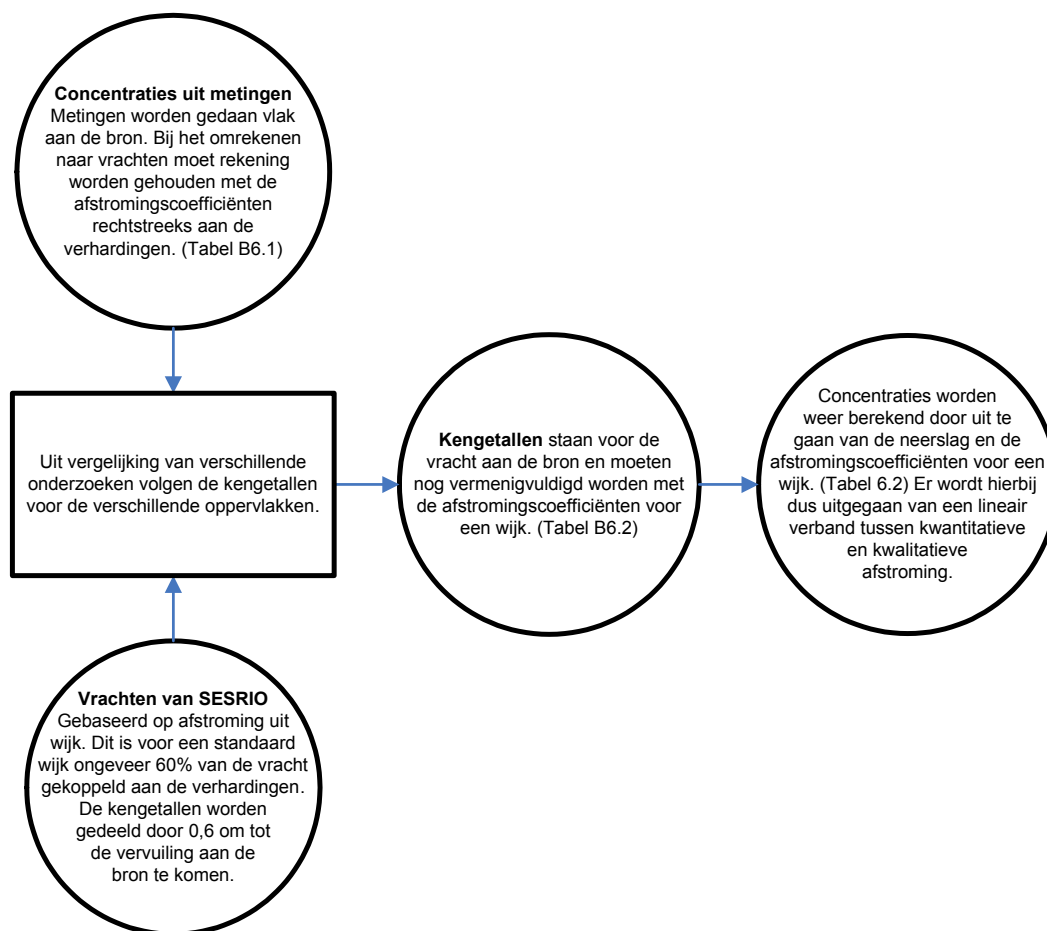
Uit het rapport van TNO [2] blijkt dat ongeveer 60% van het totale oppervlak aan verhardingen tot afstroming komt. Hierbij gaat men uit van 40% verharding in een wijk, wat dus een totale afstroming geeft van $0,40 * 0,60 = 0,24$. De 40% die niet tot afstroming komt verwaait, verdampt (na plasvorming) of trekt in de bodem, onder andere door de doorlatendheid van de bodem of plaatselijke infiltratie. De vrachten uit SESRIO worden gedeeld door 0,6, om de vrachtgegevens aan de bron te verkrijgen [37]. In het model zijn de afstromingscoëfficiënten zo meegenomen, dat in totaal ook 60% tot afstroming komt.

De vrachten na omrekening van concentraties kunnen nu vergeleken worden met de vrachten uit SESRIO. Daarna worden ze vermenigvuldigd met aangepaste afstromingscoëfficiënten (Tabel B6.2). Ze zijn gebaseerd op een standaard wijk zoals TNO heeft aangegeven, wat neerkomt op 20% daken, 20% wegen en 60% onverhard. De afstromingscoëfficiënt van vlakke daken is 0,85, van schuine daken 0,95. Omdat de meeste onderzoeken naar de kwaliteit van afstromend hemelwater geen onderscheid maken tussen deze daken, wordt uitgegaan van 30% platte daken en 70% schuine daken. De afstromingscoëfficiënten is dan 0,92. De afstromingscoëfficiënten zijn zo aangepast dat het totale afstromende oppervlak 60% bedraagt van het totaal.

