375

TauwMabeg civiel en bouw

Water in de stad; gescheiden waterstromen

Auteurs:

G.D. Geldof
S.P. de Jong
A.J. de Braal
E.H. Marsman

Deventer, 11 april 1997
RAP\961774.wp1\v
Projectnummer 70130.43-R1/c

Colofon:
TauwMabeg civiel en bouw bv
Adviesgroep integraal waterbeheer
Postbus 830
7400 AV DEVENTER
Water in de stad; gescheiden waterstromen
G.D. Geldof (pl), S.P. de Jong, A.J. de Braal, E.H. Marsman
RAP\961774.wp1\v
Projectnummer 70130.43
Xerografisch papier 80 grs/m^2
Lettertype: Univers (Scalable)
Opdrachtgever: Rijkswaterstaat RIZA
Akkoord bevonden door:

INHOUD

Voorwoord	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	15
1.1 Algemeen	15
1.2 Doelstelling	17
1.3 Dimensies	17
1.4 Opzet van de studie	18
1.5 Opzet van de rapportage	19
2 Streefbeelden, leidende principes en normen	21
2.1 Systematiek	21
2.2 Streefbeelden	23
2.3 Leidende principes	26
2.4 Normen	27
3 Varianten	31
3.1 Waarom varianten?	31
3.2 Variabelen	31
3.3 Omschrijving van de varianten	32
3.4 Projectie technieken op leidende principes	36
4 Balansen, kosten en onzekerheden	39
4.1 Modellering	39
4.2 Waterbalansen	39
4.3 Stofbalansen	45
4.4 Kosten	52
4.5 Onzekerheden	57
5 Beschouwing van de resultaten	59
5.1 Dimensies	59
5.2 Toepasbaarheid resultaten	61
5.3 Onderzoeksbehoeften	61
6 Strategie	63
6.1 Positie en tijd	63
6.2 Projectie op streefbeelden	63
6.3 Procesplanning	66

lijk te betrekken bij de planprocessen wordt het verantwoordelijkheidsgevoel geprikkeld.

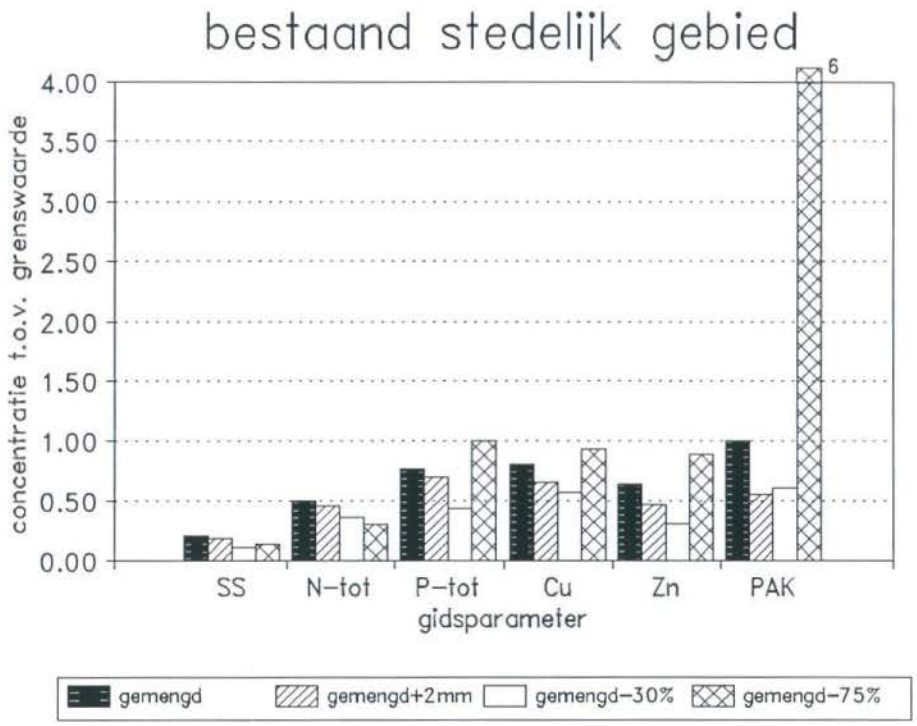
3 Balansen en kosten

Buitengebied
Wat betreft de behandeling van waterstromen speelt in het buitengebied de afweging tussen wel of niet aansluiten op de riolering. Om inzicht te krijgen in de effecten van locaal zuiveren van afvalwater of zuiveren op de RWZI zijn beide mogelijkheden nader onderzocht. Door de geringe bevolkingsdichtheid is de hoeveelheid afvalwater dermate klein dat deze nauwelijks invloed heeft op de waterbalans. De waterbalans wordt bepaald door neerslag, verdamping en de afvoer van het neerslagoverschot. Uit de berekende stofbalansen volgt dat de vrachten in neerslag en afstromend regenwater aanzienlijk hoger zijn dan in gezuiverd afvalwater. Het aansluiten op de riolering zal daardoor een beperkt effect hebben op de stofbalans in het buitengebied. Dit zal zeker het geval zijn als ook de invloed van agrarische activiteiten in beschouwing wordt genomen.

In het beschouwde buitengebied is locaal zuiveren goedkoper dan aansluiten op de riolering als een septic tank met infiltratiebed of helofytenfilter wordt toegepast. Dit geldt echter niet per definitie voor alle buitengebieden, omdat per locatie de situatie sterk kan verschillen.

Bestaand stedelijk gebied
Verhard oppervlak is in bestaand stedelijk gebied veelal aangesloten op een gemengd rioolstelsel. Als oplossingsrichtingen voor de overstortproblematiek wordt gedacht aan extra berging in bergbezinkbassins en afkoppelen van verhard oppervlak. Om de effecten van beide benaderingen te kwantificeren is uitgegaan van een gemengd rioolstelsel met 7 mm berging en 0,7 mm/h pompovercapaciteit. Vervolgens is onderzocht in hoeverre de water- en stofbalans zich wijzigt als extra berging wordt aangebracht of als verhard oppervlak wordt afgekoppeld. Hierbij zijn directe afvoer naar oppervlaktewater, infiltratie en benutting van regenwater voor bijvoorbeeld toiletspoeling als mogelijke afkoppeltechnieken in beschouwing genomen.

Figuur 2 toont het totale effect van overstort, inlaatwater en directe afvoer naar oppervlaktewater op het stedelijk oppervlaktewatersysteem. Processen als afbraak, omzetting, adsorptie, enz. zijn niet meegenomen in de beschouwing. Daarnaast is verondersteld dat grondwater en kwel niet zijn verontreinigd. *Dit betekent dat de resultaten niet moeten worden geïnterpreteerd als een actuele waterkwaliteit, maar als een belasting van het stedelijk watersysteem met verontreinigingen afkomstig van de waterstromen: inlaat, overstort en directe afvoer.* De belasting is uitgedrukt in concentraties en getoetst aan de grenswaarden voor oppervlaktewater. Door de genoemde aannames is de concentratie geen actuele waarde maar een soort van relatieve concentratie. Op de y-as is het quotiënt van de oppervlaktewaterconcentratie en de grenswaardeconcentratie uitgezet. Dat wil zeggen bij een quotiënt van bijvoorbeeld twee wordt de grenswaarde twee keer overschreden.

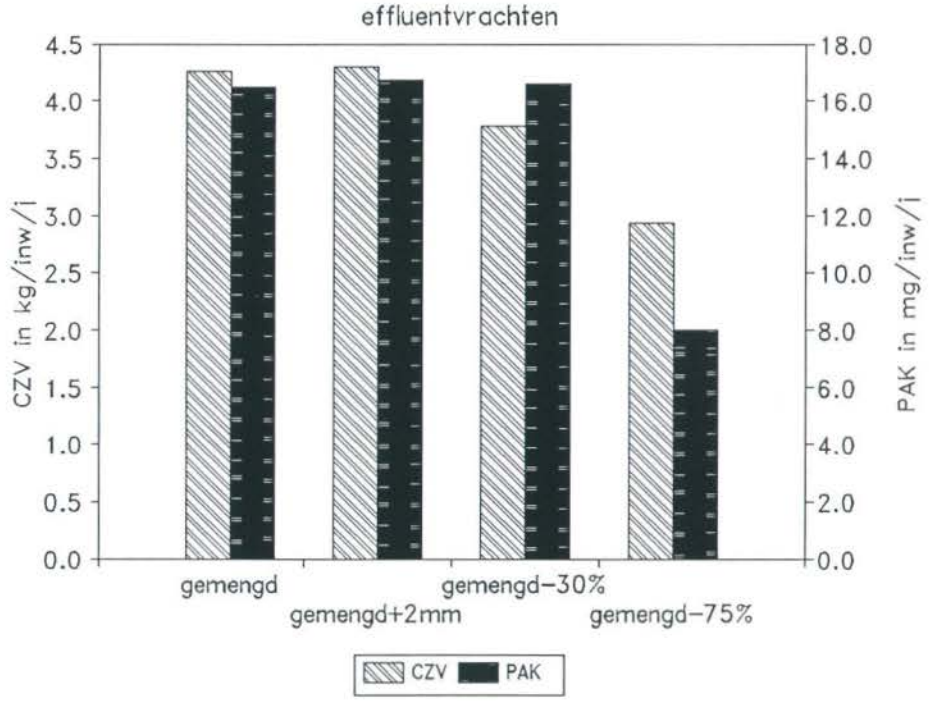


Figuur 2 Effect van inlaat, overstort en directe afvoer op de gemiddelde (relatieve) concentratie van oppervlaktewater. De concentratie is daarbij getoetst aan de grenswaarden.

Uit de figuur volgt dat het aanleggen van 2 mm extra berging in bergbezinkbassins achter de overstorten gunstig uitpakt voor de waterkwaliteit. Ook met het afkoppelen van 30% van het verharde oppervlak wordt de waterkwaliteit in gunstige zin beïnvloed. Als 75% van het verharde oppervlak wordt afgekoppeld treden er geen overstorten meer op. De waterkwaliteit wordt echter (veelal) negatief beïnvloed. De hoge concentraties van verontreinigingen in het van wegoppervlak afstromende regenwater is hieraan debet. Het afkoppelen is in feite te ver doorgeschoten als geen aanvullende maatregelen worden getroffen.

Infiltratie van afstromend regenwater leidt tot een verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit. De verontreinigingen in afstromend regenwater worden dan aan de bodem toegevoegd. Door adsorptie zullen de verontreinigingen in de bodem accumuleren. Als na verloop van tijd de adsorptiecapaciteit van de bodem afneemt kunnen de verontreinigingen in het geïnfiltreerde regenwater met dezelfde concentraties aan het grondwater worden toegevoegd. Dit betekent dat onderhoud van infiltratievoorzieningen gewenst is. Door infiltratie van afstromend regenwater nemen de piek afvoeren af en vertoont het stedelijk watersysteem een meer natuurlijk neerslagafvoerpatroon. De ontwatering neemt door de hogere grondwaterstanden toe, waardoor in droge perioden de waterstanden beter op peil blijven.

Door extra berging aan te leggen wordt meer water afgevoerd naar de RWZI. Dit leidt tot een toename van de effluentvrachten. Deze toename is echter relatief gering omdat bij de referentiesituatie al circa 95% van het regenwater naar de RWZI wordt afgevoerd. In figuur 3 is dit voor CZV en PAK weergegeven. Door het afkoppelen van verhard oppervlak wordt minder water naar de RWZI afgevoerd. Dit resulteert in significante reducties van de CZV-vrachten in effluent. Voor PAK ligt dit wat gecompliceerder. Bij 30% afgekoppeld verhard oppervlak neemt de effluentvracht van PAK in geringe mate toe. Dit komt omdat het influent "indikt" doordat de minst verontreinigde verharde oppervlakken worden afgekoppeld. Als ook de meer verontreinigde verharde oppervlakken worden afgekoppeld, is er een afname van de effluentvrachten te zien.



Figuur 3 Effluentvrachten.

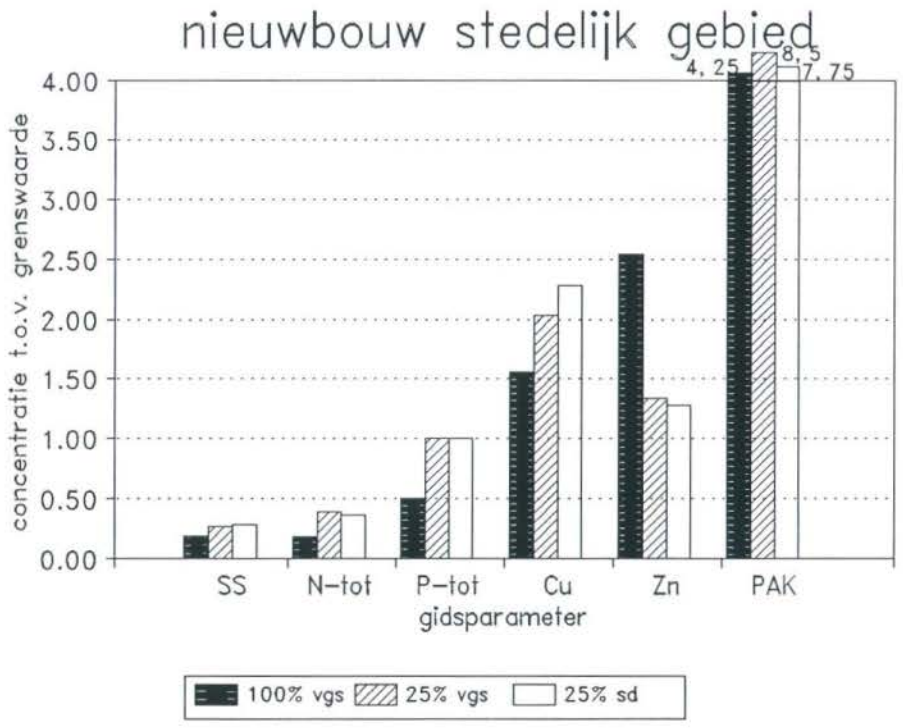
De stichtingskosten van 2 mm extra berging in bergbezinkbassins zijn lager dan de stichtingskosten die worden gemaakt als 30% van het verharde oppervlak wordt afgekoppeld. Daarbij zijn infiltratievoorzieningen duurder dan afvoervoorzieningen naar oppervlaktewater. Bij hogere percentages afgekoppeld verhard oppervlak nemen de kosten voor infiltratie verder toe. De kosten van het afvoeren van regenwater naar oppervlaktewater nemen daarentegen slechts in geringe mate toe als meer oppervlak wordt afgekoppeld.

Nieuwbouw stedelijk gebied

Bij nieuwbouw locaties is er nog geen infrastructuur aanwezig, waardoor er meer mogelijkheden zijn voor diverse wijzen van waterbehandeling. De inpasbaarheid is groter dan in bestaande gebieden. Voor de behandeling

van regen- en afvalwater wordt bij nieuwbouwlocaties veelal gedacht aan een verbeterd gescheiden stelsel, waarbij het nog open staat welke verharde oppervlakken wel worden aangesloten op het rioolstelsel en welke niet. Als referentiesituatie is een verbeterd gescheiden rioolstelsel genomen met 4 mm berging en 0,3 mm/h pompovercapaciteit. Vervolgens is onderzocht in hoeverre de water- en stofbalansen worden gewijzigd als minder verhard oppervlak wordt aangesloten op het rioolstelsel. Verhard oppervlak dat niet wordt aangesloten op het rioolstelsel voert af naar infiltratievoorzieningen of oppervlaktewater. Het aangesloten verhard oppervlak voert het afstromende regenwater af naar een verbeterd gescheiden stelsel of smart drain.

Figuur 4 toont het totale effect van overstort, inlaatwater en directe afvoer op het stedelijk watersysteem. Uit de figuur volgt dat de grenswaarden voor koper, zink en PAK worden overschreden. Naarmate meer regenwater direct wordt afgevoerd naar oppervlaktewater nemen de concentraties toe. Dit is een direct gevolg van de hoge concentraties in afstromend regenwater. Bij zink zijn de concentraties bij afkoppelen lager omdat bronmaatregelen zijn getroffen in de vorm van dakgoten die geen/nauwelijks zink uitlogen. Echter zelfs dan worden de grenswaarden overschreden. De hoge zinkconcentraties in van straatoppervlak afstromend regenwater zijn hieraan debet.



Figuur 4 Effect van inlaat, overstort en directe afvoer op de gemiddelde (relatieve) concentratie van oppervlaktewater. De concentratie is daarbij getoetst aan de grenswaarden.

Bij nieuwbouw zijn de stichtingskosten van een verbeterd gescheiden stelsel in orde van grootte gelijk aan een systeem waarbij een groot deel van het verhard oppervlak direct afvoert naar oppervlaktewater. Infiltratie van regenwater kan duurder zijn. Vooralsnog zijn de stichtingskosten van een locale zuivering van afvalwater hoger dan van een RWZI.

4 Beschouwing van de resultaten

De resultaten geven aan dat afkoppelen uit oogpunt van de waterbalans gunstig is. Er wordt beter aangesloten op het streven naar een zo natuurlijk mogelijk verloop van waterstanden en debieten. Uit de stofbalansen volgt echter dat niet zonder meer al het verhard oppervlak moet worden afgekoppeld. Het regenwater dat van de meest verontreinigde verharde oppervlakken afstroomt is namelijk te verontreinigd om zonder aanvullende behandeling direct naar oppervlaktewater te worden afgevoerd of te worden geïnfiltreerd in de bodem. Het afvoeren van regenwater naar de RWZI belast het oppervlaktewater en/of bodem minder, maar resulteert tevens in minder beschikbaar water. Dit is per saldo geen echte verbetering.

In stedelijk gebied is het momenteel niet aantrekkelijk om grijs en zwart water locaal te behandelen. De kosten zijn te hoog. Daarnaast is er nog weinig ervaring opgedaan met het locaal behandelen van grijs en zwart water. Dit geldt niet voor het buitengebied. Daar kan het locaal behandelen van afvalwater goedkoper zijn dan aansluiten op de RWZI.

Het drinkwatergebruik kan op eenvoudige wijze worden beperkt door het treffen van waterbesparende maatregelen. Verdere reductie kan worden gerealiseerd door een deel van het drinkwater te 'vervangen' met water van geringere kwaliteit, bijvoorbeeld door regenwaterbenutting of een tweede waterleidingnet. Een consequentie van regenwaterbenutting is dat minder regenwater kan worden geinfiltreerd of afgevoerd naar oppervlaktewater. Dit betekent dat gekozen moet worden tussen drinkwaterbesparing met positieve effecten of meer regenwater in de wijk behouden met positieve effecten in de wijk zelf.

5 Strategie

De huidige situatie in Nederland kenmerkt zich door een groot aandeel gemengde rioolstelsel. Bij nieuwbouw wordt veelal gedacht aan een verbeterd gescheiden stelsel. Zowel bij gemengde als verbeterd gescheiden rioolstelsels wordt een groot deel van het regenwater naar de RWZI afgevoerd. Dit sluit niet aan op de geformuleerde streefbeelden. Regenwater dat van verhard oppervlak afstroomt kan ook voor de locale waterhuishouding worden benut. Kostentechnisch is dit bij nieuwbouw zonder meer haalbaar. Bij bestaande gebieden kunnen aanpassingen in de tijd worden gefaseerd, waardoor ook daar mogelijkheden zijn. Het locaal behandelen van afvalwater in de wijk is nog kostbaar en daardoor iets voor de langere termijn. In het buitengebied ligt dit anders, waardoor in die gebieden goed ervaring kan worden opgedaan met het locaal zuiveren. Voor de korte

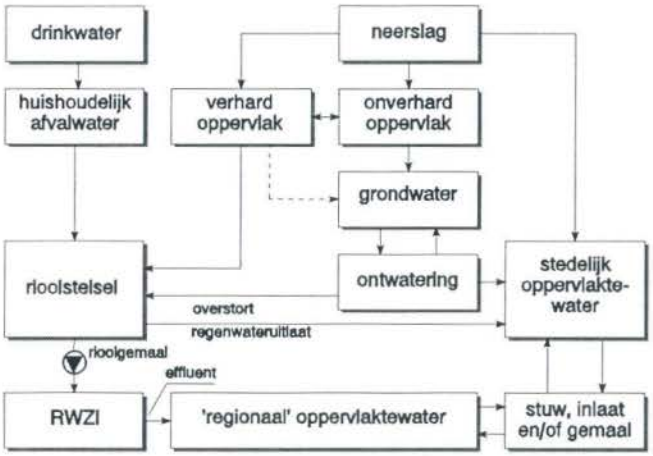
termijn gaat het met name om regenwater, wat betreft het scheiden van waterstromen in de stad.

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Het stedelijk gebied 'produceert' enige waterstromen die sterk kunnen verschillen in verontreinigingsgraad en stromingskarakteristiek. Voorbeelden hiervan zijn: "zwart" huishoudelijk afvalwater, "grijs" huishoudelijk afvalwater en het regenwater dat vanaf verhard oppervlak afstroomt. De riolering verzorgt het transport van afval- en regenwater. In figuur 1.1 is op schematische wijze de stedelijke waterhuishouding weergegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen "stedelijk oppervlaktewater" en "regionaal oppervlaktewater". Een dergelijke fysieke eenheid treedt doorgaans op bij poldersystemen, waarbij water bijvoorbeeld vanuit de boezem kan worden ingelaten en via een gemaal kan worden afgevoerd. Bij beken is veelal sprake van één (gestuurd) watersysteem.

Oorspronkelijk was de riolering niet bedoeld voor de inzameling en transport van regenwater, maar voor de inzameling van afvalwater om de verspreiding van ziekteverwekkers tegen te gaan. Door de toenemende verstedelijking werd ook steeds meer regenwater via de riolering afgevoerd om te voorkomen dat straten "blank" kwamen te staan.



Figuur 1.1 Schematische weergave van het stedelijke watersysteem.

Doorgaans wordt onderscheid gemaakt naar gemengde, gescheiden en verbeterd gescheiden rioolstelsels. In geval van gemengde en verbeterd gescheiden rioolstelsels wordt het regenwater behandeld op een rioolwaterzuiveringsinrichting (RWZI). Bij een gescheiden rioolstelsel wordt regenwater via regenwateruitlaten afgevoerd naar het oppervlaktewater. Neerslag die op onverhard oppervlak valt, infiltreert in de bodem en wordt via het grondwater afgevoerd naar oppervlaktewater.

In het stedelijk waterbeheer is het lange tijd gebruikelijk geweest de verschillende waterstromen min of meer als gelijkwaardige stromen te behan-

delen. Dit wil zeggen: ze worden ingezameld met een rioolstelsel en bij voorkeur afgevoerd naar een RWZI, alwaar het water gecentraliseerd en gecontroleerd wordt behandeld. Deze benadering van stedelijk water kan worden gezien als een *'end of pipe'-benadering*. Deze benadering kent enige nadelen, zoals:

- het optreden van overstortingen vanuit gemengde en verbeterd gescheiden rioolstelsels;
- het optreden van piekafvoeren;
- de noodzaak om water aan te voeren voor het doorspoelen en op peil houden van stedelijke waterlopen;
- het optreden van grote fluctuaties in aanvoer van afval- en regenwater op de RWZI, waardoor het rendement ook fluctueert.

Bij het huidige waterbeheer wordt steeds vaker een *bronbenadering* toegepast. Dit houdt in dat waterstromen met significant verschillende verontreinigingsgraden en stromingskarakteristieken zoveel mogelijk gescheiden van elkaar worden behandeld, zo dicht mogelijk bij de bron. Tevens worden ze zo goed mogelijk benut. Deze benadering heeft onder andere als voordelen dat water minder wordt getransporteerd en dat per waterstroom 'geëigende' zuiveringstechnieken kunnen worden toegepast. De efficiëntie en effectiviteit kunnen daardoor worden vergroot. Tot het domein van de bronbenadering worden ook gerekend de maatregelen die gericht zijn op het voorkomen van verontreinigingen en het besparen op het gebruik van drinkwater.
De bronbenadering kent naast voordelen ook enige potentiële nadelen. Omdat waterstromen gescheiden behandeld worden kan een situatie ontstaan die minder overzichtelijk is. Dit kan bijvoorbeeld resulteren in hogere exploitatiekosten. Tevens ontstaat een grotere afhankelijkheid van het 'goede gedrag' van burgers. Vele bronmaatregelen zijn minder goed controleerbaar. Met de 'end of pipe'-benadering is meer ervaring opgedaan dan met de bronbenadering en deze resulteert dan ook in minder onzekerheden.

De afweging 'end of pipe'-benadering versus bronbenadering speelt niet uitsluitend in het stedelijke gebied. In het landelijke gebied wordt op dit moment discussie gevoerd in welke mate afgelegen woningen en boerderijen aangesloten moeten worden op de riolering. Ook hier biedt een meer brongerichte benadering wellicht goede perspectieven.

Bronmaatregelen worden nu vaak op experimentele schaal toegepast. In een aantal projecten echter worden ze op korte termijn ook op grotere schaal toegepast. De kans is aanwezig dat een soort sneeuwbaleffect optreedt waarbij de bronbenadering eerder regel gaat worden dan uitzondering (overigens wel vaak in combinatie met 'end of pipe' technieken). De kans is dan ook aanwezig dat er serieuze fouten worden gemaakt en de bronbenadering in een slecht daglicht komt te staan. De volgende vragen dringen zich onder andere op:

- Waar staan we op dit moment met betrekking tot de kennis die we hebben over technieken die behoren tot de bronbenadering (het "nieuwe" denken)?
- Welke gaten zijn in onze kennis aanwezig?

- Hoe kunnen we voor het heden en in de nabije toekomst een goed evenwicht vinden tussen de bronbenadering enerzijds en de 'end of pipe'-benadering anderzijds?
- In welke mate is bij dat evenwicht daadwerkelijk sprake van een duurzame ontwikkeling?

1.2 Doelstelling

Dit rapport richt zich op de beantwoording van de hiervoor gestelde vragen. Er wordt gezocht naar een strategie voor de korte en de langere termijn, waarbij tegemoet wordt gekomen aan de principes van een duurzame ontwikkeling. Op basis van de aanwezige kennis en ervaring wordt een positie ingenomen ten opzichte van bron- en 'end of pipe'-benaderingen. Daarbij worden de processen met water in de stad belicht vanuit de invalshoek van integraal waterbeheer. Belangrijk vertrekpunt daarbij is het beleid zoals geformuleerd in de derde Nota waterhuishouding, waarmee wordt gestreefd naar "gezonde watersystemen die een duurzaam gebruik garanderen".

Voor deze studie is de volgende doelstelling geformuleerd:
Het aanreiken van optimale, weinig kwetsbare, integrale en duurzame oplossingen voor de behandeling en hergebruik van diverse typen communaal afvalwater en regenwater in het kader van het "nieuwe" denken van overheidsorganisaties en burgers over inrichting van woongebieden. Hierbij zal nadrukkelijk ook worden gestreefd naar een duidelijk perspectief voor kostenreductie op kortere en middellange termijn van de milieuzorg in stedelijke, alsmede in landelijke woongebieden.

1.3 Dimensies

Bij deze studie wordt gezocht naar een optimum voor het omgaan met waterstromen in de stad. Dit optimum is echter niet constant. Het varieert. De volgende dimensies kunnen worden onderscheiden.

a. Het 'soort' water dat in beschouwing wordt genomen. Genoemd zijn reeds: "zwart" huishoudelijk afvalwater, "grijs" huishoudelijk afvalwater en regenwater dat afstroomt van verhard oppervlak. Bij het afstromend regenwater kan onderscheid worden gemaakt naar het schonere regenwater van daken, pleintjes en rustige woonstraten (minder dan 500 voertuigbewegingen per dag) en het meer verontreinigde regenwater van drukke buurt- en wijkontsluitingswegen, winkelpassages, bushaltes, parkeerterreinen, etc. Omdat waterstromen een onderdeel vormen van een groter hydrologisch geheel kunnen ook andere 'soorten' van belang zijn bij het bepalen van wat optimaal is en wat niet. Voorbeelden hiervan zijn oppervlaktewater en grondwater.
b. De vele mogelijkheden voor combinatie van behandelingstechnieken voor het omgaan met water in de stad. Om water van gewenste kwaliteit op de juiste plaats te krijgen zijn vele alternatieven aanwezig. Per verontreinigingsgraad en per stromingskarakteristiek kan gekozen worden uit een veelheid aan technieken. Al deze behandelingstechnieken kennen voor- en nadelen.

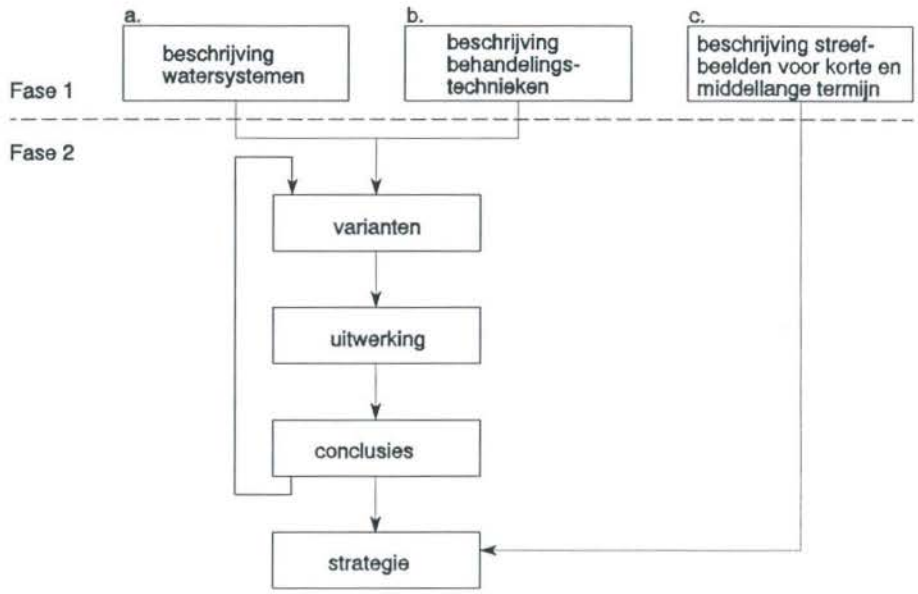
c. De locatie. Wat voor het westen van het land optimaal is, kan voor het oosten minder goed zijn. In een gebied met een slecht doorlatende ondergrond en brakke kwel zullen andere combinaties van technieken worden toegepast dan bij goed doorlatende ondergrond met verdroogde hoogveengebiedjes in de omgeving. Elke locatie kent unieke omstandigheden.
d. Bestaande gebieden en nieuw aan te leggen gebieden. In bestaande gebieden zijn de mogelijkheden om veranderingen door te voeren meer beperkt dan in nieuw aan te leggen gebieden. Daarentegen zijn er betere mogelijkheden aanwezig om activiteiten in de tijd te spreiden -nieuwbouwprojecten staan vaak onder grote tijdsdruk- en om bewoners erbij te betrekken.
e. Stedelijk en landelijk. De echte stedelijke gebieden zijn veel compacter en daardoor kan efficiënter dan in het landelijk gebied aansluiting plaatsvinden op een rioolstelsel. Dit betekent dat wat optimaal is voor een stedelijk gebied niet per definitie optimaal is voor het landelijke gebied of het buitengebied.
f. De tijd. Processen in het stedelijke gebied zijn constant in beweging. Het denken over stedelijk waterbeheer verandert, evenals het sociale gedrag van mensen, de lucht wordt schoner, of viezer, er komen nieuwe producten op de markt, etc. Al deze veranderingen kunnen invloed hebben op de bepaling van wat optimaal is en wat niet.

1.4 Opzet van de studie

In de studie "Water in de stad; gescheiden waterstromen" kunnen twee fasen worden onderscheiden, zie figuur 1.2. De eerste en inventariserende fase omvat drie delen:

a. *Beschrijving watersystemen (referentievarianten)*
Voor de kwantitatieve onderbouwing van de te formuleren strategie voor korte en langere termijn zijn de effecten van verschillende behandelingstechnieken van waterstromen op een watersysteem bepaald. Hierbij zijn vijf gebieden in beschouwing genomen: vier stedelijke gebieden en één buitengebied. Voor deze vijf gebieden zijn referentievarianten opgesteld. Vervolgens zijn er water- en stofbalansen voor de referentievarianten opgesteld. In overleg met de begeleidingscommissie is besloten om de stofbalansen op te stellen voor acht gidsparameters. De geselecteerde gidsparameters zijn: chemisch zuurstofverbruik (CZV), zwevend stof (SS), totaal stikstof (N-tot), totaal fosfor (P-tot), olie, koper (Cu), zink (Zn) en de som van 10 PAK zoals geformuleerd door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (PAK).
b. *Beschrijving behandelingstechnieken*
Verschillende technieken voor de behandeling van water zijn geïnventariseerd. Hierbij zijn niet alleen zuiveringstechnieken in beschouwing genomen, maar ook technieken voor drinkwaterbesparing, bronmaatregelen, het inzamelen en transporteren van water, afkoppelen van verhard oppervlak en randvoorzieningen. De resultaten van de inventarisatie zijn opgenomen in het deelrapport "Behandelingstechnieken" van "Water in de stad; gescheiden waterstromen".

c. *Beschrijving streefbeelden*
Met de beschrijving van de streefbeelden voor de korte en langere termijn zijn de einddoelen geformuleerd. Dit is gedaan in nauw overleg met de begeleidingscommissie.



Figuur 1.2 Schematische weergave van het planproces van de studie.

Fase 2 is gestart met het formuleren van 20 varianten, waarmee het totaal aantal varianten op 25 komt. Evenals voor de referentievarianten zijn voor deze varianten water- en stofbalansen opgesteld. Vervolgens zijn de kosten voor de behandeling van de waterstromen per variant bepaald. Combinatie van de conclusies met het streefbeeld leidt tot de strategie voor de korte en langere termijn. Deze strategie heeft niet uitsluitend betrekking op het vaststellen van de optimale manier voor het behandelen van de verschillende waterstromen (einddoelplanning), maar ook op de processen die nodig zijn voor de implementatie ervan (procesplanning).

1.5 Opzet van de rapportage

Het voorliggende rapport omvat 6 hoofdstukken en is als volgt opgezet:
1 De verschillende aspecten van het stedelijk waterbeheer worden in hoofdstuk 1 toegelicht. Daarnaast wordt de doelstelling van de studie geformuleerd.
2 In hoofdstuk 2 worden streefbeelden opgesteld voor de korte en langere termijn. Op basis van deze streefbeelden worden leidende principes afgeleid en wordt ingegaan op normen. Centrale begrippen zijn daarbij *duurzaam* en *gezond*.
3 In hoofdstuk 3 worden in totaal 25 varianten opgesteld voor vier stedelijke gebieden en één buitengebied. Daarnaast worden de gekozen varianten geprojecteerd op de streefbeelden en leidende principes.

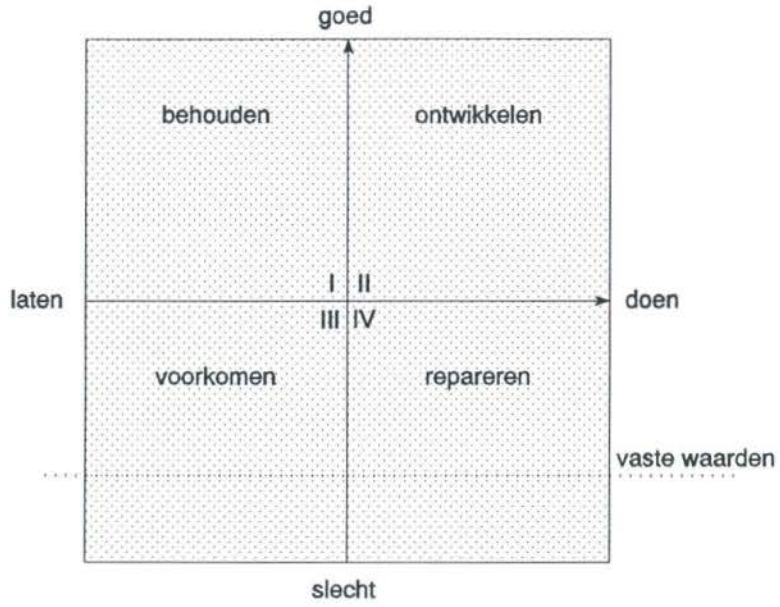
4 De resultaten van de water- en stofbalansen worden in hoofdstuk 4 gepresenteerd. Daarnaast zijn de kosten van de behandelingstechnieken in dit hoofdstuk opgenomen.
5 De conclusies worden in hoofdstuk 5 gepresenteerd. Het draait daarbij om twee vragen: "Wat te doen met afstromend regenwater?" en "Wat te doen met drink- en afvalwater?".
6 Tot slot wordt in hoofdstuk 6 de strategie voor de korte en langere termijn beschreven. Hierbij wordt onder andere ingegaan op juridische, financiële en communicatieve sturing.

2 Streefbeelden, leidende principes en normen

2.1 Systematiek

Deze studie is primair gericht op het in beeld brengen van technieken die tegemoet komen aan het principe van een *duurzame* ontwikkeling en die invulling geven aan *gezonde* waterhuishoudkundige systemen. Wat betekenen deze begrippen?
Er bestaan vele opvattingen over wat een duurzame ontwikkeling is. Bij de één wordt duurzame ontwikkeling opgehangen aan het niet uitputten van natuurlijke hulpbronnen (onder andere Meadows et al., 1992), bij een ander aan het creëren van goede voorwaarden voor generaties die na ons komen (onder andere WCED, 1988). Binnen gegeven definities is het vaak erg moeilijk concrete maatregelen te formuleren. Er kunnen zelfs tegenstrijdigheden optreden. Een eenvoudig voorbeeld: een concrete maatregel voor stedelijk waterbeheer zou kunnen zijn: het verbieden dat mensen vaker dan twee keer per week douchen of vaker dan één keer per week een bad nemen. Een dergelijke maatregel resulteert voorspelbaar in een besparing op drinkwater en komt dus tegemoet aan het streven zorgvuldig om te gaan met natuurlijke hulpbronnen. Het maakt duurzaam stedelijk waterbeheer echter niet populair bij mensen. De houding van mensen ten opzichte van 'milieumaatregelen' in het algemeen kan erdoor verslechteren. Daarmee is geen dus goede basis gelegd voor generaties die na ons komen. Per saldo kan de maatregel dus een averechtse uitwerking hebben.

Bij beleid en beheer draait het om doelen en middelen. Er worden doelen geformuleerd en vervolgens worden middelen ingezet om de doelen te realiseren. Bij het vormgeven aan duurzame en gezonde waterhuishoudkundige systemen is dit niet eenvoudig omdat zowel doelen als middelen onzeker kunnen zijn. Er zijn doelen waarover geen overeenstemming is en er zijn middelen die zo weinig beproefd zijn dat het nog maar de vraag is of ze voldoende zijn om de doelen te realiseren. Verschillende invalshoeken kunnen tot verschillende uitkomsten leiden. Vanuit een bronbenadering bijvoorbeeld heeft het de voorkeur verontreinigde waterstromen zo dicht mogelijk bij de bron te behandelen. Dit vergroot de betrokkenheid van mensen en biedt goede mogelijkheden om zuiveringstechnieken af te stemmen op de specifieke eigenschappen van bepaalde waterstromen. Maar betekent dat nu dat iedere woning een eigen installatie moet krijgen om het grijze en zwarte water te zuiveren? Vanuit de 'end of pipe'-benadering heeft het de voorkeur verschillende waterstromen zoveel mogelijk te bundelen en op een gecentraliseerde en gecontroleerde manier te behandelen. Er kan een parallel worden getrokken tussen gezonde watersystemen in de stad en de volksgezondheid. Zie tabel 2.1. In deze tabel wordt gebruik gemaakt van een indeling die is weergegeven in figuur 2.1.



Figuur 2.1 Vier aandachtsvelden voor beleid (Berends en Geldof, 1996).

Tabel 2.1 Parallel tussen volksgezondheid en het streven naar gezonde stedelijke watersystemen.

Aandachtsveld	Volksgezondheid	Gezonde stedelijke watersystemen
Behouden (I).	Een prettig en gevarieerd leven. Geen armoede of grote problemen.	Behoud van diversiteit en leefbaarheid.
Ontwikkelen (II).	Het voeren van gesprekken en begeleiden van mensen zodat ze bewuster omgaan met de waarde van gezondheid. Het stimuleren van mensen om wat aan sport te doen.	De sturende rol van water versterken en de betrokkenheid van mensen vergroten.
Voorkomen (III).	Campagnes tegen roken, drank, drugs, etc. Voorlichting over goed eten. Regelmatige controle.	Bronbestrijding, voorlichting, voorkomen van afwenteling van milieu-problemen. Meten.
Repareren (IV).	Herstel van zieke mensen: gebruik medicijnen, opereren, gebit herstellen, etc.	Herstel van de stad als zelfverantwoordelijk systeem. Sanering van probleemsituaties.

De indeling van tabel 2.1 laat zien dat de 'end of pipe'-benadering en de bronbenadering goed naast elkaar kunnen bestaan. De mate waarin maatregelen worden genomen en de verhouding tussen bronmaatregelen en 'end of pipe'-maatregelen echter zijn onzeker. Wat is hier wijsheid?

Juist het niet vaststaan van doelen en middelen maakt het lastig te optimaliseren. Om daadwerkelijk tot duurzame en gezonde watersystemen te komen zullen keuzes gemaakt moeten worden. Deze keuzes zijn voor een deel subjectief. Dit hoeft geen bezwaar te zijn, zolang de keuzes goed worden onderbouwd en wordt aangegeven welke ruimte aanwezig is om in andere gevallen onder andere omstandigheden andere keuzes te maken.

Veel is onzeker. Wat wel zeker is, is dat wijzigingen van het huidige stedelijk waterbeheer nodig zijn om daadwerkelijk tot duurzame en gezonde watersystemen te komen. Dat geldt niet uitsluitend voor het stedelijk waterbeheer, dat geldt voor alle processen die met ons milieu te maken hebben. De Club van Rome (Meadows et al, 1992) geeft aan dat het voorspelbaar fout gaat als niet in de tweede helft van de jaren '90 een tendens wordt ingezet in de richting van een duurzame ontwikkeling. In feite gaat het er dus om te kiezen tussen de *zekerheid* dat het fout gaat en de *kans* dat het goed kan gaan. Dit lijkt geen moeilijke keuze, echter het kiezen voor de kans dat het goed kan gaan impliceert wel dat continu moet worden gekeken naar mogelijkheden, wenselijkheden en feitelijkheden en dat voor een deel aanwezige onzekerheden geaccepteerd moeten worden.

Om in dit spanningsveld een weg uit te kunnen zetten voor duurzame en gezonde stedelijke watersystemen worden in dit hoofdstuk streefbeelden afgeleid. Deze zijn deels subjectief. Deze streefbeelden zijn richtinggevend en kunnen samenhang brengen in maatregelen die worden genomen. Bij de streefbeelden wordt onderscheid gemaakt naar:
- fysische en chemische processen inclusief morfologie;
- ecologische processen;
- sociale en maatschappelijke processen;
- intellectuele processen.

Op basis van deze streefbeelden worden leidende principes afgeleid. Deze worden ingedeeld volgens het schema van figuur 2.1. Ter afsluiting van dit hoofdstuk wordt ingegaan op normering.

2.2 Streefbeelden

2.2.1 Termijnen

Streefbeelden omvatten zowel einddoelen (toestanden) als processen. Daarbij geldt dat het proces vooraf gaat aan het einddoel. Er worden hier twee streefbeelden afgeleid, één voor de korte termijn (het jaar 2000) en één voor de langere termijn (het jaar 2030). Bij het streefbeeld voor de korte termijn ligt het accent op processen en voor de langere termijn op de einddoelen.

2.2.2 Streefbeeld voor de korte termijn

Fysisch, chemisch en morfologisch
Bij nieuw te ontwikkelen gebieden (nieuwbouw) worden duurzame en gezonde watersystemen geïmplementeerd. Dit houdt in dat zorgvuldig wordt omgegaan met de hulpbron water en tevens geen afwenteling plaatsvindt van milieu-problemen. Meer concreet:

- er wordt gestreefd naar een natuurlijk verloop van waterstanden en debieten, dit kan betekenen: hogere waterstanden en grotere debieten in de winter, lagere waterstanden en kleinere debieten in de zomer, minder extreme fluctuaties, etc.;
- bronnen voor water worden goed benut, bijvoorbeeld door regenwater te gebruiken voor wassen, toiletspoelen en tuinsproeien en kwelwater te gebruiken voor natuurdoeleinden;
- verontreiniging van oppervlaktewater wordt zoveel mogelijk voorkomen (er is sprake van een goede waterkwaliteit);
- de gebieden zijn niet of weinig afhankelijk van externe waterbronnen;
- er worden significante besparingen verkregen op het gebruik van drinkwater;
- watersystemen kenmerken zich door zuinig omgaan met grondstoffen en energie en er worden weinig afvalstoffen geproduceerd.

Nieuwe woonwijken worden zorgvuldig ingepast in de omgeving. Ze dragen bij aan de leefbaarheid. Bij de vormgeving is maximaal rekening gehouden met de specifieke eigenschappen van de locatie. De watersystemen zijn goed afgestemd op de andere ruimtelijke elementen, zoals de groenstructuur en de verkeersstructuur.
Bij bestaande gebieden is een proces ingezet van een *blauwe transformatie.* Dit houdt in dat wateronvriendelijke gebieden geleidelijk veranderen in watervriendelijke gebieden. Daarbij vindt nauwe afstemming plaats op andere processen in het stedelijke gebied: renovaties, stadsvernieuwing, inbreidingen, wegreconstructies, etc. Wat in nieuwbouwgebieden in één keer kan worden gerealiseerd komt in de bestaande gebieden geleidelijk tot stand.

Ecologisch
Bij nieuwe gebieden is daadwerkelijk natuur aanwezig in de woonwijk. Wat aan mogelijkheden aanwezig is wordt goed benut. Bij locatiekeuze en de stedenbouwkundige vormgeving van de gebieden is er ook rekening mee gehouden. Bestaande elementen worden zoveel mogelijk gehandhaafd. De watersystemen zijn weinig gevoelig voor verstoringen. Er is sprake van een grote diversiteit. Er vindt aansluiting plaats bij wat in de omgeving aanwezig is (dus niet "wonen aan het water" midden op de Hoge Veluwe, bijvoorbeeld). Waar mogelijk zijn maatregelen genomen om verdroging in de omgeving te reduceren. In de gebieden bevinden zich ecologische verbindingszones.
Ook in bestaande gebieden worden natuurlijke elementen aangebracht. Initiatieven zoals "Ecolint" in Amsterdam vinden ook elders plaats. Gestreefd wordt naar systemen die zichzelf in stand kunnen houden met een minimum aan beheer en onderhoud.

Sociaal-maatschappelijk
De verschillende actoren die bij water in stad betrokken zijn, in al zijn facetten, werken goed samen om tot optimale systemen te komen. Financiële en juridische barrières bij die samenwerking zijn opgeruimd. De waterbeheerder is in het netwerk van actoren een initiator. Water heeft daardoor meer dan voorheen een ordenende functie, zowel bij bestaande als bij nieuwe gebieden. Door de goede communicatie kan adequaat gereageerd worden op calamiteiten.

Er wordt veel aandacht besteed aan betrokkenheid van burgers. Nieuwe gebieden worden zo ingericht dat de betrokkenheid van burgers groot is. Dit wordt bereikt door veel aandacht te besteden aan de leefbaarheid in de gebieden en door feedback-trajecten kort te houden. De effecten van handelingen worden daardoor snel opgemerkt. Bij bestaande gebieden worden inwoners betrokken bij het opstellen van plannen. Belangrijke maatstaf voor gekozen oplossingen daarbij is: zelfherkenning. Maatregelen moeten zo weinig mogelijk geforceerd van boven worden opgelegd, oftewel: de doelen die betrekking hebben op een duurzame ontwikkeling en gezonde watersystemen zijn goed, maar de weg ernaar toe moet ook 'leuk' zijn.

Intellectueel
Ontwerpen voor nieuwe gebieden worden gemaakt vanuit ecologische concepten. Daarbij wordt ervoor gewaakt dat oude dogma's wijken voor nieuwe dogma's. Daartoe worden de discussies over een duurzame ontwikkeling en gezonde watersystemen levend gehouden.
Bij het ontwikkelen van duurzame en gezonde systemen wordt de middenweg bewandeld tussen te veel en te weinig onzekerheden. Daarbij wordt niet uitsluitend rekening gehouden met de ratio, maar ook met het gevoel (emoties). Naast interesse voor nieuwe gebieden is er meer dan voorheen ook interesse voor bestaande gebieden.
Er is sprake van een goede verhouding tussen meten, modelleren en het uitvoeren van proefprojecten.

2.2.3 Streefbeeld voor de langere termijn

Fysisch, chemisch en morfologisch
De leefbaarheid van stedelijke gebieden is groot. De lucht is schoon en de leefomgeving is schoon. Er zijn geen grote emissies meer door verkeer. Stedelijk gebied kenmerkt zich door diversiteit en aantrekkelijkheid. Er is daadwerkelijk sprake van een duurzaam en gezond systeem. Er is geen tekort aan hulpbronnen en er vindt geen afwenteling plaats van milieuproblemen. Stedelijke gebieden kennen daardoor een hoge mate van zelfverantwoordelijkheid.

Ecologisch
De biodiversiteit in stedelijke gebieden is toegenomen. Er is relatief veel natuur aanwezig en maatregelen hebben ertoe bijgedragen dat de verdroging in Nederland aanzienlijk is afgenomen. De goede afstemming tussen water en groenvoorzieningen draagt in sterke mate bij aan de grote leefbaarheid.
Door het schone water en de natuurlijke elementen in de stedelijke gebieden is een situatie verkregen die in sterke mate zichzelf kan organiseren. Dit houdt in dat onderhoud en beheer minimaal zijn. Ook is de energievraag daardoor aanzienlijk gereduceerd.

Sociaal-maatschappelijk
De goede samenwerking zet zich voort. Daarbij wordt het juridische en financiële kader door vrijwel alle actoren als rechtvaardig ervaren.
De betrokkenheid van bewoners is groot. Dit hangt samen met de leefbaarheid, men hoeft niet meer de stad te ontvluchten om zich te ontspannen.

Door de financieringsstructuur vertaalt goed gedrag zich in minder kosten voor de burger. De verantwoordelijkheid van burgers is ook toegenomen omdat men voor een groot deel betrokken is geweest bij de inrichting van de eigen omgeving.

Intellectueel
Er hoeft geen onderscheid meer gemaakt te worden tussen nieuwe en bestaande gebieden met betrekking tot duurzame ontwikkeling en gezonde watersystemen. Er is een goed meetprogramma, waardoor een vinger aan de pols gehouden wordt, en er wordt nog steeds ruimte gelaten van nieuwe ideeën en concepten. Omdat veel elementen in het streefgebied een subjectief karakter hebben blijft de discussie over de waarden in het streefbeeld levend.

2.3 Leidende principes

Leidende principes
Op basis van de streefbeelden kunnen leidende principes worden afgeleid. Dit zijn handelingen of procedures waaraan een waarde wordt toegekend. De leidende principes kunnen onderling strijdig zijn. De resultaten en eigenschappen van de verschillende varianten (hoofdstukken 3 en 4) kunnen worden getoetst op de leidende principes. Tevens geldt dat de varianten onderling niet onderscheidend behoeven te zijn. Bepaalde leidende principes kunnen worden doorgevoerd, onafhankelijk van de gekozen waterhuishoudkundige inrichting. De indeling van leidende principes is gebaseerd op figuur 2.1 en tabel 2.1.

Behouden
- handhaven van de diversiteit en leefbaarheid;
- aanwezige natuur waar mogelijk handhaven;
- positieve inbreng van burgers ondersteunen;
- aanwezige kennis en ervaring benutten.

Ontwikkelen
- zorgvuldig omgaan met de hulpbron water;
- waterstanden en debieten moeten een natuurlijk verloop hebben;
- besparingen op het gebruik van drinkwater;
- zuinige omgang met energie;
- watersystemen zorgvuldig inpassen in de omgeving (nieuwe gebieden);
- de blauwe transformatie (bestaande gebieden);
- streven naar een hoge mate van zelforganisatie;
- water als ordenend principe;
- een pro-actieve rol van waterbeheerders (indirecte sturing versterken);
- samenwerking versterken;
- betrokkenheid van de burgers vergroten (streven naar zelfherkenning)
- streven naar een rechtvaardige financiële structuur;
- de weg bewandelen tussen te veel en te weinig onzekerheden.

Voorkomen
- geen afwenteling van milieu-problemen;
- afhankelijkheid van externe waterbronnen minimaliseren;
- ontstaan van nieuwe verontreinigingsbronnen voorkomen;
- minimaliseren van afvalstoffen;
- vinger aan de pols houden (meten);
- minimaliseren van beheer en onderhoud;
- voorkomen van lange feedback-trajecten;
- voorkomen van dogma's;
- het geven van voorlichting.

Repareren
- herstel van waterlopen met onvoldoende waterkwaliteit en verontreinigde waterbodems (reduceren van vuiluitworp, piekafvoeren, etc.);
- vervuilingsbronnen saneren;
- verdroging van natuurgebieden tegengaan;
- natuurlijke waarde van stedelijke gebieden herstellen.

2.4 Normen

Oppervlaktewater en waterbodem
In de Evaluatienota Water (ENW) zijn voor de beoordeling van oppervlaktewater en waterbodem normen opgenomen. Hierbij is voor zowel oppervlaktewater als waterbodem onderscheid gemaakt tussen streefwaarden en grenswaarden. Daarnaast zijn er voor de waterbodem ook toetsings-, signalerings- en interventiewaarden geformuleerd. Voor de in deze studie beschouwde acht gidsparameters is in tabel 2.2 een overzicht van de grenswaarden opgenomen.

Tabel 2.2 Overzicht van de grenswaarden voor oppervlaktewater en waterbodem.

Parameter	Grenswaarde	
	Water	Waterbodem
CZV	-	-
SS[1]	50 mg/l	-
N-tot	2,2 mg/l	-
P-tot	0,15 mg/l	-
olie	-	1.000 mg/kg
Cu	3 µg/l	35 mg/kg
Zn	30 µg/l	480 mg/kg
PAK[2]	0,2 µg/l	1 mg/kg

- Geen norm voor geformuleerd.
1 Norm voor water voor zalmachtigen en karperachtigen.
2 Voor PAK (10) in oppervlaktewater is geen norm geformuleerd. Voor de individuele PAK wel. Als **voorstel** is 0,2 µg/l geformuleerd.

Bodem en grondwater
In 1994 zijn in de Circulaire Interventiewaarden bodemsanering streef- en interventiewaarden voor grond/sediment en grondwater gepubliceerd.
De streef- en interventiewaarden gelden voor land- en waterbodem. De interventiewaarden bodemsanering geven het concentratieniveau voor verontreinigingen aan waarboven de functionele eigenschappen van de bodem ernstig worden bedreigd. De circulaire heeft echter geen betrekking op infiltratie van regenwater in de bodem. De streef- en interventiewaarden kunnen wel worden gebruikt om aan te toetsen, waarbij de resultaten slechts indicatief zijn (tabel 2.3).

Omdat de streef- en interventiewaarden voor grond en sediment afhankelijk zijn van het organisch stofgehalte en lutumgehalte van grond respectievelijk sediment, zijn de streef- en interventiewaarden locatie-afhankelijk.

Tabel 2.3 Overzicht streef- en interventiewaarden voor grond en grondwater voor een standaard bodem (10% organisch stof en 25% lutum).

Parameter	Streefwaarde		Interventiewaarden	
	Grond (mg/kg)	Grondwater (µg/l)	Grond (mg/kg)	Grondwater (µg/l)
CZV	-	-	-	-
SS	-	-	-	-
N-tot	-	-	-	-
P-tot	-	-	-	-
olie	50	50	5.000	600
Cu	36	15	190	75
Zn	140	65	720	800
PAK	1	-	40	-

- Geen norm voor geformuleerd.

Effluent
In het Lozingenbesluit Wvo stedelijk afvalwater (Staatsblad 1996 140) zijn grenswaarden voor het lozen van stedelijk afvalwater geformuleerd. Hierbij wordt onder stedelijk afvalwater verstaan: "huishoudelijk afvalwater dan wel het mengsel van huishoudelijk afvalwater en bedrijfsafvalwater dan wel het mengsel van huishoudelijk afvalwater en afvloeiend hemelwater dan wel het mengsel van huishoudelijk afvalwater, bedrijfsafvalwater en afvloeiend hemelwater". In tabel 2.4 in overzicht van de grenswaarden voor communale RWZI's opgenomen. Voor de wijze van toetsen wordt verwezen naar het Lozingenbesluit.

Tabel 2.4 Grenswaarden voor communale RWZI's.

Parameter	Grenswaarde
CZV	125 mg/l O_2
SS	30 mg/l
N-tot	10 mg/l N (20.000 i.e. en meer)[1,2,3]
	15 mg/l N (2.000 tot 20.000 i.e.)[1,2,3]
P-tot	1 mg/l P (meer dan 100.000 i.e.)[1,3]
	2 mg/l P (2.000 tot en met 100.000 i.e.)[1,3]
olie	-
Cu	-
Zn	-
PAK	-

- Geen norm voor geformuleerd.
1 Het betreft hier de ontwerpcapaciteit.
2 Voor bestaande RWZI's treedt de grenswaarde 31 december 1998 inwerking.
3 Hiervan kan worden afgeweken als de gebiedsreductie voor P dan wel N meer dan 75% bedraagt.

3 Varianten

3.1 Waarom varianten?

In deze studie worden technieken in beeld gebracht waarmee invulling kan worden gegeven aan het streven naar een duurzame ontwikkeling van het waterbeheer èn die tevens leiden tot gezonde waterhuishoudkundige systemen. Dit betekent dat verschillende technieken nader zullen moeten worden geanalyseerd. Er moet worden vastgesteld of een bepaalde techniek of combinatie van technieken de gewenste ontwikkeling bewerkstelligt. Hiertoe is het van belang om enerzijds de verschillende technieken te groeperen en anderzijds de effecten van een techniek of combinatie van technieken te kwantificeren. Dit is gedaan door het formuleren van varianten en vervolgens voor de varianten water- en stofbalansen op te stellen.

3.2 Variabelen

In de voorgaande paragraaf is aangegeven dat water- en stofbalansen worden opgesteld om inzicht te krijgen in hoeverre mogelijke oplossingen voldoen aan de gestelde eisen. Er wordt gezocht naar een optimum voor het omgaan met de verschillende waterstromen. Bij verschillende waterstromen kan worden gedacht aan zwart en grijs huishoudelijk afvalwater en regenwater dat afstroomt van daken, voetpaden, fietspaden, rustige woonstraten, enz. De waterkwaliteit kan van waterstroom tot waterstroom verschillen. Naast de verschillende waterstromen zijn er ook diverse technieken mogelijk waarmee de waterstromen kunnen worden behandeld. Zo kan afstromend regenwater bijvoorbeeld via een gemengd rioolstelsel worden afgevoerd naar een RWZI, maar kan het ook via open goten worden afgevoerd naar oppervlaktewater. Voor een uitgebreid overzicht wordt verwezen naar het deelrapport "Behandelingstechnieken".

Het optimum voor het omgaan met de verschillende waterstromen is niet constant, maar kan variëren naar gelang de omstandigheden. Zo is de ondergrond in de hoger gelegen delen van Nederland veelal goed doorlatend, terwijl in de lager gelegen delen van Nederland de ondergrond doorgaans bestaat uit klei en/of veen met geringe doorlatendheden. In hoog Nederland vindt de afwatering plaats via beken. Tevens lozen overstorten en RWZI's daar nog al eens op hetzelfde oppervlaktewater. In laag Nederland daarentegen vindt de afwatering plaats via een groot aantal waterlopen en treedt kwel op. Het betreft poldergebieden.

In bestaande gebieden kunnen oplossingen die een groot ruimtebeslag hebben minder gemakkelijk worden ingepast dan in nieuwbouwgebieden. Hierdoor kunnen de mogelijkheden om veranderingen door te voeren in bestaand gebied beperkter zijn dan in nieuwbouwgebieden. Ook zijn bestaande stedelijke gebieden veelal voorzien van een gemengd rioolstelsel, terwijl bij nieuwbouwgebieden doorgaans wordt gedacht aan een verbeterd gescheiden rioolstelsel.

Naast "hoog" versus "laag" en bestaand versus nieuwbouw is er tevens onderscheid te maken tussen stedelijk gebied en buitengebied. In feite wordt dan onderscheid gemaakt in beschikbare ruimte voor mogelijke oplossingen. Wat betreft het huishoudelijk afvalwater speelt in het buitengebied met name de afweging tussen wel of niet aansluiten op het rioolstelsel.

3.3 Omschrijving van de varianten

3.3.1 Opzet

Om de in paragraaf 3.2 geschetste dimensies te ordenen zijn vijf zogenaamde referentiegebieden geformuleerd. Deze referentiegebieden zijn stuk voor stuk representatief voor bepaalde gebieden in Nederland. De referentiegebieden omvatten vier stedelijke gebieden en één buitengebied. De vier stedelijke gebieden zijn te onderscheiden naar:
- "hoog Nederland" en "laag Nederland";
- bestaande en nieuwbouw woongebieden.

Voor de referentiegebieden zijn 25 varianten geformuleerd, waarbij in een variant is aangegeven op welke wijze met de verschillende waterstromen wordt omgegaan. Een overzicht van de varianten is in bijlage 7 opgenomen. Per referentiegebied is als uitgangssituatie een referentievariant geformuleerd. Deze worden in paragraaf 3.3.2 behandeld. De overige varianten (1a tot en met 4) worden in paragraaf 3.3.3 besproken.

3.3.2 Referentievarianten

Bestaand laag Nederland
De bebouwde kom van "bestaand laag Nederland" ligt in het stroomgebied van de Oude Rijn. Langs de Oude Rijn komen rivierkleigronden voor, die in de polders op enige afstand van de Oude Rijn overgaan in veengronden. In het gebied treedt kwel op met een geschatte intensiteit van circa 0,3 mm/dag. De gemiddelde woningbezetting is 2,5 inwoner/woning. Het verhardingspercentage en percentage oppervlaktewater zijn becijferd op 40% respectievelijk 5%. Verhard oppervlak is aangesloten op een gemengd rioolstelsel met 7 mm berging en 0,7 mm/h pompovercapaciteit. Voor kentallen (verhard oppervlak, onverhard oppervlak, enz.) van de locatie wordt verwezen naar tabel 3.1.

Bestaand hoog Nederland
De bebouwde kom van "bestaand hoog Nederland" ligt in de regio van het stroomgebied van de rivier De Dommel. Het referentiesysteem omvat delen van twee stromen. Aan de oostgrens van de bebouwde kom komen de twee stromen samen. De huidige geringe waterkwaliteit van de waterlopen wordt bepaald door industriële lozingen uit het verleden (leerindustrie), vuiluitworp via overstorten, effluentlozingen van stroomopwaarts gelegen RWZI's, enz. Reductie van de vuiluitworp is noodzakelijk. Binnen het referentiesysteem kunnen een relatief hoog en laag gelegen gebied worden onderscheiden. Het hooggelegen gebied is het centrum en tevens oudste deel van de bebouwde kom. De doorlatendheden van de bodem zijn goed.

Kenmerkend zijn de doorgaans diepe grondwaterstanden. In het laag gelegen gebied treden hogere grondwaterstanden op. De gemiddelde woningbezetting is 2,5 inwoner/woning. Verhard oppervlak is aangesloten op een gemengd rioolstelsel met 7 mm berging en 0,7 mm/h pompovercapaciteit.

Nieuwbouw laag Nederland
Ten westen van het Zwarte Water (Overijssel) wordt het referentiesysteem voor "nieuwbouw laag Nederland" gerealiseerd. Het betreft een VINEX-locatie. De bodemopbouw van de polder waar de locatie wordt gerealiseerd bestaat hoofdzakelijk uit moerige rauwveen- en rivierkleigronden. Het pleistoceen zand begint op minder dan 1,2 m beneden maaiveld. Vanuit het Zwarte Water in het oosten en de IJssel in het zuiden treedt kwel op naar de polder. De gemiddelde woningbezetting wordt naar verwachting 2,4 inwoner/woning. Verhard oppervlak wordt aangesloten op een verbeterd gescheiden rioolstelsel met 4 mm berging en 0,3 mm/h pompovercapaciteit. Het stedelijk oppervlaktewatersysteem is gescheiden van het regionale watersysteem.

Nieuwbouw hoog Nederland
Het referentiesysteem voor "nieuwbouw hoog Nederland" is een deel van een nieuwbouwwijk in het oosten van Nederland. Binnen de locatie treedt een aanzienlijk verloop in maaiveldhoogten op. Twee beken doorkruisen de wijk. De beken ontspringen op geringe afstand van de wijk en hebben een goede waterkwaliteit. Globaal gezien is de bodem opgebouwd uit een deklaag van lemig zand. De deklaag heeft een dikte van 0 à 3 m. Onder de deklaag treedt keileem op die plaatselijk tot aan het maaiveld komt. Een consequentie van de keileem is dat de doorlatendheden van plaats tot plaats sterk kunnen variëren. De gemiddelde woningbezetting is 2,4 inwoner/woning. Verhard oppervlak wordt aangesloten op een verbeterd gescheiden rioolstelsel met 4 mm berging en 0,3 mm/h pompovercapaciteit.

Buitengebied
Het referentiesysteem voor het "buitengebied" ligt ten zuid-oosten van Apeldoorn langs de oostzijde van het Apeldoornsch Kanaal. Langs de noordgrens van het gebied loop een beek. Deze beek ligt 'hoog' in het landschap. In het gebied treedt enige kwel op. De bodem bestaat uit podzolen kalkloze zandgronden. Het verharde oppervlak wordt voor een groot deel bepaald door de hoeveelheid wegoppervlak. Het wegoppervlak is geschat op 2,9 hectare. In het gebied staan 47 woningen met een woningbezetting van 3 inwoners/woning. Per woning is er 200 m^2 dakoppervlak en nog eens 200 m^2 erfoppervlak. De verharde oppervlakken zijn niet aangesloten op een rioolstelsel, maar wateren direct af naar oppervlaktewater. Huishoudelijk afvalwater wordt afgevoerd naar een septic tank en vervolgens via een infiltratiebed in de bodem gebracht.

Kentallen referentiegebieden
In tabel 3.1 zijn enkele karakteristieke kentallen van de referentiegebieden opgenomen. De geselecteerde referentiegebieden zijn 150 hectare groot, waardoor ze gemakkelijk onderling zijn te vergelijken.

Tabel 3.1 Kentallen referentiegebieden.

	Referentiegebieden				
	Bestaand laag	Bestaand hoog	Nieuwbouw laag	Nieuwbouw hoog	Landelijk gebied
Totaal oppervlak	150,0 ha	150,0 ha	150,0 ha	150,0 ha	150,0 ha
Verhard oppervlak	57,0 ha	56,4 ha	59,1 ha	58,6 ha	4,8 ha
Onverhard oppervlak	85,5 ha	90,4 ha	84,5 ha	87,0 ha	144,7 ha
Water	7,5 ha	3,2 ha	6,4 ha	4,4 ha	0,5 ha
Aantal woningen	4.296	3.056	3.635	3.100	47
Aantal inwoners	10.740	7.640	8.724	7.440	141
Aantal woningen per ectare	29	20	24	21	0,3
Verhard oppervlak per woning	133 m^2/won	185 m^2/won	163 m^2/won	189 m^2/won	1.021 m^2/won
Verhard oppervlak per inwoner	53 m^2/inw	74 m^2/inw	68 m^2/inw	79 m^2/inw	340 m^2/inw

3.3.3 Varianten 1a tot en met 4

Variant 1a en 1b
Bij variant 1a van "bestaand laag" en "bestaand hoog" wordt de berging in het rioolstelsel vergroot met 2 mm extra berging in bergbezinkbassins achter elke overstort (bbb 2 mm). De stelsels voldoen dan aan de basisinspanning, zoals die is geformuleerd door de Coördinatiecommissie Uitvoering Wet verontreiniging oppervlaktewateren (1992). Voor bestaand hoog is ook een aangescherpte variant (variant 1b) geformuleerd. Deze omvat 15 mm extra berging in bergbezinkbassins. Het afvalwater wordt centraal gezuiverd in een RWZI.

Voor het buitengebied is aangegeven dat de woningen worden aangesloten op een gescheiden stelsel. Het afvalwater wordt dan niet meer locaal behandeld zoals in de referentiesituatie, maar afgevoerd naar een RWZI.

Variant 2a
In het bestaande gebied wordt bij variant 2a 30% van het verharde oppervlak afgekoppeld van het rioolstelsel. Voor afkoppelen komen alleen de meest schone verharde oppervlakken in aanmerking. Dat wil zeggen de dakoppervlakken en voet-/fietspaden. In bijlage 2 zijn deze oppervlakken met de kwaliteit "groen" aangeduid. Het rioolstelsel wordt daarbij niet gewijzigd. Dit betekent dat de berging in m^3 en de pompovercapaciteit in m^3/s niet veranderen, maar de berging en de pompovercapaciteit in mm respectievelijk mm/h wel. Het volgende voorbeeld maakt dit voor de berging duidelijk.
Veronderstel een verhard oppervlak met een omvang van 10 hectare dat is voorzien van een gemengd stelsel met een berging van 7 mm (referentiesysteem). In volume-eenheden is de berging dan 10.10^4 m^2 x 7.10^{-3} = 700 m^3. Als 30% van het verharde oppervlak wordt afgekoppeld blijft de berging in volume-eenheden 700 m^3, omdat het stelsel niet wordt gewijzigd. De berging in volume-eenheden per aangesloten oppervlakte-eenheid

is door het afkoppelen toegenomen van 7 mm tot 10 mm. Voor de pompovercapaciteit verloopt de redenering analoog.

Regenwater dat van afgekoppeld verhard oppervlak afstroomt wordt in het referentiegebied "bestaand laag" afgevoerd naar het stedelijk oppervlaktewater. Infiltratie is in dit referentiegebied niet goed mogelijk door de hoge grondwaterstanden. In "bestaand hoog" daarentegen zijn de grondwaterstanden vrij diep en kan het regenwater goed worden geïnfiltreerd. Als bronmaatregel wordt bij deze variant de uitloging van zinken dakgoten aangepakt, waardoor de zinkconcentratie in van daken afstromend regenwater wordt gereduceerd, zie verder bijlage 2. Het afvalwater wordt centraal in een RWZI behandeld.

Bij de nieuwbouwgebieden wordt 75% van het verharde oppervlak niet aangesloten op het rioolstelsel. Dat zijn dakoppervlakken, voet-/fietspaden en vrij rustige straten. De overige 25% van het verharde oppervlak wordt aangesloten op een verbeterd gescheiden stelsel met 4 mm berging en 0,3 mm/h pompovercapaciteit. De bronmaatregelen omvatten waterbesparende maatregelen en de corrosie van zinken dakgoten wordt beperkt, zie verder bijlage 2. Het afvalwater en een deel van het regenwater worden afgevoerd naar de RWZI.

Variant 2b
In de bestaande gebieden is variant 2b een aangescherpte versie van variant 2a. Dit uit zich door een aanzienlijk hoger percentage afgekoppeld verhard oppervlak, namelijk 75%. In "bestaand laag" wordt het van afgekoppeld verhard oppervlak afstromend regenwater afgevoerd naar oppervlaktewater. In "bestaand hoog" wordt het regenwater geïnfiltreerd. De bronmaatregelen richten zich op waterbesparingen en beperking van de zinkcorrosie, zie bijlage 2. Het afvalwater en een deel van het afstromende regenwater worden naar de RWZI afgevoerd.

Bij "nieuwbouw laag" wordt in plaats van een verbeterd gescheiden stelsel een smart drain aangelegd. Daarnaast worden meer waterbesparende maatregelen getroffen. Het afvalwater en een deel van het regenwater worden naar de RWZI afgevoerd.

Variant 3
Net als bij variant 2b wordt bij variant 3 in "bestaand laag" en "bestaand hoog" 75% van het verharde oppervlak afgekoppeld van het gemengde stelsel. Als aanvulling wordt regenwater benut ten behoeve van toiletspoeling. Daarnaast is het watergebruik verder gereduceerd. Het afvalwater en regenwater dat van het nog aangesloten verhard oppervlak afstroomt, wordt afgevoerd naar de RWZI.

Ook bij "nieuwbouw laag" is regenwaterbenutting aan het pakket van maatregelen toegevoegd.

In het buitengebied wordt het huishoudelijk afvalwater locaal op biologische wijze gezuiverd. Deze zuivering vindt plaats door middel van een

helofytenfilter waaraan vooraf geschakeld een septic tank. Bij elk huis wordt dit systeem aangelegd.

Variant 4
Deze variant wijkt het sterkst af van de huidige praktijk van het waterbeheer. Zo wordt in de bestaande stedelijke gebieden geen verhard oppervlak meer aangesloten op het rioolstelsel. In "bestaand laag" wordt het afvalwater nog wel naar de RWZI afgevoerd, maar in "bestaand hoog" wordt het afvalwater locaal behandeld met een kleinschalige actiefslibinstallatie op wijkniveau. Deze installatie reinigt het afvalwater tot de normen uit paragraaf 2.4. Het effluent wordt geloosd op het stedelijk oppervlaktewater. De installatie voldoet ook aan de eisen voor de geuremissie. In "bestaand laag" wordt een deel van het regenwater benut ten behoeve van toiletspoeling. Dit wordt niet in "bestaand hoog" gedaan. Daar wordt de neerslag volledig geïnfiltreerd in de bodem.

Net als bij de bestaande gebieden wordt bij de nieuwbouwgebieden geen verhard oppervlak aangesloten op het rioolstelsel. In "nieuwbouw laag" wordt afstromend regenwater afgevoerd naar het stedelijk oppervlaktewatersysteem. Om het watergebruik sterk te reduceren worden composttoiletten toegepast en wordt een tweede waterleiding net aangelegd. Het water voor dit tweede net wordt onttrokken aan het effluent van het helofytenfilter. Het afvalwater bestaat alleen uit grijs water en wordt locaal behandeld door middel van een helofytenfilter.

In "nieuwbouw hoog" wordt het van verhard oppervlak afstromende regenwater geïnfiltreerd in de bodem. Het afvalwater wordt gescheiden afgevoerd als zwart water en grijs water. Zwart water passeert een anaërobe zuivering (UASB) gevolgd door een nitrificerende en denitrificerende biofilmreactor. In de UASB wordt aanvullend ijzerchloride gedoseerd om het fosfaat vast te leggen. Aan de denitrificerende biofilmreactor wordt methanol als koolstofbron toegevoegd. Het effluent van het denitrificerende filter wordt nagezuiverd in een helofytenfilter dat ook het grijze water zuivert.

Het afvalwater in het buitengebied wordt door middel van algen gezuiverd. Afvalwater passeert de septic tank, die bij de huizen is geplaatst en wordt vervolgens afgevoerd naar een algenvijver. Het effluent wordt geloosd op oppervlaktewater.

3.4 Projectie technieken op leidende principes

Een deel van de in paragraaf 2.3 geformuleerde leidende principes levert geen onderscheidend vermogen op bij de technieken. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan 'watersystemen zorgvuldig inpassen in de omgeving' of 'de blauwe transformatie'. Hieraan moet tijdens het ontwerpproces de nodige aandacht worden besteed, zodat mogelijkheden worden gecreëerd voor een duurzame ontwikkeling en gezond watersysteem. Omdat de leidende principes elkaar deels overlappen zijn sommige samengesteld tot zogenaamde categorieën van leidende principes. De volgende categorieën zijn in beschouwing genomen:

- *Zorgvuldigheid*
  Dit betekent bijvoorbeeld dat drinkwater van zeer goede kwaliteit niet als spoelwater voor toiletten wordt gebruikt. Drinkwaterbesparende maatregelen en regenwaterbenutting geven dan ook invulling aan dit leidend principe. Ook het tegengaan van het snel afvoeren van schoon regenwater naar elders, terwijl later water moeten worden aangevoerd past binnen het zorgvuldigheidsprincipe. Zorgvuldigheid betekent ook dat 'knelpunten' niet moeten worden verlegd naar andere locaties waar ze een vergelijkbaar effect hebben, maar minder zichtbaar zijn.

- *Betrokkenheid*
  Burgers kunnen het watersysteem zowel in positieve als negatieve zin beïnvloeden. Dit betekent dat positieve invloeden dienen te worden gestimuleerd en dat negatieve invloeden moeten worden omgebogen. Betrokkenheid en verantwoordelijkheidsgevoel zijn belangrijke randvoorwaarden bij gewenste/noodzakelijk gedragsveranderingen. In dit kader zijn ook korte feedback trajecten van belang. Eventuele nadelige effecten van beleid en/of gedrag komen dan snel aan het licht.

- *Natuurlijk verloop van de waterstanden en debieten*
  Bij een natuurlijk verloop van de waterstanden zijn de waterstanden in droge perioden lager dan in natte perioden. Er wordt geen strak peilbeheer gevoerd. Het regenwater wordt zoveel mogelijk in gebied waar het valt vastgehouden en niet sneller dan natuurlijk afgevoerd.

- *Minimaliseren van de hoeveelheid afvalstoffen*
  Bij de zuivering van drinkwater ontstaan drinkwaterslib. Reductie van het drinkwatergebruik zal dan ook leiden tot de reductie van de hoeveelheid drinkwaterslib. Door afkoppelen wordt minder regenwater afgevoerd naar de RWZI, hetgeen de hoeveelheid zuiveringsslib positief zal beïnvloeden. Daarentegen worden wel stoffen afgevoerd naar infiltratievoorzieningen en/of oppervlaktewater. De hoeveelheid afvalstoffen wordt dan ook niet beïnvloed door afkoppelen. Bronmaatregelen zoals het vervangen van zinken dakgoten door dakgoten die niet uitlogen resulteert wel in een reductie van de hoeveelheid afvalstoffen.

De vier categorieën van leidende principes zijn geprojecteerd op de volgende technieken:

I Extra berging in bergbezinkbassins achter de overstorten van gemengde rioolstelsels
II Afkoppelen of niet aansluiten van verhard oppervlak
III Waterbesparende maatregelen
IV Locale zuivering van afvalwater
V Locale zuivering van grijs water met hergebruik (tweede waterleidingnet)

Het resultaat van de projectie is opgenomen in tabel 3.2. In de tabel zijn de volgende symbolen gebruikt:

☺☺ sluit wel aan op leidend principe;
☺☹ neutraal;
☹☹ sluit niet aan op leidend principe.

Tabel 3.2 Projectie varianten op leidende principes.

Leidende principes	Technieken				
	I	II	III	IV	V
- zorgvuldigheid	☹☹	☺☺	☺☺	☺☺	☺☺
- betrokkenheid	☹☹	☺☺	☺☹	☺☺	☺☺
- natuurlijk verloop waterstanden en debieten	☹☹	☺☺	☺☹	☺☹	☺☹
- minimaliseren van de hoeveelheid afvalstoffen	☺☹	☺☹	☺☺	☺☺	☺☺

In tabel 3.2 is aangegeven dat het aanleggen van extra berging (techniek I) niet of nauwelijks aansluit op de geformuleerde leidende principes. Afkoppelen of het niet aansluiten van verhard oppervlak sluit daarentegen wel aan op de leidende principes. Dit laatste geldt tevens voor waterbesparende maatregelen, locale zuivering van afvalwater en hergebruik van gezuiverd grijs water.

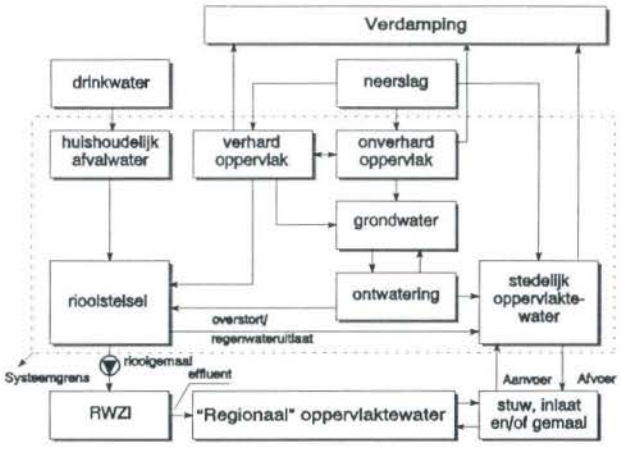
4 Balansen, kosten en onzekerheden

4.1 Modellering

Voor de in hoofdstuk 3 geformuleerde varianten zijn water- en vuilbalansen opgesteld. Met behulp van modelberekeningen zijn oppervlaktewater, grondwater en riolering in samenhang gesimuleerd. Daarbij is tevens de onverzadigde zone van de bodem in beschouwing genomen. De vuilbalansen zijn vervolgens berekend door aan de verschillende waterstromen concentraties te koppelen. In de bijlagen 1 en 2 wordt nader op de rekenwijze ingegaan. Hierbij zijn acht stoffen in beschouwing genomen, te weten: CZV, zwevend stof, N-tot, P-tot, olie, koper, zink en PAK. De water- en stofbalansen komen in de paragrafen 4.2 en 4.3 aan de orde. In paragraaf 4.4 worden de kosten besproken en tot slot in paragraaf 4.5 de onzekerheden.

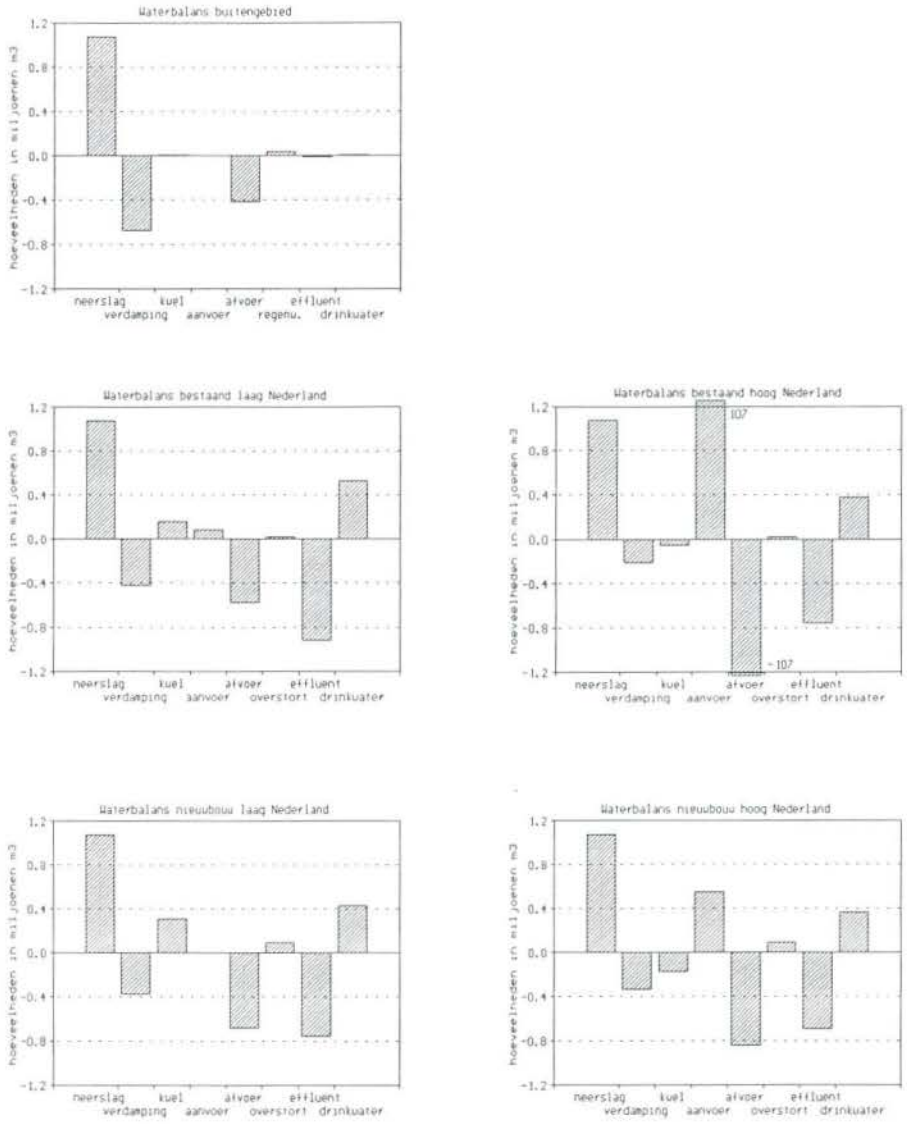
4.2 Waterbalansen

In de waterbalansen zijn neerslag, verdamping, kwel, aan- en afvoer, effluent en drinkwater onderscheiden. De systeemgrens van de waterbalans is in figuur 4.1 weergegeven. In de figuur zijn stedelijk en regionaal oppervlaktewater van elkaar gescheiden door kunstwerken (stuw, inlaat en/of gemaal). Deze duidelijke scheiding tussen stedelijk en regionaal oppervlaktewater treedt alleen op bij de poldersystemen, dat wil zeggen bij "bestaand laag Nederland" en "nieuwbouw laag Nederland". Bij beeksystemen zoals in hoog Nederland, is er één watersysteem dat deels in landelijk en deels in stedelijk gebied ligt.



Figuur 4.1 Systeemgrenzen van de waterbalans.

Figuur 4.2 toont de waterbalansen van de referentiesituaties, waarbij ook het overstortvolume is opgenomen. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar bijlage 3.



Figuur 4.2 Waterbalansen van de vijf referentiesystemen. Bij nieuwbouwlocaties is de overstort afkomstig van een verbeterd gescheiden stelsel, bij bestaande locaties van een gemengd stelsel en in het buitengebied wordt via een regenwateruitlaat (regenwater) geloosd.

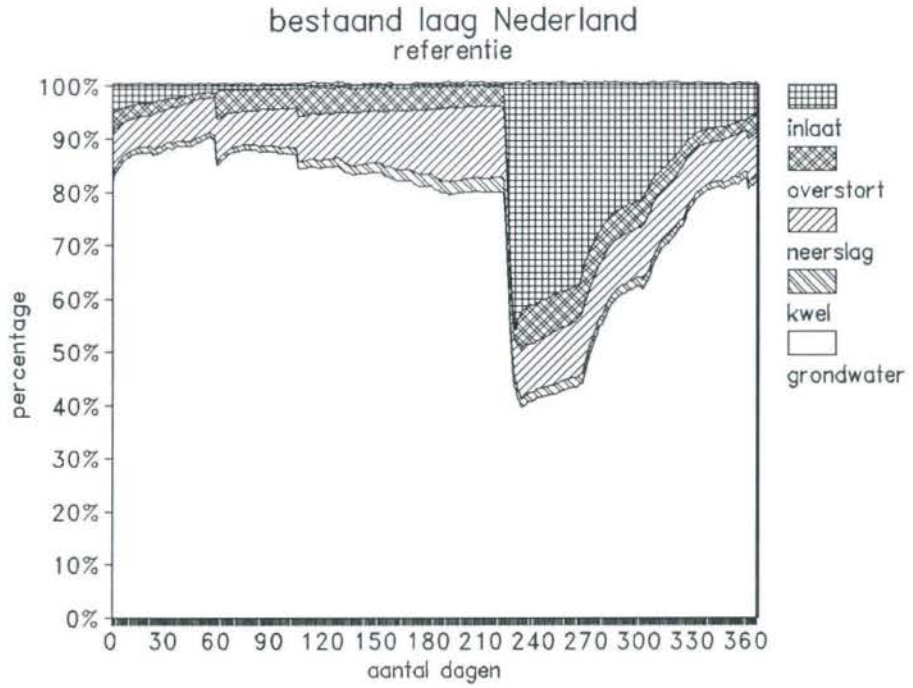
Buitengebied

De waterbalans van buitengebied wordt gedomineerd door neerslag, verdamping en afvoer van water. Regenwater dat van verhard oppervlak afstroomt wordt niet afgevoerd naar de RWZI, maar in het gebied vastgehouden. De invloed hiervan op de waterbalans is echter verwaarloosbaar. Dit door de geringe hoeveelheid verhard oppervlak in landelijk gebied. Door

de geringe bevolkingsdichtheid zijn ook de hoeveelheden drinkwater en effluent gering. Kwel treedt nauwelijks op in het gebied. Voor situaties met grotere kwelintensiteit zal dit zich vertalen in een toename van de afvoer van water. Anderzijds zal bij wegzijging de afvoer van water juist afnemen. Bij de referentievariant wordt huishoudelijk afvalwater afgevoerd naar septic tanks. Hierdoor blijft het gezuiverde afvalwater binnen het gebied. Als de woningen worden aangesloten op een verbeterd gescheiden stelsel wordt het afvalwater afgevoerd naar een RWZI buiten het plangebied. De hoeveelheid afvalwater is echter dermate gering ten opzichte van neerslag, verdamping en afvoer dat het aansluiten van de woningen op de riolering geen noemenswaardig effect heeft op de waterbalans van het gebied. Dit zelfde geldt voor het toepassen van helofytenfilters of algen voor de behandeling van afvalwater (variant 3 respectievelijk 4).

Stedelijk gebied

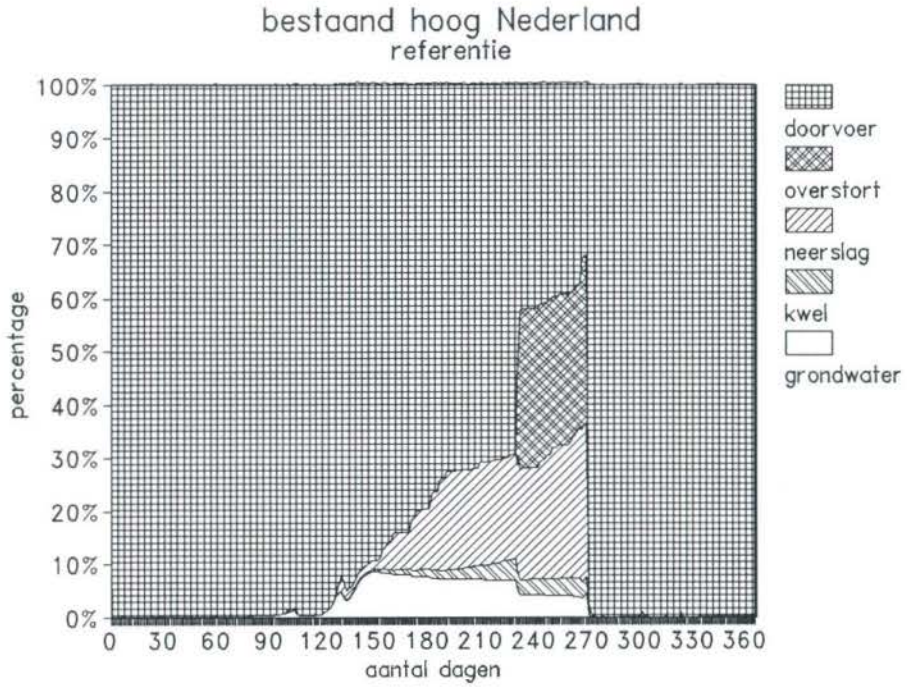
De waterbalans van stedelijk gebied wijkt sterk af van de waterbalans van het buitengebied. Zo is de aanvoer van drinkwater naar het referentiegebied en de afvoer van huishoudelijk afvalwater en regenwater naar de RWZI niet meer verwaarloosbaar ten opzichte van neerslag. Een groot deel van de neerslag wordt via het rioolstelsel afgevoerd naar de RWZI. Bij de bestaande gebieden met 7 mm berging en 0,7 mm/h pompovercapaciteit in een gemengd stelsel (referentiesituatie) wordt circa 35% van de totale neerslag in het gebied afgevoerd naar de RWZI. Dat is circa 95% van de neerslag die van verhard oppervlak afstroomt. Voor de nieuwbouwgebieden met 4 mm berging en 0,3 mm/h pompovercapaciteit in een verbeterd gescheiden rioolstelsel wordt circa 30% van het regenwater afgevoerd naar de RWZI. Dat is circa 75% van het op verhard oppervlak gevallen neerslag. Door de grote hoeveelheid verhard oppervlak is de verdamping geringer dan in landelijk gebied. De reductie van de verdamping compenseert echter niet de afvoer van regenwater naar de RWZI, waardoor de netto aanvulling van grondwater met regenwater geringer is dan in landelijk gebied. Door het inlaten van water naar het stedelijk watersysteem verandert de samenstelling van het oppervlaktewater. Figuur 4.3 toont de procentuele samenstelling van het oppervlaktewater naar herkomst voor de referentiesituatie van "bestaand laag Nederland".



Figuur 4.3 Herkomst van het oppervlaktewater voor de referentiesituatie van "bestaand laag Nederland".

Uit de figuur blijkt dat aan het eind van de zomer de waterstanden zover zijn gedaald dat voor peilhandhaving water moet worden ingelaten naar het stedelijk watersysteem. Het aandeel van het ingelaten water is dan gedurende een korte periode zelfs 40 à 50% en neemt dan in circa 100 dagen af tot circa 10%. Tevens blijkt uit de figuur dat zelfs een vrij geringe aanvoer van water naar het stedelijk gebied de watersamenstelling in aanzienlijke mate kan beïnvloeden.

In "hoog Nederland" vormen beken het stedelijk oppervlaktewatersysteem, waardoor het duidelijk een ander watersysteem betreft dan in "laag Nederland". Water wordt namelijk niet zozeer ingelaten naar het stedelijk watersysteem ten behoeve van peilbeheer, maar wordt via het stedelijk oppervlaktewatersysteem afgevoerd naar lager gelegen gebieden. Er is in feite sprake van een doorvoer van water van stroomopwaarts gelegen gebied naar stroomafwaarts gelegen gebied. Het onderscheid tussen het stedelijk oppervlaktewatersysteem en het regionale watersysteem dat wel gemaakt kan worden in de poldergebieden van laag Nederland bestaat in het bekensysteem van hoog Nederland niet. Figuur 4.4 toont de watersamenstelling van één van de twee beken van 'bestaand hoog Nederland'. Hierbij betreft het de referentiesituatie.

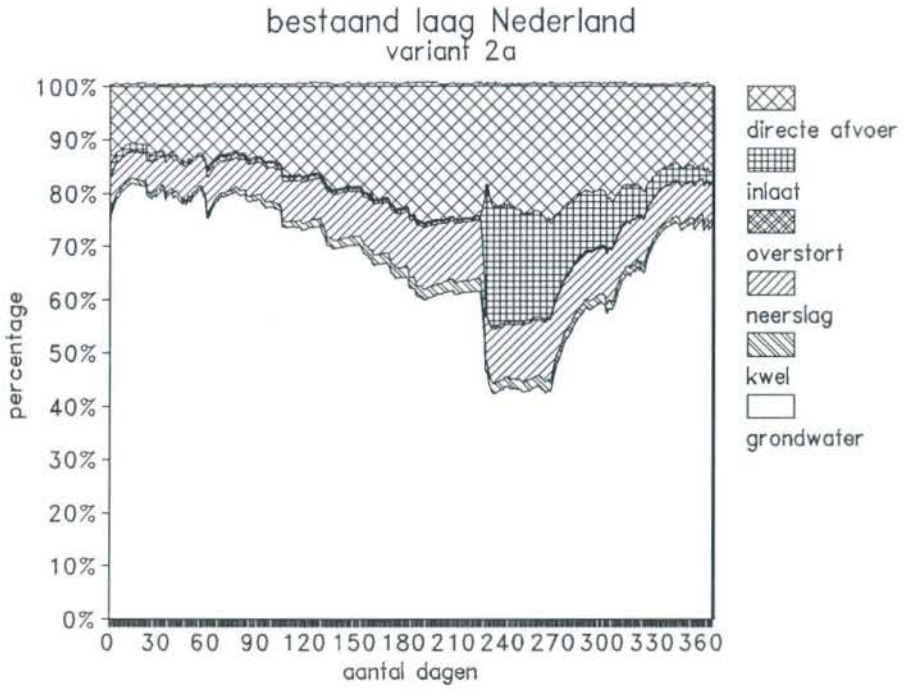


Figuur 4.4 Herkomst van het oppervlaktewater voor de referentiesituatie van "bestaand hoog Nederland".

In het najaar, de winter en het voorjaar wordt de samenstelling van het oppervlaktewater volledig bepaald door de "doorvoer", dat wil zeggen water dat van stroomopwaarts naar stroomafwaarts wordt afgevoerd. In de droge zomerperiode neemt de doorvoer sterk af, waardoor de waterstanden dalen. Hierdoor treedt dan enige kwel op. Door de geringere doorvoer in de zomerperiode wordt de invloed van neerslag en overstorten op de watersamenstelling merkbaar.

Extra berging en afkoppelen

Het vergroten van de berging door het aanleggen van bergbezinkbassins (varianten 1a en 1b) resulteert in een grotere afvoer van regenwater naar de RWZI en reductie van de overstorten. Bij 15 mm extra berging treden voor het beschouwde jaar (1990) geen overstorten meer op. Omdat bij een gemengd stelsel met 7 mm berging al circa 95% van het afstromende regenwater wordt afgevoerd naar de RWZI heeft extra berging geen wezenlijke invloed op de waterbalans. Afkoppelen van verhard oppervlak daarentegen beïnvloedt de waterbalans wel in hoge mate. Door bijvoorbeeld 30% verhard oppervlak af te koppelen neemt de afvoer van regenwater naar de RWZI met circa 30% af. De aanvoer van water ten behoeve van peilbeheer kan dan sterk worden beperkt. Om dit illustreren is in figuur 4.5 de samenstelling van het oppervlaktewater voor variant 2a van "bestaand laag Nederland" weergegeven.



Figuur 4.5 Herkomst van het oppervlaktewater voor variant 2a van "bestaand laag Nederland".

Door 30% van het verhard oppervlak af te koppelen en het daarvan afstromende regenwater af te voeren naar oppervlaktewater is de watersamenstelling sterk gewijzigd. Gedurende het gehele jaar is circa 15 à 25% van het stedelijk oppervlaktewater afkomstig van regenwater dat van afgekoppeld (dak)oppervlak afstroomt. Hierdoor is het aandeel grondwater afgenomen. Tevens is het aandeel van overstortwater tot zeer geringe hoeveelheden gereduceerd.

Als 75% van het verhard oppervlak wordt afgekoppeld treden er geen overstorten meer op. Voor peilhandhaving behoeft dan geen water meer te worden aangevoerd naar het stedelijk watersysteem. De afvoer van water neemt dan tevens sterk toe.

Drinkwaterreductie

In principe zijn er twee wijzen waarop drinkwaterreductie kan worden bereikt. Ten eerste door middel van waterbesparende maatregelen en ten tweede door regenwaterbenutting. Door het treffen van waterbesparende maatregelen kan het drinkwatergebruik aanzienlijk worden gereduceerd. Zo neemt door toepassing van doorstroombegrenzers op kranen, waterbesparende douchekop, waterbesparend toilet en beperking van tapverlies het drinkwatergebruik af van 135 l/d/inw naar circa 99 l/d/inw. De reductie van het drinkwatergebruik leidt niet alleen tot beperking van de drinkwaterproductie, maar heeft als positief neveneffect dat de hoeveelheid afvalwater wordt gereduceerd. Hierdoor neemt de hydraulische belasting van de RWZI af en kan deze daardoor kleiner worden gedimensioneerd. Dit

laatste speelt met name als tevens een deel van het verharde oppervlak wordt afgekoppeld. Door de geringere hoeveelheden drink- en afvalwater kunnen ook de leidingen kleiner worden gedimensioneerd. Door regenwaterbenutting neemt het drinkwatergebruik verder af. Zo kan een besparing van circa 23% worden gerealiseerd als gebruik wordt gemaakt van een regenwaterbassin van 1 m^3 per woning met een op het regenwaterbassin aangesloten oppervlak van 50 m^2.

Door een tweede waterleidingnet kan het drinkwatergebruik sterk worden gereduceerd. In de beschouwde situatie (variant 4 van "nieuwbouw laag") wordt gezuiverd grijs water hergebruikt.

4.3 Stofbalansen

In bijlage 4 is een volledig overzicht opgenomen van de berekende stofbalansen. Hierbij zijn twee situaties met betrekking tot de kwaliteit van afstromend regenwater in beschouwing genomen. Ten eerste de concentraties zoals weergegeven in tabel B2.3 van bijlage 2 en ten tweede een situatie waarbij het afstromend regenwater 75% schoner is. In de tekst wordt primair uitgegaan van de meest verontreinigde kwaliteit van afstromend regenwater. De essentie van de resultaten wordt in deze paragraaf besproken.

Buitengebied

Bij alle varianten voor de omgang met de verschillende waterstromen in het buitengebied wordt het van verharde oppervlakken afstromende regenwater rechtstreeks afgevoerd naar het oppervlaktewater. De DWA-stroom ondergaat bij de verschillende varianten wel een verschillende zuiveringsbehandeling. Omdat de technieken echter hetzelfde rendement hebben, is de stofbalans voor alle varianten gelijk.