Tabel B6.2: Afstromingscoëfficiënten voor een wijk

Type verharding	Afstromingscoëfficiënten
Daken	0,62
Wegen	0,58

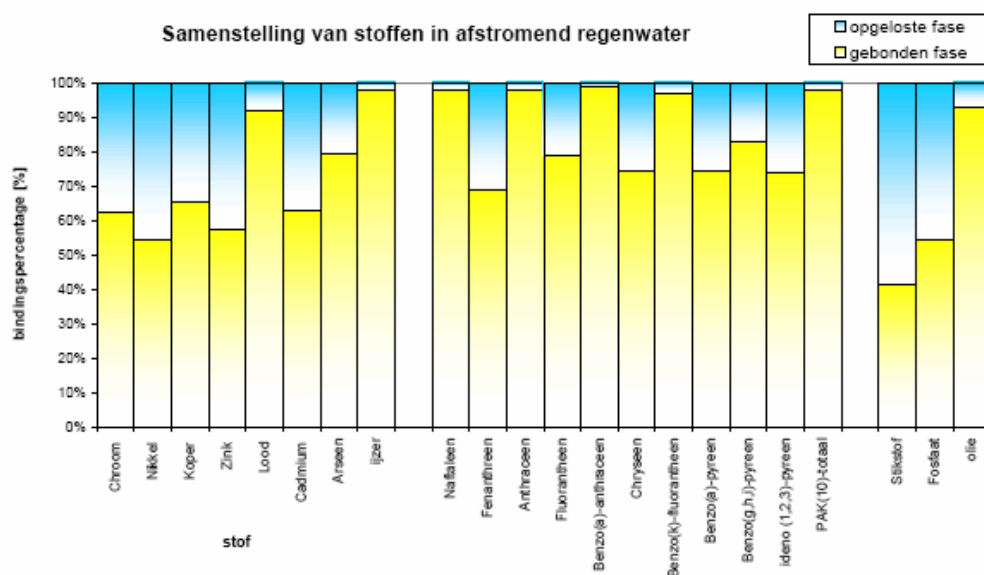
Van de totale vracht komt dus 62% van de daken en 58% van de wegen tot afstroming. De kengetallen uit hoofdstuk 4 moeten dus worden vermenigvuldigd met de coëfficiënten uit Tabel B6.2. Figuur B6.1 geeft aan hoe er tot de kengetallen is gekomen.

**Figuur B6.1: Omrekenen van concentraties en vrachten naar kengetallen**

BIJLAGE 7: VERONTREINIGING OPGELOST OF GEBONDEN

Het is van belang te weten in welke vorm verontreiniging in het afstromend hemelwater aanwezig is [26], omdat het zuiveringspercentage van de ‘end of pipe’-voorzieningen hiervan afhankelijk is. Daarnaast hangt het risico van probleemstoffen vooral af van de opgeloste concentraties. Het MTR voor opgeloste stoffen is dan ook lager dan het MTR-totaal. Dit gegeven wordt in dit onderzoek echter niet meegenomen. [3] [17]

Figuur B7.1 en Tabel B7.1 laten zien hoe de verschillende verontreinigingen gebonden zijn aan zwevend stof. Met name PAK's (86%) en olie (92%) binden zich goed aan deeltjes. Van de zware metalen bindt lood het best (92%), gevolgd door koper (65%) en zink (55%). Dit beeld wordt globaal bevestigd door de gegevens over de atmosferische depositie en runoff bij provinciale wegen en internationale literatuur. [14]



Figuur B7.1: Binding van stoffen in afstromend regenwater [14] [17]

Tabel B7.1: Bindingspercentage voor probleemstoffen

	Zink	Koper	Lood	PAK's	Olie
Opgelost [%]	43	35	8	14	8
Gebonden [%]	57	65	92	86	92

Het bindingspercentage is voornamelijk afhankelijk van de hoeveelheid droge stof. Uit de metingen zijn echter geen grote verschillen te halen. Dit komt voornamelijk omdat er weinig metingen beschikbaar zijn. In hoofdstuk 7 wordt wel berekend wat het effect is van een spreiding in bindingspercentages.

BIJLAGE 8: KENGETALLEN DAKEN

Zink

DHV [6] maakt voor zink onderscheid in de categorie ‘vóór 1985’ en ‘na 1985’, omdat er vóór ongeveer 1985 gebruik werd gemaakt van zink dat makkelijk uitlooft. Na 1985 werd dit minder, door toepassing titaniumzink, dat een hoge corrosievastheid heeft door de vorming van de beschermende zinkcarbonaatlaag. [41]

TNO [2] geeft aan dat er in daken gemiddeld 5-10m² zink wordt toegepast en dat uitlooting per vierkante meter 2-5 g/jaar bedraagt. Indien voor categorie D2 wordt uitgegaan van 3 g/jaar en 7 m² zink per jaar, dan looft bij een gemiddeld dakoppervlak van 70 m² 3,0 kg/ha/jaar uit. Indien wordt aangenomen dat in oude wijken veel zink is toegepast dat goed uitlooft (categorie D3), geldt een uitlooting van 50 g/jaar per huis, oftewel 7,1 kg/ha/jaar.

SESRIO geeft voor nieuwe daken zonder zink een vracht van 0,1 kg/ha/jaar, wat omgerekend een vracht geeft van 0,167 kg/ha/jaar. Voor bestaande daken zonder zink geeft SESRIO een vracht van 0,5 kg/ha/jaar, wat een vracht aan de bron geeft van 0,83 kg/ha/jaar. De vracht voor daken met zink uit SESRIO is omgerekend 5,0 kg/ha/jaar.

De gemiddelde concentratie in stedelijk regenwater bedraagt slechts 41 µg/l, wat aan de bron neerkomt op een vracht van 0,35 kg/ha/jaar. De metingen van Tauw geeft een mediane concentratie van 71 µg/l, wat omgerekend aan de bron neerkomt op een vracht van 0,60 kg/ha/jaar. Omdat het moeilijk is al het zink uit te bannen, wordt de 0,60 kg/ha/jaar aangenomen voor daken zonder zink (D1). Dit zit tussen de ‘nieuw en schoon’ en ‘bestaand zonder zink’ uit SESRIO in.

Tauw geeft een gemiddelde concentratie van 618 µg/l (5,2 kg/ha/jaar) en een maximale concentratie van 2500 µg/l (21,0 kg/ha/jaar). De metingen van Grontmij geven concentraties tot 6000 µg/l (50,5 kg/ha/jaar). Omdat het onduidelijk is in welke plek de hoge concentratie van de Grontmij is gemeten, wordt de 6000 µg/l niet meegenomen. Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat de gemiddelde en mediane waarden van de onderzoeken goed binnen de categorieën van SESRIO en TNO vallen en iets lager liggen dan de 7 kg/ha/jaar. Extreem hoge metingen kunnen gedeeltelijk toegeschreven worden aan de natuurlijke spreiding. Daarnaast kan er ook zinken dakbedekking toegepast zijn. Om dit laatste te ondervangen, wordt er een mogelijkheid ingevoegd om zinken dakbedekking apart mee te nemen. Ter illustratie wordt hier een rekenvoorbeeld gegeven. Indien twee van de dertig woningen in een oude wijk voorzien zijn van zinken dakbedekking, bedraagt de concentratie van het afstromende hemelwater 2500 µg/l. Zonder deze twee woningen is de concentratie ongeveer 800 µg/l.

De vrachten zijn dus 0,6 (D1), 3,0 (D2) en 7,0 (D3) kg/ha/jaar, en een extra uitlooting van 35 kg/jaar/ha zinken dakbedekking.

Koper

In normale daken is geen koper verwerkt. In neerslag wordt wel koper aangetroffen. SESRIO gaat uit van een vracht van 0,04 kg/ha/jaar, wat aan de bron neerkomt op 0,067 kg/ha/jaar. De gemiddelde natte depositie ligt in landelijk gebied op 2,37 µg/l (0,02 kg/ha/jaar) en de gemiddelde natte depositie in stedelijk gebied ligt op 14,5 µg/l (0,12 kg/ha/jaar). Uit spaarzaam onderzoek wordt geconcludeerd dat voor zware metalen het aandeel van de droge depositie ten opzichte van de totale depositie varieert van <1 tot 34%. [39] Uitgaande van een gemiddelde stedelijke concentratie en een percentage van 34%, kan er worden uitgegaan van een concentratie van $0,12 + 34\% = 0,16$ kg/ha/jaar.

De Grontmij [42] geeft aan dat er voor koper een concentratie van 25 µg/l (0,21 kg/ha/jaar) wordt gemeten. De Grontmij concludeert dat de gemeten overschrijding van koper niet representatief is voor een dak zonder koper. Uit metingen afkomstig van Tauw [17] volgt ook dat de gemiddelde concentratie van daken ligt op 40 µg/l (0,34 kg/ha/jaar) en de mediane meting ligt op 29 µg/l (0,24 kg/ha/jaar). De concentratie van koper bij afstroming van daken lijkt dus iets hoger te liggen dan de koperconcentratie in regenwater. Aangezien er op de metingen niet aan de regenwaterkwaliteit is gemeten, kan niet worden nagegaan of de concentratie hier hoger is, of dat er koperen daken in de wijk hebben gezeten.