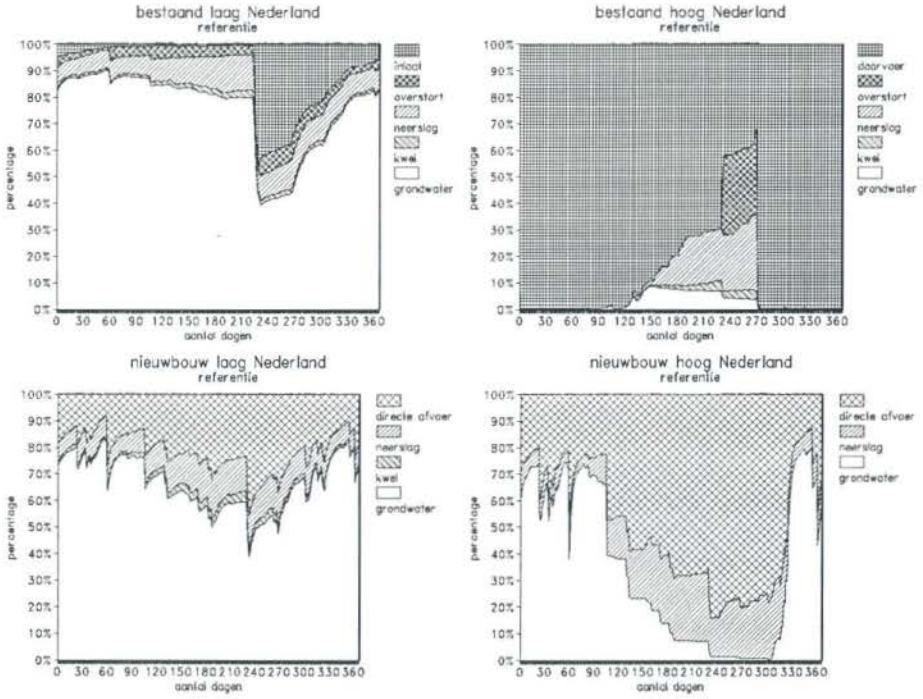
Ten aanzien van koper en zink worden de stofbalansen gedomineerd door de via neerslag aangevoerde vrachten. Worden de concentraties aan verontreinigende stoffen in afstromend regenwater met 75% gereduceerd, dan loopt de *totale* vuiluitworp - de rechtstreekse afvoer naar oppervlaktewater en het effluent- voor de verschillende stoffen terug met 60 tot 95%, met uitzondering van N-tot en P-tot (40-45%). De vuiluitworp wordt dus in sterke mate beïnvloed door de vrachten in het afstromende regenwater.

Stedelijk gebied

Net als de waterbalans wijkt ook de stofbalans in stedelijk gebied sterk af van de stofbalans in het buitengebied. Zo domineren in het algemeen de effluentvrachten in de stofbalansen, terwijl in het buitengebied de effluentvrachten gering zijn. In het hooggelegen bestaande gebied domineren niet de effluentvrachten in de stofbalans, maar de door de beek aangevoerde vrachten.

In de bestaande gebieden zijn de effluentvrachten groter dan in de nieuwbouwgebieden. In de bestaande gebieden wordt via het gemengde stelsel namelijk meer water afgevoerd naar de RWZI dan in nieuwbouwgebieden met het verbeterd gescheiden stelsel. Daarnaast is het aantal inwoners in het laaggelegen bestaande gebied aanzienlijk hoger dan in de andere gebieden.

Kijken we naar de herkomst van het oppervlaktewater in het stedelijk gebied, dan zien we grote verschillen (zie figuur 4.6). In het bestaande hooggelegen gebied wordt de kwaliteit van het oppervlaktewater grotendeels bepaald door de doorvoer van de beek. Alleen in de zomer loopt de invloed terug doordat de afvoer van de beek afneemt. Een aanzienlijk deel van het oppervlaktewater is dan afkomstig uit overstorten. Dat is duidelijk te merken aan de oppervlaktewaterkwaliteit (zie de betreffende tabel in bijlage 4). Alleen al door de overstorten overschrijden in de zomer de concentraties aan P-tot, koper, zink en PAK in het oppervlaktewater daardoor de grenswaarden.



Figuur 4.6 Herkomst van het oppervlaktewater voor de referentiesituatie.

In het laaggelegen bestaande gebied moet in de zomer water worden ingelaten om de waterstand op peil te kunnen houden. Daardoor is de invloed van de overstort op de oppervlaktewaterkwaliteit in die periode veel geringer dan in het hooggelegen bestaande gebied. Door de overstorten alleen worden de grenswaarden in het oppervlaktewater in het lage gebied niet overschreden. Dit kan toch al een negatief effect hebben op de kwaliteit van de waterbodem (zie tabel 4.2). Met name ter plaatse van de overstor-

ten kunnen de gehaltes aan zware metalen in de waterbodem hoog oplopen.

Tabel 4.2 Evenwichtsconcentraties in de waterbodem ten gevolge van overstorten en directe afvoer in "bestaand laag Nederland".

Stof	Kd-waarde (dm^3/kg)	Referentie (mg/kg)	Variant 1a (mg/kg)	Variant 2b (mg/kg)
Cu	14.300	4 - 26	1 - 19	23 - 56
Zn	11.500	35 - 238	17 - 70	177 - 435

1 De Kd-waarde of distributiecoëfficiënt is het quotiënt van de geadsorbeerde hoeveelheid verontreinigingen en de hoeveelheid verontreinigingen in oplossing.

In het nieuwbouwgebied dat hooggelegen is, is de invloed van de beek op de kwaliteit van het oppervlaktewater in de stad veel minder dan in het bestaande hooggelegen gebied doordat er minder water, dat bovendien van een betere kwaliteit is, via de beek de stad inkomt en omdat de beek langs de rand van de wijk stroomt en zich nauwelijks mengt met het 'stedelijke' water. In de zomer dalen de grondwaterstanden zover dat er nauwelijks ontwatering optreedt, waardoor de invloed van het via het verbeterd gescheiden stelsel naar oppervlaktewater afgevoerde regenwater (in figuur 4.6 aangeduid met 'directe afvoer') sterk toeneemt.

In het laaggelegen nieuwbouwgebied dalen de grondwaterstanden in de zomer veel minder dan in het hooggelegen gebied. De invloed van de directe afvoer vanuit het verbeterd gescheiden stelsel op de oppervlaktewaterkwaliteit is hier daardoor in de zomer geringer dan in het hooggelegen nieuwbouwgebied. Toch worden ook hier de grenswaarden voor koper, zink en PAK overschreden.

Extra berging
De overstortvrachten nemen aanzienlijk af als er in het gemengde rioolstelsel extra berging in de vorm van bergbezinkbassins wordt gerealiseerd. Daardoor wordt echter meer rioolwater naar de zuivering afgevoerd, waardoor de effluentvrachten groter worden. Deze toename is echter gering, omdat bij het bekeken gemengde stelsel met een berging van 7 mm en een pompovercapaciteit van 0,7 mm/h al 95% van het afstromende regenwater naar de RWZI wordt afgevoerd.

Doordat de overstortvrachten aanzienlijk afnemen, neemt de invloed van het overstorten van rioolwater op oppervlaktewater - zeker in het hooggelegen gebied - ook af. Echter, de grenswaarden worden bij 2 mm extra berging toch nog overschreden voor dezelfde gidsparameters als bij de referentie.

Afkoppelen
Door 30% van het verharde oppervlak in het bestaande gebied af te koppelen van het rioolstelsel nemen de overstorthoeveelheden aanzienlijk af. Wordt 75% van het verharde oppervlak afgekoppeld, dan treden er - in het

Afkoppelen
Door 30% van het verharde oppervlak in het bestaande gebied af te koppelen van het rioolstelsel nemen de overstorthoeveelheden aanzienlijk af. Wordt 75% van het verharde oppervlak afgekoppeld, dan treden er - in het beschouwde jaar - geen overstorten meer op. De verontreinigsvrachten die met het van afgekoppeld verhard oppervlak afstromende regenwater naar oppervlaktewater of infiltratievoorziening worden afgevoerd nemen echter sterk toe, met name voor zwevend stof, PAK en olie. Het ook afkoppelen van de meer verontreinigde verharde oppervlakken is hieraan debet. Bij nog hogere percentages afgekoppeld verhard oppervlak zet dit beeld zich verder door. Door de afname van de overstorthoeveelheden neemt de invloed van de overstorten op de kwaliteit van het oppervlaktewater in de stad af. In het laaggelegen gebied wordt dit effect bij 30% afkoppelen praktisch teniet gedaan, omdat het afstromende regenwater ongezuiverd op oppervlaktewater wordt geloosd. Bij 75% afkoppeld oppervlak is zelfs een negatief effect op de oppervlaktewaterkwaliteit te zien. Alleen door het nemen van bronmaatregelen, waardoor de concentraties aan verontreinigingen in afstromend regenwater afnemen, is het mogelijk om ook de meer vervuilde verharde oppervlakken af te koppelen zonder negatieve gevolgen voor het oppervlaktewater.

Het infiltreren van regenwater dat van de afgekoppelde oppervlakken afstroomt, heeft zonder bronmaatregelen een gunstig effect op de oppervlaktewaterkwaliteit. Echter, het negatieve effect wordt dan verlegd naar de bodem en het grondwater. De gemiddelde concentraties in het infiltratiewater bij 75% afkoppeling zijn voor minerale olie en zink hoger dan de streefwaarden voor het grondwater. Bij voortdurende infiltratie zullen de diverse stoffen in dezelfde concentraties uitspoelen naar het grondwater als de concentraties waarmee ze de bodem in worden gebracht. De concentraties verontreinigingen in het bovenste grondwater zullen dan gelijk zijn aan de concentraties in het infiltrerende water. Daarnaast blijkt dat de grond onder de infiltratievoorzieningen nogal belast wordt met minerale olie en PAK (zie tabel 4.3). Infiltratie dient dan ook met de nodige voorzichtigheid te geschieden. Er moeten bronmaatregelen worden genomen of de voorzieningen moeten op tijd - voor er uitspoeling optreedt - 'vervangen' worden.

Door verhard oppervlak af te koppelen wordt minder regenwater afgevoerd naar de RWZI. Voor CZV, zwevend stof, N-tot en P-tot resulteert dit bij 30% afkoppelen in een reductie in de effluentvrachten. Voor olie en PAK neemt de effluentvracht in geringe mate toe. Dit komt omdat het influent "indikt" doordat de minst verontreinigde verharde oppervlakken worden afgekoppeld. Als ook de meer verontreinigde verharde oppervlakken worden afgekoppeld, is er een afname in de effluentvracht te zien.

Tabel 4.3 Concentraties in infiltrerend water en evenwichtsconcentraties in de bodem ten gevolge van infiltratie in bestaand gebied in hoog Nederland.

Stof		Kd-waarde[1] (dm^3/kg)	Variant 2a		Variant 2b	
			inf.water ($\mu g/l$)	bodem (mg/kg)	inf.water ($\mu g/l$)	bodem (mg/kg)
min. olie[3]	foc[2] = 0,1	11 - 75	0	0	266,7	2,9 - 20
	foc = 1	110 - 730		0		29 - 195
Cu	leemarm zand	200 - 1.000	5,0	1,0 - 5,0	7,3	1,5 - 7,3
	lemig zand	1.000 - 3.000		5,0 - 15		7,3 - 22
Zn	leemarm zand	50 - 500	30,0	1,5 - 15	70,0	3,5 - 35
	lemig zand	200 - 1.000		6,0 - 30		14 - 70
PAK(10)	foc = 0,1	3 - 1.400	0,4	0 - 0,6	3,2	0 - 4,5
	foc = 1	30 - 14.000		0 - 5,6		0,1 - 45

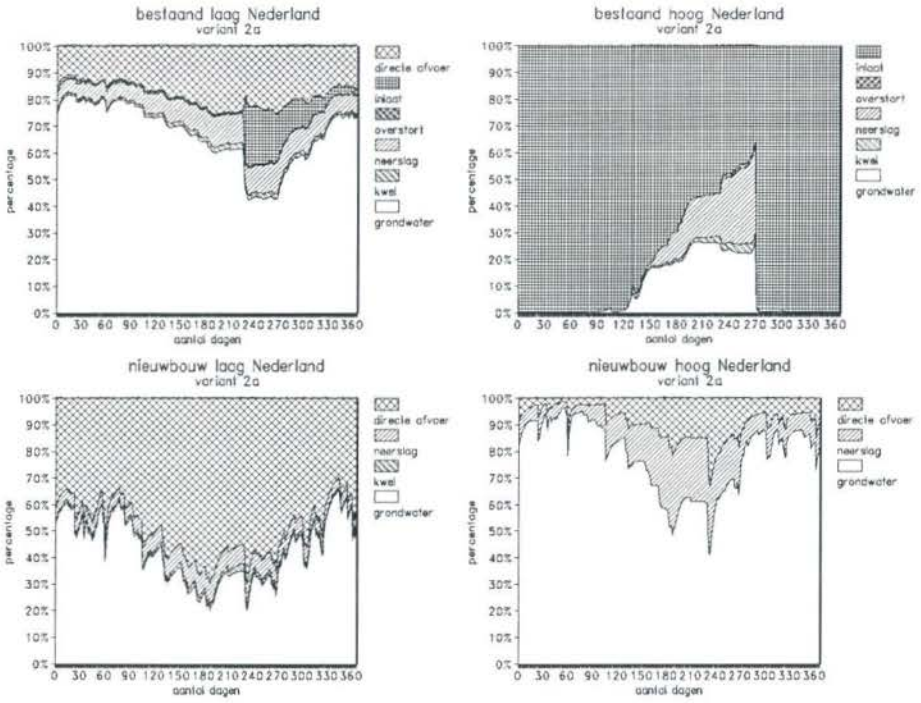
1 de Kd-waarde of distributiecoëfficiënt is het quotiënt van de geadsorbeerde hoeveelheid verontreinigingen en de hoeveelheid verontreinigingen in oplossing.
2 foc staat voor de fractie organisch koolstof.
3 de vermelde Kd-waarde hoort bij octaan.

In het laaggelegen gebied neemt de behoefte aan inlaatwater in de zomer ten behoeve van peilbeheer af, omdat er afstromend regenwater naar het oppervlaktewater wordt afgevoerd (zie figuur 4.7). Daardoor neemt de gesommeerde vracht van inlaatwater, overstortwater, directe afvoer en effluent af voor alle bekeken stoffen. Door meer verhard oppervlak af te koppelen neemt de gesommeerde vracht uiteindelijk weer toe hoewel er geen inlaatwater meer hoeft te worden ingelaten en er geen overstorten meer optreden. Dat komt doordat een groot deel van de verontreinigingen in afstromend regenwater rechtstreeks naar het oppervlaktewater of naar infiltratievoorzieningen worden afgevoerd.

In het hooggelegen gebied neemt de ontwatering in de zomer door afkoppelen minder af dan in de referentie-situatie doordat er afstromend regenwater in de bodem wordt geïnfiltreerd (zie figuur 4.7).

In de nieuwbouw gebieden nemen de effluentvrachten sterk af door het afkoppelen van verhard oppervlak. De gesommeerde vrachten van afvoer via het verbeterd gescheiden stelsel en de directe afvoer van afgekoppeld verhard oppervlak - naar oppervlaktewater of infiltratievoorzieningen - zijn aanzienlijk hoger dan in de referentiesituatie. Dit geldt met name voor zwevend stof, olie en PAK. Wordt in plaats van een verbeterd gescheiden stelsel een smart drain toegepast, dan nemen de effluentvrachten verder af. De naar oppervlaktewater afgevoerde vrachten nemen daarentegen toe.

De som van de effluentvrachten en de vrachten vanuit het verbeterd gescheiden rioolstelsel op het oppervlaktewater neemt in het hooggelegen nieuwbouw gebied af wanneer verhard oppervlak wordt afgekoppeld. Wel worden er dan aanzienlijke vrachten naar de infiltratievoorzieningen afgevoerd.



Figuur 4.7 Herkomst van het oppervlaktewater voor variant 2a.

Worden er bronmaatregelen genomen ter voorkoming dat zinken dakgoten kunnen uitlogen - zoals in deze studie is aangenomen bij de varianten waar verhard oppervlak wordt afgekoppeld - dan neemt de gesommeerde zinkemissie substantieel af: met 40-45% bij 30% afkoppelen in de bestaande gebieden en met 35-40% bij 75% afkoppelen in de nieuwbouwgebieden.

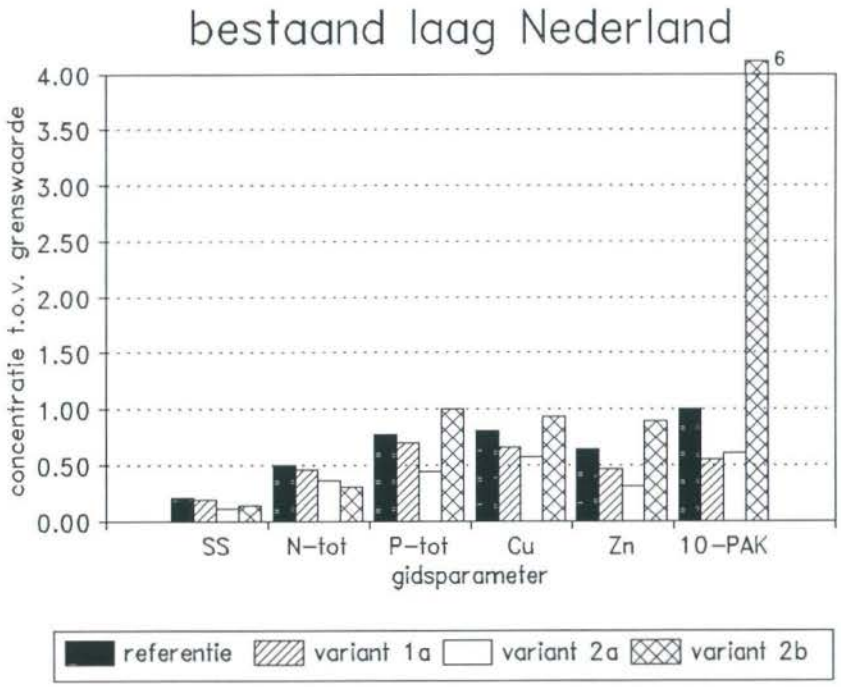
Drinkwaterreductie
Door regenwater te benutten voor toiletspoeling in plaats van af te voeren, nemen de naar oppervlaktewater of infiltratievoorzieningen afgevoerde vrachten af. Door besparing op het gebruik van drinkwater wordt minder afvalwater geproduceerd. Dit laatste vertaalt zich direct in geringere effluentvrachten voor de gidsparameters CZV, zwevend stof, N-tot en P-tot. Voor olie, koper, zink en PAK levert drinkwaterbesparing geen grote effecten op voor de effluentvrachten.

Wordt regenwater dat eerst rechtstreeks naar open water of infiltratievoorzieningen werd afgevoerd, gebruikt voor toiletspoeling, dan neemt de effluentvracht voor zink en PAK toe. In regenwater komen deze stoffen namelijk in hogere concentraties voor dan in reinwater.

Toetsing aan normen oppervlaktewater
Bekijken we het totale effect van overstorten, directe afvoer en inlaten op de oppervlaktewaterkwaliteit in het stedelijk gebied in laag Nederland, dan blijken de varianten met een bergbezinkbassin of met afkoppeling van 30% van het verharde oppervlak relatief gunstig uit te pakken, zie figuur 4.8. In de figuur is het genoemde totale effect van overstort, inlaat en directe

afvoer naar oppervlaktewater op het stedelijk oppervlaktewatersysteem weergegeven. Processen als afbraak, omzetting, adsorptie, enz. zijn niet meegenomen in de beschouwing. Daarnaast zijn de concentraties van grondwater en kwel op nul gesteld. Dit betekent dat in de figuur geen actuele waterkwaliteit is weergegeven. De resultaten moeten worden geinterpreteerd als een belasting van het stedelijk watersysteem met verontreinigingen afkomstig van de waterstromen: overstort, inlaat en directe afvoer van afstromend regenwater naar oppervlaktewater. De belasting is uitgedrukt in concentraties en getoetst aan de grenswaarden voor oppervlaktewater. Door de genoemde aannames is de concentratie geen actuele waarde, maar een soort relatieve concentratie. Op de y-as is het quotiënt van de relatieve oppervlaktewaterconcentratie en de grenswaardenconcentratie uitgezet. Dat wil zeggen bij een quotiënt van bijvoorbeeld twee wordt de grenswaarde twee keer overschreden.

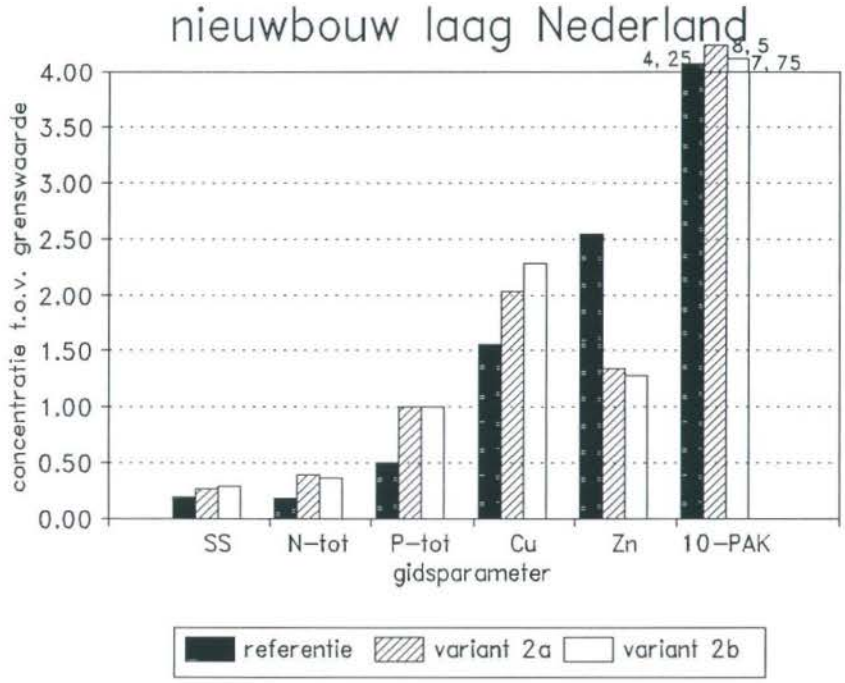
Het geschetste beeld verandert nauwelijks indien het effect van inlaatwater op de oppervlaktewaterkwaliteit niet wordt bekeken. In beide gevallen blijkt de variant waarbij 75% van het verharde oppervlak wordt afgekoppeld zonder dat hier aanvullende maatregelen tegenover staan om verontreinigingen in het afstromende regenwater af te vangen, slechter te 'scoren' dan de referentie-situatie. Toch wordt alleen bij deze variant voor één gidsparameter - PAK - de grenswaarde overschreden.



Figuur 4.8 Gemiddelde (relatieve) concentraties in oppervlaktewater in bestaand laag Nederland t.o.v. de grenswaarden.

Als het afstromende regenwater schoner is dan verondersteld (75% reductie) resulteert dit direct in een verbetering van de waterkwaliteit. In algemene lijnen blijft het geschetste beeld gelijk.

In nieuwbouwgebied worden de grenswaarden voor koper, zink en PAK bij alle varianten overschreden, zelfs indien er bronmaatregelen worden genomen, zoals bij de varianten 2a en 2b voor zink (zie figuur 4.9).
In het algemeen hebben de varianten waarbij oppervlakken worden afgekoppeld, meer invloed op de waterkwaliteit dan de variant zonder afkoppeling, tenzij er bronmaatregelen worden genomen.



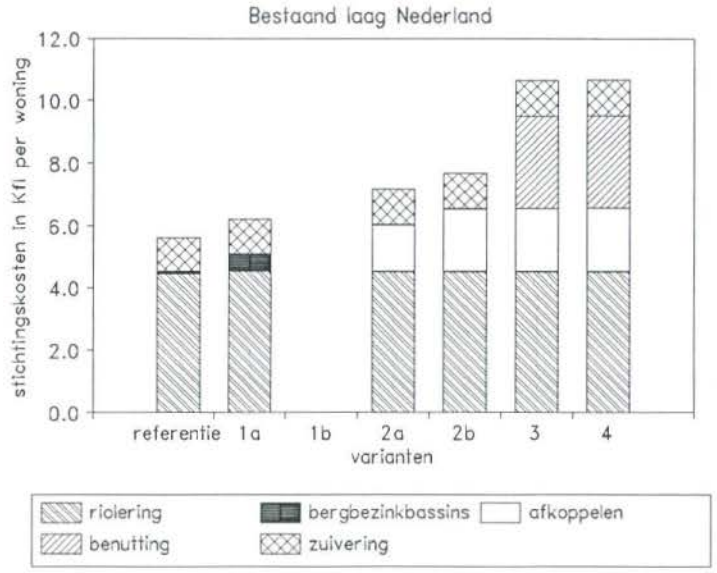
Figuur 4.9 Gemiddelde (relatieve) concentraties in oppervlaktewater in nieuwbouw laag Nederland ten opzichte van de grenswaarden.

4.4 Kosten

De kosten van de varianten zijn in de figuren 4.10 tot en met 4.14 uitgezet. Het betreft daarbij de stichtingskosten.

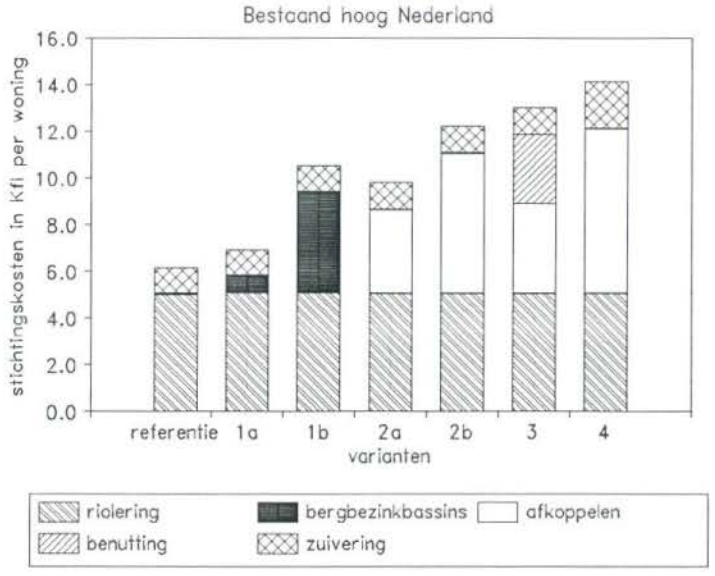
In figuur 4.10 zijn de stichtingskosten voor het bestaande gebied in laag Nederland weergegeven. De stichtingskosten van de referentiesituatie worden bepaald door de kosten voor riolering en zuivering. Bij variant 1a nemen de stichtingskosten toe door de aanleg van een bergbezinkbassin. Bij de varianten 2a tot en met 4 wordt verhard oppervlak afgekoppeld van het rioolstelsel, waarbij het rioolstelsel verder ongewijzigd blijft en de RWZI gehandhaafd. Dit komt tot uitdrukking in de stichtingskosten voor afkoppelen en gelijkblijvende stichtingskosten voor riolering en zuivering. Bij de

varianten 3 en 4 wordt gebruik gemaakt regenwaterbenutting. De daarmee gemoeid zijnde kosten zijn in de figuur weergegeven met 'benutting'.



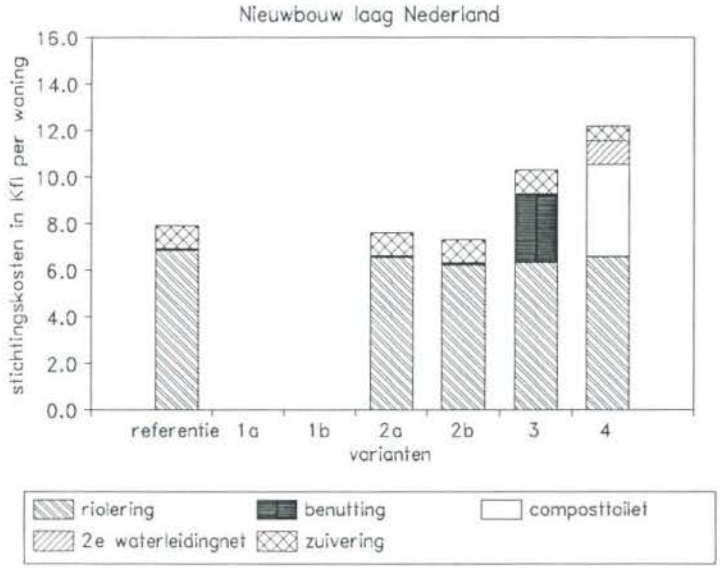
Figuur 4.10 Stichtingskosten voor bestaand laag Nederland.

Figuur 4.11 toont de stichtingskosten voor bestaand gebied in hoog Nederland. De kosten voor afkoppelen en directe afvoer naar oppervlaktewater zijn bij variant 3 lager dan bij variant 2b, omdat een deel van het afgekoppelde verhard oppervlak is aangesloten op regenwaterbassins. De daarmee gemoeid zijnde kosten zijn in de figuur weergegeven met 'benutting'.



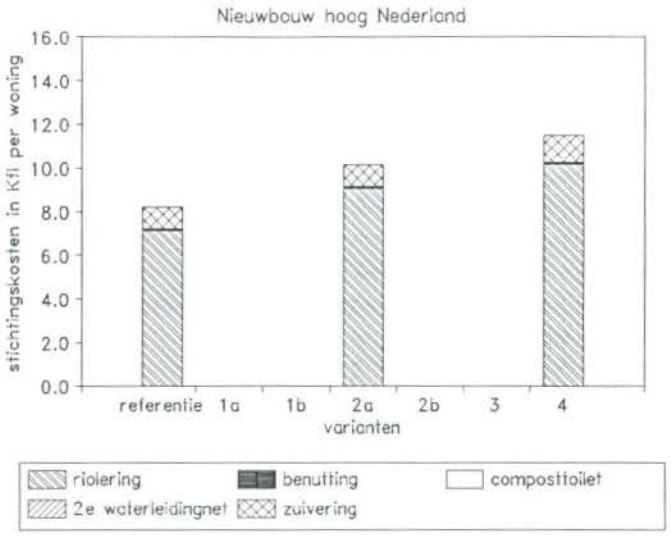
Figuur 4.11 Stichtingskosten voor bestaand hoog Nederland.

Bij nieuwbouwsituaties is er geen bestaand rioolstelsel zoals in de bestaande locatie. Dit betekent dat per variant een rioolstelsel wordt gedimensioneerd en op kosten wordt gezet. Deze kosten zijn in figuur 4.12 weergegeven met stichtingskosten voor 'riolering'. Deze post omvat de stichtingskosten voor een verbeterd gescheiden stelsel en/of smart drain, inclusief de afvoervoorzieningen voor regenwater naar oppervlaktewater als een deel van het verhard oppervlak wordt afgekoppeld. Voor benutting en composttoiletten zijn aparte kostenposten opgenomen. De stichtingskosten van een tweede waterleidingnet voor huishoudwater zijn de meerkosten ten opzichte van een standaard waterleidingnet. De kosten zijn inclusief een zuiveringseenheid voor het water dat wordt onttrokken aan het oppervlaktewatersysteem.



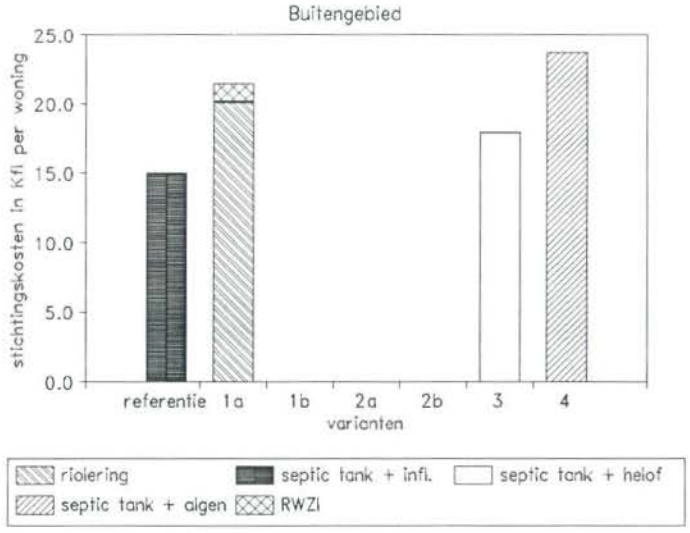
Figuur 4.12 Stichtingskosten voor nieuwbouw laag Nederland.

In figuur 4.13 zijn de stichtingskosten voor de varianten van nieuwbouw hoog Nederland weergegeven. Uit de figuur volgt dat de kosten van locaal zuiveren in geringe mate hoger zijn dan voor het zuiveren op de RWZI. De kosten van de riolering nemen toe door de infiltratievoorzieningen.



Figuur 4.13 Stichtingskosten voor nieuwbouw hoog Nederland.

In het beschouwde buitengebied is de septic tank met infiltratiebed de goedkoopste behandelingstechniek van afvalwater. Als een helofytenfilter wordt toegepast in plaats van een infiltratiebed nemen de kosten met circa *f* 3.000,00 per woning toe. Het aansluiten op de riolering en het met algen zuiveren van afvalwater zijn duurder. Opgemerkt moet worden dat de kosten per locatie in aanzienlijke mate kunnen variëren. Zo worden de aansluitkosten sterk beïnvloed door de afstand van de woningen tot het bestaande rioolstelsel.



Figuur 4.14 Stichtingskosten voor buitengebied (septic tank + infl. is septic tank met infiltratiebed; septic tank + helof. is septic tank met helofytenfilter; septic tank + algen is septic tank met algenzuivering).

4.5 Onzekerheden

In de voorgaande paragrafen zijn de simulatieresultaten besproken en de kosten van de beschouwde varianten geraamd. Bedacht moet worden dat de gepresenteerde resultaten geen exacte waarden zijn. Door vereenvoudigingen en aannames ontstaan onzekerheden. Een goed voorbeeld hiervan is de kwaliteit van afstromend regenwater. Hiervan zijn geen nauwkeurige waarden bekend, maar alleen meetwaarden binnen een grote bandbreedte. Zonder uitgebreide meetcampagnes is het daarom niet mogelijk om exact aan te geven wat de kwaliteit is van afstromend regenwater. Deze onzekerheden in de kwaliteit van afstromend regenwater werken door in de berekende effluentvrachten, overstortvrachten en vrachten die bij afkoppelen naar infiltratievoorzieningen en/of oppervlaktewater worden gebracht. In de "Leidraad aan- en afkoppelen verharde oppervlakken" (Lambrechts en De Jong, 1996) is berekend dat de standaardafwijking wel 55% van de gemiddelde waarde kan bedragen.

Evenals de kwaliteit van afstromend regenwater is de kwaliteit van inlaatwater niet exact bekend. Deze kan van plaats tot plaats verschillen. Ook zijn verschillen over het jaar mogelijk. De invloed van inlaatwater op de waterkwaliteit neemt af naarmate minder water wordt ingelaten. Tevens worden dan de onzekerheden met betrekking tot de kwaliteit van het inlaatwater van minder belang. Hieruit volgt dat bij afkoppelen van verhard oppervlak de onzekerheden als het ware verschuiven van inlaat- en overstortwater naar afstromend regenwater en overstortwater.

De waterbalansen zijn berekend voor de neerslag- en verdampingsgegevens van 1990. Klimatologisch gezien is dit een gemiddeld jaar. Voor gewijzigde neerslag- en verdampingsgegevens zullen de berekende waterbalansen en stofbalansen een ander beeld vertonen. Door heviger buien gedurende een jaar zullen meer overstortsituaties ontstaan, waardoor de overstortvrachten toenemen. Jacobsen en Mikkelsen (1996) hebben aangetoond dat afkoppelen met infiltratie bij hevige neerslag effectiever het overstortvolume reduceert dan extra berging.

De kosten zijn berekend aan de hand van globale beschrijvingen van de situatie. Dit betekent dat afwijkingen kunnen optreden als de maatregel daadwerkelijk voor een gegeven situatie worden gedimensioneerd. De geraamde kosten voor nog vrij weinig in de praktijk toegepaste technieken zullen met grotere voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd dan de meer gangbare technieken. Met name regenwaterbenutting, composttoiletten en een tweede waterleidingnet zijn weinig toegepast.

De gehanteerde zuiveringsrendementen zijn voor CZV, zwevend stof, N-tot en P-tot gedefinieerd aan de effluenteisen. Er is geen rekening mee gehouden dat de RWZI een hoger rendement kan realiseren als minder regenwater naar de RWZI wordt afgevoerd. Hiermee wordt het effect van afkoppelen wellicht onderschat. Dit kan met name het geval zijn voor olie, koper, zink en PAK, waarvoor constante rendementen zijn aangehouden.

Kleinschalige zuiveringen kunnen kwetsbaar zijn voor incidentele lozingen, waardoor het zuiveringsrendement onder druk komt te staan. Heide (1985) concludeert dat een normale toepassing van huishoudelijke producten in het algemeen weinig tot geen invloed zal hebben op de werking van een septictank en/of aërobe biologische zuivering. Deze conclusie is gebaseerd op een inventarisatie van de typen producten en stoffen die bij diverse handelingen in een woning aan het water worden toegevoegd èn de invloed van de stoffen op de werking van septictanks en aërobe zuivering. Wel stelt Heide dat een verantwoorde toepassing van producten kan bijdragen aan een betere kwaliteit van het gezuiverde afvalwater. Zo kunnen geneesmiddelen, bestrijdingsmiddelen, desinfecterende stoffen, verfstoffen, fotochemicaliën, autoproducten, oplosmiddelen, en dergelijke beter niet met water worden afgevoerd. Weliswaar beïnvloeden deze stoffen door de geringe concentratie de zuivering niet, maar via het effluent komen ze wel in het ontvangende milieu.

Bij maatregelen als infiltratie van regenwater en directe afvoer naar oppervlaktewater wordt het gedrag van burgers duidelijker merkbaar/sneller zichtbaar. Zo zal bijvoorbeeld een lozing van olie in een infiltratievoorziening (kunnen) resulteren in een bodem- en grondwaterverontreiniging. Evenzo zal een dergelijke olielozing bij directe afvoer naar oppervlaktewater leiden tot een verontreiniging van het oppervlaktewatersysteem met olie. Daar staat tegenover dat ook bij de reeds beproefde technieken een dergelijke lozing moet worden voorkomen.

5 Beschouwing van de resultaten

5.1 Dimensies

De in hoofdstuk 4 beschreven resultaten worden in deze paragraaf beschouwd aan de hand van de in paragraaf 1.3 genoemde dimensies.

Het 'soort' water
Uit oogpunt van het streven naar een duurzame en gezonde waterbalans is het niet raadzaam om afstromend regenwater via de riolering af te voeren naar de RWZI. Door regenwater zoveel mogelijk in het gebied zelf te houden wordt een natuurlijker neerslag-afvoerpatroon gerealiseerd, waardoor de piekafvoeren minder extreem zijn en de aanvoerbehoefte in droge perioden kan worden beperkt. Daarnaast wordt de RWZI minder belast met grote hoeveelheden regenwater. Dit wil niet zeggen dat al het regenwater zoveel mogelijk binnen het gebied moet worden behouden. De stofbalansen laten duidelijk zien dat afkoppelen of het niet aansluiten van 100% van het verharde oppervlak bij directe afvoer naar oppervlaktewater ongunstig is voor de kwaliteit van het oppervlaktewater. In bestaande stedelijke gebieden met een gemengd stelsel kan globaal worden gesteld dat afkoppelen van de schonere oppervlakken gunstig is. De meest verontreinigde oppervlakken moeten nog wel op de riolering worden aangesloten. Ook bij nieuwbouw kan het niet aansluiten van de meest verontreinigde verharde oppervlakken op het rioolstelsel ongunstig uitpakken. De grens ligt bij 50 à 75% is niet hard en dient niet als vaste regel te worden gehanteerd. De volgende nuanceringen kunnen worden aangebracht:
- in die situaties waarbij het effluent op hetzelfde oppervlaktewater wordt geloosd als het wateroverschot uit de wijk (bij de varianten: hoog Nederland) is afkoppelen of niet aansluiten eerder aantrekkelijk dan in situaties waarbij het wateroverschot op ander, meer kwetsbaar oppervlaktewater wordt geloosd;
- bij nieuwbouw zijn mogelijkheden aanwezig om de inrichting optimaal af te stemmen op de gewenste waterhuishouding. Hierdoor zijn hogere afkoppelingspercentages mogelijk dan bij bestaande gebieden.

Een punt van zorg blijft evenwel dat mede door het afkoppelen of het niet aansluiten van verhard oppervlak de grenswaarden voor oppervlaktewater met moeite kunnen worden gerealiseerd. Zolang verharde oppervlakken zo vuil blijven als ze nu zijn blijft het moeilijk het oppervlaktewater te laten voldoen aan de grenswaarden. Het afvoeren van regenwater naar de RWZI om wel aan de grenswaarden te voldoen resulteert in een geringere belasting van het stedelijk oppervlaktewater, maar resulteert ook in minder beschikbaar water. Per saldo geen echte verbetering.

Uit gezondheidsoverwegingen moet huishoudelijk afvalwater worden gezuiverd. Dit kan centraal op de RWZI plaatsvinden of locaal bij de woningen. Als naar de kosten wordt gekeken is het centraal behandelen op de RWZI gunstiger dan het locaal behandelen. Met name het composttoilet in combinatie met de locale behandeling van grijs water (variant 4 van "nieuwbouw laag Nederland") is kostbaar in vergelijking met de RWZI. Wel is bij

deze invulling van de behandeling van afvalwater in de wijk het drinkwatergebruik gering. Dit sluit goed aan op de streefbeelden.

Behandelingstechnieken en de locatie
In gebieden met diepe grondwaterstanden en een goed doorlatende bodem is infiltratie van regenwater dat van verhard oppervlak afstroomt de meest geschikte techniek. De grondwateraanvulling wordt dan zo goed mogelijk op peil gehouden. Dit resulteert in hogere grondwaterstanden en een toename van de ontwatering. Hierdoor blijven de waterstanden in droge perioden beter op peil. In feite wordt door infiltratie van afstromend regenwater een meer natuurlijk verloop van grond- en oppervlaktewaterstanden gerealiseerd.

Als infiltratie niet mogelijk is door te hoge grondwaterstanden en geringe doorlatendheden komt directe afvoer naar oppervlaktewater in aanmerking als behandelingstechniek voor afstromend regenwater. In combinatie met een variabel peilbeheer kan de inlaatbehoefte van water in droge perioden dan sterk worden beperkt.

Door waterbesparende maatregelen kan het drinkwatergebruik op eenvoudige wijze worden beperkt. Hierbij wordt met name gedacht aan doorstroombegrenzers op kranen, waterbesparende douchekoppen en waterbesparende toiletten. De met het afvalwater afgevoerde hoeveelheden verontreinigingen nemen door drinkwaterbesparende maatregelen niet of nauwelijks af. Het drinkwatergebruik kan verder worden beperkt door regenwaterbenutting en/of hergebruik van grijs water. Dit betekent dan wel dat minder regenwater in de wijk kan worden geïnfiltreerd en/of afgevoerd naar oppervlaktewater. Per locatie zal besloten moeten worden waar primair de voorkeur naar uitgaat: benutting van regenwater of infiltratie danwel afvoer naar oppervlaktewater.

Bestaande gebieden en nieuwbouwgebieden
In bestaande gebieden kunnen de mogelijkheden voor veranderingen beperkt zijn. Ingrepen moeten in de bestaande infrastructuur worden ingepast. Om toch tot ingrepen te komen kan het concept van de blauwe transformatie worden gebruikt. Kenmerken hiervan zijn:
- bronaanpak: het (zoveel mogelijk) voorkomen van verontreiniging van water en het scheiden van schone en verontreinigde waterstromen;
- ingrijpen op een geschikt moment door mee te liften met andere processen in het stedelijk gebied, bijvoorbeeld op het terrein van verkeer, groenbeheer, energie, renovatie, uitbreiding van bestaande bebouwing en nieuwbouw;
- zoeken naar draagvlak voor maatregelen door overleg te voeren met de betrokkenen en daadwerkelijk in te gaan op hun wensen en suggesties. Enerzijds is dit draagvlak gewenst anderzijds is het nodig: inwoners in Nederland hebben immers recht op aansluiting op de riolering. Afkoppelen van verharde oppervlakken moet dus gebeuren op vrijwillige basis.

Composttoiletten, regenwaterbenutting en een tweede waterleidingnet vereisen niet alleen aanpassingen in de openbare ruimte, maar ook aanzienlijke ingrepen in de woning. Hierom zijn deze technieken minder ge-

makkelijk in bestaande gebieden te realiseren. In bestaand gebied wordt met name gedacht aan afkoppelen van verhard oppervlak.

In nieuwbouwgebieden kan zonder problemen een deel van het verharde oppervlak niet worden aangesloten op het rioolstelsel. Ook voor de kosten is er niet veel verschil.

Stedelijk gebied en buitengebied
In stedelijk gebied is het goedkoper om huishoudelijk afvalwater op de RWZI te behandelen. Dit is niet het geval voor het buitengebied. In het buitengebied kan het locaal behandelen een goedkopere oplossing zijn dan aansluiten op de riolering. Dit kan echter per locatie in aanzienlijke mate verschillen.

5.2 Toepasbaarheid resultaten

De water- en stofbalansen zijn voor vijf gebieden opgesteld. Dit betekent dat niet alle situaties in Nederland exact worden "gedekt" door de resultaten. Wel kunnen de resultaten samen met de in "Water in de stad; gescheiden waterstromen, Behandelingstechnieken" beschreven behandelingstechnieken worden gebruikt als basis bij het ontwerpen van nieuwbouwgebieden en bij het herinrichten van bestaande gebieden.

Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan de ontwikkeling van een nieuwbouwwijk. Stel dat deze wijk ligt in een gebied met diepe grondwaterstanden en een goed doorlatende bodem. Uit de resultaten van de studie volgt dat in een dergelijke situatie de schone verharde oppervlakken in aanmerking komen voor het aansluiten op infiltratievoorzieningen en de meer verontreinigde verharde oppervlakken op het rioolstelsel. In het deelrapport "Behandelingstechnieken" worden een wadi, een infiltratiesleuf, een infiltratieput en een infiltratieveld als mogelijke infiltratievoorzieningen beschreven. Afhankelijk van de lokale omstandigheden kan dan voor een bepaalde infiltratietechniek worden gekozen. Een criterium kan daarbij de doorlatendheid van de bodem zijn. Een wadi kan nog in een relatief slecht doorlatende bodem worden toegepast, maar heeft een groter ruimtebeslag dan een infiltratiesleuf die onder het trottoir wordt aangelegd.

5.3 Onderzoeksbehoeften

Tijdens het uitvoeren van de studie is het duidelijk geworden dat er nog verschillende leemten in kennis aanwezig zijn. Zo zijn de berekeningen van de stofbalansen gebaseerd op een beperkt aantal meetgegevens. Het is niet exact bekend hoe het zuiveringsrendement van een RWZI wordt beinvloed als minder of juist meer regenwater naar de zuivering wordt afgevoerd. Ook het effect van waterbesparende maatregelen op het zuiveringsrendement is nog niet goed duidelijk. Deze leemten in kennis resulteren in onderzoeksbehoeften, waarbij met name gedacht wordt aan:
- de komende tijd meer energie te steken in het meten van de kwaliteit van afstromend regenwater;

- extra aandacht besteden aan bronmaatregelen; het daadwerkelijk aan de bron voorkomen dat verontreinigingen in het water terecht komen heeft het meest gunstige resultaat op de waterkwaliteit;
- meer onderzoek te verrichten naar de behandeling van licht verontreinigd regenwater nabij de bron;
- meer aandacht voor het streven naar een duurzame ontwikkeling bij de niet-VINEX-locaties, dat wil zeggen bestaand stedelijk gebied en kleine uitbreidingen.

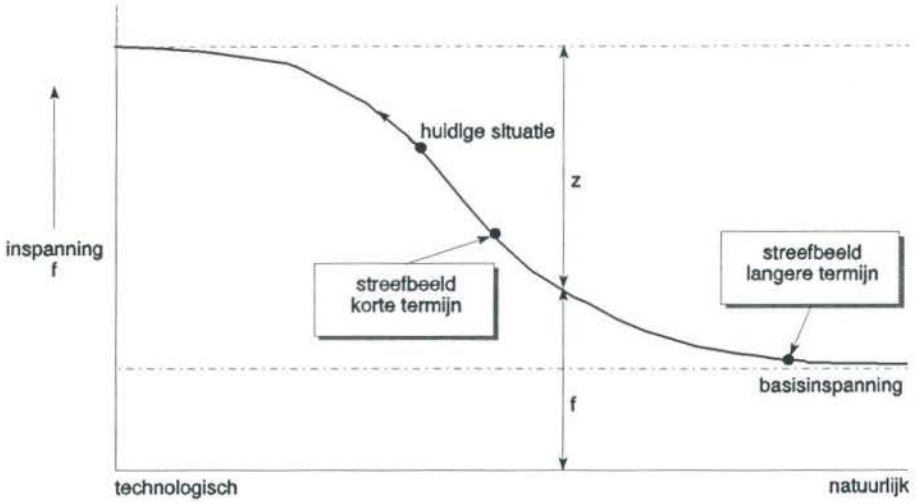
6 Strategie

6.1 Positie en tijd

In het vorige hoofdstuk zijn resultaten van deze studie tegen het licht gehouden van de dimensies die in paragraaf 1.3 worden genoemd. Daarbij is één dimensie achterwege gebleven, de dimensie tijd. In dit afsluitende hoofdstuk wordt dit recht getrokken. Nagegaan wordt welke strategie gevolgd kan worden voor de korte termijn, uitgaande van de streefbeelden voor de lange termijn.

6.2 Projectie op streefbeelden

Als gekeken wordt naar het streefbeeld voor de langere termijn, is het niet duidelijk welke variant daar het best op aansluit. De meeste elementen van die streefbeelden hebben betrekking op de omgeving van het watersysteem en niet zozeer op het watersysteem zelf. Water kan zowel 'end of pipe' worden schoongemaakt als aan de bron. Toch is er wel een relatie. Als inspanningen daadwerkelijk gericht worden op een streefbeeld voor de langere termijn, waarbij burgers meer betrokken zijn, en de feedback-trajecten kort, dan stemt dat eerder overeen met de varianten 3 en 4 dan met de varianten 1 en 2. Door waterstromen te scheiden en zo dicht mogelijk bij de bron te behandelen wordt een deel van de verantwoordelijkheden weer teruggebracht bij de burger.