Er kan geconcludeerd worden dat een aanname van 0,16 kg/ha/jaar redelijk overeen komt met de concentratie van koper. (factor 2 boven SESRIO en factor 2 onder gemiddelde concentratie van Tauw) Indien een koperen dak wordt gebruikt, wordt de vracht aangevuld met een vracht van 15 kg/ha/jaar. [18] Vanwege het specifieke gebruik en de grote herkenbaarheid van koperen daken, wordt dit apart meegenomen. De maximale gemeten concentraties in het rapport van Tauw is 150 µg/l (1,26 kg/ha/jaar), wat rekenkundig neerkomt op een koperen dakoppervlak van 8,3%.

Lood

Indien er geen loodslabben zijn toegepast, dan gaat SESRIO uit van een vracht van 0,06 kg/ha/jaar, wat omgerekend uitkomt op 0,1 kg/ha/jaar aan de bron. Dit komt redelijk overeen met het rapport van de Grontmij, wat een concentratie geeft van 16 µg/l (0,13 kg/ha/jaar). De gemiddelde concentratie in stedelijk regenwater is 8 µg/l (0,07 kg/ha/jaar). Voor lood geldt echter evenals voor zink, dat het moeilijk is om al het lood uit te bannen. 0,12 kg/ha/jaar geeft dus een goede weergave.

Indien lood wel is toegepast, geeft SESRIO een vracht van 0,3 kg/ha/jaar, wat aan de bron 0,5 kg/ha/jaar geeft. Grontmij heeft geen onderscheid gemaakt voor daken met lood. Voor een dak met zink geeft Grontmij een concentratie van 71 µg/l (0,60 kg/ha/jaar) voor lood en voor een vlak dak een concentratie van 331 µg/l (2,79 kg/ha/jaar). Uit metingen van Tauw volgt een gemiddelde concentratie van 260 µg/l (2,19 kg/ha/jaar), met een maximale concentratie van 1400 µg/l (11,8 kg/ha/jaar), een mediane concentratie van 95 µg/l (0,80 kg/ha/jaar) en een minimale concentratie van 4,1 µg/l (0,035 kg/ha/jaar). Uit deze gegevens is het echter moeilijk conclusies te trekken indien er wel lood wordt toegepast. TNO [2] geeft een afspoelsnelheid van 9 g/woning/jaar, uitgaande van een dakoppervlak van 70 m². Dit komt neer op een vracht van 1,27 kg/ha/jaar. Om de maximale concentratie van 11,8 kg/ha/jaar toch tegemoet te komen, wordt gerekend met de gemiddelde vracht van 2,19 kg/ha/jaar. Aangezien de lagere concentraties minder vaak worden waargenomen, wordt ook voor D2 een vracht van 2,19 kg/ha/jaar meegenomen.

PAK

Uit de onderzoeken van Gondmij [26] blijkt dat de gemiddelde concentratie van PAK's in regenwater 0,6 µg/l (0,0051 kg/ha/jaar) bedraagt. Daken leveren geen significante bijdrage aan PAK-verontreiniging. SESRIO neemt PAK's niet mee in haar onderzoek. In het rapport van Tauw [17] wordt een waarde gegeven van 0,03 µg/l. Dit is echter maar gebaseerd op één meting. Er wordt gerekend met een vracht aan de bron van 0,0051 kg/ha/jaar.

Olie

Zowel in regenwater als afstromend dakwater wordt geen olie aangetroffen.

BIJLAGE 9: KENGETALLEN WEGEN

Zink

De zinkvracht van een ‘rustige weg’ van SESRIO is 0,4 kg/ha/jaar, wat aan de bron neerkomt op 0,67 kg/ha/jaar. Het rapport van de Grontmij geeft een concentratie van 222 µg/l (2,09 kg/ha/jaar). Het rapport van Tauw geeft een mediane waarde van 120 µg/l (1,13 kg/ha/jaar). De zinkconcentratie van een ‘rustige weg’ ligt in het rapport van de Grontmij in dezelfde orde van grootte als een drukke weg, terwijl uit de literatuur blijkt dat zink wel afhankelijk is van de verkeersintensiteit. Er wordt daarom aangenomen dat de meting van de Grontmij te hoog is. Voor een rustige weg wordt gerekend met een vracht van 1,0 kg/ha/jaar.

Voor een ‘drukke’ weg ligt de vracht volgens SESRIO rond de 0,8 kg/ha/jaar, wat aan de bron neerkomt op 1,33 kg/ha/jaar. Grontmij geeft een concentratie van 229 µg/l (2,16 kg/ha/jaar). Tauw geeft een gemiddelde concentratie van 120 µg/l (1,13 kg/ha/jaar) en een mediane concentratie van 165 µg/l (1,55 kg/ha/jaar). Tauw geeft een maximale concentratie voor zink van 700 µg/l. Aangezien er bij die metingen ook is gemeten aan een provinciale weg, lijkt deze meting niet representatief voor een stedelijke weg. Uit het CIW rapport komt een concentratie van 248 µg/l (2,33 kg/ha/jaar) van een gemeenteweg in Lelystad en 135 µg/l (1,27 kg/ha/jaar) van een gemeenteweg in Breda. De vracht waarmee gerekend wordt is 1,5 kg/ha/jaar, aangezien dit de waarden van zowel Tauw als SESRIO goed dekt.

Koper

SESRIO geeft voor ‘rustige wegen’ een vracht van 0,1 kg/ha/jaar, wat omgerekend neerkomt op een vracht van 0,167 kg/ha/jaar. Grontmij geeft een concentratie van 23 (0,22 kg/ha/jaar) en 39 µg/l (0,37 kg/ha/jaar) voor woonstraat en drukke weg. Dit komt goed overeen met de 0,167 en 0,33 kg/ha/jaar van SESRIO. De metingen van Tauw laten een gemiddelde waarde van 43 µg/l (0,40 kg/ha/jaar) en een mediane waarde van 33 µg/l (0,31 kg/ha/jaar) zien. Hierbij moet worden opgemerkt dat er een maximale waarde is gemeten van 163 µg/l (1,53 kg/ha/jaar). Ook hier wordt de aanname gemaakt dat deze concentratie afkomstig is van de provinciale weg en dus niet als representatief wordt aangemerkt. Bij de gemeenteweg van Lelystad [16] wordt een concentratie van 49 µg/l (0,46 kg/ha/jaar) gemeten. De concentraties van koper komen overeen binnen de onderzoeken. Er wordt gerekend met 0,2 kg/ha/jaar voor rustige wegen en 0,4 kg/ha/jaar voor drukke wegen.

Lood

SESRIO geeft voor een ‘rustige weg’ een vracht van 0,2 kg/ha/jaar, wat omgerekend neerkomt op een vracht van 0,33 kg/ha/jaar. De Grontmij geeft een concentratie van 35 µg/l (0,33 kg/ha/jaar). De gemeenteweg van Breda geeft maar een concentratie van 10 µg/l (0,09 kg/ha/jaar).

Voor ‘drukke weg’ geeft SESRIO een vracht van 1,1 kg/ha/jaar, wat omgerekend neerkomt op een vracht van 1,83 kg/ha/jaar. De Grontmij geeft een concentratie van 121 µg/l (1,14 kg/ha/jaar). Metingen van Tauw geven een gemiddelde concentratie van slechts 32 µg/l (0,30 kg/ha/jaar) en een mediane concentratie van 13 µg/l (0,12 kg/ha/jaar). Aangezien SESRIO is gebaseerd op wat oudere metingen, is de concentratie lood vanwege loodhoudende benzine hoger. In dit geval zijn de metingen van Tauw

betrouwbaarder. In Lelystad wordt een mediane concentratie gegeven van 343 µg/l. Ook hier geldt echter dat er in die tijd nog loodhoudende benzine werd gebruikt en de data dus niet als representatief ervaren mogen worden.

Uiteindelijk mag er worden geconcludeerd dat een lage schatting van lood voor de wegen van tegenwoordig een betere inschatting geeft. Er is daarom gekozen voor een vracht van 0,35 kg/ha/jaar.

PAK's

SESRIO heeft PAK's niet meegenomen in het onderzoek. Grontmij geeft een grotere verontreiniging voor een woonstraat dan voor een drukke straat, respectievelijk 2,9 en 2,0 µg/l (0,027 en 0,019 kg/ha/jaar). Hoewel de reden hiervoor niet gegeven is, zou de bandenslijtage toe kunnen nemen door het meer afremmen en optrekken van auto's en meer bochten op 'rustige' wegen. Tauw geeft een gemiddelde PAK-concentratie van 0,92 µg/l (0,0087 kg/ha/jaar) en een mediane waarde van 0,4 µg/l (0,0038 kg/ha/jaar). De mediane waarde van de gemeenteweg van Breda is 2,5 µg/l (0,024 kg/ha/jaar), met een minimale concentratie van 1,3 µg/l en een maximale concentratie van 14 µg/l. [16] Aangezien de waarden tussen 'rustige' en 'drukke' wegen dichtbij elkaar ligt en het onderscheid tussen wegen moeilijk te maken is, is voor beide wegen een vracht van 0,024 kg/ha/jaar toegepast. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat deze concentratie hoger is dan de metingen van Tauw.