Figuur 6.1 Relatie tussen inspanning (f) en natuurlijkheid bij stedelijke watersystemen, waarbij z het aandeel zelforganisatie is.

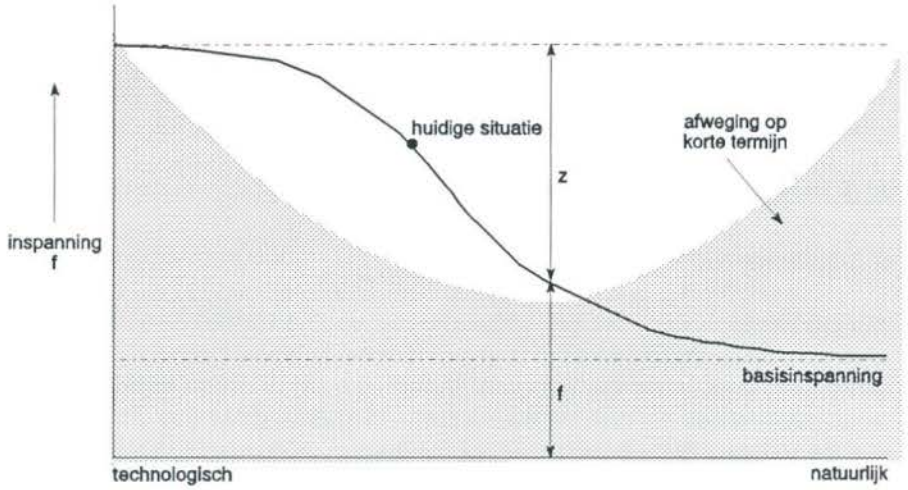
In figuur 6.1 is de relatie weergegeven tussen 'natuurlijkheid' en de inspanning die gedaan moet worden om tot een duurzaam watersysteem te komen. Vertrekpunt daarbij is dat er weliswaar veel ter discussie staat, maar dat overeenstemming aanwezig is over het streven naar duurzaam-

heid. Welke invalshoek ook wordt gekozen, uiteindelijk moet het resulteren in een duurzame situatie.
De duurzaamheid kan op verschillende manieren worden verkregen. Zo kan ze op *technologische* wijze worden afgedwongen. Dit resulteert in een systeem dat voor een groot deel op kunstmatige wijze in stand moet worden gehouden (links op de horizontale as in de grafiek). Dit vereist een grote inspanning. Kenmerk hiervan is dat maatschappelijke ontwikkelingen worden geaccepteerd zoals ze verlopen. Het waterbeheer past zich steeds aan. Om de normen te halen wordt al het water verzameld en gezuiverd. De burger heeft hier geen last van. Er wordt uitgegaan van de maakbaarheid van de samenleving.
Van een ander uiterste is sprake aan de rechterkant van de horizontale as, waarbij sprake is van een *natuurlijk* systeem. In deze situatie is sprake van een groot deel zelforganisatie. Watersystemen zijn zo natuurlijk, dat ze zichzelf grotendeels in stand kunnen houden. Ze kenmerken zich door een grote *veerkracht* (Projectteam NW4, 1996) en behoeven daardoor weinig onderhoud. Ook is sprake van een groot aandeel sociale zelforganisatie. Mensen doen 'uit zichzelf' de dingen die goed zijn voor het watersysteem. Er is weinig of geen dwang voor nodig. Door deze betrokkenheid zijn de risico's op calamiteiten zeer gering. Er blijft uiteraard een basisinspanning voor de gezamenlijke waterbeheerders, want het watersysteem moet toch op één of andere wijze worden ingericht en beheerd. Niet alles gebeurt vanzelf.
Er geldt: hoe natuurlijker het watersysteem is, hoe minder technologische kunstgrepen nodig zijn, hoe geringer de inspanning is die de gezamenlijke waterbeheerders moeten doen. Deze inspanning kan worden uitgedrukt in activiteiten, het kan ook worden uitgedrukt in geld.

Ten opzichte van de huidige situatie zijn beide beschreven uitersten voor de korte termijn onrealistisch. Het kunstmatige watersysteem roept beelden op van "A brave new world" en een volledig natuurlijk systeem gaat uit van gedrag van burgers dat weinig overeenkomt met de realiteit. De uitersten kunnen evenwel als beelden worden gebruikt voor de lange termijn. Daarbij geldt wel dat het natuurlijke watersysteem de grootste overeenkomsten heeft met het streefbeeld dat geformuleerd is in hoofdstuk 2. Figuur 6.1 kan dan ook zo worden geïnterpreteerd dat het streven moet worden ontwikkeld zoveel mogelijk naar rechts op te schuiven. Het streefbeeld voor de korte termijn moet dan ook rechts van de huidige situatie liggen.

Nu terug naar de resultaten van deze studie. Als deze op de achtergrond worden geprojecteerd van figuur 6.1, ontstaat globaal het beeld dat is weergegeven in figuur 6.2. Voor de korte termijn is sprake van een optimum dat zich rechts bevindt van de huidige positie.
De huidige positie kenmerkt zich door een groot aandeel gemengde rioolstelsels in bestaand stedelijk gebied. In veel nieuwbouwplannen worden verbeterd gescheiden stelsels aangelegd. Zowel bij gemengde als verbeterd gescheiden stelsels gaat een groot deel van het regenwater naar de RWZI. Hiermee is een positie gekozen waarbij duurzaamheid met name op technologische wijze moet worden gerealiseerd. De resultaten in hoofdstuk 4 laten zien dat ook voor de korte termijn gestreefd kan worden naar water-

huishoudkundige systemen waarbij een groot deel van het regenwater vanaf daken, straten en andere verharde oppervlakken benut wordt ten behoeve van de lokale waterhuishouding. De water- en stofbalansen laten zien dat het de voorkeur heeft slechts een klein deel van het regenwater af te voeren naar de zuivering. Dat geldt voor bestaande gebieden en nieuwbouw, voor hoog en laag Nederland. Ook kostentechnisch is het binnen de wijk houden van stedelijk regenwater gunstig. Ten opzichte van de huidige positie is het dus gewenst naar rechts op te schuiven.



Figuur 6.2 Relatie tussen inspanning (f) en natuurlijkheid bij stedelijke watersystemen tegen een achtergrond van berekende kosten voor de korte termijn.

Het behandelen van grijs en zwart water binnen de wijk lijkt iets voor de lange termijn. Dit betekent dat het voor de korte termijn belangrijk is proefprojecten uit te voeren, zodat de ervaring toeneemt, en ook kosten kunnen worden verlaagd. Voor grootschalige toepassing zijn de technieken nog niet ver genoeg ontwikkeld.
Voor de korte termijn gaat het dus met name om regenwater, wat betreft de scheiding van waterstromen in de stad.

Om processen bij stedelijk waterbeheer in de gewenste richting te laten ontwikkelen is het van belang die elementen toe te passen die passen bij het natuurlijke systeem, zoals:
- het zichtbaar maken van waterstromen;
- het natuurvriendelijk inrichten van oevers;
- het behandelen van waterstromen nabij de bron;
- een grote biodiversiteit;
- een prettige leefomgeving.

Van belang is het dat de verschillende actoren bij het ruimtelijke proces gezamenlijk hieraan werken. Water heeft daarbij een sturende rol.

De technische aspecten om te komen tot duurzame watersystemen zijn relatief eenvoudig in te vullen. De sociaal-maatschappelijke aspecten zouden wel eens een orde lastiger kunnen zijn:
- de betrokkenheid van de burger is niet erg groot;
- het watergebruik loopt niet of nauwelijks terug;
- frituurvet of motorolie in regenwaterputjes komt nog regelmatig voor;
- het gebruik van chemicaliën in de huishouding is nog steeds groot;
- er zijn weinig prikkels voor burgers om zich anders te gedragen;
- de afstemming tussen duurzaam bouwen en duurzaam waterbeheer is gering;
- gemeenten en waterschappen werken nog niet overal optimaal samen, hetgeen ook geldt voor ontwerpers en beheerders;
- er is nog steeds sprake van een tendens naar links: er worden meer verantwoordelijkheden bij de burger weggehaald.

6.3 Procesplanning

6.3.1 Algemeen

Als gestreefd wordt naar een gezonde verhouding tussen de zelforganisatie z en de inspanning f, moeten niet uitsluitend "nieuwe" technieken worden geïntroduceerd, maar moeten ook andere actoren worden beïnvloed, zodat deze meewerken en niet tegenwerken. Belangrijk daarbij is de relatie tussen de verschillende overheden en de burger. Met name in de stad is het gedrag van de burger van wezenlijk belang voor het succes van de te volgen strategie.
Voor beïnvloeding van andere actoren zijn in principe drie mogelijkheden aanwezig:
- juridische sturing;
- financiële sturing;
- communicatieve sturing.

In deze paragraaf worden deze drie kort toegelicht. Daarbij wordt met name stil gestaan bij de mogelijkheden voor financiële sturing.

6.3.2 Juridische sturing

Juridische sturing houdt in dat actoren via verordeningen, vergunningen en contracten worden 'gedwongen' op gewenste wijze te handelen. Door strenge eisen te stellen aan vergunningen kan reeds veel worden geregeld. Speciale aandacht verdienen ook de documenten bij de overdracht van eigendommen. Het is namelijk goed mogelijk bepaalde duurzame elementen in de stad voor te schrijven, zoals het niet toepassen van zinken dakgoten en het onderhouden van infiltratievoorzieningen op het eigen erf.
Het streven is ernaar een gewenst gedrag zo weinig mogelijk juridisch af te dwingen. Het sluit namelijk niet echt aan bij de gedachte van sociale zelforganisatie. Financiële en communicatieve sturing hebben de voorkeur. Elementen voor juridische sturing kunnen worden gezien als een vangnet.

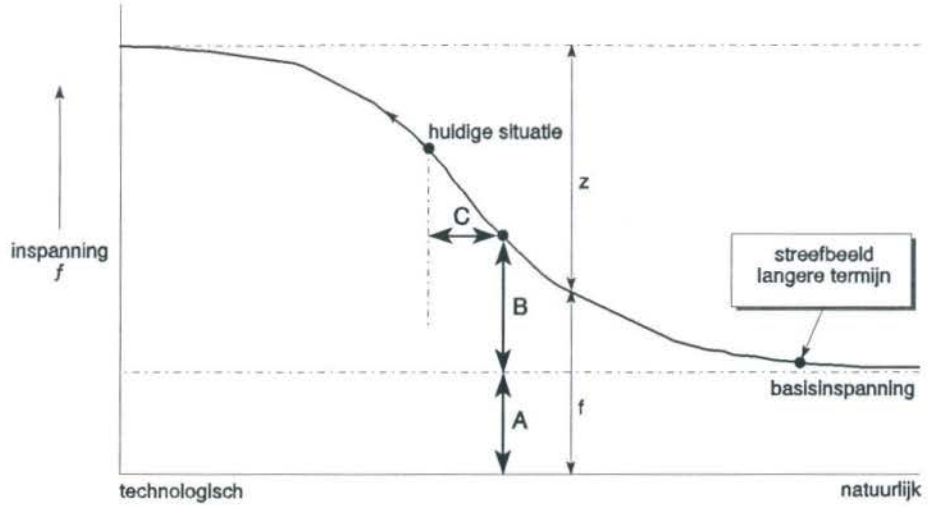
6.3.3 Naar een nieuwe vorm van financiering

In de huidige situatie is er vrijwel geen financiële prikkel voor burgers om zorgvuldiger met water om te gaan. De enige rekening die de burger zelf kan beïnvloeden is de drinkwaterrekening. De hoogte hiervan nodigt niet echt uit tot aanpassing van het gedrag. Als burgers zelf maatregelen nemen voor de benutting van regenwater of het afkoppelen van verhard oppervlak krijgen ze daarvoor in Nederland geen financiële tegemoetkoming.

Er wordt in Nederland veel gediscussieerd over de mogelijkheden om een financieel waterspoor in te voeren. Daarbij worden riool- en zuiveringsheffing gekoppeld aan het drinkwatergebruik. Het nadeel van een dergelijke regeling is dat de relatie tussen drinkwatergebruik en de kosten voor riolering en RWZI niet groot is. De meeste kosten moeten worden gemaakt voor de verwerking van het regenwater.

Een mogelijke denkrichting is het invoeren van een integrale waterheffing. De wijze waarop deze is samengesteld wordt niet gebaseerd op de taken die de verschillende waterinstellingen verrichten, maar op de ervaringswereld van burgers (en bedrijven). Er moet een goede sturende werking van uitgaan. Het voorstel is de heffing als volgt op te bouwen:

A. Een basisdeel. Deze moet iedereen betalen. Om veilig in Nederland te kunnen wonen en het hebben van droge voeten is nu eenmaal een bepaalde inspanning noodzakelijk. Met name de kosten voor ont- en afwatering behoren tot het basisdeel.
B. Een rechtvaardigheidsdeel. Voor burgers wordt een inspanning gedaan om drinkwater te winnen en te distribueren en om huishoudelijk afvalwater in te zamelen en te zuiveren. Deze kosten zouden kunnen worden gekoppeld aan de watermeter. Wellicht kan een deel van de kosten voor verdrogingsbestrijding hier ook onder worden gebracht.
C. Een zelfherkenningsdeel. Hierin zit het deel van "goed gedrag wordt beloond". Het is complementair met de gedachte van "de vervuiler betaalt". Een ieder die zich op 'standaard' wijze gedraagt betaalt hiervoor een bepaalde hoeveelheid geld. Neemt hij echter maatregelen, zoals het afkoppelen van eigen dakoppervlak, dan wordt dat in mindering gebracht. De wijze waarop burgers en bedrijven het zelfherkenningsdeel kunnen terug verdienen kan per gemeente en zelfs soms per wijk verschillen.



Figuur 6.3 Drie trajecten (A, B en C) voor financiering van activiteiten bij integraal stedelijk waterbeheer.

Het zou een uitdaging kunnen zijn om voor stedelijke watersystemen het verloop van de grafiek in figuur 6.3 vast te stellen, om vervolgens meer nauwkeurig dan in dit rapport de huidige situatie en het streefbeeld voor de korte termijn hierop te projecteren. Er kan dan een onderbouwing worden verkregen voor de hoogte van de drie delen. Daarbij moet wel rekening worden gehouden met het feit dat de huidige ontwikkelingen eerder een neiging vertonen in de richting van het kunstmatige watersysteem dan naar het natuurlijke watersysteem. Een extra impuls kan nodig zijn om met de trend te breken. Een geleidelijke overgang naar deze vorm van financiering is aan te raden.

De hier voorgestelde opbouw voor een integrale waterheffing sluit aan bij de theorie over nesteling van emoties, zoals geformuleerd door Cornelis (1993). Hij onderscheidt drie niveaus. Deze zijn weergegeven in tabel 6.1.

Tabel 6.1 Drie niveaus voor nesteling van emoties (Cornelis, 1993).

Systeem	Doel	Bijbehorende emotie
Natuurlijk systeem	Geborgenheid, veiligheid	Angst
Sociaal regelsysteem	Rechtvaardigheid	Boosheid
Communicatieve zelfsturing	Zelfherkenning	Verdriet

Goed waterbeheer richt zich in eerste instantie op het natuurlijke systeem. Er moet een inspanning worden gedaan om mensen geborgenheid en veiligheid te bieden. Wordt hieraan niet voldaan dan worden mensen bang. Deze emotie overtreft de andere emoties. Bij de tweede laag, het niveau

van het sociale regelsysteem, wordt gestreefd naar rechtvaardigheid. Hoe minder gebruik van drinkwater, hoe lager de rekening. Dat wordt als rechtvaardig ervaren. Ontbreekt de rechtvaardigheid, dan worden mensen boos. Bij de derde laag, het niveau van communicatieve zelfsturing, streven mensen naar zelfherkenning. Deze laag sluit goed aan bij het streefbeeld voor de langere termijn. Van belang is het dat als mensen handelen vanuit bepaalde positieve waarden die zij voor zichzelf hebben geformuleerd, bijvoorbeeld het bewuster omgaan met de omgeving, dat zij niet worden tegengewerkt door de omgeving. Daar waar eigen belang strookt met algemeen belang moeten geen belemmeringen aanwezig zijn. Zijn die er wel, dan kan dat resulteren in teleurstellingen. Verdriet is het gevolg.

Voor een ontwikkeling naar meer communicatieve zelfsturing, en dus naar een groter aandeel sociale zelforganisatie, vormt een voor burgers en bedrijven herkenbare financieringsstructuur een belangrijke randvoorwaarde.

6.3.4 Voorlichting en communicatie

Voor de korte termijn is goede communicatie en voorlichting van belang. Beschikbare kennis over het functioneren van stedelijke watersystemen moet ter beschikking komen van burgers, bedrijven en overheden. Hiervoor zijn vele mogelijkheden aanwezig. Voorbeelden zijn:

- het leveren van bijdragen aan krantenartikelen en televisieprogramma's. Vooral programma's als Sesamstraat en Klokhuis hebben een grote uitstraling;
- milieu-educatie op scholen;
- voorlichting door overheid, waterschappen, e.d.;
- het betrekken van burgers en bedrijven bij de aanpassing van bestaand stedelijk gebied. Door bij stadsvernieuwingsprojecten, renovaties van woningen, herinrichtingsprojecten, e.d. mensen mee te laten ontwerpen wordt wellicht niet het meest haalbare gerealiseerd, maar wordt wel het draagvlak voor duurzame watersystemen vergroot. Voor het proces van de Blauwe transformatie is betrokkenheid van burgers en bedrijven van wezenlijk belang;
- het opzetten van schoolprojecten, zoals in Breda waar paddenpoelen zijn geadopteerd door schoolklassen. Hierbij wordt een proces verkregen waarbij kinderen ouders opvoeden.

Ook samenwerking tussen de verschillende actoren die zijn betrokken bij stedelijk waterbeheer is van groot belang. Bij een eerder uitgevoerde studie in de serie "Water in de stad" van Rijkswaterstaat RIZA is reeds gebleken dat de uiteindelijke invulling van een stedelijk watersysteem meer afhangt van het proces dat wordt doorlopen, dan van de hoogte van de ambities (Geldof en De Braal, 1996).

Inzet bij de communicatie is om eigen belangen en gezamenlijke belangen naar elkaar toe te laten groeien. Dit betekent dat de discussie over waarden, zoals geformuleerd in hoofdstuk 2, altijd levend gehouden moet worden en dogma's zoveel mogelijk vermeden moeten worden. De verkenningen die in dit rapport zijn uitgevoerd geven dan ook richtwaarden voor de

korte en de langere termijn, en zeer zeker geen optimaal technisch concept dat na nu tot in het oneindige herhaald kan worden.

Literatuur

Baars, H.P., L. Th. de Leu, P.F.J. van der Most en J.P. Warmerhoven, 1989. *Inventarisatie van stofstromen in het huidige systeem verwijderen afvalwater.* TNO, rapportnr.: R89/056.

Bakker, K. J.L. Timmer en C.D.M. Wensveen, 1990. *De vuiluitworp van gescheiden rioolstelsels.* Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit.

Bakker, K., J.L. Timmer en L.D.M. Wensveen, 1990. *De vuiluitworp van gemengde rioolstelsels.* Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit.

Berends, P.H.K. en G.D. Geldof, 1996. *Discussienotitie over waarden en leidende principes (tweede concept).* Ten behoeve van NW4. Deventer.

Brink, H., H.A.J. Senkhorst en P.G.G. Slaats, 1995. *Prognose van de koperemissie uit het waterleidingnet in de periode 1990 tot 2010.* KIWA, Nieuwegein.

Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), 1994. Milieustatistieken voor Nederland 1994, Sdu-uitgeverij, Den Haag.

Cornelis, A., 1993. Logica van het gevoel. *Stabiliteitslagen in de cultuur als nesteling der emoties.* Vijfde druk.
Stichting Essence, Amsterdam/Brussel/Middelburg.

Geldof, G.D. en A.J. de Braal, 1996. *Water in de stad.*
TauwMabeg civiel en bouw bv, Deventer.

Heide, B.A., 1985. *De invloed van bijzondere stoffen op individuele afvalwaterzuiveringssystemen.* Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Publicatiereeks milieubeheer nr. 1990/19.

De Jong-Hekkelman, H., 1992. *Samenstelling huishoudelijk afvalwater.* Rijkswaterstaat RIZA, werkdocument 92.033X.

Jacobsen, P. en P.S. Mikkelsen. *Reduction of Urban runoff pollution discharges bij means of stormwater infiltration en detention bassins.* 7th International Conference on Urban Storm Drainage Proceedings pp 515-520, Hannover, Germany.

Kampf, R. en B.A. Heide, 1989. *De invloed van bijzondere stoffen op individuele zuiveringssystemen.* H20 (22), 1989, nr. 18 pp 550-567.

Lambrechts, A.C.W. en S.P. de Jong, 1996. *Leidraad aan- en afkoppelen verharde oppervlakken, Basisdocument.* TauwMabeg civiel en bouw bv, Deventer.

Meadows, D.H., Meadows, D.L. en Randers, J., 1992. *De grenzen voorbij, Een wereldwijde catastrofe of een duurzame wereld*. Uitgeverij Het Spectrum, Utrecht.

Projectteam NW4, 1996. *Schetsboek voor een vierde Nota waterhuishouding.*

Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden. 140, Besluit van 24 februari 1996, houdende regels voor het lozen van stedelijk afvalwater (Lozingenbesluit WVO stedelijk afvalwater).

Staatscourant 95, 24 mei 1994. Interventiewaarden bodemsanering.

Versteegh, J.F.M., F.W. van Gaalen en D.M. Beuting, 1994. *De kwaliteit van het drinkwater in Nederland, in 1994.* RIVM en Inspectie Milieuhygiene, RIVM rapportnr. 731011010, 1996.

De Waal Malefijt, A.J.W., 1982. *Cadmium, chroom, koper, lood, nikkel en zink in huishoudelijk afvalwater en in af te voeren neerslag.* H2O (15), 1982, nr. 14, pp 355-361.

WCED (World Commission on Environment and Development), 1988. *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.

Zwolsman, G., 1996. *Chemische kwaliteit van de rijkswateren. Ontwikkeling van de waterkwaliteit van Rijn, Maas en IJsselmeer 1971-1993.* Landschap nummer 3, 1996.

Deventer, 11 april 1997
RAP\961774.wp1\v
Projectnummer 70130.43

Water in de stad; gescheiden waterstromen

Bijlagen

Deventer, 9 april 1997
RAP\961778.wp1\m
Projectnummer 70130.43-R2/b

INHOUD

Bijlage 1	Berekening waterbalansen
Bijlage 2	Berekening stofbalansen
Bijlage 3	Waterbalansen
Bijlage 4	Stofbalansen
Bijlage 5	Discussie Simulatieresultaten
Bijlage 6	Dimensionering en kostenraming van de afvalwaterbehandelingstechnieken
Bijlage 7	Overzicht van de varianten

Bijlage 1

Berekening van de waterbalansen

1.1 Inleiding

De waterbalansen in stedelijk gebied zijn opgesteld door de rekenresultaten van de modellen TAUWSIM en BALANS te combineren. Hierbij zijn oppervlaktewater, grondwater en riolering met TAUWSIM gesimuleerd. Met BALANS zijn de overstort- en effluentdebieten berekend. Dit omdat TAUWSIM niet huishoudelijk afvalwater in beschouwing neemt. Beide modellen zijn nader toegelicht in paragraaf 1.2 respectievelijk 1.3 van deze bijlage.

1.2 TAUWSIM

1.2.1 Filosofie

Behoefte
Bij integraal waterbeheer spelen de waterstromen in en tussen de verschillende compartimenten een belangrijke rol. Hierdoor hebben studies binnen het integrale waterbeheer vaak een complex karakter. Programma's die een dergelijk complex systeem kunnen simuleren waren er enkele jaren geleden nog niet. Met de toenemende belangstelling voor integraal waterbeheer is echter een duidelijke behoefte ontstaan aan dergelijke programma's.
Het programma TAUWSIM (TAUw Waterbeheer SImulatie Model) is een systeemdynamisch model, dat speciaal ontworpen is voor toepassingen binnen het integrale waterbeheer.

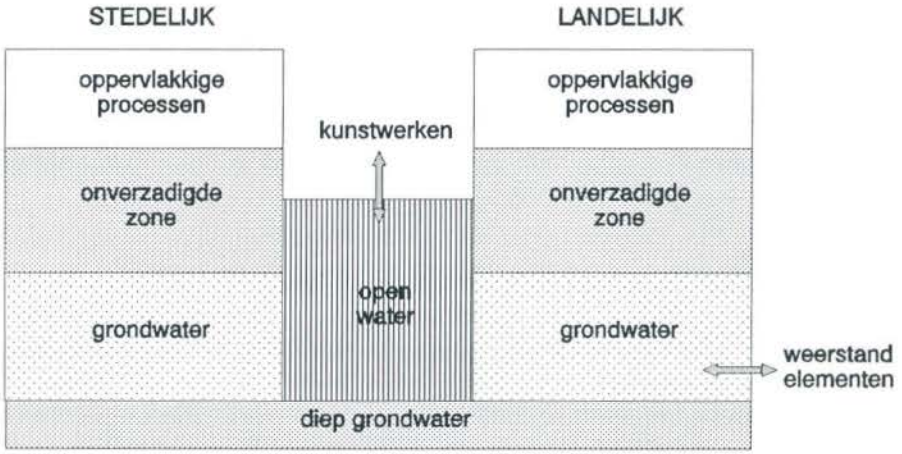
Schematisatie
Het programma TAUWSIM beoogt een programma te zijn waarmee een snel inzicht kan worden verkregen in de werking van complexe waterhuishoudkundige systemen. Hiertoe worden de compartimenten oppervlaktewater, onverzadigde zone, freatisch grondwater en riolering gekoppeld doorgerekend. Het waterhuishoudkundig systeem wordt daarbij geschematiseerd als een aaneenschakeling van peilgebieden, kunstwerken en weerstandselementen: een zogenaamd 'bakkenmodel'.
Bij een opgegeven reeks voor neerslag en verdamping en een bekend verloop van stijghoogten in het diepe grondwater worden langdurige reeksen van debieten, waterstanden en grondwaterstanden berekend en kan een waterbalans worden opgesteld.

Ten behoeve van een overzichtelijk programma en snelle berekening is gekozen voor een verantwoorde vereenvoudiging van de meeste processen en een expliciete rekenwijze. Dit geeft echter de beperking dat de verschillende compartimenten niet zo exact kunnen worden doorgerekend als in modellen, welke zich alleen op één compartiment richten en daarbij impliciet rekenen. Voor het verkrijgen van een snel inzicht in de veranderingen binnen het totale systeem als gevolg van een ingreep is deze methode echter zeer bevredigend.

TAUWSIM is opgebouwd in de vorm van een bakkenmodel. Dit betekent dat de verschillende peilgebieden worden beschouwd als bakken met een bepaalde oppervlakte open water, landelijk en stedelijk gebied, waarbij slechts één waterstand en (voor zowel landelijk als stedelijk) één grondwa-

terstand worden berekend. Er wordt daardoor in principe geen rekening gehouden met maaiveldhoogteverschillen, verhang of opbolling van de grondwaterstand binnen een peilgebied.
Binnen elk peilgebied zijn verschillende compartimenten onderscheiden: het oppervlaktewater, het grondwater, de onverzadigde zone en het gebied met oppervlakkige processen (boven maaiveld alsmede riolering).
In elk compartiment spelen zich verschillende processen af. Onderling zijn de compartimenten ook via processen verbonden. Het gehele peilgebied staat in verbinding met andere peilgebieden via stuwen, duikers, pompen en weerstandselementen en met het diepe grondwater eveneens via een weerstandselement.
De invoer wordt per peilgebied opgegeven.
Tijdens de simulatie worden de processen binnen de compartimenten elke tijdstap na elkaar doorgerekend (expliciet).

De onderstaande figuur geeft schematisch de relaties weer binnen een peilgebied en tussen peilgebieden.



Figuur B1.1 Schematische weergave van de relaties binnen een peilgebied.

1.2.2 Gebruik

Toepassingsmogelijkheden
Het programma TAUWSIM is in eerste instantie ontworpen voor het oplossen van integrale waterbeheersingsvraagstukken in poldergebieden. Met dit programma kunnen de gevolgen van ingrepen in de waterbeheersing in het landelijk of stedelijk gebied worden berekend. Uitgestrekte vlakke gebieden met duidelijk te onderscheiden poldergebieden en een afdekkend pakket in de bodemopbouw zijn in TAUWSIM op eenvoudige wijze te modelleren. Met de aanpassingen, welke voor de versie 3.0 zijn gedaan, is het eveneens mogelijk om (hellende) zandgebieden te modelleren, wanneer deze een afdekkend of ondiep gelegen waterscheidend pakket hebben of wanneer deze slechts één watervoerend pakket hebben.

De schaal waarop het model wordt gemaakt, is afhankelijk van de probleemstelling en van de variatie in fysische kenmerken van het te modelleren gebied. Poldergebieden worden over het algemeen op grotere schaal gemodelleerd, terwijl hellende zandgebieden op kleine schaal gemodelleerd moeten worden om genoeg aan te kunnen sluiten bij de werkelijkheid.

Modelberekeningen met TAUWSIM geven geen exacte voorspellingen van mogelijke toekomstige situaties, maar geven duidelijk aan in welke richting veranderingen te verwachten zijn èn in wat voor orde van grootte de veranderingen zullen zijn.

Het gebruik van het programma TAUWSIM wordt vergemakkelijkt door een overzichtelijk menu. In het menu wordt onderscheid gemaakt tussen invoer van modelgegevens, gewenste uitvoergegevens, gegevens voor de simulatie en bestandbewerking.

Invoer
De invoer van modelgegevens in TAUWSIM kan op twee manieren gebeuren: via een menu of direct in het gegevensbestand dat voor de berekeningen gebruikt wordt. Bij gebruik van het menu wordt het gegevensbestand automatisch aangemaakt.
De modelgegevens worden in het menu opgesplitst in algemene gegevens, gebiedsparameters, parameters van kunstwerken, beregeningsgegevens en grondwaterstromingsgegevens.

Bij de algemene gegevens kan projectinformatie worden ingevoerd, evenals de keuze voor een aantal opties en de naam van het neerslagbestand.
Bij de gebiedsparameters wordt per gebied verder onderscheid gemaakt in landelijk deelgebied, stedelijk deelgebied, open water en diep grondwater.
Voor het landelijk deelgebied worden oppervlakte, naam van het bodembestand, maximale infiltratie via maaiveld, maaiveldhoogte, startwaarde grondwaterstand, ontwateringsbasis van hoofdwatergangen, perceelsloten, drainage en greppels en ontwaterings- en infiltratieweerstanden ingevoerd.

Voor het stedelijk deelgebied worden het oppervlak van het verhard gebied en het oppervlak aan onverhard gebied ingevoerd, evenals de naam van het bodembestand, maaiveldhoogte, startwaarde van de grondwaterstand, ontwateringsbases van hoofdwaterlopen, perceelsloten en drainage, ontwaterings- en infiltratieweerstanden en rioleringsgegevens.
Voor het open water zijn de invoergegevens: oppervlakte, peil, taludgetal, oeverlengte, gemiddelde diepte en startwaarde van de waterstand.
Voor het diepe grondwater kunnen een vaste stijghoogte en een c-waarde worden opgegeven, maar kan voor het gebruik van een stijghoogtereeks ook een bestandsnaam worden opgegeven.
Beregening en grondwaterstroming zijn mogelijkheden, maar hoeven niet in elke modellering te worden gebruikt.

Uitvoer
Vrijwel alle variabelen, die tijdens de simulatie worden berekend, kunnen uitgevoerd worden. Vanwege de vele mogelijkheden moet de gewenste uitvoer voor het begin van de simulatie worden opgegeven.

De uitvoer kan in de vorm van een resultatenbestand zijn, waarin de waarde van de uitvoervariabelen steeds na een op te geven interval (bijvoorbeeld 24 uur) worden weggeschreven, of in de vorm van een totalenbestand, waarin de totale en/of gemiddelde waarden van de uitvoervariabelen over de gehele simulatieperiode worden weggeschreven.
Ook kan tijdens de simulatie al een grafiek worden getekend van een aantal variabelen. Hiervoor moeten tevens de verwachtte minimale en maximale waarde van de Y-as opgegeven worden.

Presentatie van de uitvoer
De uitvoergegevens worden weggeschreven naar een resultaten- of totalenbestand. Deze bestanden zijn in ASCII-formaat en met een editor gemakkelijk te bekijken.
Van gegevens uit het resultatenbestand kunnen met behulp van een hulpprogramma grafieken gemaakt worden om het verloop van de verschillende uitvoervariabelen te bekijken. Het combineren van verschillende grafieken of het verder bewerken van de gegevens tot bijvoorbeeld onderschrijdingslijnen kan gedaan worden door de ASCII-bestanden in een spreatsheetprogramma binnen te halen.

1.2.3 Processen

Oppervlakkige processen
Onder oppervlakkige processen worden hier processen verstaan die op of aan het maaiveld plaatsvinden. In het landelijk deelgebied is er een mogelijkheid dat er water op het maaiveld blijft staan. In dat geval wordt de ruimte boven het maaiveld de "ponding" genoemd. In het stedelijk deelgebied wordt aangenomen dat er nooit water op het maaiveld zal blijven staan. Het stedelijk deelgebied heeft daarom geen "ponding"-mogelijkheid.

Neerslag valt op het maaiveld (of de ponding), door verdamping verdwijnt hier water. Het netto neerslagoverschot zakt door het maaiveld naar de wortelzone (infiltratie via maaiveld), waarbij in het landelijk deelgebied hieraan een maximum waarde wordt gesteld. Overschrijdt het neerslagoverschot de maximale infiltratie via maaiveld, dan blijft er water in de ponding achter. Dit water stroomt direct af naar de waterloop (surface runoff), tenzij de waterstand in de waterloop eveneens boven maaiveld komt. Wanneer het water vanuit de waterloop over het maaiveld stroomt, of het grondwater zo hoog stijgt dat het boven maaiveld uit komt, wordt dit inundatie genoemd.

Het stedelijk deelgebied kent een onverhard en een verhard deel. Het onverharde deel van het stedelijk deelgebied is in principe gelijk aan het landelijk deelgebied, afgezien van de mogelijkheid tot "ponding". Al het overtollige water op het maaiveld wordt direct afgevoerd naar de waterlopen, ook als dit betekent dat de waterstand in de waterlopen boven het maaiveld uit zou stijgen. De gebruiker moet in dit geval het probleem zelf onderkennen en zo nodig het model veranderen, zodat de te hoge waterstanden niet meer voorkomen. In principe zal het stedelijk deelgebied echter nooit onder water komen te staan. Het stedelijk deelgebied kent om deze reden ook geen maximale infiltratie via maaiveld.

In het verharde deel van het stedelijk deelgebied wordt de neerslag via een rioolsysteem afgevoerd. Het type rioolsysteem bepaalt waarheen de neerslag wordt afgevoerd. Bij een gemengd stelsel gaat alle neerslag naar de RWZI en dus uit het model, tenzij de bergingscapaciteit in het riool te klein is en er een rioolwateroverstort naar het open water plaatsvindt. Bij een gescheiden stelsel gaat alle neerslag direct naar het open water. Bij een verbeterd gescheiden stelsel worden de eerste drie millimeter neerslag van een bui naar de RWZI afgevoerd en wordt de rest op het open water geloosd. Naast deze bekende rioolstelsels is er de mogelijkheid van een afgekoppeld stelsel, waarbij de neerslag op het verharde oppervlak via een infiltratiesysteem direct naar het grondwater wordt geleid.

Bodemwater
Het water in de grond bestaat uit water in de wortelzone, water in de onverzadigde zone (hangwater) en water in de verzadigde zone (grondwater).

Onverzadigde zone
Het vochtgehalte van de wortelzone wordt met behulp van een tabel uit het bodembestand bepaald aan de hand van de grondwaterstand en de capillaire opstijging, die eveneens uit een tabel uit het bodembestand bepaald wordt. Wanneer ervoor wordt gekozen te rekenen met onverzadigde zone wordt de hoeveelheid hangwater ook met behulp van het bodembestand bepaald.

Grondwater
De grondwaterstand wordt berekend via de verandering van de berging in het grondwater en de bergingscoëfficiënt, welke in het bodembestand staat. Hiertoe wordt voor elke tijdstap de verandering van de berging bepaald door berekening van de verschillende stromen naar en van het grondwater.

Het grondwater wordt vanuit de wortelzone aangevuld via percolatie en verliest water via capillaire opstijging. Vanuit het open water kan infiltratie naar het grondwater optreden en omgekeerd kan er ontwatering optreden. Uitwisseling met het diepe grondwater wordt kwel of wegzijging genoemd. Zowel de uitwisseling met het open water als met het diepe grondwater is afhankelijk van het berekende stijghoogteverschil en een op te geven weerstand. In het stedelijk deelgebied kan het grondwater ook aangevuld worden door infiltratie vanuit een afgekoppeld rioolsysteem. Vanuit het grondwater kan beregening plaatsvinden. Een hoeveelheid water wordt dan aan het grondwater onttrokken en op het maaiveld gebracht, waarna het weer kan infiltreren en percoleren naar het grondwater.
Wanneer de grondwaterstand boven de onderkant van de wortelzone komt, zal het overtollige water inunderen en zodoende in de ponding terechtkomen. De wortelzone is in dat geval ook geheel verzadigd.

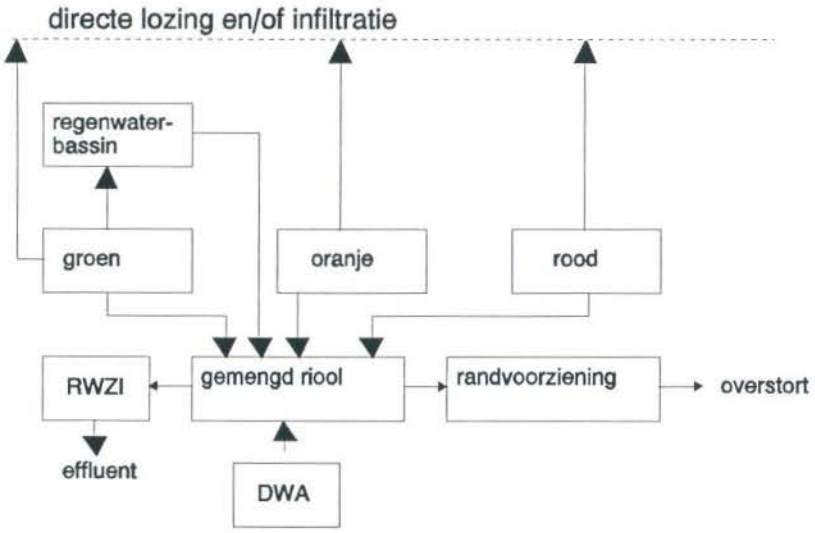
Oppervlaktewater en kunstwerken
De waterstand in het open water wordt berekend aan de hand van de inhoudsverandering en de opgegeven dimensies van de waterloop. De inhoudsverandering wordt in dit geval berekend uit neerslag en verdamping,

infiltratie naar of ontwatering vanuit het grondwater, rioolwateroverstorten, surface-runoff of inundatie en debieten die door kunstwerken binnenkomen of verdwijnen. De debieten door de kunstwerken zijn afhankelijk van het soort kunstwerk, de parameters van het kunstwerk en voor sommige kunstwerken ook het waterstandsverschil tussen de gebieden aan beide zijden van het kunstwerk.
N.B. Wanneer de waterstand onder het opgegeven bodemniveau komt wordt er een negatieve inhoud berekent en loopt het programma vast. Er wordt nog gezocht naar een afdoende oplossing voor dit probleem.

1.3 Balans

1.3.1 Filosofie

BALANS is een computermodel waarmee de vuiluitworp vanuit een rioolstelsel op oppervlaktewater en de effluentvracht kunnen worden berekend. Het model is geen nauwkeurig rioolvuiluitworpmodel dat om een grote hoeveelheid invoergegevens vraagt, maar een bakkenmodel dat vier waterstromen in stedelijk gebied administreert. In het model kan onderscheid worden gemaakt tussen een gemengd, een gescheiden en een verbeterd gescheiden rioolstelsel, waarbij de berging en pompovercapaciteit kunnen worden opgegeven. Voor de situatie dat een gemengd rioolstelsel wordt gesimuleerd is het stroomschema van het model BALANS in figuur B1.2 weergegeven.



groen : verhard oppervlak/kwaliteit groen
oranje : verhard oppervlak/kwaliteit oranje
rood : verhard oppervlak/kwaliteit rood
DWA : droogweerafvoer

Figuur B1.2 Schematisatie van het model BALANS.

In het model is het gemengde rioolstelsel geschematiseerd als één bak. Deze bak kan worden gevoed door vier bronnen of waterstromen: DWA, rood water, oranje water en groen water. Hierbij is DWA de droogweerafvoer. Het resterende water (rood, oranje en groen) is regenwater dat van verhard oppervlak afstroomt. Het water (DWA, rood, oranje en groen) wordt volledig gemengd en kan het twee kanten op: richting RWZI en richting oppervlaktewater. Daarbij is het mogelijk een bergbezinkbassin als randvoorziening te definiëren. Rood, oranje en groen water kunnen ook naar oppervlaktewater en/of infiltratievoorzieningen worden afgevoerd. Hiermee kunnen de effecten van afkoppelen van verhard oppervlak worden gesimuleerd. Regenwater dat op onverhard oppervlak terecht komt blijft volledig buiten beschouwing.

Het gescheiden en verbeterd gescheiden rioolstelsel zijn in tegenstelling tot het gemengde rioolstelsel in BALANS geschematiseerd als twee bakken. Eén bak is het vuilwaterriool en wordt gevoed door DWA, terwijl de andere bak het regenwaterriool is en wordt gevoed door regenwater. Net als bij het gemengde rioolstelsel kan ook bij het gescheiden en verbeterd gescheiden rioolstelsel regenwater direct worden afgevoerd naar oppervlaktewater en/of infiltratievoorziening.

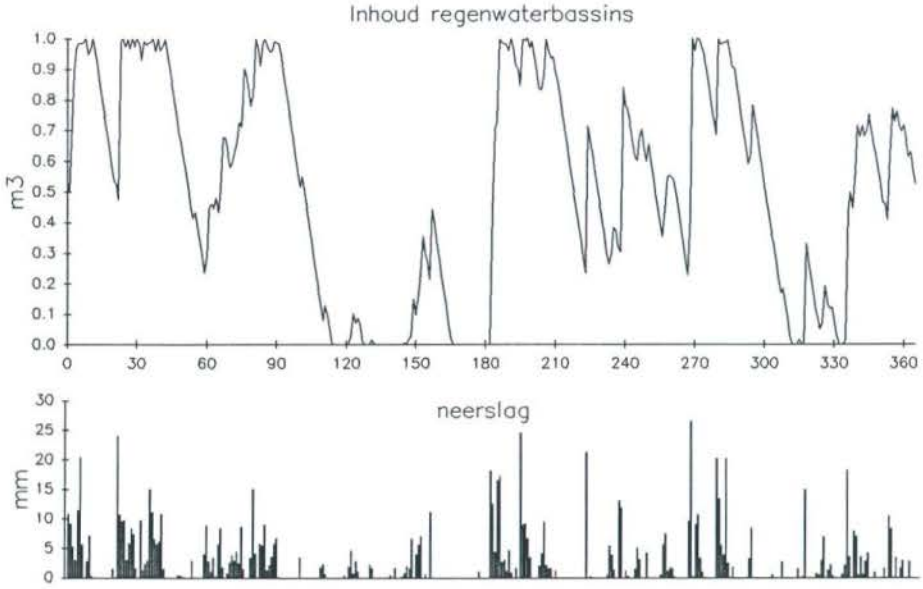
Voor groen water is tevens een mogelijkheid aanwezig voor regenwaterbenutting ten behoeve van bijvoorbeeld toiletspoeling. Regenwater dat van dakoppervlak afstroomt, wordt dan afgevoerd naar een regenwaterbassin, waarin het tijdelijk wordt opgeslagen. Hierbij kan het volume van het regenwaterbassin, het daarop aangesloten verhard oppervlak en de aan het bassin te onttrekken hoeveelheid water worden gevarieerd. Na benutting wordt het water als afvalwater afgevoerd naar het rioolstelsel. Als voorbeeld is in figuur B1.3 de in een regenwaterbassin van 1 m^3 opgeslagen hoeveelheid regenwater (inhoud regenwaterbassin) en de neerslag als functie van de tijd weergegeven.

Uit de figuur volgt dat slechts gedurende een beperkte periode het bassin leeg is. Op dat moment moet drinkwater worden gebruikt voor toiletspoeling.

1.3.2 Processen

De afvoercoëfficiënt voor verhard oppervlak is in het model gelijk aan één, zodat geen vertraging en/of verlies van afstromend regenwater anders dan door bewuste afkoppeling kan worden gesimuleerd. Hierdoor wordt ten opzichte van praktijksituaties te veel regenwater afgevoerd naar rioolstelsels, regenwaterbassins, oppervlaktewater en infiltratievoorzieningen. Met name bij weinig intensieve buien wordt de afvoer overschat. De overschatting van de afvoer resulteert in een sneller optredende overstortsituatie.

In het model is ideale menging van de waterstromen verondersteld. Deze veronderstelling betekent dat dichtheidsstromen niet worden beschouwd en dat gesuspendeerd materiaal homogeen verdeeld is. Uitzakken van gesuspendeerd materiaal kan niet worden gemodelleerd.



Figuur B1.3 Inhoud regenwaterbassin en de neerslag als functie van de tijd in dagen.

Bijlage 2

Berekening van de stofbalansen

2.1 Inleiding

In bijlage 1 is beschreven dat met een combinatie van TAUWSIM en BALANS de waterbalansen zijn berekend. De stofbalansen zijn vervolgens berekend door aan de verschillende waterstromen, zoals DWA, inlaatwater, neerslag, enz., een waterkwaliteit toe te kennen. Hierbij zijn acht parameters onderscheiden, namelijk: chemisch zuurstofverbruik (CZV), zwevend stof (SS), totaal stikstof (N-tot), totaal fosfaat (P-tot), minerale olie (olie), koper (Cu), zink (Zn) en de 10 PAK van het Ministerie van VROM (PAK (10)).

Achtereenvolgens worden in deze bijlage de volgende onderwerpen behandeld:
- kwaliteit van het inlaatwater;
- kwaliteit van het afstromend regenwater;
- kwaliteit van het drink- en afvalwater;
- kwaliteit van de neerslag;
- bronmaatregelen.

2.2 Kwaliteit van het inlaatwater

Met het inlaten van water naar stedelijke en landelijke gebieden in 'laag' Nederland worden niet alleen de waterstanden in droge perioden op peil gehouden, maar worden tevens in meer of mindere mate verontreinigingen aangevoerd. Afhankelijk van de kwaliteit en debiet van het inlaatwater zal in inlaten van water in meer of mindere mate de waterkwaliteit van het ontvangende watersysteem beïnvloeden. In de bekensystemen van 'hoog' Nederland wordt niet zozeer water ingelaten voor peilbeheer, maar wordt water van bovenstrooms naar benedenstroom door het gebied heen getransporteerd. Er is in feite sprake van een "doorvoer" van water. Wel kan het water bijvoorbeeld in droge perioden in het gebied worden gestuwd. Het mag duidelijk zijn dat in laag Nederland het inlaten van water doorgaans eenvoudiger is te beperken dan de doorvoer in hoog Nederland.

Omdat de kwaliteit van inlaat- of doorvoerwater van plaats tot plaats kan verschillen èn toch voor de referentiegebieden een zo representatief mogelijk beeld moet worden geschetst is er voor gekozen om drie 'kwaliteiten' van inlaat-/doorvoerwater te gebruiken. Deze zijn:
- inlaatwater voor de referentiegebieden in laag Nederland;
- doorvoerwater van een beek met een gering bovenstroomsgebied;
- doorvoerwater van een beek met een aanzienlijk bovenstroomsgebied.

Voor inlaatwater is de waterkwaliteit van het Rijnwater representatief gesteld. Dit is gedaan op basis van de veronderstelling dat het overgrote deel van het in te laten water in Nederland afkomstig is van de Rijn. Uit metingen van de waterkwaliteit blijkt dat het Rijnwater niet of nauwelijks onderhevig is aan grote veranderingen. Het grote debiet, de korte verblijftijd van het water in de riviertakken (2 tot 5 dagen), de geringe sedimentatie en het ontbreken van grote lozingen tot aan de Nieuwe Waterweg is hieraan debet. Dit betekent in het algemeen dat de waterkwaliteit bij Lobith als representatief mag worden geacht voor alle riviertakken, behalve

voor de (gestuwde) Neder-Rijn tijdens semi stagnante situaties in de zomer (Zwolsman, 1996). Tijdens het transport van de rijkswateren naar de locatie waar het wordt ingelaten, zal het Rijnwater van kwaliteit veranderen. Door agrarische activiteiten kunnen bijvoorbeeld nutriënten aan het water worden toegevoegd. Ook kunnen verontreinigingen door sedimentatie, adsorptie en omzetting tijdens het transport uit het water worden verwijderd.

Voor de bekensystemen is onderscheid gemaakt tussen een bovenloop en een midden-/benedenloop. De bovenloop en midden-/benedenloop worden voor de referentiegebieden 'nieuwbouw hoog Nederland' respectievelijk 'bestaand hoog Nederland' gebruikt. Bij de midden-/benedenloop is de waterkwaliteit van de beek al beïnvloed door lozingen uit stedelijkgebied (overstortingen, effluentlozingen). Dit is niet het geval bij de bovenloop. In het geselecteerde buitengebied kan water worden ingelaten vanuit een beek. Voor deze beek is de waterkwaliteit van de midden-/benedenloop representatief gesteld.

In tabel B2.1 zijn de gebruikte waterkwaliteitsgegevens per referentiegebied weergegeven.

Tabel B2.1 Kwaliteit van het inlaat- en doorvoerwater.

Parameter		Bestaand laag	Bestaand hoog	Nieuwbouw laag	Nieuwbouw hoog	Buitengebied
CZV	mg O_2/l	15	10,3	15	8,4	10,3
SS	mg/l	33	5,1	33	7,6[2]	5,1
N-tot	mg N/l	3,3	13,6	3,3	5,8	13,6
P-tot	mg P/l	0,20	1,12	0,20	0,08	1,12
olie	mg/l	1	1	1	0	1
Cu	µg/l	5,1	3,0	5,1	2,35	3,0
Zn	µg/l	25,0	32	25,0	8,5	32
PAK[1]	µg/l	0,12	0,064	0,12	0,045	0,064

1 Met PAK de 10 PAK volgens het Ministerie van VROM.
2 Concentratie is afhankelijk van stroomsnelheid.

2.3 Kwaliteit van afstromend regenwater

Tijdens neerslagsituaties stromen verontreinigingen van verharde oppervlakken af, waardoor de verontreinigingslast in afstromend regenwater groter is dan de verontreinigslast in neerslag. De hoeveelheid verontreinigingen die tijdens neerslagsituaties van verhard oppervlak afstroomt, is afhankelijk van factoren als: neerslagintensiteit, oplosbaarheid, sorptiegedrag, reactie met andere componenten, pH, helling van het verharde oppervlak, droge depositie, enz. Hieruit volgt dat de kwaliteit van afstromend regenwater onder andere wordt bepaald door het soort verhard oppervlak waar het regenwater van afstroomt. In het model BALANS (zie bijlage 1) worden daarom drie 'kwaliteiten' van afstromend regenwater onderscheiden, namelijk: groen, oranje en rood. Hierbij staat groen voor de meest

schone verharde oppervlakken en rood voor de meest verontreinigde verharde oppervlakken.

Zowel in binnen- als buitenland zijn verschillende meetcampagnes uitgevoerd ter bepaling van de kwaliteit van afstromend regenwater. Door mogelijke verschillen tussen de kwaliteit van neerslag, droge depositie, bouwstijl, wegoppervlak, onderhoud van verhard oppervlak, enz. zijn de uit het buitenland afkomstige kwaliteitsgegevens van afstromend regenwater niet zonder meer extrapoleerbaar naar de Nederlandse situatie. Zo wordt in Zwitserland nog al eens koper gebruikt voor dakgoten en regenpijpen. Dit leidt tot hoge koperconcentraties in van dakoppervlak afstromend regenwater. In Nederland daarentegen wordt doorgaans zink gebruikt voor dakgoten, hetgeen nog al eens leidt tot hoge zinkconcentraties in van dakoppervlak afstromend regenwater. De voorkeur gaat daarom uit naar in Nederland gemeten waarden.

Tijdens het opstellen van de "Leidraad aan- en afkoppelen verharde oppervlakken" (Lambrechts en De Jong, 1996) zijn waterkwaliteitsbeheerders in Nederland aangeschreven met het verzoek om gegevens met betrekking tot de kwaliteit van afstromend regenwater ter beschikking te stellen. Uit de resultaten van de enquête blijkt dat de thema 7 rapporten van de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (NWRW) vooralsnog de belangrijkste bron van gegevens is. De NWRW heeft van verschillende soorten verhard oppervlak afstromend regenwater bemonsterd en daarvan de kwaliteit bepaald. Per bemonsteringslocatie zijn tijdens 2 tot 4 neerslagsituaties monsters genomen van afstromend regenwater. Uit de analyseresultaten blijkt dat met name de spreiding in de concentraties zware metalen groot is.

Op grond van de grondproductiekostenindex, het CUWVO-referentiestelsel en kwaliteitsgegevens van afstromend regenwater is gesteld dat 50% van het verharde oppervlak de kwaliteit 'groen' heeft, dat 30% van het verharde oppervlak de kwaliteit 'oranje' heeft en dat de resterende 20% van het verharde oppervlak de kwaliteit 'rood' heeft. Bij groene oppervlakken wordt gedacht aan dakoppervlakken en voet-/fietspaden, bij oranje oppervlakken wordt gedacht aan rustige straten (klinkerverharding) en bij rode oppervlakken wordt gedacht aan drukkere ontsluitingswegen en parkeerplaatsen. Voor het buitengebied is een andere verdeling tussen groen, oranje en rood oppervlak aangehouden. Verondersteld is dat dakoppervlakken tot de groene oppervlakken kunnen worden gerekend, erfoppervlakken tot de oranje en (provinciale) wegoppervlakken tot de rode oppervlakken. In tabel B2.2 is de gehanteerde verdeling weergegeven.

Tabel B2.2 Verdeling verharde oppervlakken per referentiegebied.

Verdeling verharde oppervlakken per referentiegebied naar kwaliteit van afstromend regenwater			
	Groen	Oranje	Rood
Bestaand laag	50%	30%	20%
Bestaand hoog	50%	30%	20%
Nieuwbouw laag	50%	30%	20%
Nieuwbouw hoog	50%	30%	20%
Buitengebied	20%	20%	60%

In tabel B2.3 is de gebruikte kwaliteit van afstromend regenwater weergegeven. De kwaliteit van afstromend regenwater is ontleend aan resultaten van de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (thema 7.2.1). Alleen de concentraties van P-tot zijn ontleend aan "Verbeterd gescheiden stelsel versus gescheiden stelsel met helofytenfilter" van Riolering en Waterhuishouding Amsterdam (oktober 1994).

Tabel B2.3 Kwaliteit van afstromend regenwater.

Gidsparameter		'Soort' verhard oppervlak		
		Groen	Oranje	Rood
CZV	mg O_2/l	13	15	67
SS	mg/l	5	44	106
N-tot	mg N/l	2	1,2	1,4
P-tot	mg P/l	0,3	0,3	0,3
olie	mg/l	0[1]	0,8	3,3
Cu	µg/l	5	12	62
Zn	µg/l	465	150	136
PAK	µg/l	0,4	8,8	2,5

1 Niet geanalyseerd op olie tijdens de NWRW-studie, maar wordt verwaarloosbaar verondersteld.

De zinkconcentratie van kwaliteit 'groen' is hoog in vergelijking met de zinkconcentraties van de andere 'kwaliteiten'. Het uitlogen van zinken dakgoten is hieraan debet. Door het treffen van bronmaatregelen kan de zinkconcentratie sterk worden gereduceerd, zie verder hoofdstuk 6 van deze bijlage.

2.4 Kwaliteit van drink- en afvalwater

Drinkwater dat in woningen uit een tappunt komt, bijvoorbeeld een kraan of douche, heeft een bepaalde kwaliteit. Deze kwaliteit is het resultaat van de met reinwater aangevoerde verontreinigingsvrachten en de afgifte van leidingmateriaal. Door drinkwater te gebruiken voor douchen, het doorspoelen van toiletten, voedselbereiding, enz. worden stoffen aan het water toegevoegd en raakt het in dusdanige mate verontreinigd dat het als afval-

water[1] wordt afgevoerd. Binnen het afvalwater kan onderscheid worden gemaakt in zwart en grijs water. Zwartwater is het afvalwater dat via toiletten wordt geloosd naar het rioolstelsel. Grijswater is het overige afvalwater dat vanuit woningen wordt geloosd. Het gebruikte drinkwater komt bijna in zijn geheel (uitgezonderd besproeiing van tuinen, wassen van voertuigen) in het riool terecht (Brink et al, 1995). In tabel B2.4 is het drinkwatergebruik per persoon uitgesplitst naar gebruik weergegeven.

Tabel B2.4 Drinkwatergebruik per persoon per dag (bron: NIPO, 1992).

Toepassing van drinkwater	Gebruik in l/inw/d
Douche	39,5
Bad	8,0
Wastafel	3,7
Toiletspoeling	42,7
Wassen, hand	2,5
Wassen, machine	23,2
Afwassen, hand	8,8
Afwassen, machine	0,7
Voedselbereiding	2,6
Overig	3,3
Totaal	135,0

Kwaliteit reinwater

In tabel B2.5 zijn waarden opgenomen van de kwaliteit van reinwater. De gegevens zijn ontleend aan meetresultaten van vijf waterleidingbedrijven (NUON water, WOG, WOB, WMN en WZHO). De kwaliteit van het reinwater wordt niet geanalyseerd op de gidsparameters chemisch zuurstofverbruik (CZV), zwevend stof (SS), olie en PAK. Omdat deze stoffen niet in reinwater behoren te zitten zijn de concentraties op nul gesteld. De kwaliteit van N-tot is gebaseerd op de som van ammonium, nitraat en nitriet en is omgerekend naar mg N/l.

Tabel B2.5 Kwaliteit van het reinwater.

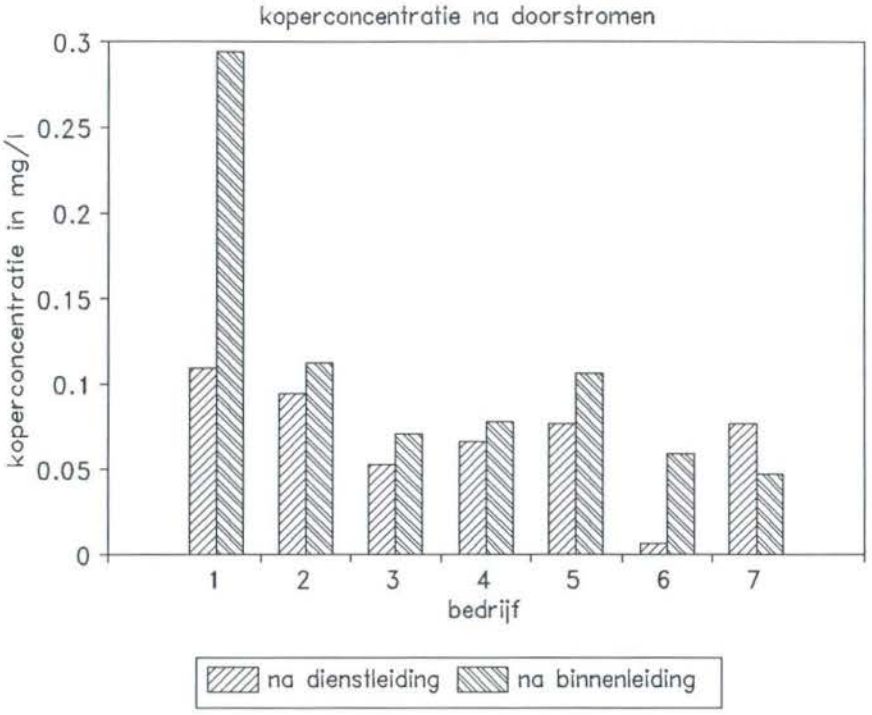
Gidsparameter		Literatuur	Gehanteerde waarde
CZV	mg O_2/l	niet gemeten	0
SS	mg/l	niet gemeten	0
N-tot	mg N/l	0,22 - 2,42	1,5
P-tot	mg P/l	0,010 - 0,053	0,04
olie	mg/l	niet gemeten	0
Cu	µg/l	<5 - 12,5	8
Zn	µg/l	6,2 -	6
PAK	µg/l	niet gemeten	0

[1] In deze studie wordt alleen huishoudelijk afvalwater in beschouwing genomen. In de tekst is daarom huishoudelijk afvalwater 'afgekort' tot afvalwater.

De kwaliteit van reinwater is gebaseerd op gegevens van De Waal Malefijt (1982), NUON Water, de WOG en de WOB. In tabel B2.5 zijn de kwaliteitsgegevens weergegeven.

Afgifte van leidingmateriaal
De afgifte van leidingmateriaal wordt onder meer bepaald door het soort materiaal. In Nederland wordt met name koper op grote schaal toegepast voor drinkwaterinstallaties en dienstleidingen. Brink et al (1995) schat dat bij 85% van de circa 6 miljoen drinkwaterinstallaties in Nederland koper als leidingmateriaal is gebruikt. Circa 10% van de drinkwaterinstallaties bestaat uit lood en het resterende deel bestaat uit materialen als PVC/PE. De dienstleidingen bestaan uit koper, lood, PVC en polyetheen. Hierbij wordt onder een dienstleiding de verbinding tussen de distributieleiding in de straat en de hoofdkraan van een aangesloten pand verstaan. Naast het toegepaste leidingmateriaal wordt de afgifte ook beïnvloed door de verblijftijd van water in leidingen, de pH, de hardheid en de temperatuur. Van de beschouwde gidsparameters zijn in de geraadpleegde literatuur alleen koper en zink in verband gebracht met de afgifte van leidingen. De overige gidsparameters zijn niet in verband gebracht met de afgifte van leidingmateriaal.

De koperconcentraties in reinwater zijn doorgaans gering. Brink et al (1995) melden dat de koperconcentratie in het drinkwater na een koperen dienstleiding sterk is toegenomen en vervolgens nog verder toeneemt in de drinkwaterinstallatie, zie figuur B2.1. Echter ook bij aansluitingen waar geen koperen dienstleiding aanwezig is, worden vrijwel dezelfde koperconcentraties in het tapwater gemeten. De toename van de koperconcentratie wordt dan volledig toegeschreven aan de drinkwaterinstallatie. De maximum koperconcentratie in drinkwater wordt aangeduid met de term koperoplossend vermogen. Brink et al (1995) hebben een schatting gemaakt van het koperoplossend vermogen van drinkwater in Nederland. De resultaten van de schatting geven aan dat circa 34% van het drinkwater een koperoplossend vermogen heeft kleiner dan 0,5 mg/l, circa 54% heeft een koperoplossend vermogen van 1,5 à 3,0 mg/l en de resterende 12% heeft een koperoplossend vermogen groter dan 3,0 mg/l. Voor een oplossend vermogen van circa 2,5 mg/l wordt deze waarde bij stilstaand water na circa 30 uur bereikt. Door de pH en/of het waterstofcarbonaatgehalte van drinkwater aan te passen kan het koperoplossend vermogen worden verminderd. Dit wordt ook wel conditioneren genoemd. Hiervoor komen processen als ontzuren en ontharden in aanmerking. Door conditioneren wordt niet alleen de koperafgifte gereduceerd, maar ook de loodafgifte.



Figuur B2.1 Koperconcentratie na doorstromen in panden met koperen dienstleidingen en drinkwaterinstallaties (gegevens van 7 waterleidingbedrijven; Brink et al, 1995).

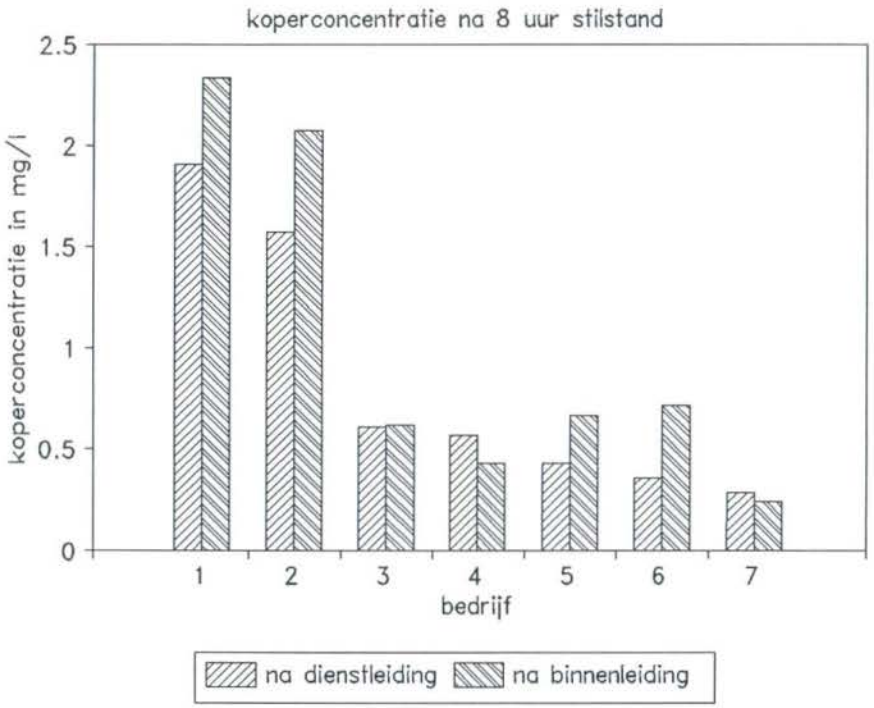
Voor het jaar 1993 is de corrosie van koper vanuit leidingen in woningen becijferd op circa 83.500 kg (PROMISE, 1995). Met een bevolkingsomvang van circa 15,24 miljoen in 1993 resulteert dit in een koperafgifte van circa 5.480 mg/inw/j. De Waal Malefijt (1982) schatte de bijdrage van koper in afvalwater door corrosie van leidingen op circa 6.090 mg/inw/j. Deze schatting is onder meer gebaseerd op een drinkwatergebruik van 135 l/inw/d waarvan 110 l/inw/d wordt afgevoerd als afvalwater. Voor het tappunt (135 l/inw/d) resulteert dit dan in een kopervracht door corrosie van 7470 mg/inw/j.

De zinkvracht in afvalwater door corrosie is door De Waal Malefijt (1982) geschat op 3.470 mg/inw/j. Ook deze schatting is gebaseerd op een afvalwaterproductie van 110 l/inw/d. Bij een drinkwaterproductie van 135 l/inw/d wordt de zinkvracht door corrosie 4.260 mg/inw/j.

Tabel B2.6 Zink- en koperafgifte leidingmateriaal.

Gidsparamter		De Waal Malefijt (1982)	PROMISE (1995)	Gehanteerde waarde
Cu	mg/inw/d	20,5	15,0	15,0
Zn	mg/inw/d	11,7	nb	11,7

Door drinkwaterbesparende maatregelen zal zonder aanpassingen aan het leidingennet de verblijftijd van drinkwater in net toenemen. Dit betekent dat het drinkwater gemiddeld langer zal stilstaan in een leiding. Dit kan vervolgens leiden tot hogere koperconcentraties in het tapwater, zie figuur B2.1 en B2.2. Bij drinkwaterbesparende maatregelen zal de kopervracht door de afgifte van leidingmateriaal hoogst waarschijnlijk niet evenredig afnemen met het drinkwatergebruik, maar eerder gelijk zal blijven. *Op basis van deze bevinding is in aangenomen dat de koperafgifte door koperen leidingen onafhankelijk is van drinkwaterbesparende maatregelen. Ook voor de zinkafgifte is verondersteld dat deze onafhankelijk is van drinkwaterbesparende maatregelen.*



Figuur B2.2 Koperconcentratie na 8 uur stilstand in panden met koperen dienstleidingen en binneninstallaties (gegevens van 7 waterleidingbedrijven; Brink et al, 1995).

Verontreiniging van het drinkwater door huishoudelijke toepassingen
De vrachten die door douchen, het doorspoelen van toiletten, voedselbereiding, enz. worden toegevoegd aan het drinkwater zijn in tabel B2.7 weergegeven. Hierbij is waar mogelijk onderscheid gemaakt in vrachten die via grijswater en vrachten die via zwartwater worden geloosd. Hierbij wordt onder zwartwater uitsluitend door het toilet gespoeld water verstaan. Onder grijswater wordt het overige huishoudelijke afvalwater geschaard.

Tabel B2.7 Aan drinkwater toegevoegde vrachten door huishoudelijk gebruik. Hierbij is onderscheid gemaakt in zwartwater en grijswater.

Gidsparameter		Literatuur		Gehanteerde waarden	
		Zwartwater	Grijswater	Zwartwater	Grijswater
CZV	g O_2	50 - 51	42 - 75	50	50
SS	g	24	16	24	16
N-tot	g N	10,0 - 11,2	1,0 - 2,8	10	1
P-tot	g P	1,0 - 1,4	0,4 - 1,5	1,2	0,8
olie	mg	-		0	810
Cu	mg	1,7 - 2,5	-	2,1	0
Zn	mg	11 - 12	-	11,5	0
PAK	µg	-	0 - 1190	0	122

- niet in de literatuur aangetroffen, maar wordt nul verondersteld

De Waal Malefijt schat de koper- en zinkvrachten door fecaliën en urine op 910 mg/inw/j respectievelijk 4.380 mg/inw/j. Baars et al (1989) maakt op basis van resultaten van Staarink melding van koper- en zinkvrachten van 625 mg/inw/j respectievelijk 4.000 mg/inw/j.

De PAK in grijswater is waarschijnlijk afkomstig van bak- en braadprocessen.

Kwaliteit van het afvalwater

Aan de hand van de kwaliteit van reinwater, de afgifte van leidingen en de emissies door huishoudelijk gebruik van drinkwater kan de kwaliteit van afvalwater worden berekend. De berekende kwaliteit van afvalwater is in tabel B2.8 weergegeven. Daarnaast zijn in de tabel literatuurwaarden opgenomen. Deze zijn ontleend aan een RIZA-studie naar de kwaliteit van huishoudelijk afvalwater (De Jong-Hekkelman, 1992). De resultaten zijn gebaseerd op 5 onderzoeken naar de kwaliteit van huishoudelijk afvalwater.

Tabel B2.8 Kwaliteit van het afvalwater. De berekende waarden zijn gebaseerd op een drinkwatergebruik van 135 l/inw/d. De literatuurwaarden zijn inclusief standaarddeviatie weergegeven (bron: De Jong-Hekkelman, 1992, Kampf et al, 1991.

Gidsparameters		Berekend	Literatuur
CZV	mg O_2/l	741	703 ± 131
SS	mg/l	296	-
N-tot	mg N/l	83	68 ± 11
P-tot	mg P/l	15	13
olie	mg/l	6,0	5,5 ± 3,9
Cu	µg/l	135	125 ± 67
Zn	µg/l	177	171 ± 24
PAK	µg/l	0,9	0,9

Uit de tabel volgt dat de berekende waarden doorgaans goed overeenkomen met de literatuurwaarden. Dat wil zeggen de berekende waarden liggen binnen de standaarddeviatie van de literatuurwaarden.

2.5 Kwaliteit van de neerslag

In tabel B2.9 is de kwaliteit van neerslag weergegeven. De gegevens zijn ontleent aan de in 1994 uitgevoerde metingen van de chemische samenstelling van neerslag in Nederland.

Tabel B2.9 Kwaliteit van de neerslag in 1994 (Somhorst en Stolk, 1996).

Parameter	CZV[1] mg O_2/l	SS mg/l	N-tot[2] µg N/l	P-tot µg P/l	olie[1] mg/l	Cu µg/l	Zn µg/l	PAK[3] µg/l
Concentratie	0	0	475	6,2	0	1,9	13	0,4

1 Geen meetgegevens van bekend, maar worden gering verondersteld en zijn daarom gelijk aan nul gesteld.
2 N-tot is de som van Kj-N, NO_3 en NO_2. Omdat voor Kj-N en NO_2 geen meetwaarden in neerslag beschikbaar zijn, is de in tabel weergegeven waarde de concentratie van NO_3 in neerslag.
3 Bron: OASA-studie

2.6 Bronmaatregelen

2.6.1 Inleiding

In deze studie zijn twee soorten van bronmaatregelen onderscheiden:
- maatregelen die gericht zijn op de reductie van het drinkwatergebruik;
- maatregelen die gericht zijn op de reductie van de vrachten in van verhard oppervlak afstromend regenwater.

Bij de reductie van het drinkwatergebruik wordt gedacht aan maatregelen als doorstroombegrenzers op kranen, waterbesparende douchekoppen en waterbesparende toiletten. In tabel B2.10 zijn verschillende maatregelen opgenomen inclusief het waterbesparingspotentieel.

Tabel B2.10 Mogelijke technieken voor reductie van drinkwatergebruik.

Waterbesparingspotentieel ten opzichte van drinkwatergebruik van 135 l/inw/d	
Techniek	Reductie in %
Doorstroombegrenzer/perlator	3
Waterbesparende douchekop	6
Waterbesparend toilet	9
Gustavberg toilet	15
Miniflush toilet	26
Composttoilet	32
Beperking tapverlies	4 - 8
Waterbesparende wasmachine	≤ 7
Regenwaterbenutting	Afhankelijk van toepassing

De vuilvracht in van verhard oppervlak afstromend regenwater kan worden gereduceerd door het coaten van zinken dakgoten, loodslabben, straatmeubilair, enz.

2.6.2 Gehanteerde bronmaatregelen bij varianten

De gehanteerde bronmaatregelen zijn per referentiegebied en per variant in de tabellen B2.11 tot en met B2.15 opgenomen.

Tabel B2.11 Bronmaatregelen bij bestaand laag Nederland.

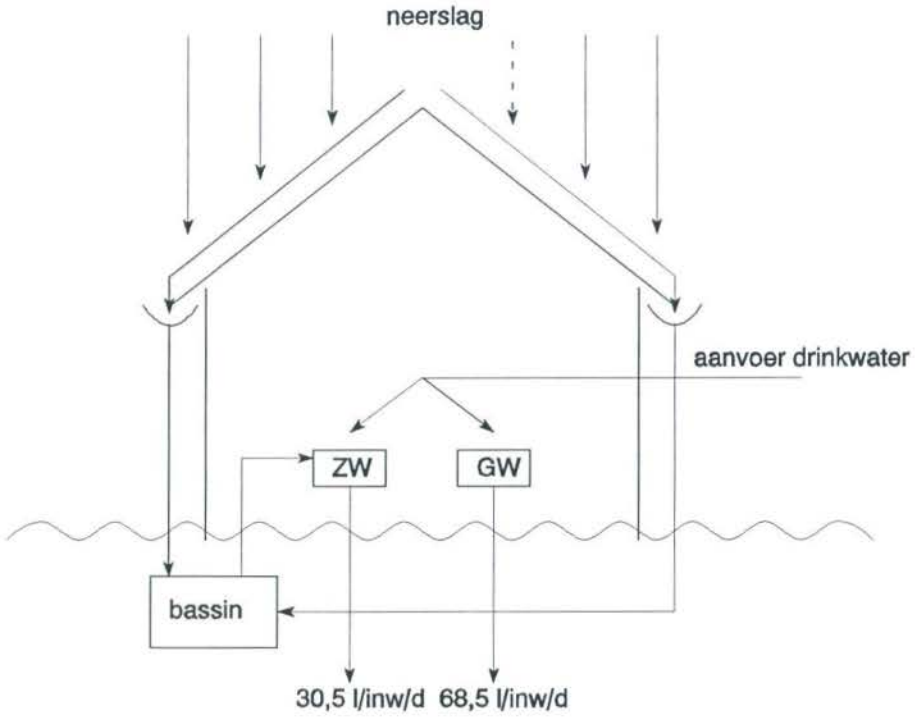
Bestaand laag Nederland	
Variant	Maatregelen
Referentie	- geen
1a	- geen
1b	- geen
2a	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l)
2b	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l) - reductie drinkwatergebruik door toepassing van: . doorstroombegrenzer (3%) . waterbesparende douchekop (6%) Het drinkwatergebruik is 123 l/inw/d in plaats van 135 l/inw/d
3	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l) - reductie drinkwatergebruik door toepassing van: . doorstroombegrenzer (3%) . waterbesparende douchekop (6%) . waterbesparend toilet (9%) . regenwaterbenutting (regenwaterbassin van 1 m^3 per woning met 50 m^2 aangesloten dakoppervlak) Het (drink)watergebruik is 111 l/inw/d in plaats van 135 l/inw/d (waterbesparend toilet gebruikt 30,5 l/inw/d)
4	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l) - reductie drinkwatergebruik door toepassing van: . doorstroombegrenzer (3%) . waterbesparende douchekop (6%) . waterbesparend toilet (9%) . beperking tapverlies (4%) . waterbesparende wasmachine (5%) . regenwaterbenutting (regenwaterbassin van 1 m^3 per woning met 50 m^2 aangesloten dakoppervlak) Het (drink)watergebruik is 99 l/inw/d in plaats van 135 l/inw/d (waterbesparend toilet gebruikt 30,5 l/inw/d)

Het principe van regenwaterbenutting ten behoeve van toiletspoeling is in figuur B2.3 weergegeven. De reductie van het drinkwatergebruik door regenwaterbenutting wordt berekend met het model BALANS 1.0 dat in bijlage 1 is beschreven.

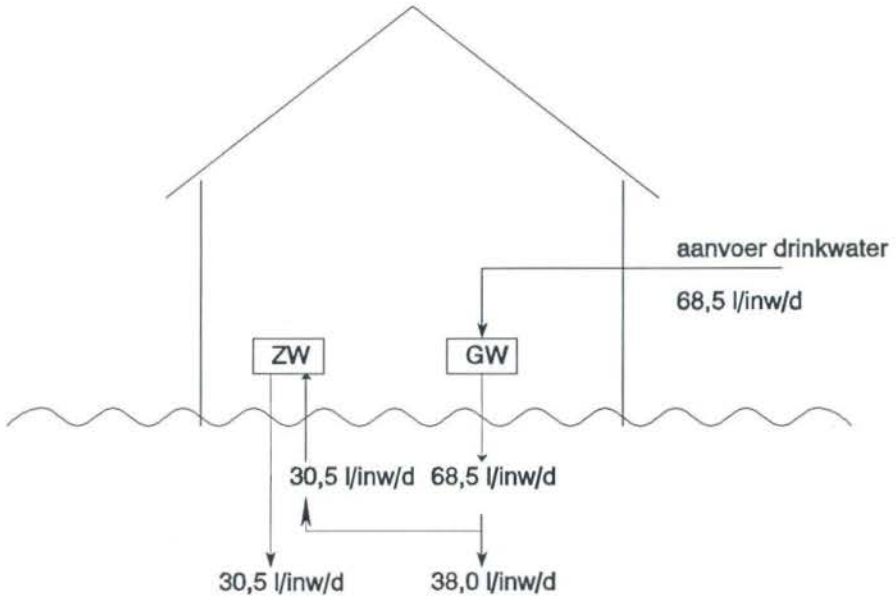
Tabel B2.12 Bronmaatregelen bestaand hoog Nederland.

Bestaand hoog Nederland	
Variant	Bronmaatregelen
Referentie	- geen
1a	- geen
1b	- geen
2a	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l)
2b	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l) - reductie drinkwatergebruik door toepassing van: . doorstroombegrenzer (3%) . waterbesparende douchekop (6%) Het drinkwatergebruik is 123 l/inw/d in plaats van 135 l/inw/d
3	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l) - reductie drinkwatergebruik door toepassing van: . doorstroombegrenzer (3%) . waterbesparende douchekop (6%) . waterbesparend toilet (9%) . regenwaterbenutting (regenwaterbassin van 1 m^3 per woning met 50 m^2 aangesloten dakoppervlak) Het (drink)watergebruik is 111 l/inw/d in plaats van 135 l/inw/d (waterbesparend toilet gebruikt 30,5 l/inw/d)
4	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l) - reductie drinkwatergebruik door toepassing van: . doorstroombegrenzer (3%) . waterbesparende douchekop (6%) . waterbesparend toilet (9%) . beperking tapverlies (4%) . waterbesparende wasmachine (5%) . grijswatercircuit (grijswater wordt benut ten behoeve van toiletspoeling) Het (drink)watergebruik is 99 l/inw/d in plaats van 135 l/inw/d (waterbesparend toilet gebruikt 30,5 l/inw/d)

Het principe van het grijswatercircuit (variant 4) is in figuur B2.4 weergegeven. Uit de figuur volgt dat het drinkwatergebruik circa 68,5 l/d/inw is.



Figuur B2.3 Drinkwaterbenutting bij variant 4 van bestaand laag Nederland.



Figuur B2.4 Grijswatercircuit bij variant 4 van bestaand hoog Nederland.

Tabel B2.13 Bronmaatregelen bij nieuwbouw laag Nederland.

Nieuwbouw laag Nederland	
Variant	Bronmaatregelen
Referentie	- geen
1a	- niet van toepassing
1b	- niet van toepassing
2a	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l) - reductie drinkwatergebruik door toepassing van: . doorstroombegrenzer (3%) . waterbesparende douchekop (6%) . waterbesparend toilet (9%) Het drinkwatergebruik neemt af van 135 l/inw/d tot 111 l/inw/d
2b	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l) - reductie drinkwatergebruik door toepassing van: . doorstroombegrenzer (3%) . waterbesparende douchekop (6%) . waterbesparend toilet (9%) . besparing tapverlies (4%) . waterbesparende wasmachine (5%) Het drinkwatergebruik neemt af van 135 l/inw/d tot 99 l/inw/d
3	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l) - reductie drinkwatergebruik door toepassing van: . doorstroombegrenzer (3%) . waterbesparende douchekop (6%) . waterbesparend toilet (9%) . besparing tapverlies (4%) . waterbesparende wasmachine (5%) . regenwaterbenutting ten behoeve van toiletspoeling (regenwaterbassin van 1 m^3 per woning met 50 m^2 aangesloten dakoppervlak; waterbesparend toilet gebruikt 30,5 l/d/inw) Het (drink)watergebruik neemt af van 135 l/inw/d tot 99 l/inw/d
4	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l) - reductie drinkwatergebruik door toepassing van: . doorstroombegrenzer (3%) . waterbesparende douchekop (6%) . composttoilet (32%) . beperking tapverlies (4%) . waterbesparende wasmachine (5%) . tweede waterleidingnet, bijvoorbeeld ten behoeve van wassen met wasmachine. Via het tweede waterleidingnet wordt 22 l/inw/d gebruikt Het (drink)watergebruik neemt af van 135 l/inw/d tot 68 l/inw/d (inclusief watergebruik via tweede waterleidingnet)

Tabel B2.14 Bronmaatregelen bij nieuwbouw hoog Nederland.

Nieuwbouw hoog Nederland	
Variant	Bronmaatregelen
Referentie	- geen
1a	- niet van toepassing
1b	- niet van toepassing
2a	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l) - reductie drinkwatergebruik door toepassing van: . doorstroombegrenzer (3%) . waterbesparende douchekop (6%) . waterbesparend toilet (9%) Het drinkwatergebruik neemt af van 135 l/inw/d tot 111 l/inw/d
2b	- niet van toepassing
3	- niet van toepassing
4	- aanpak corrosie van zinken dakgoten door coaten of vervangen (concentratie zink in van daken afstromend regenwater is 30 µg/l in plaats van 465 µg/l) - reductie drinkwatergebruik door toepassing van: . doorstroombegrenzer (3%) . waterbesparende douchekop (6%) . waterbesparend toilet (9%) . beperking tapverlies (4%) . waterbesparende wasmachine (5%) Het drinkwatergebruik neemt af van 135 l/inw/d tot 99 l/inw/d

Tabel B2.15 Bronmaatregelen bij buitengebied.

Buitengebied	
Variant	Bronmaatregelen
Referentie	- geen
1a	- geen
1b	- niet van toepassing
2a	- niet van toepassing
2b	- niet van toepassing
3	- geen
4	- geen

Bijlage 3

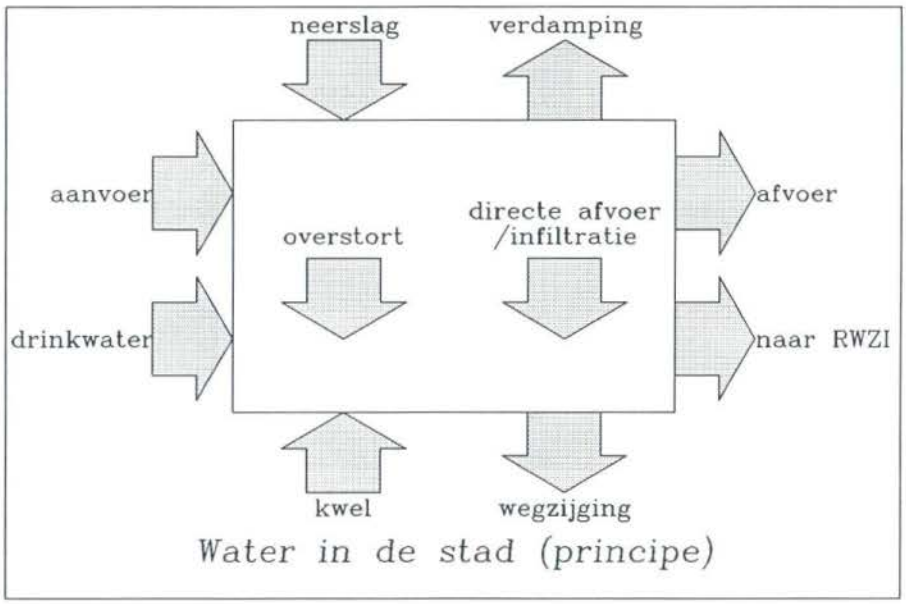
Waterbalansen

3.1 Opzet van de waterbalansen

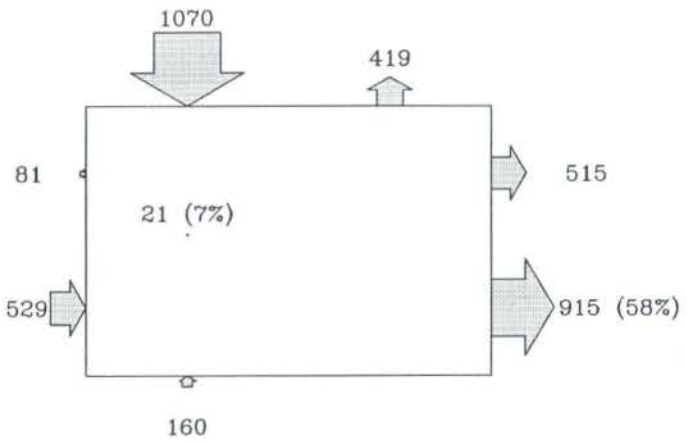
De waterbalansen zijn door middel van figuren gepresenteerd. In de waterbalansen zijn de volgende termen te onderscheiden:

- neerslag : totale neerslag in het gebied;
- verdamping : totale verdamping in het gebied;
- afvoer : de afvoer van oppervlaktewater naar elders;
- naar RWZI : afvoer van huishoudelijk afvalwater en regenwater naar RWZI;
- wegzijging : totale wegzijging van water naar dieper grondwater;
- kwel : totale kwel naar het gebied;
- drinkwater : totale aanvoer van drinkwater naar het gebied;
- aanvoer : de totale aanvoer van oppervlaktewater naar het gebied.

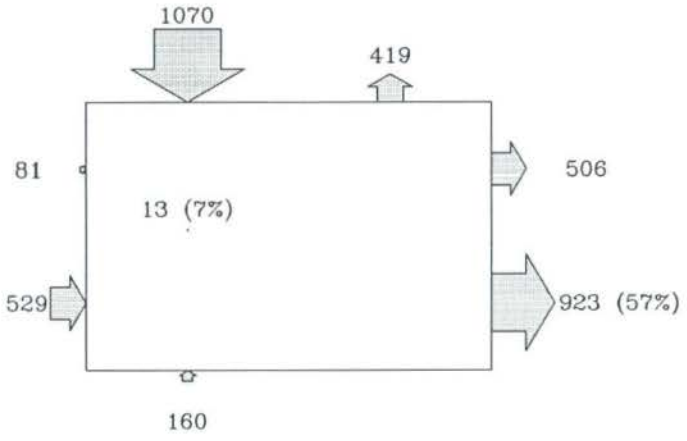
Het principe van de weergave is in de onderstaande figuur opgenomen. In de figuur zijn ook overstort en directe afvoer/infiltratie opgenomen.



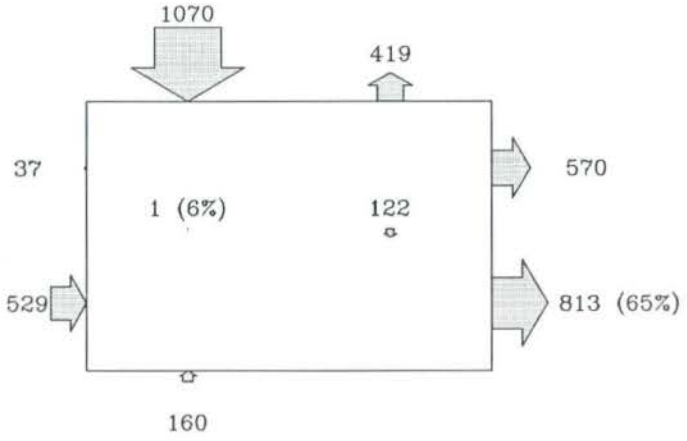
De grootte van de pijlen is een indicatie voor de omvang van de desbetreffende term in de waterbalans. Naast de pijlen zijn de waarden ook numeriek weergegeven. De eenheid is 1.000 m^3/j, waarbij de waarden op (maximaal) drie cijfers zijn afgerond. Bij de termen "overstort" en "naar RWZI" is tussen haakjes het procentuele aandeel van afvalwater vermeld. *Het verschil in berging is niet in de figuren weergegeven.*