Olie

In rapporten van DHV/STOWA, de Grontmij en Tauw worden geen gegevens gegeven voor de aanwezigheid van olie in afstromend wegwater. Het CIW-rapport geeft mediane concentraties van 4,1 en 0,58 mg/l. De concentratie van 4,1 mg/l is echter niet betrouwbaar, aangezien er voor dezelfde metingen een spreiding wordt gegeven van 0,10 tot 0,86 mg/l. Naar alle waarschijnlijkheid is de mediane waarde hier dus 0,41 mg/l. Voor twee provinciale wegen met DAB worden concentraties van 0,5 en 1,0 mg/l gemeten. Een concentratie van 0,5 mg/l voor gemeentewegen lijkt dus een goede schatting. Dit komt overeen met een vracht van 4,71 kg/ha/jaar.

BIJLAGE 10: KENGETALLEN PARKEERPLAATSEN

DHV/STOWA onderscheidt parkeerplaatsen niet als aparte verharding. Grontmij en Tauw geven concentraties aan voor parkeerplaatsen.

Zink

Grontmij concludeert dat de concentratie voor zink hoog is, namelijk 552 µg/l. Dat deze concentratie hoog is, wordt gedeeltelijk bevestigd door onderzoek van Tauw, waaruit mediane concentraties komen van 250 µg/l en 70 µg/l. Als maximale concentratie voor zink wordt daarom gekozen voor 250 µg/l. Omgerekend levert dit een vracht van 2,5 kg/ha/jaar op aan de bron. Ook voor de andere stoffen zit de Grontmij structureel iets hoger dan Tauw. Als concentratie voor minder vervuilde parkeerplaats wordt uitgegaan van 70 µg/l, wat neerkomt op 0,7 kg/ha/jaar.

Koper

Voor koper wordt uitgegaan van 53 µg/l. Zowel in het rapport van Tauw als in het rapport van Grontmij wordt dit aangegeven. Aangezien de informatie uit het rapport van de Grontmij gedeeltelijk is gebaseerd op het rapport van Tauw, mag aangenomen worden dat deze uitkomst van maar weinig metingen afhankelijk is en dus niet als zeer betrouwbaar mag worden meegenomen. De bijbehorende vracht is 0,53 kg/jaar/ha.

Lood

Tauw geeft mediane concentraties van 29 en 1 µg/l, Grontmij geeft een concentratie van 63 µg/l. Voor verontreinigingsklasse 1 wordt uitgegaan van 0,29 kg/ha/jaar en 63 kg/ha/jaar.

PAK's

De Grontmij en Tauw laten voor parkeerplaatsen vergelijkbare verontreinigingen zien met wegen, namelijk ongeveer 2 µg/l, wat neerkomt op een vracht van 0,02 kg/ha/jaar.

Olie

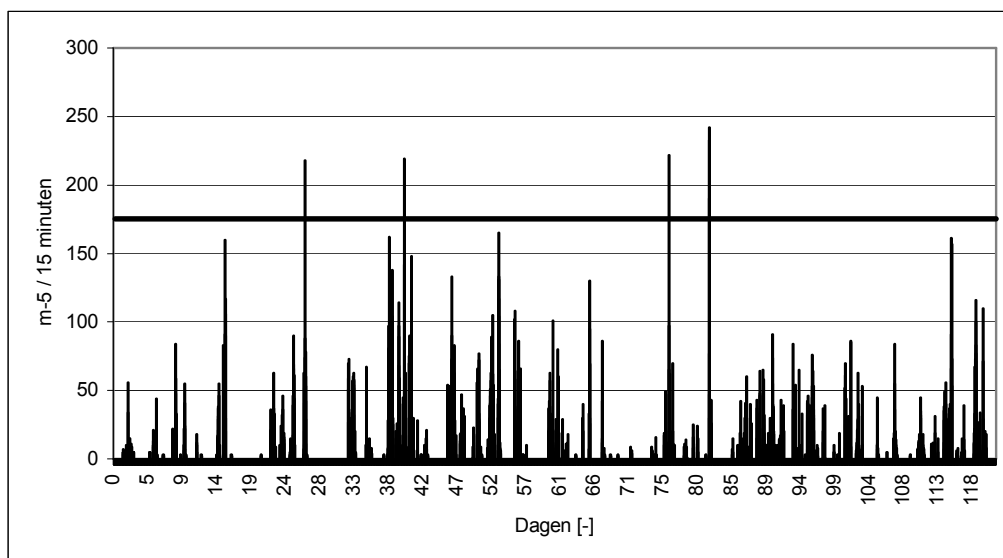
Voor olie zijn geen gegevens beschikbaar. Er wordt daarom aangenomen dat de concentratie olie op parkeerplaatsen gelijk is aan die van wegen. Dit is voor de overige stoffen ook te concluderen.