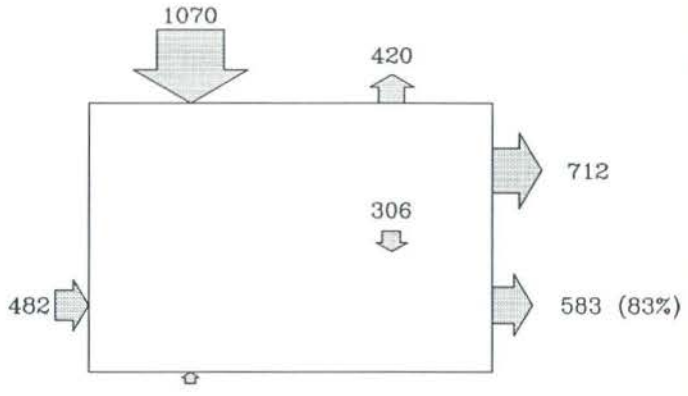
Bestaand laag Nederland; referentie



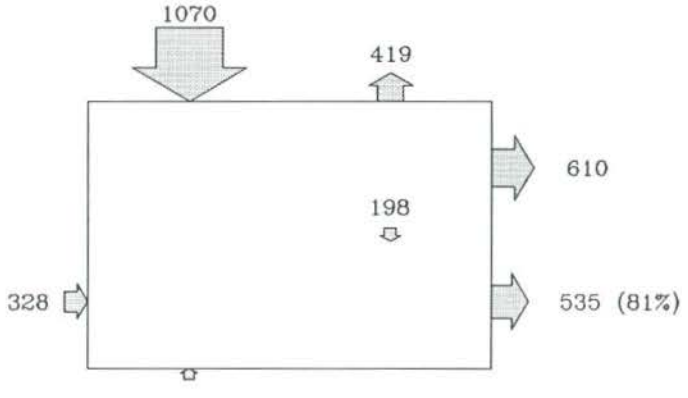
Bestaand laag Nederland; variant 1a



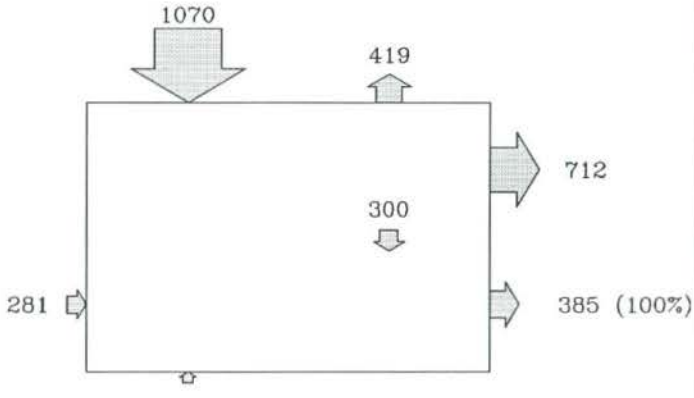
Bestaand laag Nederland; variant 2a



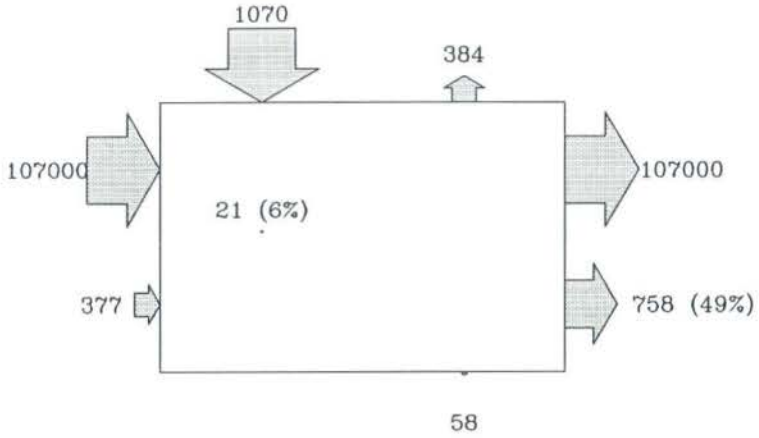
Bestaand laag Nederland; variant 2b



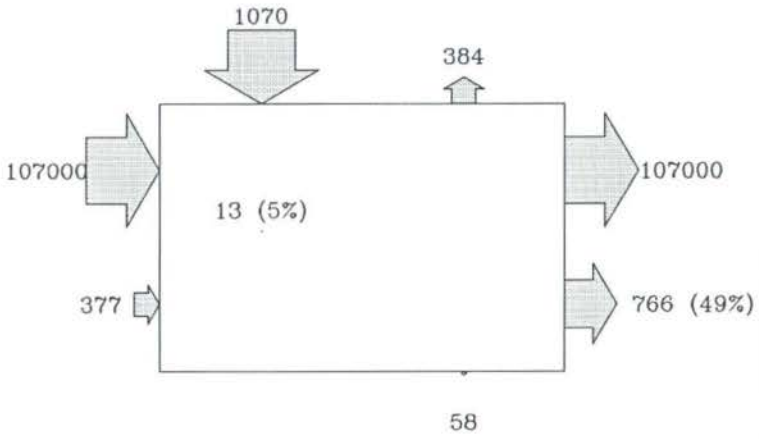
Bestaand laag Nederland; variant 3



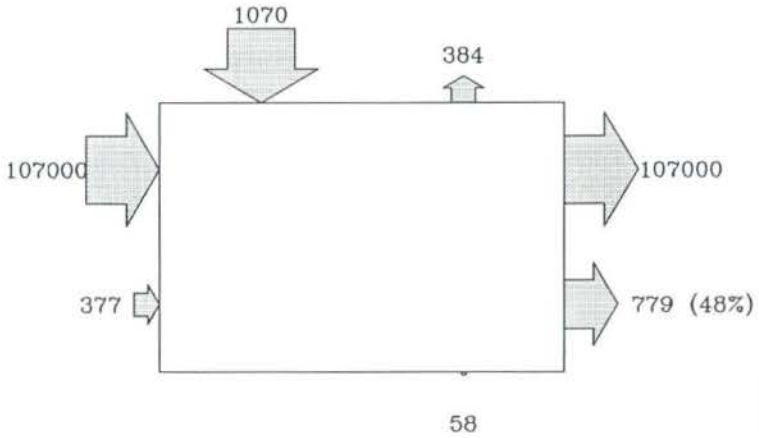
Bestaand laag Nederland; variant 4



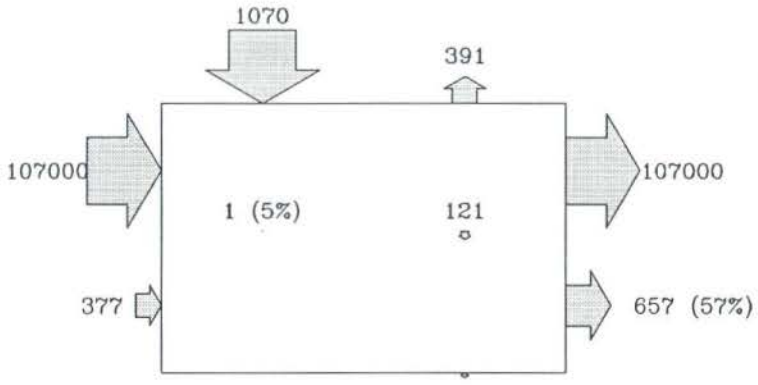
Bestaand hoog Nederland; referentie



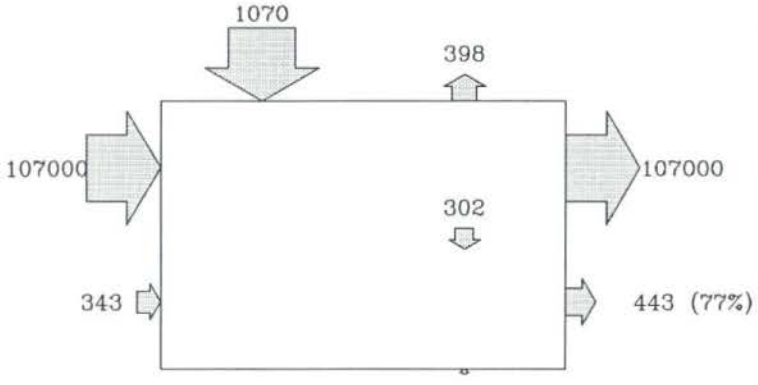
Bestaand hoog Nederland; variant 1a



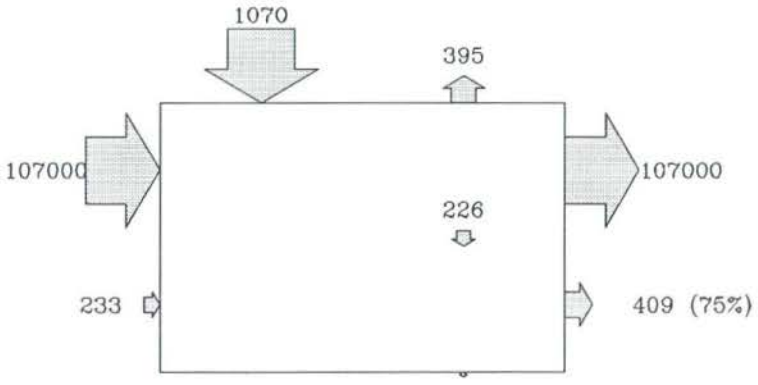
Bestaand hoog Nederland; variant 1b



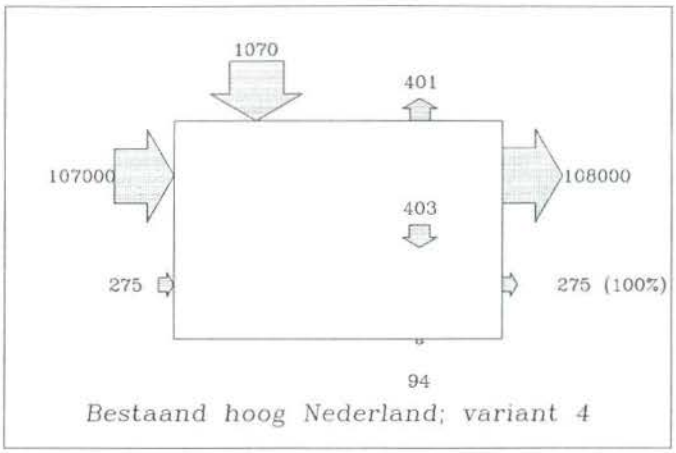
Bestaand hoog Nederland; variant 2a



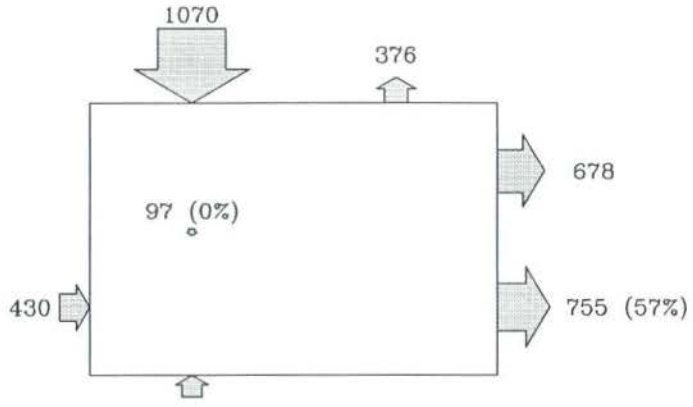
Bestaand hoog Nederland; variant 2b



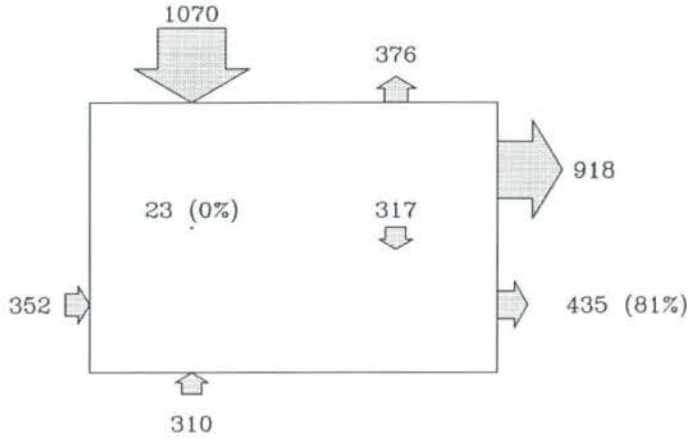
Bestaand hoog Nederland; variant 3



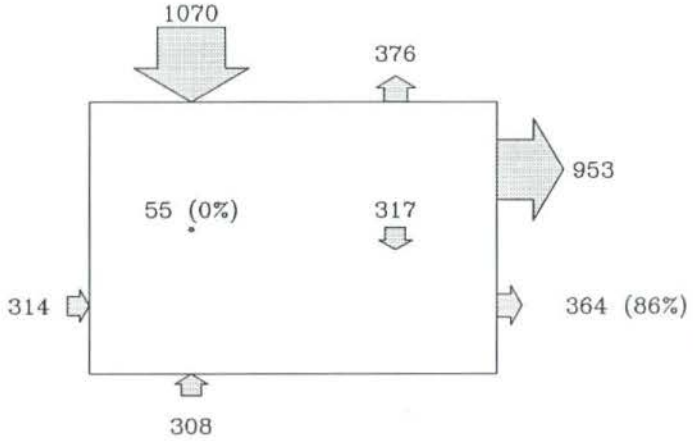
Bestaand hoog Nederland; variant 4



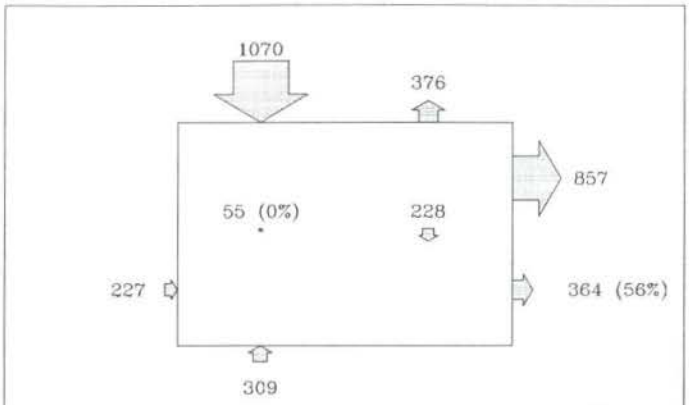
Nieuwbouw laag Nederland; referentie



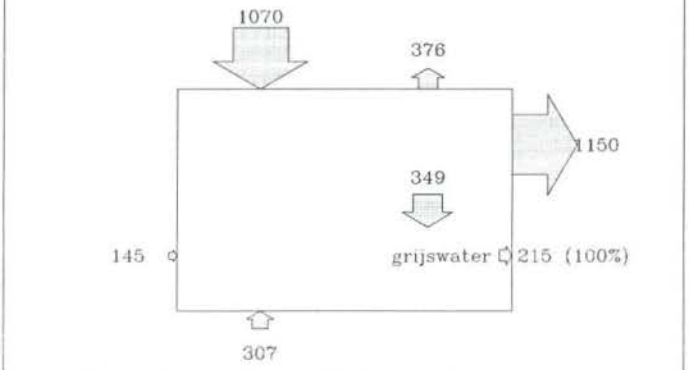
Nieuwbouw laag Nederland; variant 2a



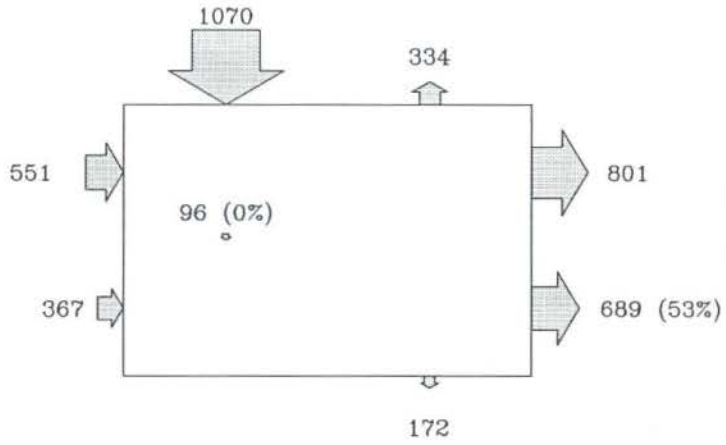
Nieuwbouw laag Nederland; variant 2b



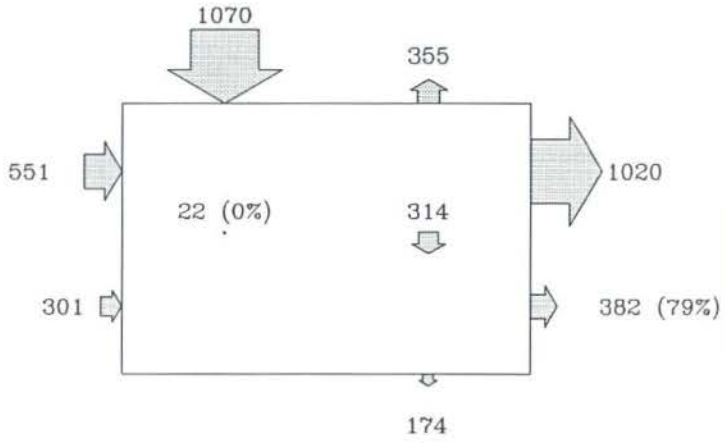
Nieuwbouw laag Nederland; variant 3



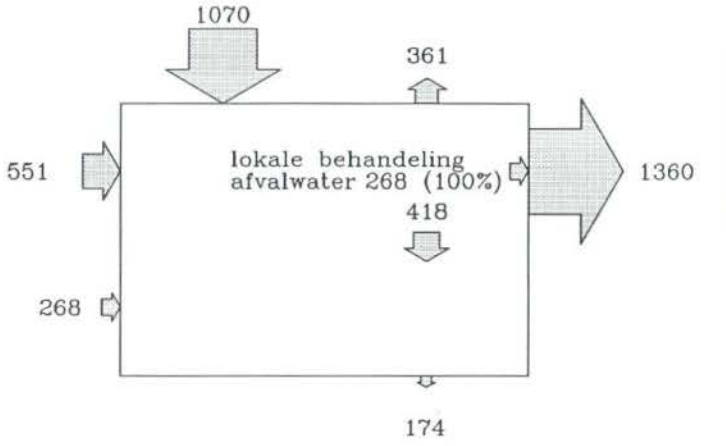
Nieuwbouw laag Nederland; variant 4



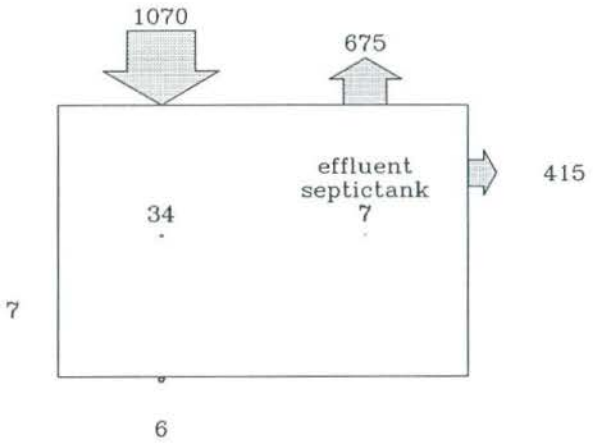
Nieuwbouw hoog Nederland; referentie



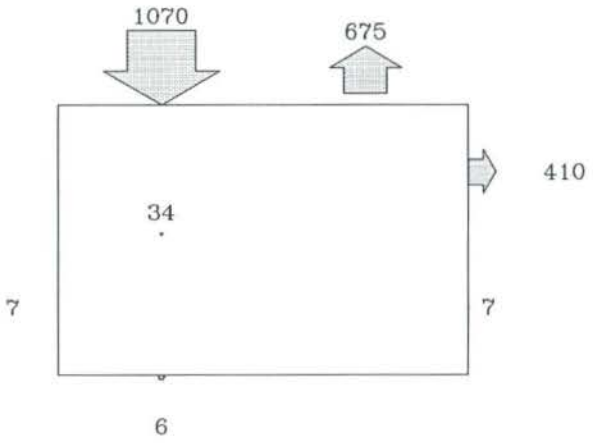
Nieuwbouw hoog Nederland; variant 2a



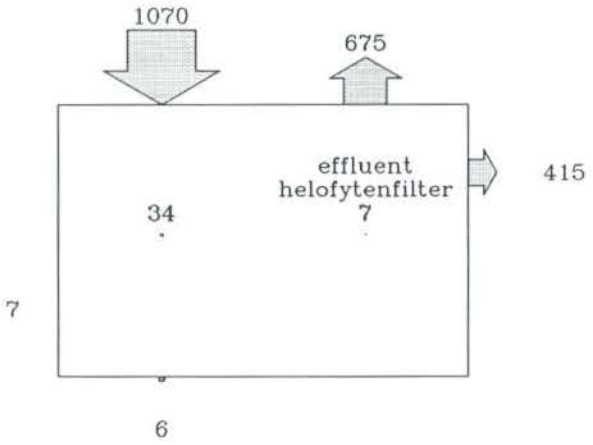
Nieuwbouw hoog Nederland; variant 4



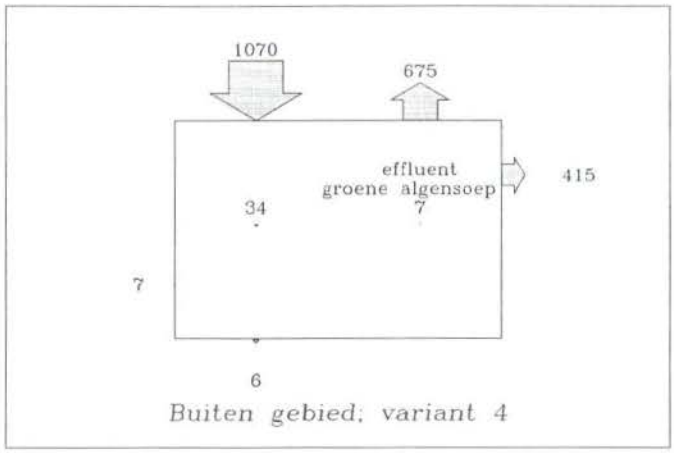
Buiten gebied; referentie



Buiten gebied; variant 1a



Buiten gebied; variant 3



Buiten gebied: variant 4

Bijlage 4

Stofbalansen

4.1 Inleiding

De berekende stofbalansen zijn weergegeven in figuren en tabellen. Het betreft daarbij jaarvrachten. Om het effect van eventuele wijzigingen van de kwaliteit van afstromend regenwater op de stofbalansen te onderzoeken zijn de varianten ook doorgerekend voor een situatie met aanzienlijk schoner afstromend regenwater. De in tabel B2.3 van bijlage 2 weergegeven concentraties zijn daartoe met 75% gereduceerd. Deze situatie is in de figuren aangeduid met '75% reductie concentratie afstromend regenwater' en in de tabellen met '75% reductie'.

Regenwater dat van afgekoppeld verhard oppervlak afstroomt, zal in geval van afvoer naar oppervlaktewater ('bestaand laag' en 'nieuwbouw laag') doorgaans naar hetzelfde stedelijke oppervlaktewatersysteem worden afgevoerd waar ook de overstorten op uitkomen. Door sommatie van beide vrachten wordt inzicht verkregen in hoeverre de naar oppervlaktewater afgevoerde vrachten in afstromend regenwater worden gecompenseerd door de afname van vrachten in overstorten. Voor de referentiegebieden 'bestaand laag' en 'nieuwbouw laag' zijn dan ook de overstort- en directe afvoervrachten gesommeerd en in één figuur weergegeven. De effluentvrachten zijn apart weergegeven.

In 'bestaand hoog' en 'nieuwbouw hoog' zijn de stedelijke gebieden aan een beek gelegen, waarbij overstorten en effluent op dezelfde beek uitkomen. Voor deze referentiegebieden zijn daarom de effluent- en overstortvrachten gesommeerd en in één figuur weergegeven. In een tweede figuur zijn de vrachten van het geïnfiltreerde afstromende regenwater weergegeven. In het 'buitengebied' wordt in geen van de beschouwde varianten afstromend regenwater naar de zuivering gebracht, noch wordt afstromend regenwater afgevoerd naar een infiltratievoorziening. In de figuren zijn daarom alleen de effluent- en directe afvoervrachten weergegeven.

In de tabellen zijn jaarvrachten opgenomen voor:
- neerslag: de jaarvrachten die via neerslag aan het referentiegebied worden toegevoegd;
- inlaat/doorvoer: de jaarvrachten die via inlaatwater aan het watersysteem worden toegevoegd of in geval van een bekensysteem de vracht die via de beek het referentiegebied instroomt;
- drinkwater: de jaarvracht die via drinkwater naar het referentiegebied wordt gebracht. Het betreft daarbij de kwaliteit van reinwater;
- overstort: de jaarvrachten die via overstorten naar oppervlaktewater plaatsvinden;
- directe afvoer: de jaarvrachten die bij afkoppelen en directe afvoer naar oppervlaktewater aan het oppervlaktewater worden toegevoegd;
- infiltratie: de jaarvracht die bij afkoppelen en infiltratie naar de infiltratievoorzieningen worden gebracht;
- effluent: de jaarvrachten die via effluent worden geloosd.

4.2 Beschrijving van de resultaten

Bestaand laag en hoog Nederland

Variant 1a en 1b
De resultaten geven aan dat door het aanleggen van extra berging in de vorm van bergbezinkbassins (variant 1A en 1B) de effluentvrachten enigszins toenemen ten opzichte van de referentiesituatie. De overstortvrachten nemen aanzienlijk af en zijn bij 15 mm berging in bergbezinkbassins zelfs gereduceerd tot nul.

Variant 2a
Bij afkoppelen van verhard oppervlak wordt minder regenwater naar de RWZI afgevoerd. Voor CZV, zwevend stof, N-tot en P-tot resulteert dit in een reductie van de effluentvrachten. Immers de effluentconcentraties van CZV, zwevend stof, N-tot en P-tot zijn constant. Voor olie, Cu, Zn en PAK is een constant zuiveringsrendement gehanteerd, waardoor influentvracht en zuiveringsrendement bepalend zijn voor de effluentvracht. Door het afkoppelen van schone verharde oppervlakken wordt minder licht verontreinigd regenwater afgevoerd naar het rioolstelsel, waardoor het rioolwater als het ware "indikt". Dit leidt tot hogere influentconcentraties en kan daardoor ook tot hogere effluentvrachten leiden. Bij 30% afgekoppeld verhard oppervlak treedt dit effect in geringe mate op voor de gidsparameters olie en PAK (zie tabel B4.1a en B4.1c respectievelijk tabel B4.2a en B4.2c in het hiernavolgende). De zinkvracht in effluent is bij 30% afgekoppeld verhard oppervlak sterk gereduceerd. De overstortvrachten nemen sterk af door het afkoppelen van 30% van het verharde oppervlak. In het referentiegebied van 'bestaand laag' nemen de gesommeerde overstort- en directe afvoervrachten van CZV, N-tot, P-tot en Cu toe, terwijl de gesommeerde vrachten van zwevend stof, olie, Zn en PAK afnemen. De vrachten die via het inlaatwater (ten behoeve van peilbeheer) worden aangevoerd nemen door het afkoppelen sterk af. Als ook de invloed van inlaatwater op de kwaliteit van het stedelijk oppervlaktewatersysteem wordt meegenomen blijkt dat de gesommeerde vrachten van "inlaat", "overstort" en "directe afvoer" doorgaans afnemen bij 30% afgekoppeld verhard oppervlak. Alleen voor P-tot nemen de gesommeerde vrachten iets toe.

Variant 2b
Bij 75% afgekoppeld verhard oppervlak zonder regenwaterbenutting nemen de effluentvrachten verder af. De overstortvrachten zijn tot nul gereduceerd. Daarentegen zijn de vrachten die direct naar oppervlaktewater ('bestaand laag') of infiltratievoorziening ('bestaand hoog') worden gebracht aanzienlijk toegenomen. Bij het referentiegebied 'bestaand laag' behoeft geen water te worden ingelaten voor peilbeheer. De gesommeerde inlaat-, overstort en directe afvoervrachten zijn bij variant 2b echter hoger dan bij de referentiesituatie, variant 1a en variant 2a.

Variant 3
Door benutting van regenwater nemen de vrachten die naar oppervlaktewater of infiltratievoorzieningen worden afgevoerd af ten opzichte van de situatie zonder benutting (variant 2b). Het percentage afgekoppeld verhard

oppervlak is voor beide varianten gelijk. De effluentvrachten zijn afgezien van Zn en PAK lager dan bij variant 2B. Voor CZV, zwevend stof, N-tot en P-tot is dit een direct gevolg van de door waterbesparende maatregelen gerealiseerde geringere hoeveelheid huishoudelijk afvalwater. De koppervracht in effluent daalt enigszins, omdat de koperconcentratie in van daken afstromend regenwater lager is dan de koperconcentratie in reinwater. De kopervracht in huishoudelijk afvalwater neemt daardoor af, hetgeen zich bij gelijkblijvend zuiveringsrendement vertaalt in een lagere effluentvracht. Voor zink en PAK zijn de concentraties in van daken afstromend regenwater juist hoger dan in reinwater, waardoor de effluentvrachten toenemen. De olievracht in effluent is niet veranderd. Dit omdat de olieconcentraties in drinkwater en van daken afstromend regenwater gelijk zijn, zie bijlage 2.

Variant 4
Bij variant 4 is 100% van het verharde oppervlak afgekoppeld, hetgeen 25% meer is dan bij de varianten 2b en 3. Voor het referentiegebied bestaand hoog leidt deze toename van het percentage afgekoppeld verhard oppervlak tot een sterke toename van de naar infiltratievoorzieningen afgevoerde vrachten. Het een en ander is geïllustreerd in en de tabellen B4.2e en B4.2g. Deze toename treedt bij variant 4 van bestaand laag niet op. Het gebruik maken van regenwaterbenutting ten behoeve van toiletspoeling is hieraan debet.

Nieuwbouw laag en hoog

Variant 2a
Bij variant 2a wordt 75% van het verharde oppervlak niet aangesloten op een verbeterd gescheiden stelsel. Regenwater dat van deze oppervlakken afstroomt wordt direct naar oppervlaktewater afgevoerd (nieuwbouw laag) of geïnfiltreerd in de bodem (nieuwbouw hoog). De overstortvrachten nemen aanzienlijk af door het geringere aangesloten verhard oppervlak. De som van de direct naar oppervlaktewater of naar infiltratievoorzieningen afgevoerde vrachten en overstortvrachten is doorgaans hoger dan de overstortvrachten bij de referentiesituatie. De effluentvrachten nemen door de geringere aanvoer van regenwater aanzienlijk af.

Variant 2b
Net als bij variant 2a wordt bij deze variant 75% van het verharde oppervlak niet aangesloten op het rioolstelsel. Het regenwater wordt direct naar oppervlaktewater afgevoerd. De met het regenwater meegevoerde vrachten zijn dan ook gelijk aan die van variant 2a. De overstortvrachten zijn aanzienlijk hoger dan bij variant 2a. De zeer geringe berging in een smart drain is hieraan debet. Door deze geringere berging zijn de effluentvrachten lager dan bij variant 2a.

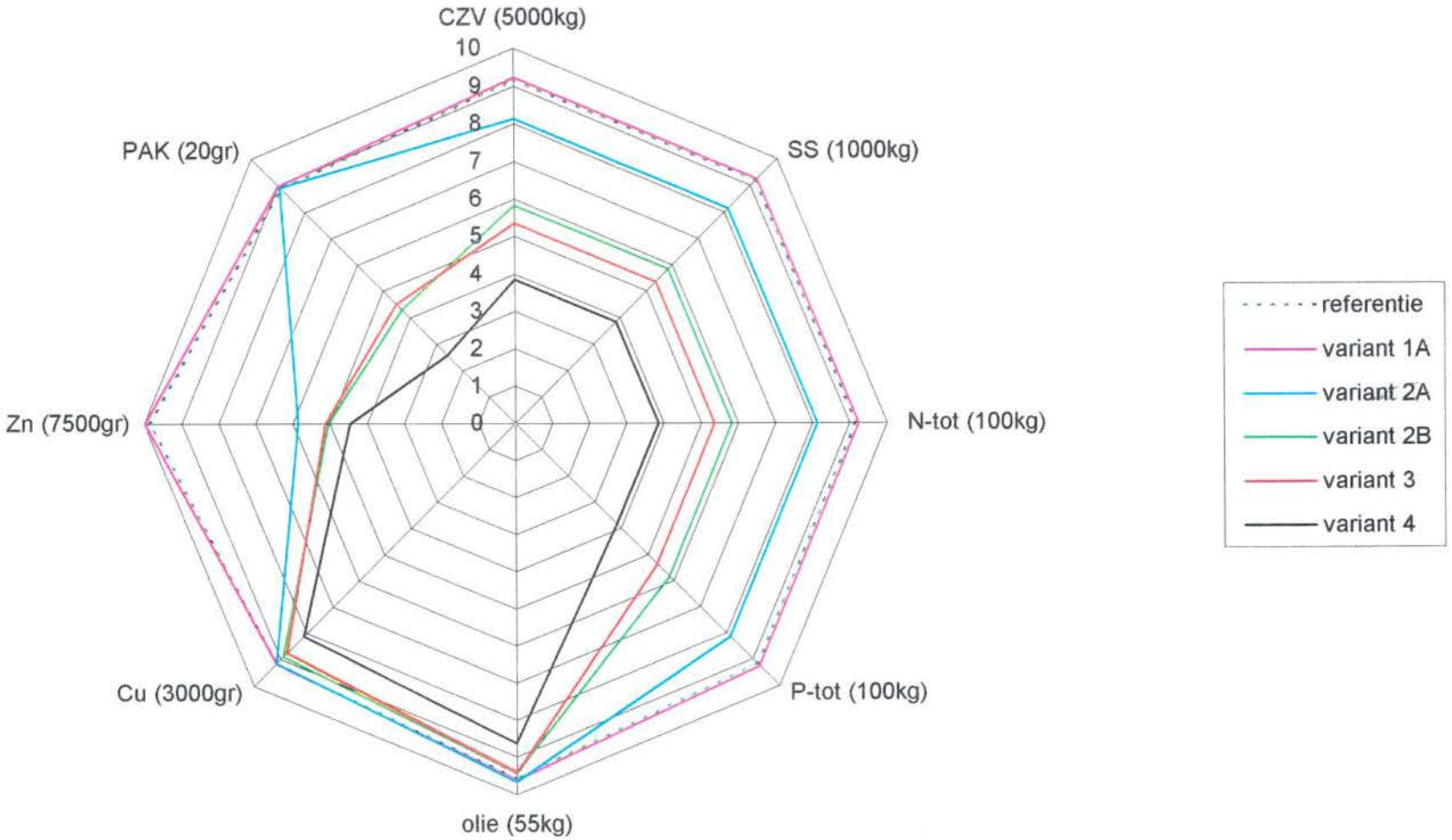
Variant 3
Bij deze variant wordt 25% van het verharde oppervlak aangesloten op een smart drain, waardoor de overstortvrachten gelijk zijn aan die van variant 2b. Dakoppervlakken worden ten behoeve van regenwaterbenutting aangesloten op regenwaterbassins. Regenwater dat van het overige verharde oppervlak afstroomt, wordt direct afgevoerd naar oppervlakte-

water. Door de regenwaterbenutting zijn de vrachten die direct worden afgevoerd naar oppervlaktewater bij deze variant lager dan bij variant 2b.

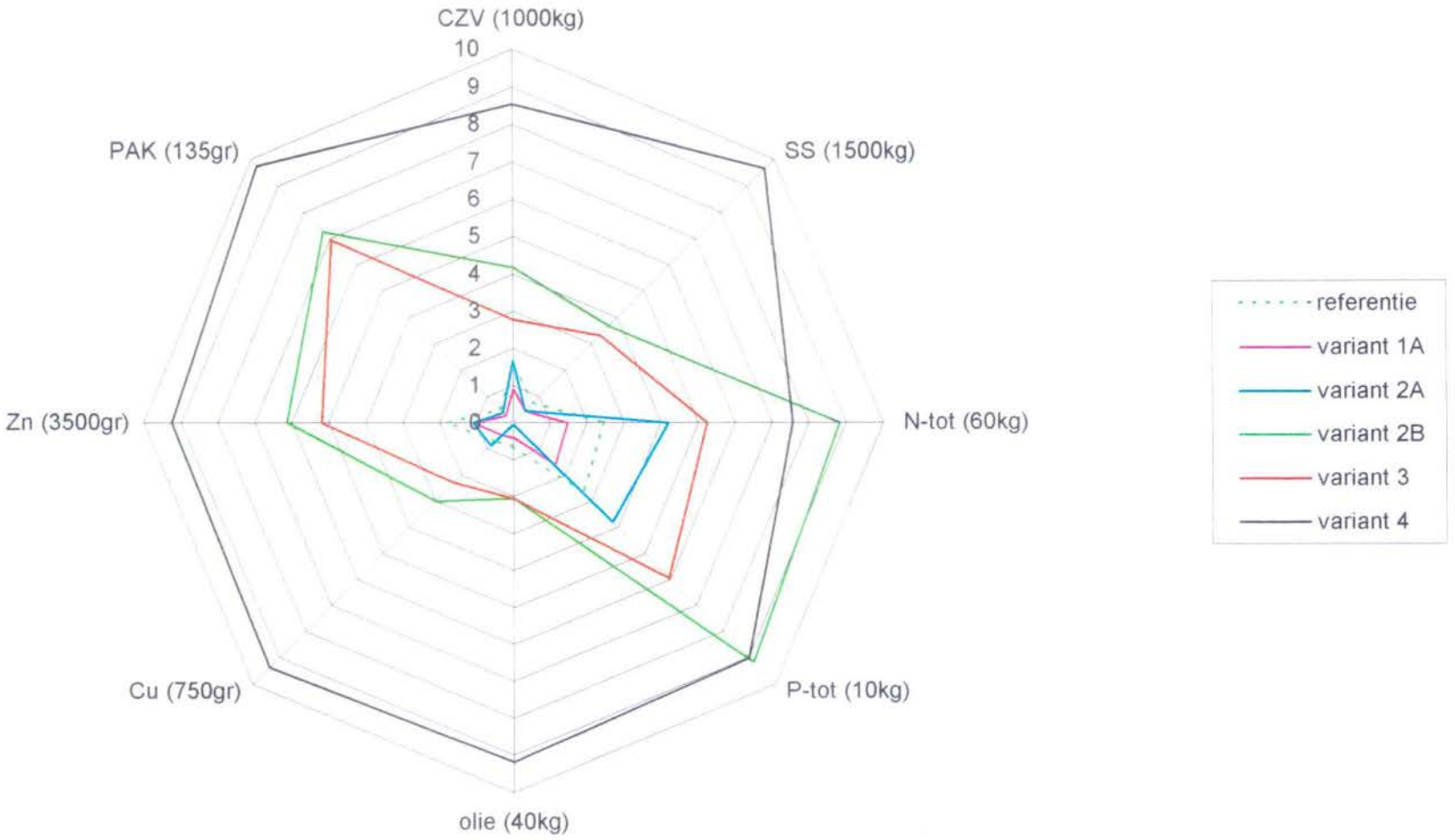
De CZV-, zwevend stof-, N-tot- en P-tot-vrachten in effluent zijn niet gewijzigd ten opzichte van variant 2b. Dit omdat het watergebruik bij deze varianten gelijk is. De koperconcentratie in van daken afstromend regenwater is lager dan de koperconcentratie van reinwater. De zink- en PAK-concentraties zijn juist in van daken afstromend regenwater hoger dan in reinwater. Dit leidt enerzijds tot een geringe afname van de kopervracht in effluent en anderzijds tot een toename van de zink- en PAK-vrachten in effluent. Voor olie treden er geen wijzigingen op, omdat de concentraties in van daken afstromend regenwater en drinkwater niet van elkaar verschillen.

Variant 4
Regenwater dat van verharde oppervlakken afstroomt wordt bij deze variant afgevoerd naar oppervlaktewater (nieuwbouw laag) of geïnfiltreerd in de bodem (nieuwbouw hoog). De effluentvrachten zijn daardoor geringer dan bij de andere varianten. De vrachten die naar oppervlaktewater of infiltratievoorzieningen worden afgevoerd zijn daarentegen aanzienlijk hoger dan bij de voorgaande varianten.

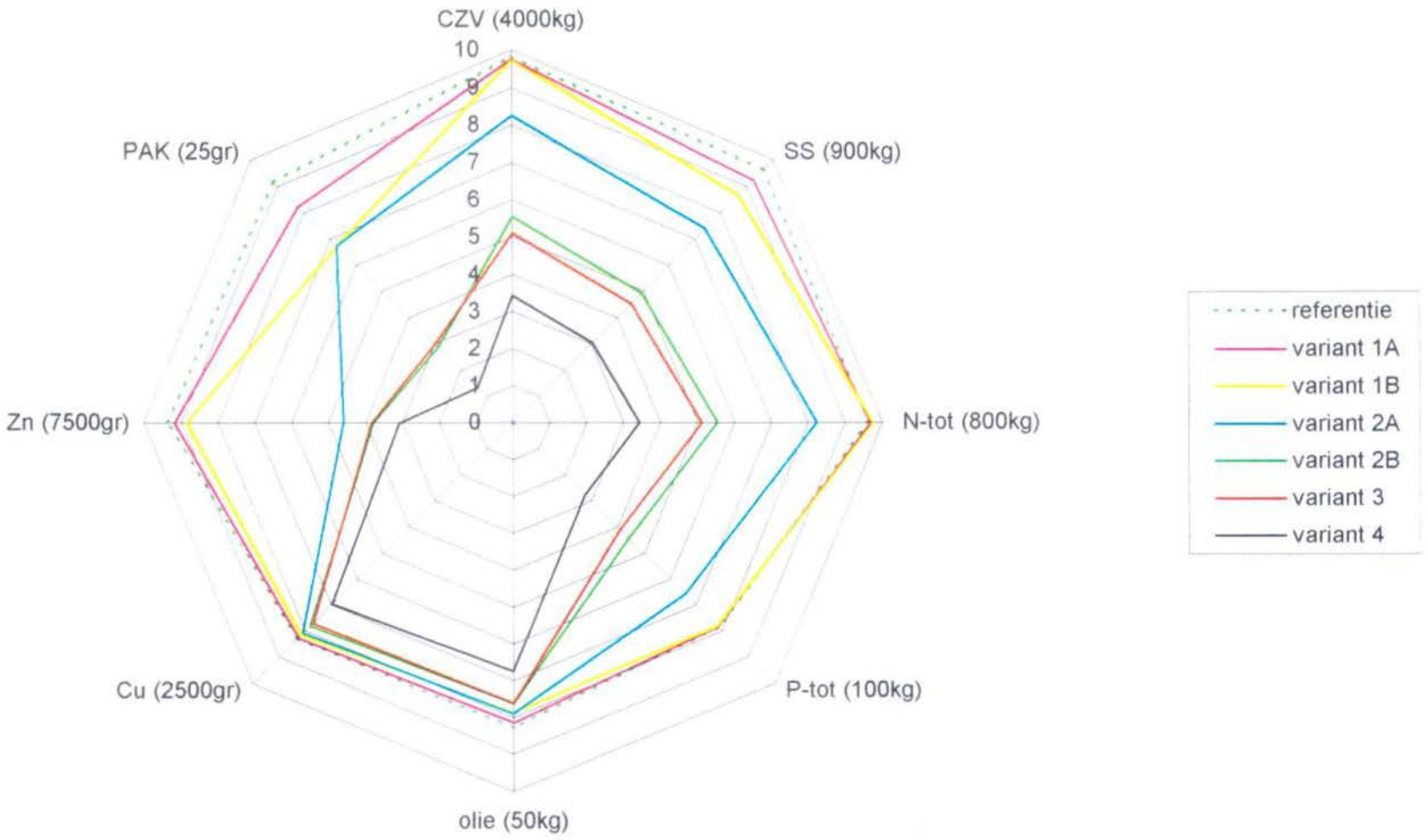
Bestaand Laag Nederland (effluent) (figuur1)



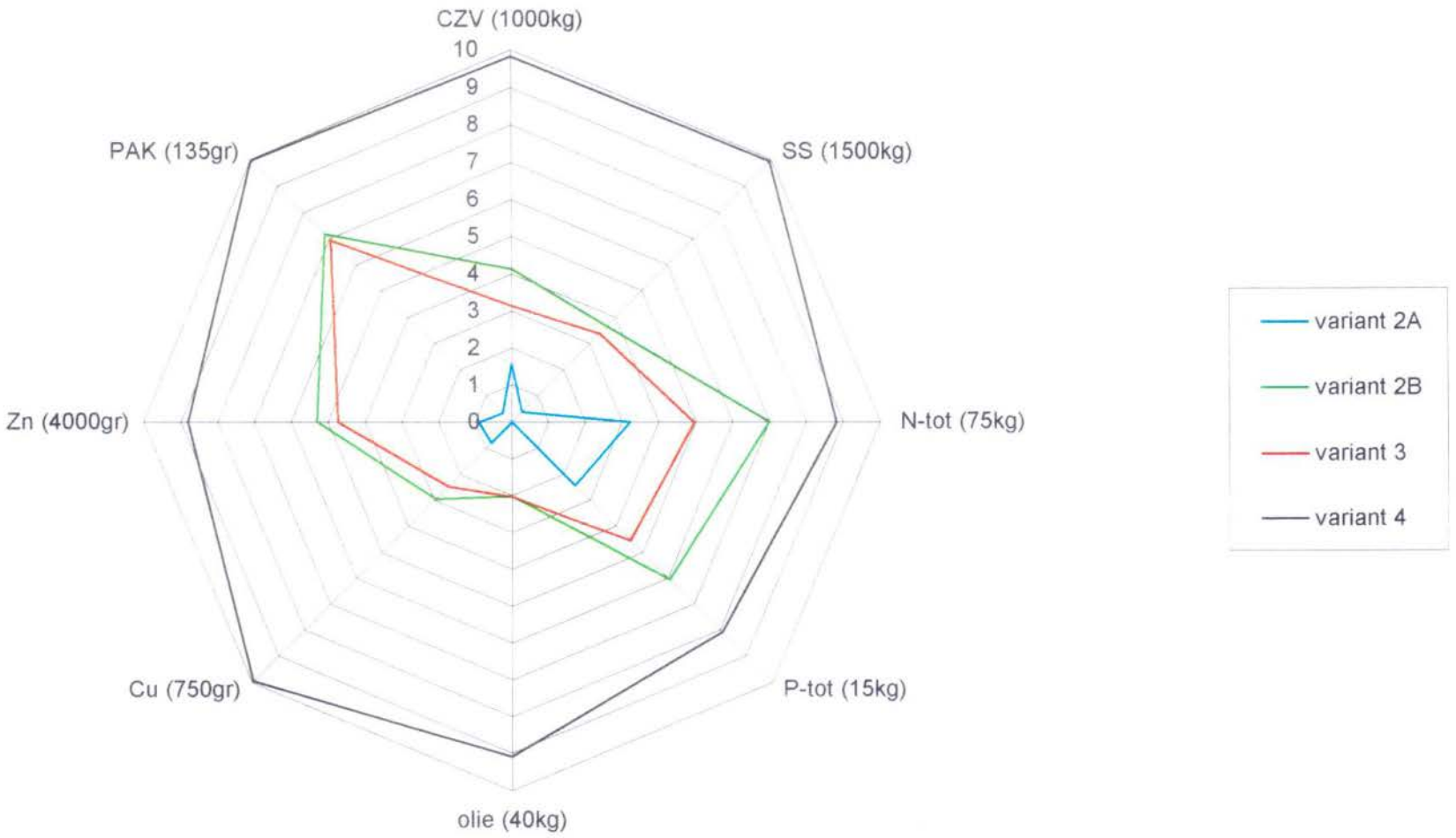
Bestaand Laag Nederland (overstort + directe afvoer) (figuur 2)



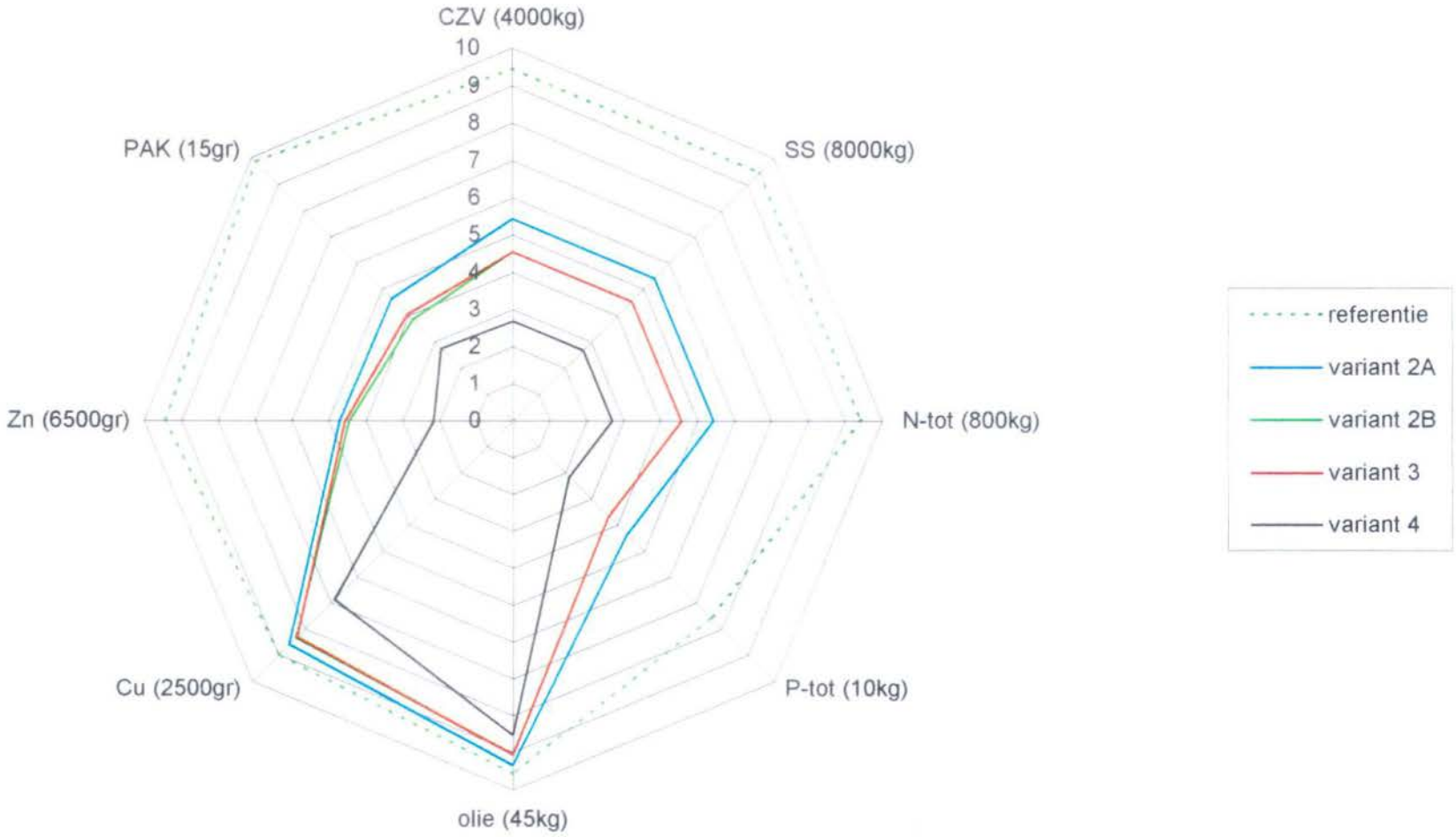
Bestaand Hoog Nederland (effluent + overstort) (figuur 3)



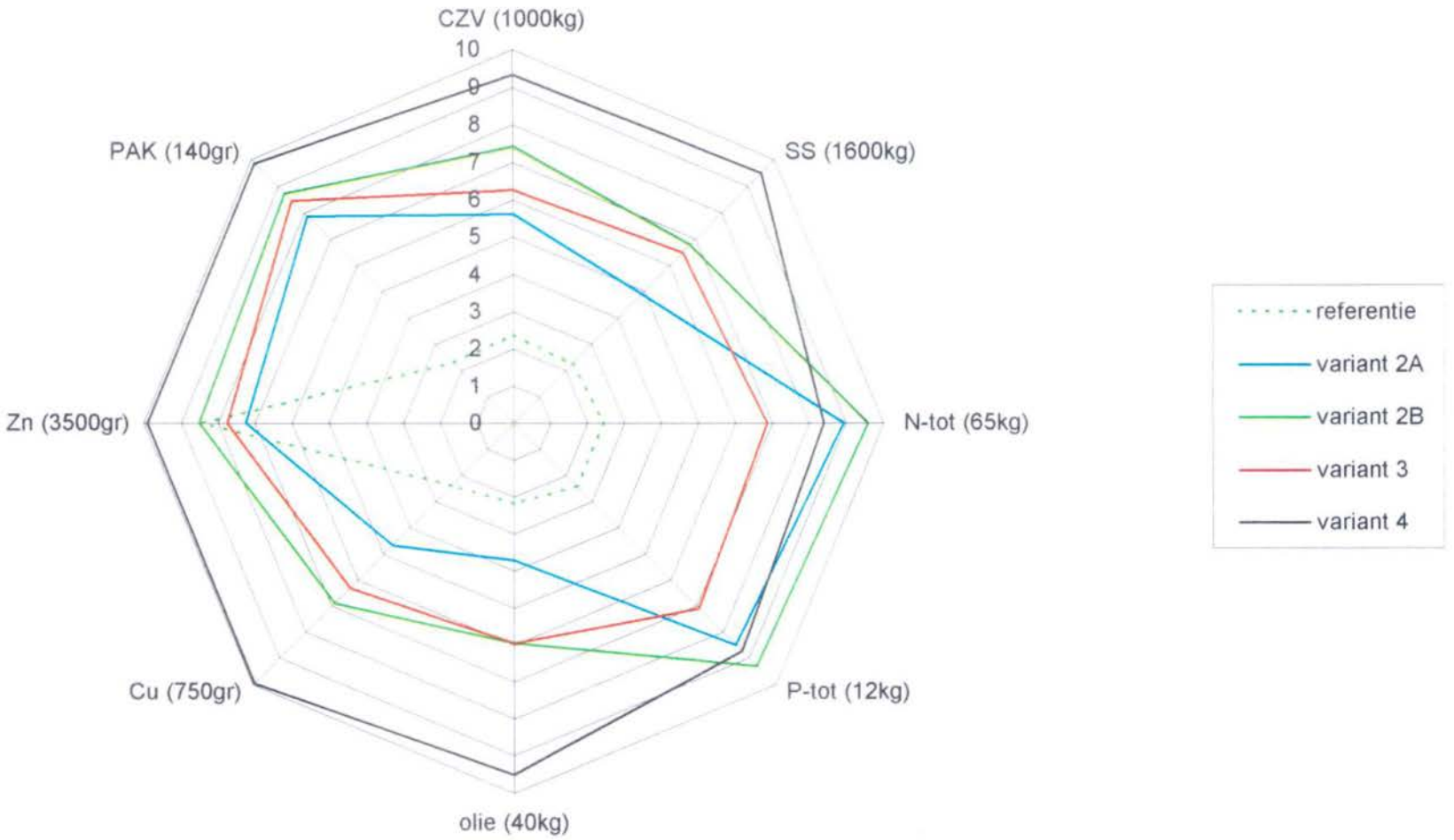
Bestaand Hoog Nederland (infiltratie) (figuur 4)



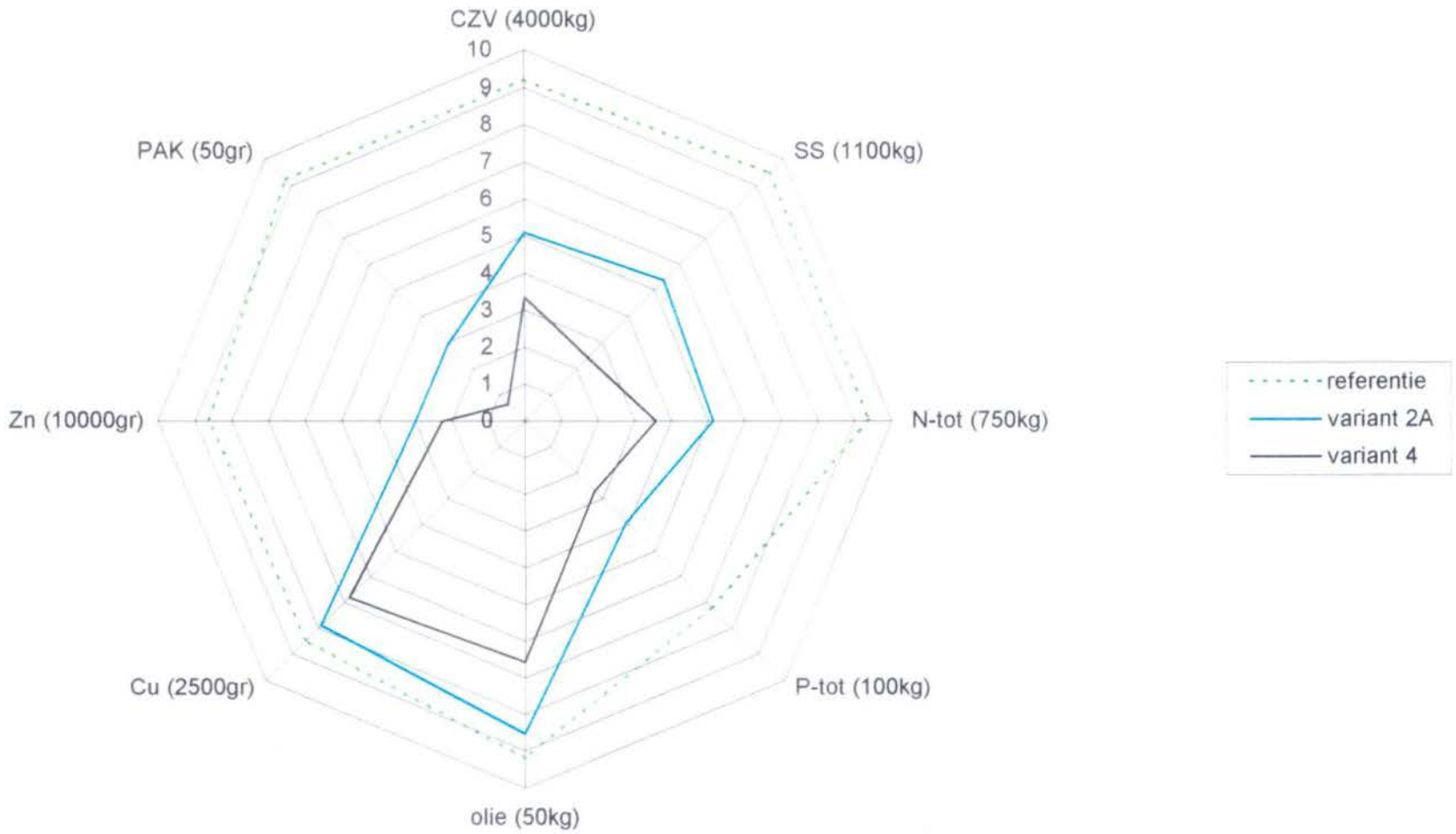
Nieuwbouw Laag Nederland (effluent) (figuur 5)



Nieuwbouw Laag Nederland (overstort + directe afvoer) (figuur 6)



Nieuwbouw Hoog Nederland (effluent + overstort) (figuur 7)