BIJLAGE 11: DIMENSIONERING ‘END OF PIPE’-VOORZIENINGEN

De dimensionering van ‘end of pipe’-voorzieningen is voornamelijk afhankelijk van de hoeveelheid water die verwerkt moet worden. Verder spelen doorlatendheid, k-waarde en berging een rol. Als input kan een keuze gemaakt worden voor een te zuiveren volume van 99%, 95%, 90%, 80%, 70%, 60% en 50%. Op basis van neerslaggegevens van 1970 tot en met 1979 is bepaald welk debiet een voorziening moet kunnen verwerken om te voldoen aan bovenstaande percentages. (Tabel B11.1) In de derde kolom is de neerslag omgerekend naar l/s/ha. Uit de beslisboom van de wRw [3] blijkt dat er een afvoer van 14 l/s/ha geldt voor een volumepercentage van 90%. Dit is berekend op basis van dezelfde database, maar dan voor een periode van 1955-1979. Omdat er in de toekomst buien met een grotere intensiteit worden verwacht, wordt het minimale debiet voor de betreffende percentages met 16% verhoogd, zodat er voor een te zuiveren volume van 90% voldaan wordt aan de 14 l/s/ha van de wRw. De vierde kolom geeft de debieten waarmee gerekend wordt. In Figuur B11.1 is een voorbeeld gegeven van de 95%-lijn.

Tabel B11.1: Debieten behorende bij percentage door zuiverende voorziening

Percentage volume door zuivering	Neerslag [m^3]	Neerslag [l/s/ha]	Input voor model [l/s/ha]
99%	379	42,1	49,1
95%	175	19,4	22,7
90%	108	12,0	14,0
80%	62	6,9	8,0
70%	41	4,6	5,3
60%	29	3,2	3,8
50%	20	2,2	2,6

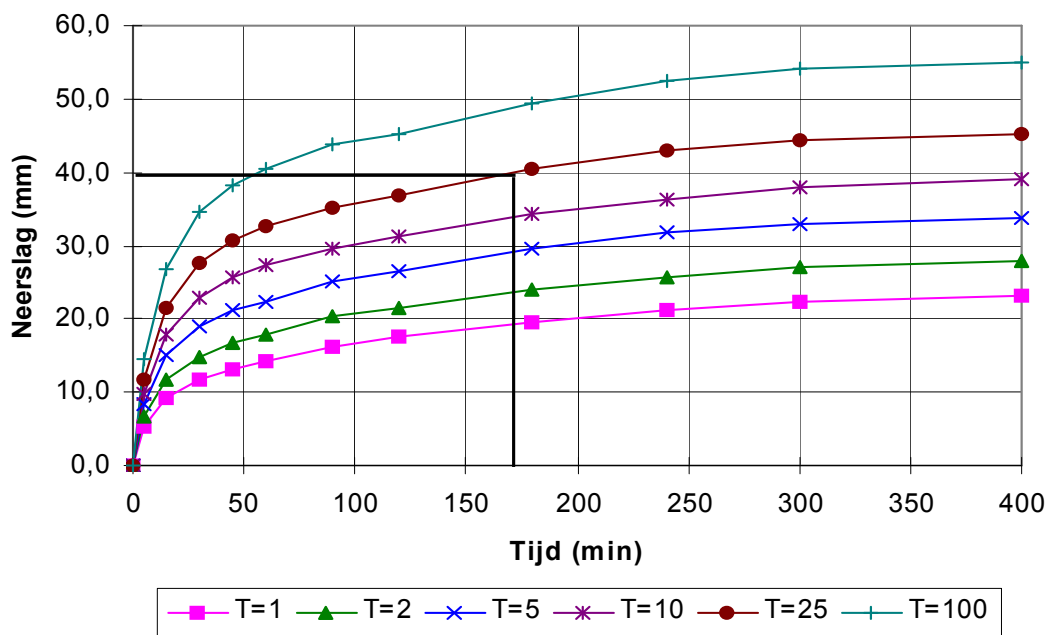


Figuur B11.1: Neerslaggegevens voor eerste vier maanden van 1970 per 15 min met 95%-lijn