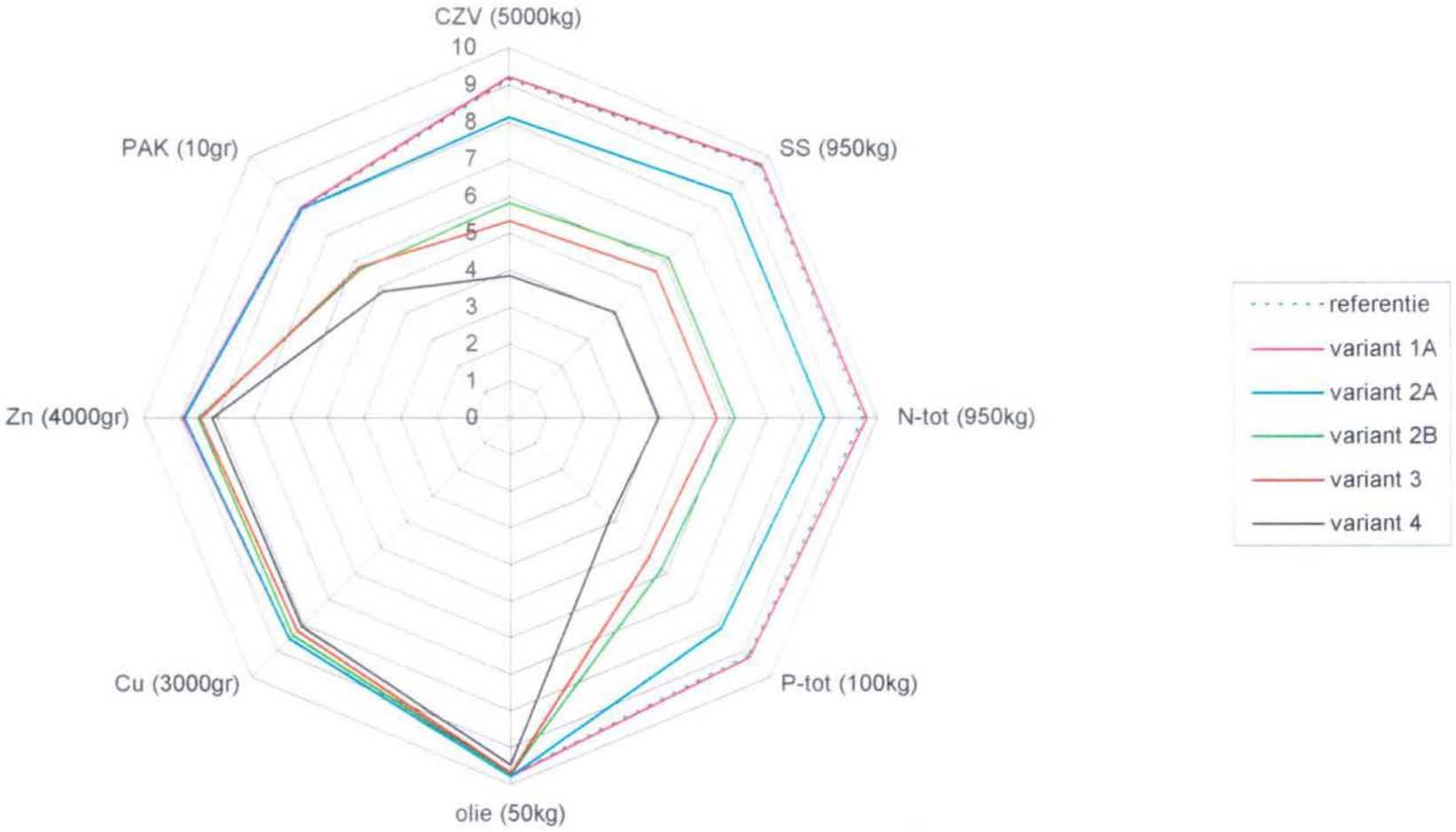
Nieuwbouw Hoog Nederland (infiltratie) (figuur 8)

Buitengebied (effluent) (figuur 9)

Buitengebied (directe afvoer) (figuur 10)

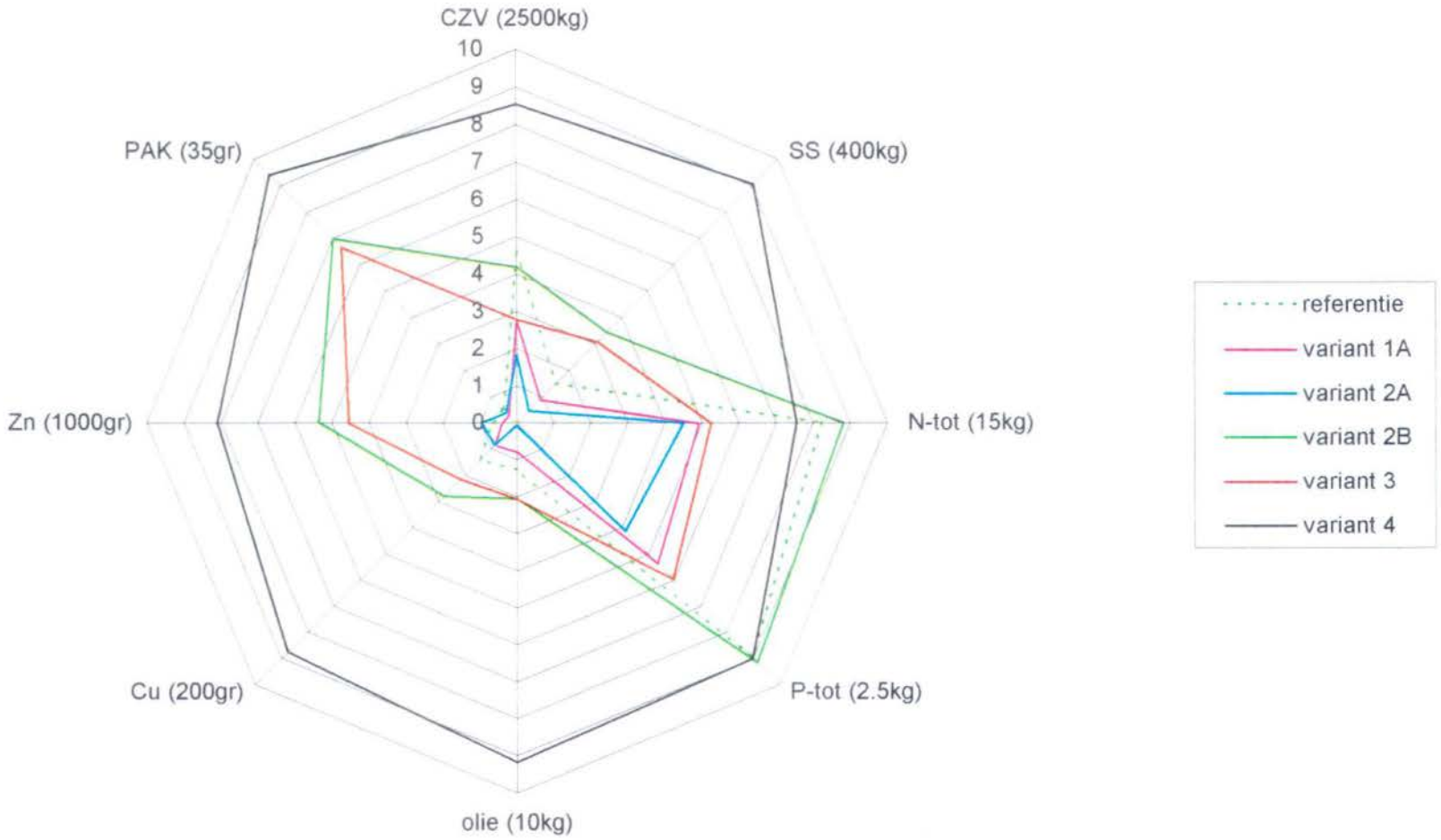
Bestaand Laag Nederland (effluent) (figuur 11)

75% reductie concentratie afstromend regenwater



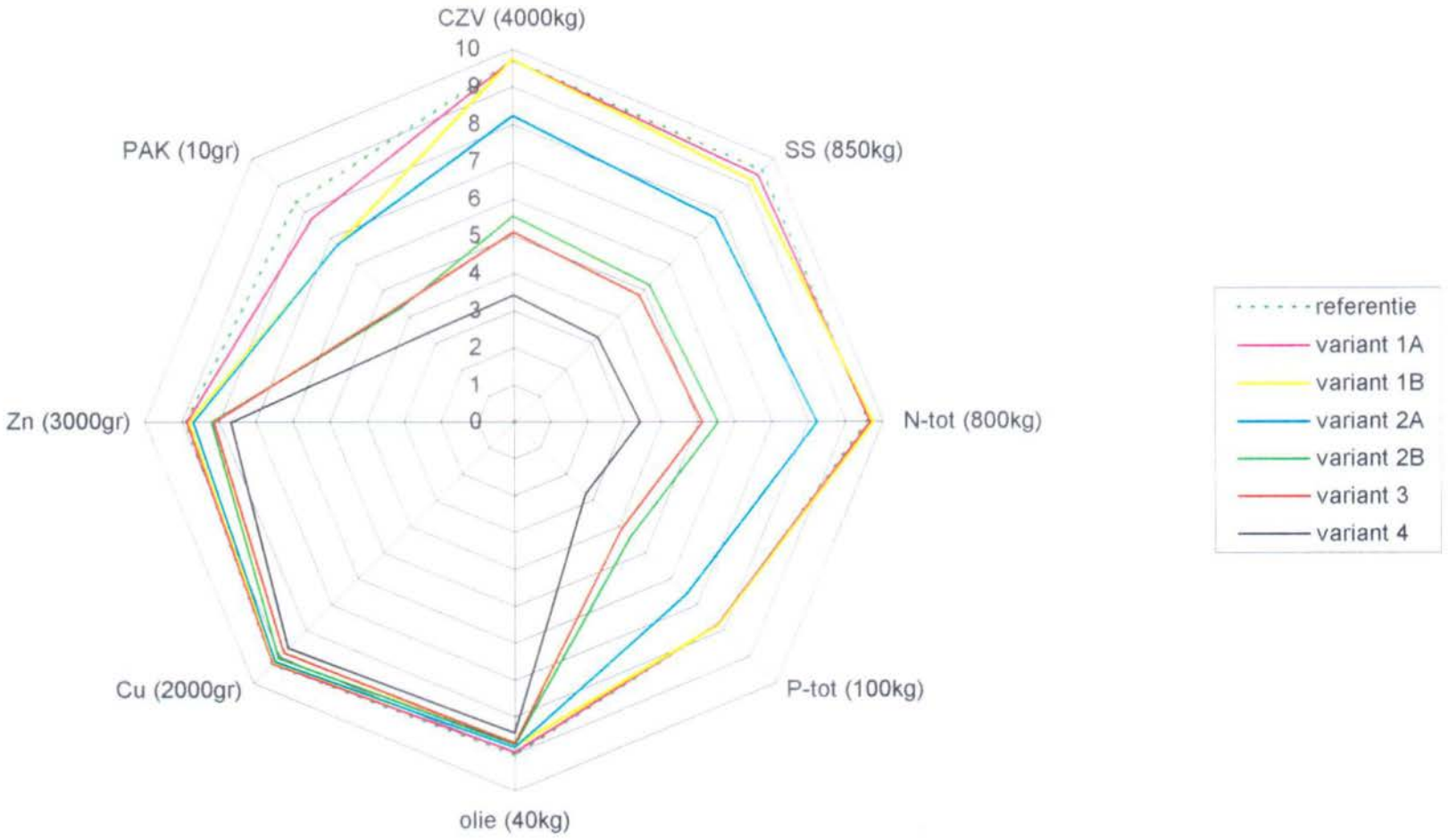
Bestaand Laag Nederland (overstort + directe afvoer) (figuur 12)

75% reductie concentratie afstromend regenwater



Bestaand Hoog Nederland (effluent + overstort) (figuur 13)

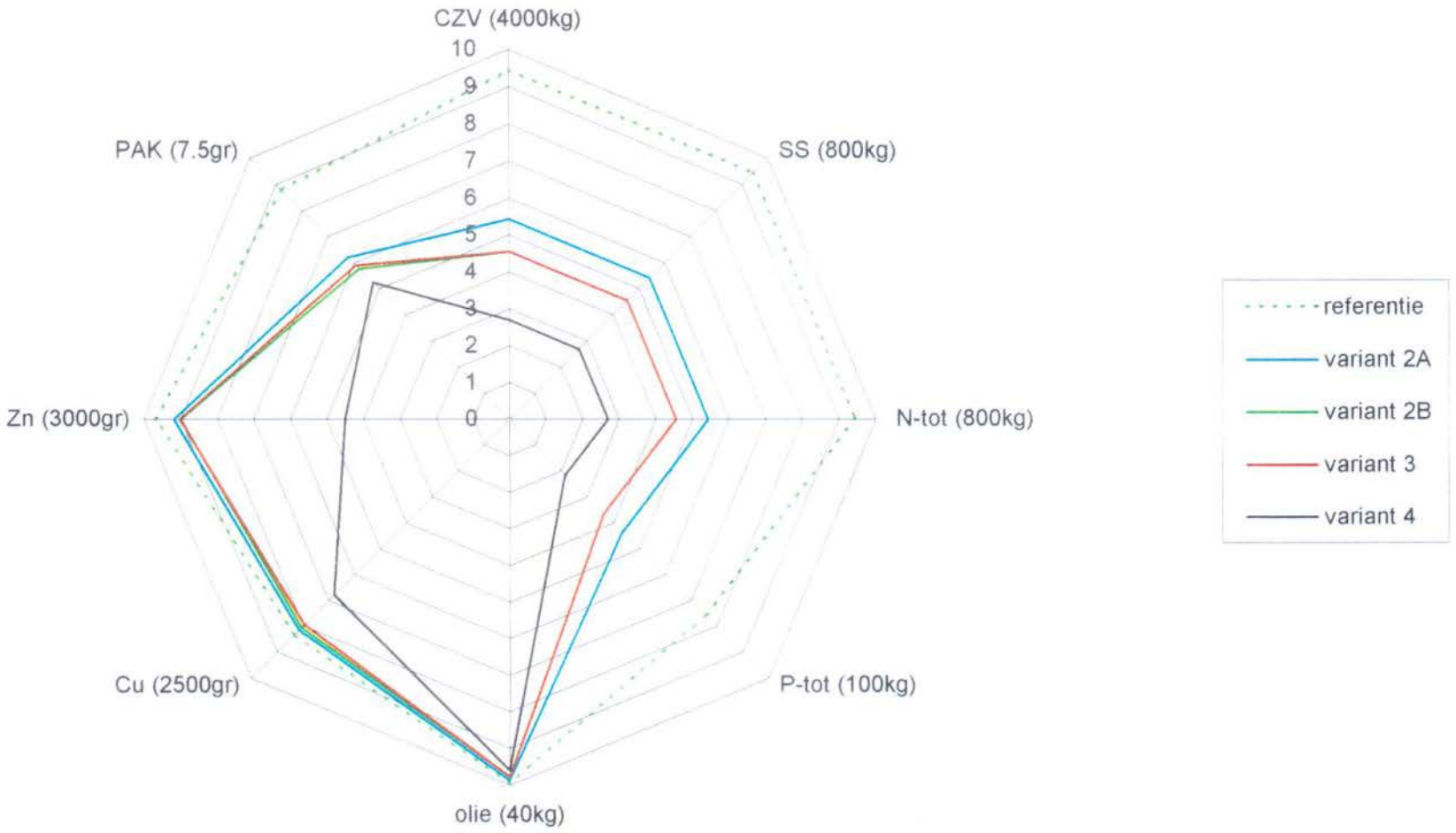
75% reductie concentratie afstromend regenwater



Bestaand Hoog Nederland (infiltratie) (figuur 14)

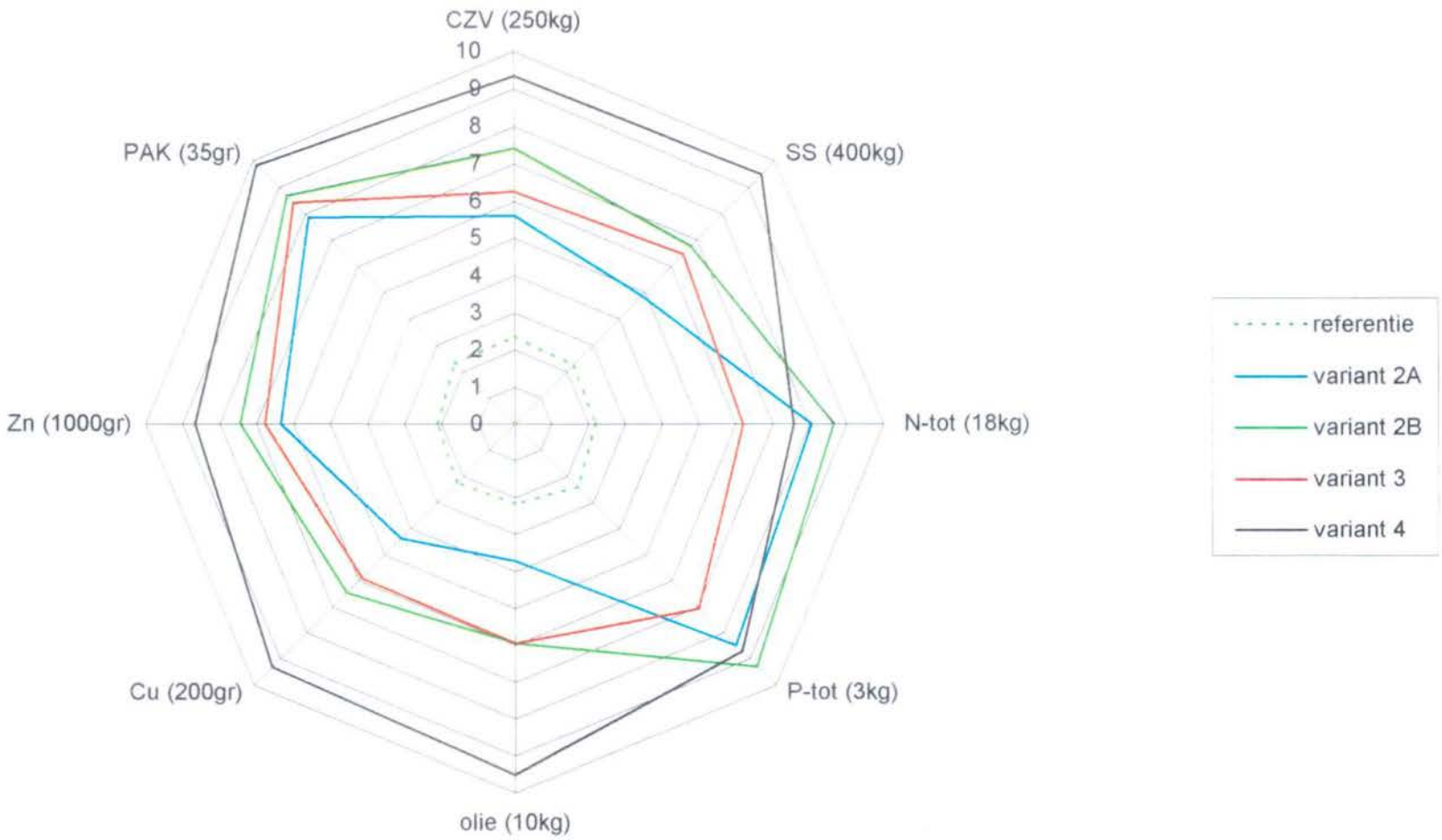
75% reductie concentratie afstromend regenwater

Nieuwbouw Laag Nederland (effluentvracht) (figuur 15)
75% reductie concentratie afstromend regenwater



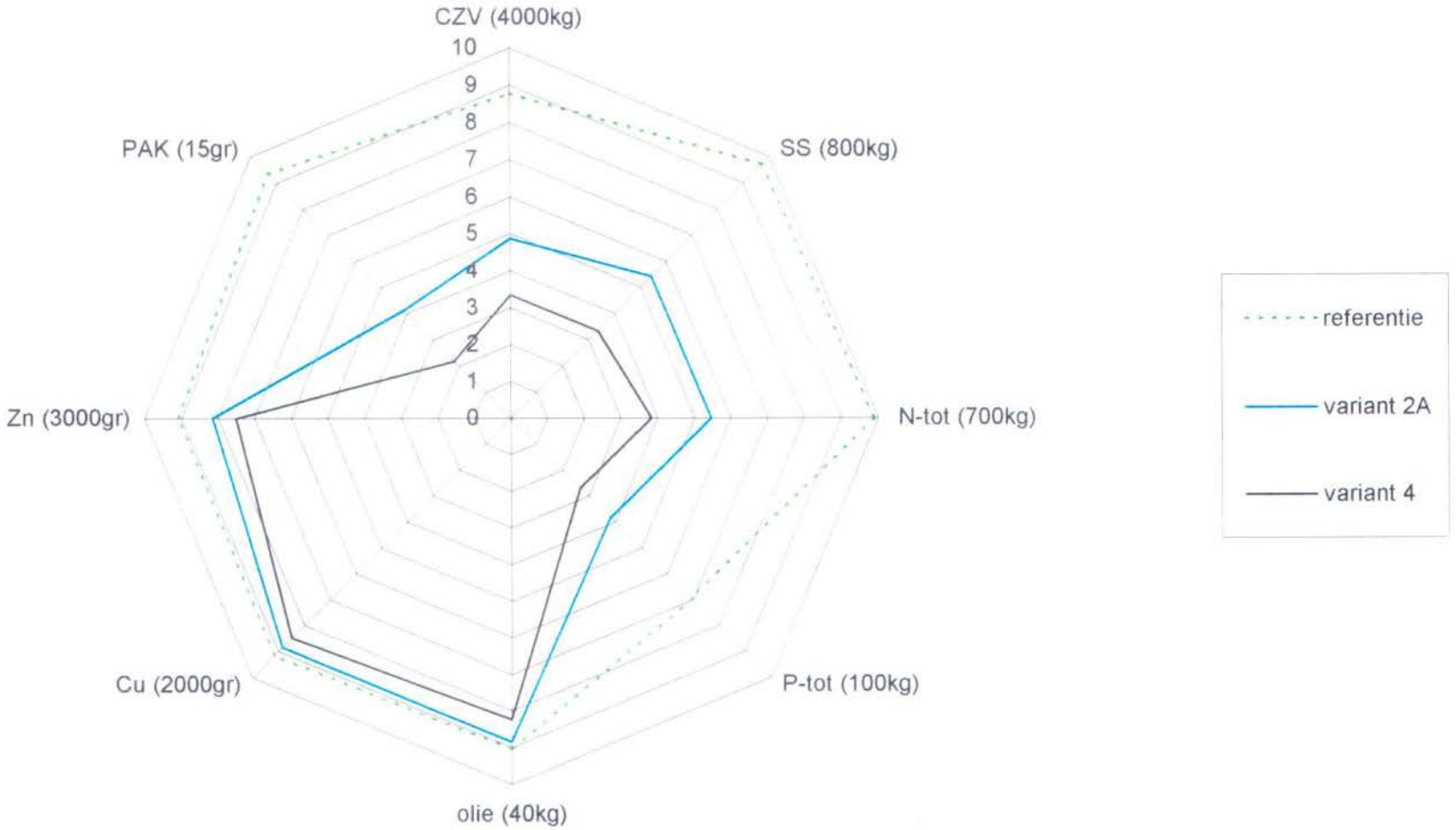
Nieuwbouw Laag Nederland (overstort + directe afvoer) (figuur 16)

75% reductie concentratie afstromend regenwater



Nieuwbouw Hoog Nederland (effluent + overstort) (figuur 17)

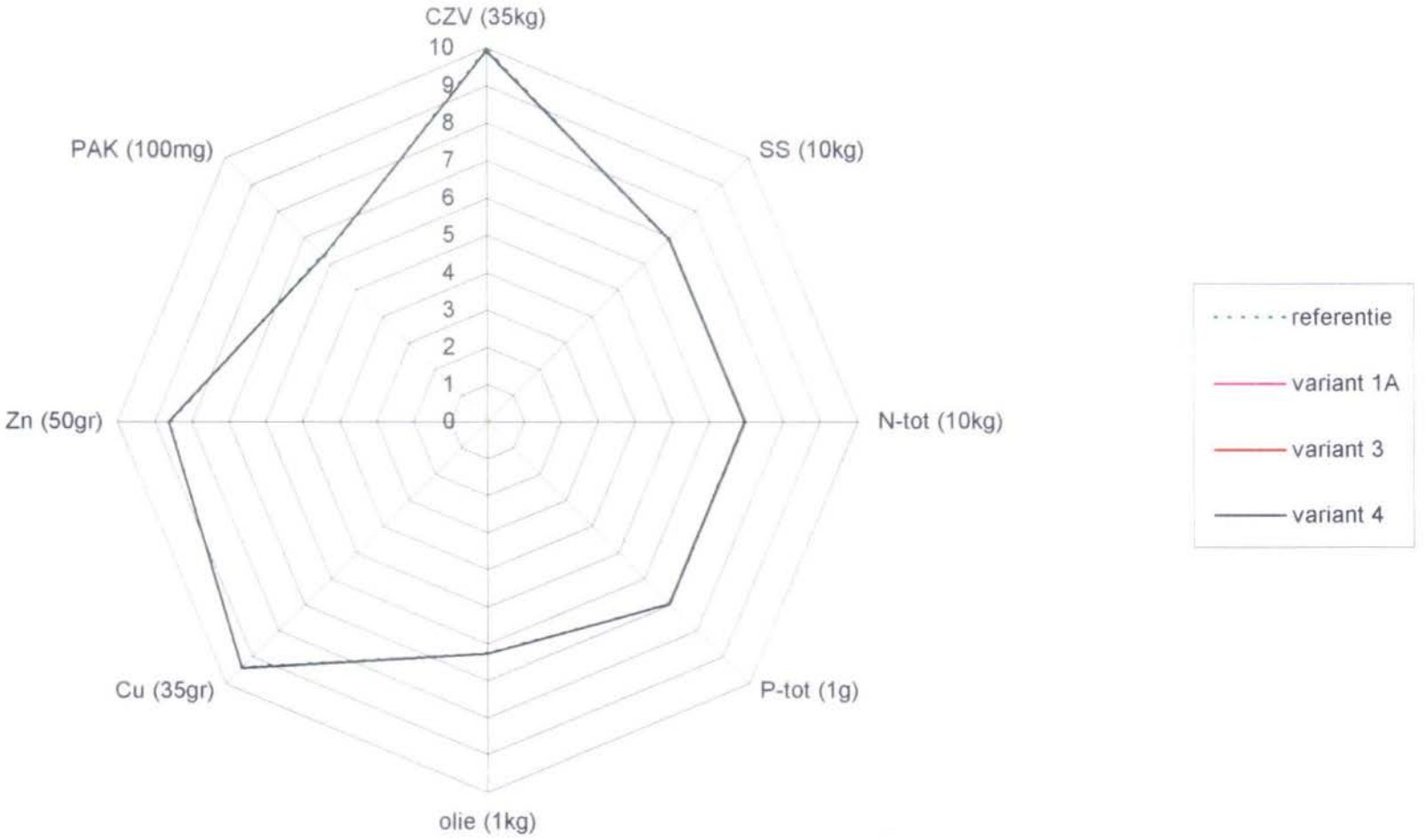
75% reductie concentratie afstromend regenwater



Nieuwbouw Hoog Nederland (infiltratie) (figuur 18)
75% reductie concentratie afstromend regenwater

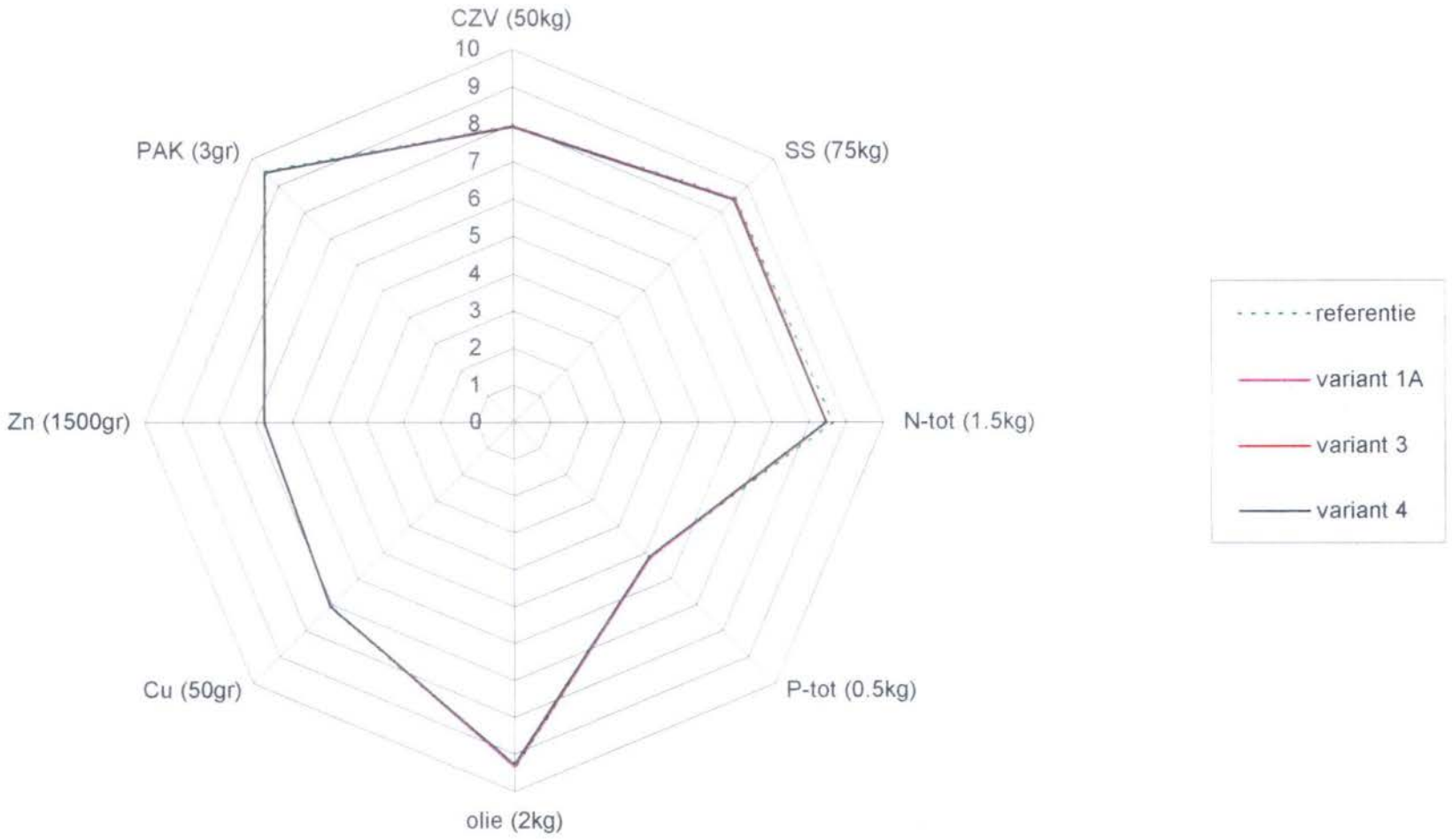
Bestaand Laag Nederland (effluent) (figuur 19)

75% reductie concentratie afstromend regenwater



Buitengebied (directe afvoer) (figuur 20)

75% reductie concentratie afstromend regenwater



Tabel B4.1a Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand laag'. Het betreft de referentiesituatie.

Stofbalans bestaand laag Nederland; referentiesituatie								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	122.10^{1}	0	150.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	458.10^{2}
SS	kg	0	267.10^{1}	0	112.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	915.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	267.10^{0}	794.10^{0}	147.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	915.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	162.10^{-1}	212.10^{-1}	267.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	915.10^{0}
olie	kg	0	810.10^{-1}	0	256.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	527.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	413.10^{0}	423.10^{1}	543.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	274.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	203.10^{1}	318.10^{1}	609.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	740.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	972.10^{-2}	0	653.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	177.10^{0}

Tabel B4.1b Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand laag'. Het betreft variant 1A.

Stofbalans bestaand laag Nederland; variant 1A								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	122.10^{1}	0	905.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	461.10^{2}
SS	kg	0	267.10^{1}	0	682.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	923.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	267.10^{-1}	794.10^{0}	884.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	923.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	162.10^{-1}	212.10^{-1}	160.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	923.10^{0}
olie	kg	0	810.10^{-1}	0	156.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	528.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	413.10^{0}	423.10^{1}	331.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	275.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	203.10^{1}	318.10^{1}	375.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	749.10^{2}
PAK	gr	249.10^{0}	972.10^{-2}	0	402.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	180.10^{0}

Tabel B4.1c Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand laag'. Het betreft variant 2A.

Stofbalans bestaand laag Nederland; variant 2A								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	555.10^{0}	0	840.10^{-1}	159.10^{1}	n.v.t.	406.10^{2}
SS	kg	0	122.10^{1}	0	742.10^{-1}	611.10^{0}	n.v.t.	813.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	122.10^{0}	794.10^{0}	753.10^{-2}	244.10^{0}	n.v.t.	813.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	740.10^{-2}	212.10^{-1}	139.10^{-2}	367.10^{-1}	n.v.t.	813.10^{0}
olie	kg	0	370.10^{-1}	0	178.10^{-2}	0	n.v.t.	530.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	189.10^{0}	423.10^{1}	351.10^{-1}	611.10^{0}	n.v.t.	274.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	925.10^{0}	318.10^{1}	130.10^{0}	367.10^{1}	n.v.t.	438.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	444.10^{-2}	0	487.10^{-2}	489.10^{-1}	n.v.t.	178.10^{0}

Tabel B4.1d Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand laag'. Het betreft variant 2B.

Stofbalans bestaand laag Nederland; variant 2B								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	0	418.10^{1}	n.v.t.	291.10^{2}
SS	kg	0	0	0	0	550.10^{1}	n.v.t.	583.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	723.10^{0}	0	530.10^{0}	n.v.t.	583.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	193.10^{-1}	0	917.10^{-1}	n.v.t.	583.10^{0}
olie	kg	0	0	0	0	815.10^{-1}	n.v.t.	518.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	386.10^{1}	0	224.10^{1}	n.v.t.	266.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	289.10^{1}	0	214.10^{2}	n.v.t.	378.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	0	978.10^{0}	n.v.t.	859.10^{-1}

Tabel B4.1e Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand laag'. Het betreft variant 3.

Stofbalans bestaand laag Nederland: variant 3								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	0	278.10^{1}	n.v.t.	367.10^{2}
SS	kg	0	0	0	0	496.10^{1}	n.v.t.	535.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	492.10^{0}	0	315.10^{0}	n.v.t.	535.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	131.10^{-1}	0	594.10^{-1}	n.v.t.	535.10^{0}
olie	kg	0	0	0	0	815.10^{-1}	n.v.t.	518.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	262.10^{1}	0	170.10^{1}	n.v.t.	262.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	197.10^{1}	0	182.10^{2}	n.v.t.	384.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	0	935.10^{0}	n.v.t.	902.10^{-1}

Tabel B4.1f Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand laag'. Het betreft variant 4.

Stofbalans bestaand laag Nederland; variant 4								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer*	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	0	854.10^{1}	n.v.t.	193.10^{2}
SS	kg	0	0	0	0	145.10^{2}	n.v.t.	385.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	421.10^{0}	0	453.10^{0}	n.v.t.	385.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	112.10^{-1}	0	900.10^{-1}	n.v.t.	385.10^{0}
olie	kg	0	0	0	0	367.10^{0}	n.v.t.	473.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	225.10^{1}	0	700.10^{1}	n.v.t.	243.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	168.10^{1}	0	323.10^{2}	n.v.t.	333.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	0	132.10^{1}	n.v.t.	516.10^{-1}

* Inclusief de overstorten vanuit regenwaterbassins.

Tabel B4.2a Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft de referentiesituatie.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; referentiesituatie								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	135.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	379.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	107.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	758.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	565.10^{0}	130.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	758.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	151.10^{-1}	236.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	758.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	247.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	389.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	301.10^{1}	522.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	202.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	226.10^{1}	617.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	641.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	654.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	162.10^{0}

Tabel B4.2b Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft variant 1A.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; variant 1A								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	815.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	383.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	657.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	766.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	565.10^{0}	780.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	766.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	151.10^{-1}	141.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	766.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	151.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	390.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	301.10^{1}	320.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	203.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	226.10^{1}	385.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	649.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	414.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	164.10^{0}

Tabel B4.2c Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft variant 1B.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; variant 1B								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	0	n.v.t.	n.v.t.	389.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	0	n.v.t.	n.v.t.	779.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	565.10^{0}	0	n.v.t.	n.v.t.	799.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	151.10^{-1}	0	n.v.t.	n.v.t.	799.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	0	n.v.t.	n.v.t.	393.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	301.10^{1}	0	n.v.t.	n.v.t.	204.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	226.10^{1}	0	n.v.t.	n.v.t.	663.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	0	n.v.t.	n.v.t.	168.10^{0}

Tabel B4.2d Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft variant 2A.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; variant 2A								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	722.10^{-1}	n.v.t.	157.10^{1}	328.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	697.10^{-1}	n.v.t.	605.10^{0}	657.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	565.10^{0}	621.10^{-2}	n.v.t.	242.10^{0}	657.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	151.10^{-1}	116.10^{-2}	n.v.t.	363.10^{-1}	657.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	169.10^{-2}	n.v.t.	0	392.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	301.10^{1}	331.10^{-1}	n.v.t.	605.10^{0}	201.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	226.10^{1}	127.10^{0}	n.v.t.	363.10^{1}	343.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	488.10^{-2}	n.v.t.	484.10^{-1}	163.10^{0}

Tabel B4.2e Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft variant 2B.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; variant 2B								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	0	n.v.t.	413.10^{1}	221.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	0	n.v.t.	544.10^{1}	443.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	514.10^{0}	0	n.v.t.	524.10^{0}	443.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	137.10^{-1}	0	n.v.t.	907.10^{-1}	443.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	0	n.v.t.	806.10^{-1}	381.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	274.10^{1}	0	n.v.t.	222.10^{1}	194.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	206.10^{1}	0	n.v.t.	212.10^{2}	283.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	0	n.v.t.	968.10^{0}	717.10^{-1}

Tabel B4.2f Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft variant 3.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; variant 3								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie*	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	0	n.v.t.	314.10^{1}	204.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	0	n.v.t.	506.10^{1}	409.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	350.10^{0}	0	n.v.t.	371.10^{0}	409.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	934.10^{-2}	0	n.v.t.	678.10^{-1}	409.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	0	n.v.t.	806.10^{-1}	380.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	187.10^{1}	0	n.v.t.	184.10^{1}	192.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	140.10^{1}	0	n.v.t.	189.10^{2}	287.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	0	n.v.t.	937.10^{0}	748.10^{-1}

* Inclusief de overstorten vanuit regenwaterbassins.

Tabel B4.2g Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft variant 4.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; variant 4								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	0	n.v.t.	984.10^{1}	137.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	0	n.v.t.	149.10^{2}	274.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	414.10^{0}	0	n.v.t.	661.10^{0}	274.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	110.10^{-1}	0	n.v.t.	121.10^{0}	274.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	0	n.v.t.	363.10^{0}	337.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	221.10^{1}	0	n.v.t.	746.10^{1}	173.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	166.10^{1}	0	n.v.t.	352.10^{2}	230.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	0	n.v.t.	134.10^{1}	337.10^{-1}

Tabel B4.3a Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw laag'. Het betreft de referentiesituatie.

Stofbalans nieuwbouw laag Nederland; referentiesituatie								
		Neerslag	Inlaat	Drinkwater	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	235.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	378.10^{2}
SS	kg	0	0	0	356.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	755.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	645.10^{0}	158.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	755.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	172.10^{-1}	230.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	755.10^{0}
olie	kg	0	0	0	868.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	431.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	344.10^{1}	179.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	224.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	258.10^{1}	294.10^{2}	n.v.t.	n.v.t.	613.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	322.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	147.10^{0}

Tabel B4.3b Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw laag'. Het betreft variant 2A.

Stofbalans nieuwbouw laag Nederland; variant 2A								
		Neerslag	Inlaat	Drinkwater	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	128.10^{1}	433.10^{1}	n.v.t.	217.10^{2}
SS	kg	0	0	0	212.10^{1}	570.10^{1}	n.v.t.	435.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	530.10^{0}	308.10^{-1}	549.10^{0}	n.v.t.	435.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	141.10^{-1}	679.10^{-2}	950.10^{-1}	n.v.t.	435.10^{0}
olie	kg	0	0	0	634.10^{-1}	845.10^{-1}	n.v.t.	421.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	283.10^{1}	118.10^{1}	232.10^{1}	n.v.t.	215.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	212.10^{1}	314.10^{1}	222.10^{2}	n.v.t.	305.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	851.10^{-1}	101.10^{1}	n.v.t.	697.10^{-1}

Tabel B4.3c Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw laag'. Het betreft variant 2B.

Stofbalans nieuwbouw laag Nederland; variant 2B								
		Neerslag	Inlaat	Drinkwater	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	309.10^{1}	433.10^{1}	n.v.t.	182.10^{2}
SS	kg	0	0	0	511.10^{1}	570.10^{1}	n.v.t.	364.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	473.10^{0}	743.10^{-1}	549.10^{0}	n.v.t.	364.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	126.10^{-1}	164.10^{-1}	950.10^{-1}	n.v.t.	364.10^{0}
olie	kg	0	0	0	153.10^{0}	845.10^{-1}	n.v.t.	406.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	252.10^{1}	284.10^{1}	232.10^{1}	n.v.t.	208.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	189.10^{1}	758.10^{1}	222.10^{2}	n.v.t.	288.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	205.10^{0}	101.10^{1}	n.v.t.	576.10^{-1}

Tabel B4.3d Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw laag'. Het betreft variant 3.

Stofbalans nieuwbouw laag Nederland; variant 3								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer*	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	309.10^{1}	318.10^{1}	n.v.t.	182.10^{2}
SS	kg	0	0	0	511.10^{1}	526.10^{1}	n.v.t.	364.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	340.10^{0}	743.10^{-1}	372.10^{0}	n.v.t.	364.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	907.10^{-2}	164.10^{-1}	684.10^{-1}	n.v.t.	364.10^{0}
olie	kg	0	0	0	153.10^{0}	845.10^{-1}	n.v.t.	406.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	181.10^{1}	284.10^{1}	188.10^{1}	n.v.t.	207.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	136.10^{1}	758.10^{1}	195.10^{2}	n.v.t.	296.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	205.10^{0}	978.10^{0}	n.v.t.	610.10^{-1}

* Inclusief de overstorten vanuit regenwaterbassins naar oppervlaktewater.

Tabel B4.3e Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw laag'. Het betreft variant 4.

Stofbalans nieuwbouw laag Nederland; variant 4								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer*	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	n.v.t.	935.10^{1}	n.v.t.	107.10^{2}
SS	kg	0	0	0	n.v.t.	152.10^{2}	n.v.t.	215.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	220.10^{0}	n.v.t.	545.10^{0}	n.v.t.	215.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	586.10^{-2}	n.v.t.	105.10^{0}	n.v.t.	215.10^{0}
olie	kg	0	0	0	n.v.t.	380.10^{0}	n.v.t.	384.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	117.10^{1}	n.v.t.	744.10^{1}	n.v.t.	172.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	879.10^{0}	n.v.t.	346.10^{2}	n.v.t.	140.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	n.v.t.	138.10^{1}	n.v.t.	413.10^{-1}

* Inclusief de overstorten vanuit regenwaterbassins naar oppervlaktewater.

Tabel B4.4a Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw hoog'. Het betreft de referentiesituatie.

Stofbalans nieuwbouw hoog Nederland; referentiesituatie								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	463.10^{1}	0	233.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	344.10^{2}
SS	kg	0	419.10^{1}	0	353.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	689.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	320.10^{1}	550.10^{0}	157.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	689.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	441.10^{-1}	147.10^{-1}	287.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	689.10^{0}
olie	kg	0	0	0	860.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	373.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	129.10^{1}	293.10^{1}	177.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	194.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	468.10^{1}	220.10^{1}	291.10^{2}	n.v.t.	n.v.t.	571.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	248.10^{-1}	0	319.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	141.10^{0}

Tabel B4.4b Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw hoog'. Het betreft variant 2A.

Stofbalans nieuwbouw hoog Nederland; variant 2A								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	463.10^{1}	0	127.10^{1}	n.v.t.	429.10^{1}	191.10^{2}
SS	kg	0	419.10^{1}	0	210.10^{1}	n.v.t.	565.10^{1}	382.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	320.10^{1}	452.10^{0}	305.10^{-1}	n.v.t.	544.10^{0}	382.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	441.10^{-1}	121.10^{-1}	672.10^{-2}	n.v.t.	941.10^{-1}	382.10^{0}
olie	kg	0	0	0	627.10^{-1}	n.v.t.	836.10^{-1}	363.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	129.10^{1}	241.10^{1}	116.10^{1}	n.v.t.	230.10^{1}	185.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	468.10^{1}	181.10^{1}	311.10^{1}	n.v.t.	220.10^{2}	266.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	248.10^{-1}	0	842.10^{-1}	n.v.t.	100.10^{1}	638.10^{-1}

Tabel B4.4c Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw hoog'. Het betreft variant 4.

Stofbalans nieuwbouw hoog Nederland; variant 4								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	463.10^{1}	0	0	n.v.t.	102.10^{2}	134.10^{2}
SS	kg	0	419.10^{1}	0	0	n.v.t.	154.10^{2}	268.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	320.10^{1}	403.10^{0}	0	n.v.t.	686.10^{0}	268.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	441.10^{-1}	108.10^{-1}	0	n.v.t.	125.10^{0}	268.10^{0}
olie	kg	0	0	0	0	n.v.t.	376.10^{0}	329.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	129.10^{1}	215.10^{1}	0	n.v.t.	774.10^{1}	170.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	468.10^{1}	161.10^{1}	0	n.v.t.	365.10^{2}	225.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	248.10^{-1}	0	0	n.v.t	140.10^{1}	329.10^{-1}

Tabel B4.5a Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'buitengebied'. Het betreft de referentiesituatie.

Stofbalans buitengebied; referentiesituatie								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	n.v.t.	159.10^{1}	n.v.t.	347.10^{0}
SS	kg	0	0	0	n.v.t.	254.10^{1}	n.v.t.	695.10^{-1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	104.10^{-1}	n.v.t.	507.10^{-1}	n.v.t.	695.10^{-1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	278.10^{-3}	n.v.t.	103.10^{-1}	n.v.t.	695.10^{-2}
olie	kg	0	0	0	n.v.t.	743.10^{-1}	n.v.t.	625.10^{-2}
Cu	gr	204.10^{1}	0	556.10^{-1}	n.v.t.	141.10^{1}	n.v.t.	328.10^{0}
Zn	gr	139.10^{2}	0	417.10^{-1}	n.v.t.	697.10^{1}	n.v.t.	430.10^{0}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	n.v.t.	114.10^{0}	n.v.t.	625.10^{-3}

Tabel B4.5b Berekende jaarvracht voor het referentiegebied 'buitengebied'. Het betreft variant 1A.

Stofbalans buitengebied; variant 1A								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	n.v.t.	159.10^{1}	n.v.t.	347.10^{0}
SS	kg	0	0	0	n.v.t.	254.10^{1}	n.v.t.	695.10^{-1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	104.10^{-1}	n.v.t.	507.10^{-1}	n.v.t.	695.10^{-1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	278.10^{-3}	n.v.t.	103.10^{-1}	n.v.t.	695.10^{-2}
olie	kg	0	0	0	n.v.t.	743.10^{-1}	n.v.t.	625.10^{-2}
Cu	gr	204.10^{1}	0	556.10^{-1}	n.v.t.	141.10^{1}	n.v.t.	328.10^{0}
Zn	gr	139.10^{2}	0	417.10^{-1}	n.v.t.	697.10^{1}	n.v.t.	430.10^{0}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	n.v.t.	114.10^{0}	n.v.t.	625.10^{-3}

Tabel B4.5c Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'buitengebied'. Het betreft variant 3.

Stofbalans buitengebied; variant 3								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	n.v.t.	159.10^{1}	n.v.t.	347.10^{0}
SS	kg	0	0	0	n.v.t.	254.10^{1}	n.v.t.	695.10^{-1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	104.10^{-1}	n.v.t.	507.10^{-1}	n.v.t.	695.10^{-1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	278.10^{-3}	n.v.t.	103.10^{-1}	n.v.t.	695.10^{-2}
olie	kg	0	0	0	n.v.t.	743.10^{-1}	n.v.t.	625.10^{-2}
Cu	gr	204.10^{1}	0	556.10^{-1}	n.v.t.	141.10^{1}	n.v.t.	328.10^{0}
Zn	gr	139.10^{2}	0	417.10^{-1}	n.v.t.	697.10^{1}	n.v.t.	430.10^{0}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	n.v.t.	114.10^{0}	n.v.t.	625.10^{-3}

Tabel B4.5d Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'buitengebied'. Het betreft variant 4.

Stofbalans buitengebied; variant 4								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	n.v.t.	159.10^{1}	n.v.t.	347.10^{0}
SS	kg	0	0	0	n.v.t.	254.10^{1}	n.v.t.	695.10^{-1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	104.10^{-1}	n.v.t.	507.10^{-1}	n.v.t.	695.10^{-1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	278.10^{-3}	n.v.t.	103.10^{-1}	n.v.t.	695.10^{-2}
olie	kg	0	0	0	n.v.t.	743.10^{-1}	n.v.t.	625.10^{-2}
Cu	gr	204.10^{1}	0	556.10^{-1}	n.v.t.	141.10^{1}	n.v.t.	328.10^{0}
Zn	gr	139.10^{2}	0	417.10^{-1}	n.v.t.	697.10^{1}	n.v.t.	430.10^{0}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	n.v.t.	114.10^{0}	n.v.t.	625.10^{-3}

Tabel B4.6a Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand laag'. Het betreft de referentiesituatie met 75% reductie.

Stofbalans bestaand laag Nederland; referentiesituatie								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	122.10^{1}	0	115.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	458.10^{2}
SS	kg	0	267.10^{1}	0	589.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	915.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	267.10^{0}	794.10^{0}	123.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	915.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	162.10^{-1}	212.10^{-1}	223.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	915.10^{0}
olie	kg	0	810.10^{-1}	0	127.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	487.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	413.10^{0}	423.10^{1}	276.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	255.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	203.10^{1}	318.10^{1}	665.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	356.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	972.10^{-2}	0	173.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	790.10^{1}

Tabel B4.6b Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand laag'. Het betreft variant 1A met 75% reductie.

Stofbalans bestaand laag Nederland; variant 1A								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	122.10^{1}	0	668.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	461.10^{2}
SS	kg	0	267.10^{1}	0	335.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	923.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	267.10^{-1}	794.10^{0}	739.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	923.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	162.10^{-1}	212.10^{-1}	134.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	923.10^{0}
olie	kg	0	810.10^{-1}	0	765.10^{-2}	n.v.t.	n.v.t.	488.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	413.10^{0}	423.10^{1}	167.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	256.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	203.10^{1}	318.10^{1}	405.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	357.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	972.10^{-2}	0	106.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	80.10^{0}

Tabel B4.6c Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand laag'. Het betreft variant 2A met 75% reductie.

Stofbalans bestaand laag Nederland; variant 2A								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	555.10^{0}	0	610.10^{-1}	397.10^{0}	n.v.t.	406.10^{2}
SS	kg	0	122.10^{1}	0	345.10^{-1}	153.10^{0}	n.v.t.	813.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	122.10^{0}	794.10^{0}	636.10^{-2}	611.10^{-1}	n.v.t.	813.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	740.10^{-2}	212.10^{-1}	116.10^{-2}	917.10^{-2}	n.v.t.	813.10^{0}
olie	kg	0	370.10^{-1}	0	768.10^{-3}	0	n.v.t.	489.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	189.10^{0}	423.10^{1}	161.10^{-1}	153.10^{-1}	n.v.t.	256.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	925.10^{0}	318.10^{1}	410.10^{-1}	917.10^{0}	n.v.t.	355.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	444.10^{-2}	0	126.10^{-2}	122.10^{-1}	n.v.t.	802.10^{-1}

Tabel B4.6d Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand laag'. Het betreft variant 2B met 75% reductie.