Voor zuiverende voorzieningen met berging (bezinkbassin, infiltratieveld met berging en wadi) is het ook van belang te bepalen hoe groot het te bergen volume moet zijn. Er

is reeds onderzoek gedaan naar de dimensionering van enkele zuiverende voorzieningen met berging. Hierbij is gebruik gemaakt van regenduurlijnen, waarbij de dimensionering afhankelijk wordt gesteld van de gekozen herhalingsstijd voor een bui. Er wordt echter geen koppeling gemaakt tussen de gekozen herhalingsstijd en het volumepercentage van de totale neerslag.

Om dit probleem op te lossen, is gebruik gemaakt van de dimensionering van een Wadi. In het voorbeeld [31] wordt 90% van het volume gezuiverd. Het overige gedeelte wordt door de slokop afgevoerd naar de infiltratiekoffer, die samen met de berging van de hoogte van de slokop tot de bovenkant van de wadi, een bui van $T=25$ (40 mm) aan moet kunnen. Het bijbehorende neerslagduur blijkt 170 minuten. (Figuur B11.2) Het effectief afvoerend verhard oppervlak van het voorbeeld is $153 + 1945 \text{ m}^2 = 2098 \text{ m}^2$ en levert een totaal volume van 84 m^3 . Bij een porositeit van 0,35 moet er dan een koffer worden aangelegd van $0,7 \times 1 \times 54$ meter om de overige $11,7 \text{ m}^3$ te bergen. Met deze 170 minuten wordt ook verder gerekend voor bepaling van de dimensionering van een bezinkbassin en een infiltratieveld met berging. Voor de wadi zelf wordt niet verder gerekend met andere percentages, omdat een lager percentage berging aan de oppervlakte een te grote infiltratievolume van de ondergrondse voorziening vraagt. Hierdoor loopt de diepte snel op, wat de voorziening niet inpasbaar en te duur zou maken. In het model is mogelijk ook voor de overige voorzieningen te rekenen met $T=25$, indien de bergende functie vooral is gericht op de kwantiteit om water op straat te voorkomen.



Figuur B11.2: Regenduurlijn

BIJLAGE 12: AANLEG- EN BEHEERSKOSTEN

De kosten van de maatregelen worden uit verschillende onderzoeken gehaald. De Leidraad B1100 [43] geeft kengetallen voor een aantal zuiverende voorzieningen. Deze zijn direct gekoppeld aan het afgekoppelde oppervlak. Ook de kosten uit een DHV-rapport [20] worden meegenomen. Er wordt gerekend met de maatschappelijke kosten en dus geen onderscheid gemaakt tussen kosten voor de gebruiker van het model en bijvoorbeeld kosten van de bewoners.

De kosten uit de Leidraad B1100 zijn gebaseerd op het jaar 2004, waarbij wordt aangegeven dat het prijspeil vanaf 2001 met 12% is gestegen. Het DHV-rapport heeft het jaar 2000 als uitgangspunt genomen voor de bepaling van de kostenkentallen. In verband met stijgende olieprijsen en inflatie wordt, in navolging van de Leidraad B1100, uitgegaan van een 4% prijstoenname. De prijzen worden allemaal omgerekend naar het jaar 2006. De beheerskosten worden omgerekend naar het jaar 2013, halverwege de beheersperiode van 15 jaar.

Uit literatuur blijkt een groot verschil in kosten. Er wordt daarom zoveel mogelijk uitgegaan van de kosten uit de Leidraad Riolering, om een goed vergelijk tussen de voorzieningen te kunnen geven. Deze kosten worden vaak afhankelijk gesteld van het aangesloten verhard oppervlak. In het model wordt echter uitgegaan van een percentage door de zuiverende voorziening. Als basis wordt uitgegaan van 100% kosten bij een te zuiveren volume van 90%. Bij 80% wordt $\frac{8}{9} \cdot 100\%$ van de kosten doorgerekend. Het is voor het model van belang dat er een betere inventarisatie komt van de kosten. Hierbij kan gedacht worden aan een standaard prijs vermeerderd met een vierkante meterprijs voor elke voorziening, zodat niet meer omslachtig met het aangesloten verhard oppervlak gerekend hoeft te worden.

Het oppervlak van een voorziening wordt gekoppeld aan een kostprijs voor de grondaankoop. Deze wordt gesteld op 10 euro/m², maar verschilt natuurlijk per situatie.