Stofbalans bestaand laag Nederland; variant 2B								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	0	104.10^{1}	n.v.t.	291.10^{2}
SS	kg	0	0	0	0	138.10^{1}	n.v.t.	583.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	723.10^{0}	0	132.10^{0}	n.v.t.	583.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	193.10^{-1}	0	229.10^{-1}	n.v.t	583.10^{0}
olie	kg	0	0	0	0	204.10^{-1}	n.v.t.	486.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	386.10^{1}	0	560.10^{0}	n.v.t.	252.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	289.10^{1}	0	535.10^{1}	n.v.t.	340.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	0	244.10^{-1}	n.v.t.	572.10^{-1}

Tabel B4.6e Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand laag'. Het betreft variant 3 met 75% reductie.

Stofbalans bestaand laag Nederland: variant 3								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	0	695.10^{0}	n.v.t.	267.10^{2}
SS	kg	0	0	0	0	124.10^{1}	n.v.t.	535.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	492.10^{0}	0	787.10^{-1}	n.v.t.	535.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	131.10^{-1}	0	149.10^{-1}	n.v.t.	535.10^{0}
olie	kg	0	0	0	0	204.10^{-1}	n.v.t.	484.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	262.10^{1}	0	425.10^{0}	n.v.t.	247.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	197.10^{1}	0	454.10^{1}	n.v.t.	338.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	0	233.10^{0}	n.v.t.	580.10^{-1}

Tabel B4.6f Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand laag'. Het betreft variant 4 met 75% reductie.

Stofbalans bestaand laag Nederland; variant 4								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer*	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	0	214.10^{1}	n.v.t.	193.10^{2}
SS	kg	0	0	0	0	362.10^{1}	n.v.t.	385.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	421.10^{0}	0	113.10^{0}	n.v.t.	385.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	112.10^{-1}	0	225.10^{-1}	n.v.t.	385.10^{0}
olie	kg	0	0	0	0	917.10^{-1}	n.v.t.	473.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	225.10^{1}	0	175.10^{1}	n.v.t.	241.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	168.10^{1}	0	808.10^{1}	n.v.t.	325.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	0	329.10^{1}	n.v.t.	486.10^{-1}

* Inclusief de overstorten vanuit regenwaterbassins.

Tabel B4.7a Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft de referentiesituatie met 75% reductie.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; referentiesituatie								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	994.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	379.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	530.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	758.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	565.10^{0}	106.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	758.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	151.10^{-1}	192.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	758.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	115.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	350.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	301.10^{1}	250.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	183.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	226.10^{1}	635.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	261.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	174.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	657.10^{-1}

Tabel B4.7b Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft variant 1A met 75% reductie.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; variant 1A								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	591.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	383.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	319.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	766.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	565.10^{0}	629.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	766.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	151.10^{-1}	114.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	766.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	694.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	350.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	301.10^{1}	150.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	184.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	226.10^{1}	389.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	262.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	108.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	664.10^{-1}

Tabel B4.7c Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft variant 1B met 75% reductie.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; variant 1B								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	0	n.v.t.	n.v.t.	389.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	0	n.v.t.	n.v.t.	779.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	565.10^{0}	0	n.v.t.	n.v.t.	799.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	151.10^{-1}	0	n.v.t.	n.v.t.	799.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	0	n.v.t.	n.v.t.	351.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	301.10^{1}	0	n.v.t.	n.v.t.	184.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	226.10^{1}	0	n.v.t.	n.v.t.	264.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	0	n.v.t.	n.v.t.	675.10^{-1}

Tabel B4.7d Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft variant 2A met 75% reductie.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; variant 2A								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	491.10^{-1}	n.v.t.	393.10^{0}	328.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	299.10^{-1}	n.v.t.	151.10^{0}	657.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	565.10^{0}	504.10^{-2}	n.v.t.	605.10^{-1}	657.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	151.10^{-1}	918.10^{-3}	n.v.t.	907.10^{-2}	657.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	673.10^{-3}	n.v.t.	0	351.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	301.10^{1}	139.10^{-1}	n.v.t.	151.10^{0}	184.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	226.10^{1}	392.10^{-1}	n.v.t.	907.10^{0}	260.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	126.10^{-2}	n.v.t.	121.10^{-1}	661.10^{-1}

Tabel B4.7e Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft variant 2B met 75% reductie.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; variant 2B								
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	0	n.v.t.	103.10^{1}	221.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	0	n.v.t.	136.10^{1}	443.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	514.10^{0}	0	n.v.t.	131.10^{0}	443.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	137.10^{-1}	0	n.v.t.	227.10^{-1}	443.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	0	n.v.t.	201.10^{-1}	348.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	274.10^{1}	0	n.v.t.	554.10^{0}	181.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	206.10^{1}	0	n.v.t.	529.10^{1}	246.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	0	n.v.t.	241.10^{0}	433.10^{-1}

Tabel B4.7f Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft variant 3 met 75% reductie.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; variant 3								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie*	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	0	n.v.t.	781.10^{0}	204.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	0	n.v.t.	127.10^{1}	409.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	350.10^{0}	0	n.v.t.	928.10^{-1}	409.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	934.10^{-2}	0	n.v.t.	169.10^{-1}	409.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	0	n.v.t.	202.10^{-1}	347.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	187.10^{1}	0	n.v.t.	459.10^{0}	177.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	140.10^{1}	0	n.v.t.	472.10^{1}	244.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	0	n.v.t.	234.10^{0}	440.10^{-1}

* Inclusief de overstorten vanuit regenwaterbassins.

Tabel B4.7g Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'bestaand hoog'. Het betreft variant 4 met 75% reductie.

Stofbalans bestaand hoog Nederland; variant 4								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	110.10^{4}	0	0	n.v.t.	246.10^{1}	137.10^{2}
SS	kg	0	546.10^{3}	0	0	n.v.t.	372.10^{1}	274.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	146.10^{4}	414.10^{0}	0	n.v.t.	165.10^{0}	274.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	120.10^{3}	110.10^{-1}	0	n.v.t.	302.10^{-1}	274.10^{0}
olie	kg	0	107.10^{3}	0	0	n.v.t.	907.10^{-1}	337.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	321.10^{3}	221.10^{1}	0	n.v.t.	186.10^{1}	173.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	342.10^{4}	166.10^{1}	0	n.v.t.	879.10^{1}	230.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	685.10^{1}	0	0	n.v.t.	336.10^{0}	337.10^{-1}

Tabel B4.8a Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw laag'. Het betreft de referentiesituatie met 75% reductie.

Stofbalans nieuwbouw laag Nederland; referentiesituatie								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drinkwater	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	588.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	378.10^{2}
SS	kg	0	0	0	890.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	755.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	645.10^{0}	396.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	755.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	172.10^{-1}	724.10^{-2}	n.v.t.	n.v.t.	755.10^{0}
olie	kg	0	0	0	217.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	397.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	344.10^{1}	446.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	208.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	258.10^{1}	210.10^{1}	n.v.t.	n.v.t.	291.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	806.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	658.10^{-1}

Tabel B4.8b Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw laag'. Het betreft variant 2A met 75% reductie.

Stofbalans nieuwbouw laag Nederland; variant 2A								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drinkwater	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	320.10^{0}	108.10^{1}	n.v.t.	217.10^{2}
SS	kg	0	0	0	529.10^{0}	143.10^{1}	n.v.t.	435.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	530.10^{0}	770.10^{-2}	137.10^{0}	n.v.t.	435.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	141.10^{-1}	170.10^{-2}	238.10^{-1}	n.v.t.	435.10^{0}
olie	kg	0	0	0	158.10^{-1}	211.10^{-1}	n.v.t.	394.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	283.10^{1}	294.10^{1}	580.10^{0}	n.v.t.	204.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	212.10^{1}	785.10^{0}	554.10^{1}	n.v.t.	275.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	213.10^{-1}	253.10^{0}	n.v.t.	465.10^{-1}

Tabel B4.8c Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw laag'. Het betreft variant 2B met 75% reductie.

Stofbalans nieuwbouw laag Nederland; variant 2B								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drinkwater	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	772.10^{0}	108.10^{1}	n.v.t.	182.10^{2}
SS	kg	0	0	0	128.10^{1}	143.10^{1}	n.v.t.	364.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	473.10^{0}	186.10^{-1}	137.10^{0}	n.v.t.	364.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	126.10^{-1}	410.10^{-2}	238.10^{-1}	n.v.t.	364.10^{0}
olie	kg	0	0	0	382.10^{-1}	211.10^{-1}	n.v.t.	390.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	252.10^{1}	709.10^{0}	580.10^{0}	n.v.t.	201.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	189.10^{1}	189.10^{1}	554.10^{1}	n.v.t.	270.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	513.10^{0}	253.10^{0}	n.v.t.	434.10^{-1}

Tabel B4.8d Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw laag'. Het betreft variant 3 met 75% reductie.

Stofbalans nieuwbouw laag Nederland; variant 3								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer*	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	773.10^{0}	794.10^{0}	n.v.t.	182.10^{2}
SS	kg	0	0	0	128.10^{1}	131.10^{1}	n.v.t.	364.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	340.10^{0}	186.10^{-1}	929.10^{-1}	n.v.t.	364.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	907.10^{-2}	410.10^{-2}	171.10^{-1}	n.v.t.	364.10^{0}
olie	kg	0	0	0	382.10^{-1}	211.10^{-1}	n.v.t.	391.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	181.10^{1}	710.10^{0}	470.10^{0}	n.v.t.	199.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	136.10^{1}	189.10^{1}	488.10^{1}	n.v.t.	271.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	513.10^{-1}	244.10^{0}	n.v.t.	443.10^{-1}

* Inclusief de overstorten vanuit regenwaterbassins naar oppervlaktewater.

Tabel B4.8e Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw laag'. Het betreft variant 4 met 75% reductie.

Stofbalans nieuwbouw laag Nederland; variant 4								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer*	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	n.v.t.	234.10^{1}	n.v.t.	107.10^{2}
SS	kg	0	0	0	n.v.t.	380.10^{1}	n.v.t.	215.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	220.10^{0}	n.v.t.	136.10^{0}	n.v.t.	215.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	586.10^{-2}	n.v.t.	262.10^{-1}	n.v.t.	215.10^{0}
olie	kg	0	0	0	n.v.t.	950.10^{-1}	n.v.t.	383.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	0	117.10^{1}	n.v.t.	186.10^{1}	n.v.t.	170.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	0	879.10^{0}	n.v.t.	865.10^{1}	n.v.t.	135.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	n.v.t.	345.10^{1}	n.v.t.	393.10^{-1}

* Inclusief de overstorten vanuit regenwaterbassins naar oppervlaktewater.

Tabel B4.9a Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw hoog'. Het betreft de referentiesituatie met 75% reductie.

Stofbalans nieuwbouw hoog Nederland; referentiesituatie								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drinkwater	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	463.10^{1}	0	583.100^{1}	n.v.t.	n.v.t.	344.10^{2}
SS	kg	0	419.10^{1}	0	881.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	689.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	320.10^{1}	550.10^{0}	391.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	689.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	441.10^{-1}	147.10^{-1}	717.10^{-2}	n.v.t.	n.v.t.	689.10^{0}
olie	kg	0	0	0	215.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	341.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	129.10^{1}	293.10^{1}	442.10^{0}	n.v.t.	n.v.t.	178.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	468.10^{1}	220.10^{1}	208.101^{2}	n.v.t.	n.v.t.	252.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	248.10^{-1}	0	798.10^{-1}	n.v.t.	n.v.t.	599.10^{0}

Tabel B4.9b Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw hoog'. Het betreft variant 2A met 75% reductie.

Stofbalans nieuwbouw hoog Nederland; variant 2A								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drinkwater	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	463.10^{1}	0	317.10^{0}	n.v.t.	107.10^{1}	191.10^{2}
SS	kg	0	419.10^{1}	0	524.10^{0}	n.v.t.	141.10^{1}	382.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	320.10^{1}	452.10^{0}	762.10^{-2}	n.v.t.	136.10^{0}	382.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	441.10^{-1}	121.10^{-1}	168.10^{-2}	n.v.t.	235.10^{-1}	382.10^{0}
olie	kg	0	0	0	157.10^{-1}	n.v.t.	209.10^{-1}	337.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	129.10^{1}	241.10^{1}	291.10^{1}	n.v.t.	575.10^{0}	174.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	468.10^{1}	181.10^{1}	777.10^{0}	n.v.t.	549.10^{2}	236.10^{2}
PAK	gr	429.10^{0}	248.10^{-1}	0	211.10^{-1}	n.v.t.	251.10^{0}	407.10^{-1}

Tabel B4.9c Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'nieuwbouw hoog'. Het betreft variant 4 met 75% reductie.

Stofbalans nieuwbouw hoog Nederland; variant 4								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drinkwater	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	463.10^{1}	0	0	n.v.t.	255.10^{1}	134.10^{2}
SS	kg	0	419.10^{1}	0	0	n.v.t.	386.10^{1}	268.10^{1}
N-tot	kg	509.10^{0}	320.10^{1}	403.10^{0}	0	n.v.t.	171.10^{0}	268.10^{1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	441.10^{-1}	108.10^{-1}	0	n.v.t.	314.10^{-1}	268.10^{0}
olie	kg	0	0	0	0	n.v.t.	941.10^{-1}	328.10^{0}
Cu	gr	204.10^{1}	129.10^{1}	215.10^{1}	0	n.v.t.	193.10^{1}	170.10^{2}
Zn	gr	139.10^{2}	468.10^{1}	161.10^{1}	0	n.v.t.	912.10^{1}	225.10^{2}
PAK	g	429.10^{0}	248.10^{-1}	0	0	n.v.t	349.10^{1}	329.10^{-1}

Tabel B4.10a Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'buitengebied'. Het betreft de referentiesituatie met 75% reductie.

Stofbalans buitengebied; referentiesituatie								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	n.v.t.	397.10^{0}	n.v.t.	347.10^{0}
SS	kg	0	0	0	n.v.t.	635.10^{0}	n.v.t.	695.10^{-1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	104.10^{-1}	n.v.t.	127.10^{-1}	n.v.t.	695.10^{-1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	278.10^{-3}	n.v.t.	257.10^{-2}	n.v.t.	695.10^{-2}
olie	kg	0	0	0	n.v.t.	186.10^{-1}	n.v.t.	625.10^{-2}
Cu	gr	204.10^{1}	0	556.10^{-1}	n.v.t.	352.10^{0}	n.v.t.	328.10^{0}
Zn	gr	139.10^{2}	0	417.10^{-1}	n.v.t.	101.10^{0}	n.v.t.	430.10^{0}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	n.v.t.	285.10^{-1}	n.v.t.	625.10^{-3}

Tabel B4.10b Berekende jaarvracht voor het referentiegebied 'buitengebied'. Het betreft variant 1A met 75% reductie.

Stofbalans buitengebied; variant 1A								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	n.v.t.	397.10^{0}	n.v.t.	347.10^{0}
SS	kg	0	0	0	n.v.t.	635.10^{0}	n.v.t.	695.10^{-1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	104.10^{-1}	n.v.t.	127.10^{-1}	n.v.t.	695.10^{-1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	278.10^{-3}	n.v.t.	257.10^{-2}	n.v.t.	695.10^{-2}
olie	kg	0	0	0	n.v.t.	186.10^{-1}	n.v.t.	625.10^{-2}
Cu	gr	204.10^{1}	0	556.10^{-1}	n.v.t.	352.10^{0}	n.v.t.	328.10^{0}
Zn	gr	139.10^{2}	0	417.10^{-1}	n.v.t.	101.10^{0}	n.v.t.	430.10^{0}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	n.v.t.	285.10^{-1}	n.v.t.	625.10^{-3}

Tabel B4.10c Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'buitengebied'. Het betreft variant 3 met 75% reductie.

Stofbalans buitengebied; variant 3								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	n.v.t.	397.10^{0}	n.v.t.	347.10^{0}
SS	kg	0	0	0	n.v.t.	635.10^{0}	n.v.t.	695.10^{-1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	104.10^{-1}	n.v.t.	127.10^{-1}	n.v.t.	695.10^{-1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	278.10^{-3}	n.v.t.	257.10^{-2}	n.v.t.	695.10^{-2}
olie	kg	0	0	0	n.v.t.	186.10^{-1}	n.v.t.	625.10^{-2}
Cu	gr	204.10^{1}	0	556.10^{-1}	n.v.t.	352.10^{0}	n.v.t.	328.10^{0}
Zn	gr	139.10^{2}	0	417.10^{-1}	n.v.t.	101.10^{0}	n.v.t.	430.10^{0}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	n.v.t.	285.10^{-1}	n.v.t.	625.10^{-3}

Tabel B4.10d Berekende jaarvrachten voor het referentiegebied 'buitengebied'. Het betreft variant 4 met 75% reductie.

Stofbalans buitengebied; variant 4								75% reductie
		Neerslag	Inlaat	Drink-water	Overstort	Directe afvoer	Infiltratie	Effluent
CZV	kg	0	0	0	n.v.t.	397.10^{0}	n.v.t.	347.10^{0}
SS	kg	0	0	0	n.v.t.	635.10^{0}	n.v.t.	695.10^{-1}
N-tot	kg	509.10^{0}	0	104.10^{-1}	n.v.t.	127.10^{-1}	n.v.t.	695.10^{-1}
P-tot	kg	665.10^{-2}	0	278.10^{-3}	n.v.t.	257.10^{-2}	n.v.t.	695.10^{-2}
olie	kg	0	0	0	n.v.t.	186.10^{-1}	n.v.t.	625.10^{-2}
Cu	gr	204.10^{1}	0	556.10^{-1}	n.v.t.	352.10^{0}	n.v.t.	328.10^{0}
Zn	gr	139.10^{2}	0	417.10^{-1}	n.v.t.	101.10^{0}	n.v.t.	430.10^{0}
PAK	gr	429.10^{0}	0	0	n.v.t.	285.10^{-1}	n.v.t.	625.10^{-3}

Tabel B4.11a Kwaliteit van overstortwater en afstromend regenwater dat direct naar oppervlaktewater wordt afgevoerd (dir. afvoer) en het effect van beide op de kwaliteit van oppervlaktewater.

Bestaand gebied in laag Nederland												
Stof		Referentie		Variant 1a		Variant 2a			Variant 2b		Variant 3	Variant 4
		over-stort	opp. water	over-stort	opp. water	over-stort	dir. afvoer	opp.water	dir. afvoer	opp. water	dir. afvoer	dir. afvoer
CZV	(mg/l)	72,9	1,5-5,1	71,5	0,4-3,6	75,1	13,0	1,4-4,1	13,7	3,0-7,4	14,0	28,5
SS	(mg/l)	54,4	1,1-3,8	53,9	0,3-2,7	66,4	5,0	0,6-2,0	18,0	4,0-9,7	25,1	48,3
N-tot	(mg/l)	7,1	0,1-0,5	7,0	0,03-0,3	6,7	2,0	0,2-0,6	1,7	0,4-0,9	1,6	1,5
P-tot	(mg/l)	1,3	0,03-0,1	1,3	0,01-0,1	1,2	0,3	0,03-0,1	0,3	0,1-0,2	0,3	0,3
olie	(mg/l)	1,2	0,02-0,1	1,2	0,01-0,1	1,6	0,0	0,00-0,02	0,3	0,1-0,1	0,4	1,2
Cu	(µg/l)	26,4	0,5-1,8	26,2	0,1-1,3	31,4	5,0	0,6-1,6	7,3	1,6-4,0	8,6	23,3
Zn	(µg/l)	296,1	5,9-20,7	296,3	1,5-14,8	115,9	30,0	3,3-9,0	70,0	15,4-37,8	91,7	107,7
PAK	(µg/l)	3,2	0,1-0,2	3,2	0,02-0,2	4,4	0,4	0,04-0,1	3,2	0,7-1,7	4,7	4,4

Tabel B4.11b Kwaliteit van overstortwater en afstromend regenwater dat direct naar oppervlaktewater wordt afgevoerd (dir. afvoer) en het effect van beide op de kwaliteit van oppervlaktewater. Hierbij zijn de concentraties van afstromend regenwater met 75% gereduceerd.

Bestaand gebied in laag Nederland met 75% reductie concentratie afstromend regenwater												
Stof		Referentie		Variant 1a		Variant 2a			Variant 2b		Variant 3	Variant 4
		over-stort	opp.water	over-stort	opp.water	over-stort	dir. afvoer	opp. water	dir. afvoer	opp. water	dir. afvoer	dir. afvoer
CZV	(mg/l)	55,9	1,1-3,9	54,4	0,3-2,7	54,6	3,3	0,4-1,4	3,4	0,8-1,8	3,5	7,1
SS	(mg/l)	28,6	0,6-2,0	28,1	0,1-1,4	30,9	1,3	0,1-0,6	4,5	1,0-2,4	6,3	12,1
N-tot	(mg/l)	6,0	0,1-0 4	5,8	0,03-0,3	5,7	0,5	0,1-0,2	0,4	0,1-0,2	0,4	0,4
P-tot	(mg/l)	1,1	0,02-0,1	1,1	0,01-0,1	1,0	0,1	0,01-0,03	0,1	0,02-0,04	0,1	0,1
olie	(mg/l)	0,6	0,01-0,04	0,6	0,00-0,03	0,7	0,0	0,00 0,01	0,1	0,01-0,04	0,1	0,3
Cu	(µg/l)	13,5	0,3-0,9	13,2	0,1-0,7	14,4	1,3	0,1-0,5	1,8	0,4-1,0	2,1	5,8
Zn	(µg/l)	32,3	0,6-2,3	32,0	0,2-1,6	37,5	7,5	0,8-2,3	17,5	3,8-9,4	22,9	26,9
PAK	(µg/l)	0,8	0,02-0,1	0,8	0,00-0,04	1,1	0,1	0,01-0,04	0,8	0,2-0,4	1,2	1,1

Tabel B4.12a Kwaliteit van overstortwater en geïnfiltreerd afstromend regenwater en het effect van overstortwater op de kwaliteit van oppervlaktewater.

Bestaand gebied in hoog Nederland (effect op oppervlaktewater alleen voor zomer)											
Stof		Referentie		Variant 1a		Variant 2a			Variant 2b	Variant 3	Variant 4
		over-stort	opp. water	overs-tort	opp. water	over-stort	opp. water	infiltra-tie	infiltra-tie	infiltratie	infiltra-tie
CZV	(mg/l)	65,2	19,6	63,1	13,9	65,3	6,5	13,0	13,7	13,9	24,4
SS	(mg/l)	51,6	15,5	50,9	11,2	63,0	6,3	5,0	18,0	22,4	36,9
N-tot	(mg/l)	6,3	1,9	6,0	1,3	5,6	0,6	2,0	1,7	1,6	1,6
P-tot	(mg/l)	1,1	0,3	1,1	0,2	1,0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3
olie	(mg/l)	1,2	0,4	1,2	0,3	1,5	0,2	0,0	0,3	0,4	0,9
Cu	(µg/l)	25,1	7,5	24,8	5,5	29,9	3,0	5,0	7,3	8,1	18,5
Zn	(µg/l)	297,4	89,2	297,8	65,5	115,0	11,5	30,0	70,0	83,5	87,2
PAK	(µg/l)	3,2	1,0	3,2	0,7	4,4	0,4	0,4	3,2	4,1	3,3

Tabel B4.12b Kwaliteit van overstortwater en geïnfiltreerd afstromend regenwater en het effect van overstortwater op de kwaliteit van oppervlaktewater. Hierbij zijn de concentraties van afstromend regenwater met 75% gereduceerd.

Bestaand gebied in hoog Nederland met 75% reductie concentratie afstromend regenwater (effect op oppervlaktewater alleen voor zomer)											
Stof		Referentie		Variant 1a		Variant 2a			Variant 2b	Variant 3	Variant 4
		over-stort	opp.-water	over-stort	opp.-water	over-stort	opp.-water	infiltra-tie	infiltra-tie	infiltra-tie	infiltra-tie
CZV	(mg/l)	47,9	14,4	45,8	10,1	44,5	4,4	3,3	3,4	3,5	6,1
SS	(mg/l)	25,5	7,7	24,7	5,4	27,0	2,7	1,3	4,5	5,6	9,2
N-tot	(mg/l)	5,1	1,5	4,9	1,1	4,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
P-tot	(mg/l)	0,9	0,3	0,9	0,2	0,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
olie	(mg/l)	0,6	0,2	0,5	0,1	0,6	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2
Cu	(µg/l)	12,0	3,6	11,7	2,6	12,6	1,3	1,3	1,8	2,0	4,6
Zn	(µg/l)	30,6	9,2	30,2	6,6	35,5	3,5	7,5	17,5	20,9	21,8
PAK	(µg/l)	0,8	0,3	0,8	0,2	1,1	0,1	0,1	0,8	1,0	0,8

Tabel B4.13a Kwaliteit van overstortwater en afstromend regenwater dat direct naar oppervlaktewater wordt afgevoerd (dir. afvoer) en het effect van beide op de kwaliteit van oppervlaktewater.

Nieuwbouw in laag Nederland											
Stof		Referentie		Variant 2a			Variant 2b			Variant 3	Variant 4
		overstort	opp. water	overstort	dir. afvoer	opp.water	overstort	dir. afvoer	opp.water	dir. afvoer	dir. afvoer
CZV	(mg/l)	24,4	3,7-8,5	56,6	13,7	5,9-12,7	56,6	13,7	6,9-12,5	13,9	26,8
SS	(mg/l)	36,9	5,5-12,9	93,6	18,0	8,2-18,3	93,6	18,0	10,1-18,4	23,1	43,6
N-tot	(mg/l)	1,6	0,2-0,6	1,4	1,7	0,6-1,1	1,4	1,7	0,6-1,0	1,6	1,6
P-tot	(mg/l)	0,3	0,05-0,1	0,3	0,3	0,1-0,2	0,3	0,3	0,1-0,2	0,3	0,3
olie	(mg/l)	0,9	0,1-0,3	2,8	0,3	0,1-0,4	2,8	0,3	0,2-0,4	0,4	1,1
Cu	(µg/l)	18,5	2,8-6,5	52,0	7,3	3,6-8,6	52,0	7,3	4,8-8,9	8,2	21,3
Zn	(µg/l)	304,7	45,7-107	138,8	70,0	27,353,1	138,8	70,0	27,9-48,9	85,6	99,3
PAK	(µg/l)	3,3	0,5-1,2	3,8	3,2	1,2-2,2	3,8	3,2	1,1-2,0	4,3	4,0

Tabel B4.13b Kwaliteit van overstortwater en afstromend regenwater dat direct naar oppervlaktewater wordt afgevoerd (dir. afvoer) en het effect van beide op de kwaliteit van oppervlaktewater. Hierbij zijn de concentraties van afstromend regenwater met 75% gereduceerd.

Nieuwbouw in laag Nederland met 75% reductie concentratie afstromend regenwater											
Stof		Referentie		Variant 2a			Variant 2b			Variant 3	Variant 4
		overstort	opp.water	overstort	dir.afvoer	opp.water	overstort	dir.afvoer	opp.water	dir.afvoer	dir.afvoer
CZV	(mg/l)	6,1	0,9-2,1	14,1	3,4	1,5-3,2	14,1	3,4	1,7-3,1	3,5	6,7
SS	(mg/l)	9,2	1,4-3,2	23,4	4,5	2,0-4,6	23,4	4,5	2,5-4,6	5,8	10,9
N-tot	(mg/l)	0,4	0,1-0,1	0,3	0,4	0,2-0,3	0,3	0,4	0,1-0,3	0,4	0,4
P-tot	(mg/l)	0,1	0,01-0,04	0,1	0,1	0,03-0,1	0,1	0,1	0,03-0,05	0,1	0,1
olie	(mg/l)	0,2	0,03-0,1	0,7	0,1	0,04-0,1	0,7	0,1	0,1-0,1	0,1	0,3
Cu	(µg/l)	4,6	0,7-1,6	13,0	1,8	0,9-2,1	13,0	1,8	1,2-2,2	2,1	5,3
Zn	(µg/l)	21,8	3,3-7,6	34,7	17,5	6,8-13,3	34,7	17,5	7,0-12,2	21,4	24,8
PAK	(µg/l)	0,8	0,1-0,3	0,9	0,8	0,3-0,6	0,9	0,8	0,3-0,5	1,1	1,0

Tabel B4.14a Kwaliteit van overstortwater en geïnfiltreerd afstromend regenwater en het effect van overstortwater op de kwaliteit van oppervlaktewater.

Nieuwbouw in hoog Nederland								
Stof		Referentie			Variant 2a			
		over-stort	opp.water winter	opp.water zomer	overstort	opp.water winter	opp.water zomer	infiltratie
CZV	(mg/l)	24,4	2,4-6,1	12,2-19,5	56,6	0,6-2,8	5,7-11,3	13,7
SS	(mg/l)	36,9	3,7-9,2	18,5-29,5	93,6	0,9-4,7	9,4-18,7	18,0
N-tot	(mg/l)	1,6	0,2-0,4	0,8-1,3	1,4	0,01-0,1	0,1-0,3	1,7
P-tot	(mg/l)	0,3	0,03-0,1	0,2-0,2	0,3	0,00-0,02	0,03-0,1	0,3
olie	(mg/l)	0,9	0,1-0,2	0,5-0,7	2,8	0,03-0,1	0,3-0,6	0,3
Cu	(µg/l)	18,5	1,9-4,6	9,3-14,8	52,0	0,5-2,6	5,2-10,4	7,3
Zn	(µg/l)	304,7	30,5-76,2	152-244	138,8	1,4-6,9	13,9-27,8	70,0
PAK	(µg/l)	3,3	0,3-0,8	1,7-2,7	3,8	0,04-0,2	0,4-0,8	3,2

Tabel B4.14b Kwaliteit van overstortwater en geïnfiltreerd afstromend regenwater en het effect van overstortwater op de kwaliteit van oppervlaktewater. Hierbij zijn de concentraties van afstromend regenwater met 75% gereduceerd.

Nieuwbouw in hoog Nederland met 75% reductie concentratie afstromend regenwater								
Stof		Referentie			Variant 2a			
		overstort	opp.water winter	opp.water zomer	overstort	opp.water winter	opp.water zomer	infiltratie
CZV	(mg/l)	6,1	0,6 - 1,5	3,1 - 4,9	14,1	0,1 - 0,7	1,4 - 2,8	3,4
SS	(mg/l)	9,2	0,9 - 2,3	4,6 - 7,4	23,4	0,2 - 1,2	2,3 - 4,7	4,5
N-tot	(mg/l)	0,4	0,04 - 0,1	0,2 - 0,3	0,3	0,00 - 0,02	0,03 - 0,1	0,4
P-tot	(mg/l)	0,1	0,01 -0,02	0,04 - 0,1	0,1	0,00 - 0,00	0,01 - 0,02	0,1
olie	(mg/l)	0,2	0,02 - 0,1	0,1 - 0,2	0,7	0,01 - 0,03	0,1 - 0,1	0,1
Cu	(µg/l)	4,6	0,5 - 1,2	2,3 - 3,7	13,0	0,1 - 0,6	1,3 - 2,6	1,8
Zn	(µg/l)	21,8	2,2 - 5,5	10,9 - 17,4	34,7	0,3 - 1,7	3,5 - 6,9	17,5
PAK	(µg/l)	0,8	0,1 - 0,2	0,4 - 0,7	0,9	0,01 - 0,05	0,1 - 0,2	0,8

Bijlage 5

Projectie op NWRW-onderzoek

5.1 Inleiding

In deze studie worden verschillende technieken voor de behandeling van regen- en afvalwater mede beoordeeld op basis van simulatieresultaten. De berekeningswijze is in bijlage 1 en 2 toegelicht. In deze bijlage wordt nader ingegaan op de onzekerheden voor zo ver die betrekking hebben op de simulatieresultaten.

De toegepaste berekeningsmethode is gebaseerd op het berekenen van de waterbalansen, waarna aan de verschillende waterstromen, zoals afvalwater en afstromend regenwater, een bepaalde kwaliteit wordt toegekend. De waterbalansen zijn berekend met de modellen TAUWSIM en BALANS. Voor gegeven hoeveelheden neerslag, verdamping en afvalwater worden waterstanden, grondwaterstanden en debieten berekend. Hierbij kunnen de debieten bijvoorbeeld het inlaatwater ten behoeve van peilbeheer zijn, maar ook overstortdebieten, influent-/effluentdebieten, enz.

Zowel TAUWSIM als BALANS zijn zogenaamde bakkenmodellen en zijn door vereenvoudigingen ten opzichte van de werkelijkheid minder geschikt voor nauwkeurige dimensioneringsvraagstukken. Voor deze studie zijn geen zeer nauwkeurige berekeningen noodzakelijk, omdat de waterbalansen niet worden opgesteld voor één specifiek goed beschreven watersysteem, maar voor vijf kenmerkende situaties in Nederland, zie hoofdstuk 3. Wat wel van groot belang is dat duidelijk wordt in hoeverre onzekerheden in de berekende water- en stofbalansen de beoordeling van de technieken beïnvloedt. In deze bijlage worden de berekende vuiluitworpen geprojecteerd op de in het kader van de NWRW-studie gemeten vuiluitworpen.

5.2 Overstorten

Om inzicht te krijgen in de representativiteit van de modelresultaten zijn de berekende vuiluitworpen naast gemeten vuiluitworpen gelegd. Deze laatste zijn ontleend aan de resultaten van thema 5 van het NWRW onderzoek (Bakker et al, 1990). In het kader van het NWRW onderzoek zijn metingen verricht bij deze (verbeterd) gescheiden stelsel en 4 gemengde stelsels. De metingen naar de vuiluitworp van (verbeterd) gescheiden stelsels zijn verricht in Amsterdam-Holendrecht (gescheiden) en Heerhugowaard (gescheiden en verbeterd gescheiden). De metingen zijn uitgevoerd gedurende de periode 1983 - 1985. De metingen naar de vuiluitworp vanuit gemengde stelsels hebben plaatsgevonden in Loenen, Oosterhout, Bodegraven en Kerkrade gedurende de periode 1981 -1987.

In deze studie zijn acht gidsparameters in beschouwing genomen, waarvan er vier overeen komen met de door de NWRW beschouwde gidsparameters. Het betreft CZV, P-tot, Cu en Zn.

Verbeterd gescheiden stelsels
Uit onderzoek naar de vuiluitworp vanuit (verbeterd) gescheiden stelsels (Bakker et al, 1990) is gebleken dat zoals te verwachten is de opname van vuil tijdens het afstromen in hoge mate bepalend is voor de vuiluitworp. De

vuilvracht in het afstromende regenwater is daardoor een goede benadering voor de vuiluitworp vanuit het stelsel naar oppervlaktewater.

De berekende en gemeten vuiluitworp van CZV, P-tot, Cu en Zn zijn in tabel B5.1 weergegeven.

Tabel B5.1 Vuiluitworp uit (verbeterd) gescheiden rioolstelsels. Bij de gemeten vuiluitworp zijn bandbreedten weergegeven.

	vuiluitworp			
	CZV mg O_2/l	P-tot mg P/l	Cu µg/l	Zn µg/l
Amsterdam[1]	18,0 - 480,8	0,2 - 3,4	10,0 - 210,0	38,0 - 2050,0
Heerh.waard[1]	25,2 - 71,1	0,1 - 0,8	3,0 - 45,0	35,0 - 160,0
Heerh.waard[2]	18,8 - 91,1	0,1 - 1,0	3,0 - 42,0	104,6 - 1677,0
Nieuw laag[3]	24,4	0,3	18,5	304,7
Nieuw hoog[3]	24,4	0,3	18,5	304,7

1 gescheiden stelsel (gemeten vuiluitworp)
2 verbeterd gescheiden stelsel met 7,3 mm berging en onbekende pompovercapaciteit (gemeten vuiluitworp)
3 verbeterd gescheiden stelsel met 4 mm berging en 0,3 mm/h pompovercapaciteit (berekende vuiluitworp)

De bandbreedte van de gemeten concentraties zijn aanzienlijk. Dit geldt met name voor de in Amsterdam gemeten vuiluitworpen. Vergelijking van de gemeten waarden met de berekende waarden leert dat de concentraties van P-tot, Cu en Zn goed over een komen. De berekende concentraties van CZV lijken aan de lage kant, maar liggen wel binnen de bandbreedte. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de meetwaarden zijn gebaseerd op slechts drie locaties.

Voor de vuiluitworp in jaarvrachten zijn niet alleen de concentraties van afstromend regenwater van belang, maar speelt ook de afvoercoëffiënt een rol van betekenis. Deze is bij de modellering gelijk aan één gesteld. Dit betekent dat de op verhard oppervlak gevallen neerslag volledig tot afstroming komt naar het rioolstelsel. Verdamping, infiltratie, achterblijven in onevenheden en/of van onverhard oppervlak afstromend regenwater naar het rioolstelsel zijn niet meegenomen. Dit betekent dat de afvoercoëfficiënt zowel hoger als lager dan één kan zijn en dat daardoor de berekende jaarvrachten respectievelijk kunnen zijn onderschat en overschat. Bakker et al (1990) vinden voor Heerhugowaard waarden voor de afvoercoëfficiënt die tussen 0,5 en 1,8 liggen. De gewogen gemiddelde waarde is circa 1,3. In Amsterdam liggen de waarden lager, namelijk tussen 0,2 en 1,4. Het gewogen gemiddelde bedraagt daar circa 0,6. Hieruit mag duidelijk zijn dat niet met zekerheid kan worden gesteld of de met BALANS berekende vuilvrachten zijn over- dan wel onderschat. Bij de beoordeling van de verschillende mogelijke technieken zal dan ook rekening moeten worden gehouden met zowel hogere als ook lagere vuiluitworpen dan berekend.

Gemengde stelsel
Resultaten van thema 5 van het NWRW onderzoek (Bakker et al, 1990) naar de vuiluitworp vanuit gemengde stelsels naar oppervlaktewater zijn in

tabel B5.2 weergegeven. Het betreft daarbij de gemeten bandbreedten. In deze tabel zijn tevens de in deze studie berekende gemiddelde jaaroverstortvrachten opgenomen.

Tabel B5.2 Vuiluitworp vanuit gemengde rioolstelsels. Bij de gemeten vuiluitworpen zijn bandbreedten weergegeven.

	Vuiluitworp			
	CZV mg O_2/l	P-tot mg P/l	Cu µg/l	Zn µg/l
Loenen[1]	52 - 877	0,9 - 7,2	14 - 205	125 - 950
Oosterhout[2]	28 - 4723	0,9 - 45,5	1 - 760	1 - 1650
Bodegraven[3]	35 - 530	0,7 - 6,0	25 - 215	2 - 1170
Kerkrade[4]	61 - 725	0,9 - 7,5	10 - 2175	160 - 1584
Bestaand laag[5]	73	1,3	26	296
Bestaand hoog[5]	65	1,1	25	297

1 gemengd stelsel met 5,7 mm berging en 0,80 mm/h pompovercapaciteit (gemeten vuiluitworp; verhard oppervlak 77 m^2/inw)
2 gemengd stelsel met 5,3 mm berging en 0,97 mm/h pompovercapaciteit (gemeten vuiluitworp; verhard oppervlak 51 m^2/inw)
3 gemengd stelsel met 7,8 mm berging en 0,44 mm/h pompovercapaciteit (gemeten vuiluitworp; verhard oppervlak 54 m^2/inw)
4 gemengd stelsel met 0,8 mm berging en 0,30 mm/h pompovercapaciteit (gemeten vuiluitworp; verhard oppervlak 75 m^2/inw)
5 gemengd stelsel met 7,0 mm berging en 0,70 mm/h pompovercapaciteit (berekende vuiluitworp)

Bakker et al (1990) stellen op basis van de concentraties van overstortwater en de concentraties van het naar het rioolstelsel afgevoerde regenwater dat de concentraties van BZV, CZV, N-Kj en P-tot in overstortwater slechts in beperkte mate worden bepaald door de met afstromend regenwater naar het rioolstelsel afgevoerde vuilvrachten. De processen in het riool zijn belangrijker, waarbij wordt gedacht aan menging van regenwater met afvalwater en met name aan opwoeling van rioolslib. Bij geringe overstortconcentraties heeft klaarblijkelijk weinig opwoeling plaatsgevonden. De concentraties van zware metalen in overstortwater komen wel redelijk overeen met de concentraties in het naar het rioolstelsel afstromende regenwater.

Voor het al dan niet opwoelen van rioolslib spelen stroomsnelheden in het riool een belangrijke rol, waarbij het product van de neerslagintensiteit en de afvoercoëfficiënt een goede maat is voor de stroomsnelheden in het riool nabij de overstort. De afvoercoëfficiënt is daarbij geen constante, maar kan variëren. Zo zijn in Loenen waarden tussen 0,7 en 1,8 vastgesteld met een seizoensfluctuatie. In de zomer zijn de afvoercoëfficiënten lager dan in de winter. Ook in Oosterhout en Bodegraven is een dergelijk beeld vastgesteld. De afvoercoëfficënten variëren in Oosterhout tussen 0,5 en 1,6 en in Bodegraven tussen 0,5 en 1,2. Door de steile terreinhellingen in Kerkrade treden daar soms zeer hoge waarden op voor de afvoercoëfficiënt. Deze ligt namelijk tussen de 0,4 en 3,0. Bij de hoge afvoercoëfficiënten wordt kennelijk ook regenwater dat van onverhard oppervlak af-

stroomt naar het rioolstelsel afgevoerd. Er is geen eenduidig verband gevonden tussen de neerslaghoogte en de afvoercoëfficiënt.

Na een regressie-analyse is voor bezinkbaar materiaal vastgesteld dat de een kwadratisch verband tussen vuilvracht en overstortintensiteit de beste beschrijving oplevert. De vuilvracht via overstorten is dan evenredig met het kwadraat van de gemiddelde overstortintensiteit. Hierbij is de overstortintensiteit gedefinieerd als het overstortdebiet per eenheid van verhard oppervlak. Opvallend is dat er geen eenduidig verband bestaat tussen het vuilgehalte van overstortwater en de duur van een droogweerperiode.

Vergelijking van de meetwaarden met de berekende concentraties geeft aan dat de berekende concentraties aan de lage kant zijn. Het niet modelleren van slibopwoeling in BALANS is wat betreft CZV en P-tot hieraan debet. Ook de vrij geringe CZV-concentraties in van verhard oppervlak afstromend regenwater spelen hierbij een rol.

Van belang is om na te gaan in hoeverre een onderschatting van de vuiluitworp doorwerkt naar de beoordeling van de beschouwde behandelingstechnieken voor regen- en/of afvalwater. In bestaande gebieden speelt hierbij de reductie van de vuiluitworp door extra berging en/of afkoppelen van verhard oppervlak een belangrijke rol.

Het verschil in met name de CZV-vuiluitworp tussen bestaand laag en hoog wordt veroorzaakt door het hogere aantal vierkante meters verhard oppervlak per inwoner in bestaand hoog dan in bestaand laag (53 respectievelijk 74 m2/inw).

Bijlage 6

Dimensionering en kostenraming van de afvalwaterbehandelingstechnieken

6.1 Algemeen

In deze bijlage worden de installaties beschreven die kunnen worden ingezet voor de behandeling van het afvalwater die in de varianten uit paragraaf vrijkomen. De afvalwaterbehandelingstechnieken sluiten aan bij behandelingstechnieken uit de bij deze studie behorende bundel "Technieken voor het scheiden, verwerken en behandelen van waterstromen in de stad" [1]. De afvalwaterbehandelingstechnieken worden aan de hand van de volgende onderdelen gekarakteriseerd:
1. plaats in de hydrologische cyclus;
2. kosten (stichtingskosten en jaarlijkse kosten);
3. energie;
4. afvalproductie;
5. ruimtebeslag;
6. kwetsbaarheid;
7. afhankelijkheid burgerlijk gedrag.

In deze bijlage wordt een indeling gemaakt in centrale afvalwaterzuivering (referentie en variant 1, 2, 3 en variant 4 bestaand, laag in een RWZI) en locale waterzuivering (variant 4, bestaand hoog, nieuw laag en nieuw hoog). Afvalwaterzuivering in het landelijke gebied wordt in een aparte paragraaf behandeld.

6.2 Centrale waterzuivering

Uitgangspunten
De referenties, de varianten 1 t/m 3 en variant 4, bestaand laag, worden met betrekking tot de afvalwaterbehandeling gekenmerkt door een centrale waterzuiveringsinstallatie. Het afvalwater wordt ingezameld via een rioolstelsel, die het afvalwater krijgt uit de rest van het stedelijk gebied. Het stedelijke gebied is vanzelfsprekend groter dan de in beschouwing genomen wijk. Het stedelijke gebied heeft een rioolstelsel dat voor circa 80% bestaat uit een traditioneel gemengd stelsel en voor 20% uit een gescheiden en een verbeterd gescheiden stelsel. Het influent in de RWZI zal gemengd zijn. Relatief hoge hydraulische pieken die in het stelsel in het stedelijk gebied voor kunnen komen zijn afgevlakt tot maximaal 3 maal DWA. Het aanvoerpatroon vertoont een dag/nacht-ritme.
De centrale afvalwaterzuiveringsinstallatie is een laagbelaste actiefslibinstallatie is goed gedimensioneerd en gebouwd. Het effluent voldoet aan de effluent-eisen die door het bevoegd gezag zijn opgelegd. Hydraulische piekbelastingen tot een RWA van driemaal DWA kunnen met behoud van de effluenteisen in de RWZI worden verwerkt. Er treedt tijdens heftige neerslag geen uitspoeling van actief slib op.

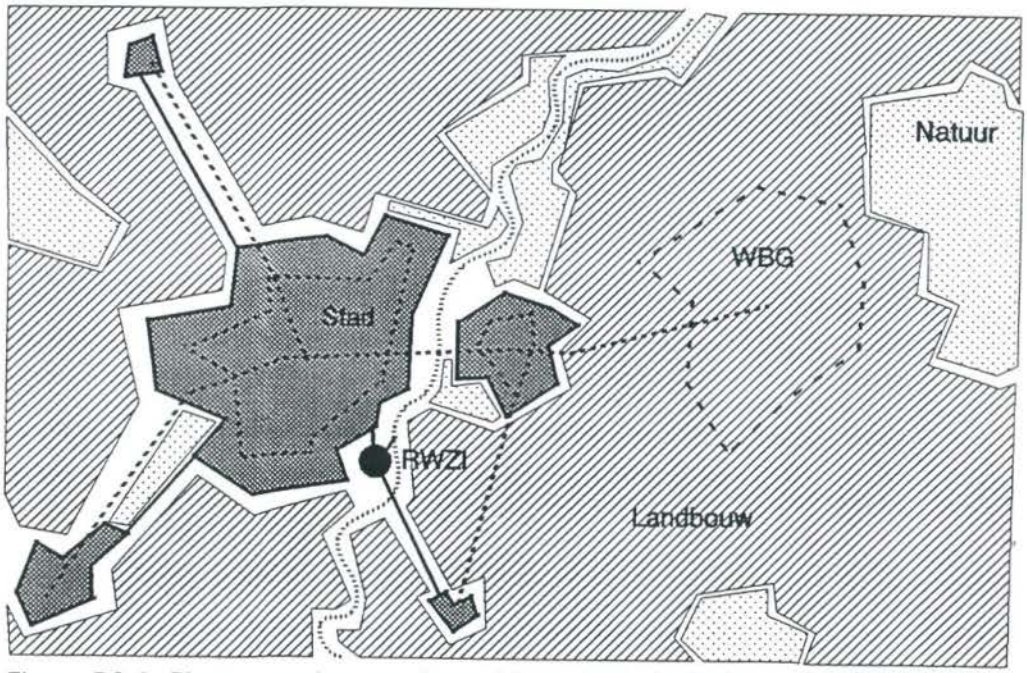
Hoewel het proces van verandering van het stedelijk waterbeheer een continu proces is en dus ook de rwzi steeds aangepast zal moeten worden aan de veranderende omstandigheden, wordt ervan uitgegaan dat de rwzi juist is aangepast en aan de eisen voldoet. De RWZI is niet afgeschreven en er zullen geen wezenlijke veranderingen aan de RWZI worden doorgevoerd.

Bij het aanpassen van bestaande woonwijken in een stedelijk gebied zal het bovenstaande naar verwachting opgaan. Verharde oppervlakten worden van het stelsel afgekoppeld en het 'basispakket waterbesparing' zal leiden tot minder afvalwaterproductie. Het bouwen van nieuwe woonwijken daarentegen levert doorgaans extra afvalwater op. Een RWZI zal dan moeten worden uitgebreid om het extra afvalwater te kunnen zuiveren. Dit proces van uitbreiding vindt op het moment in tal van waterschappen in Nederland plaats. Doorgaans worden extra beluchtingsruimten en nabezinktanks bijgebouwd. In deze bijlage wordt ervan uitgegaan dat een RWZI juist is uitgebreid waarbij rekening is gehouden met het afvalwater uit de toekomstige woonwijk.

Plaats in de hydrologische cyclus

De centrale waterzuiveringsinstallatie wordt doorgaans gebouwd aan de rand van het stedelijk gebied. Door stadsuitbreidingen liggen de RWZI's tegenwoordig steeds dichter bij woonkernen. Het beperken van geuremissies van RWZI's wordt dan steeds belangrijker met als gevolg dat overkappingen worden aangebracht en luchtbehandelingsinstallaties worden geplaatst. Figuur B6.1 toont een schema van de plaats van de RWZI in een gebied. Afvalwater wordt ingezameld via een rioolstelsel, gezuiverd en vervolgens geloosd op vaak regionaal oppervlaktewater. Overigens worden studies uitgevoerd naar de mogelijkheden om effluent te gebruiken om het waterpeil in (kwetsbare) beken aan te vullen om verdroging tegen te gaan [effluentboeren].

Slib dat tijdens het proces ontstaat wordt ingedikt en ontwaterd bij de RWZI en afgevoerd naar een slibverwerkingsinstallatie (verbranding, stortplaats).



Figuur B6.1 Plaats van de centrale rwzi in de hydrologische cyclus (bron: Duurzame Stedelijke Waterkringloop, DTO werkdocument W1, juni 1996).

Kosten
De stichtingskosten bestaan uit civieltechnische, mechanische en elektrotechnische werken maar zijn exclusief grondkosten. Jaarlijkse kosten worden gevormd door kosten voor afschrijving, onderhoud, personeel, toeslagstoffen, energie en slibverwerking.
In tabel B6.1 staan de stichtingskosten en de jaarlijkse kosten voor een centrale RWZI met vergaande nutriëntenverwijdering weergeven.

Tabel B6.1 Overzicht van stichtingskosten en jaarlijkse kosten voor een laagbelaste actiefslibinstallatie voor vergaande nutriëntenverwijdering [drie-S].

Parameter	Kosten (*f* per v.e.)
Stichtingskosten*	*f* 465,00
Jaarlijkse kosten	*f* 90,00

* Exclusief kosten voor grondaanschaf.

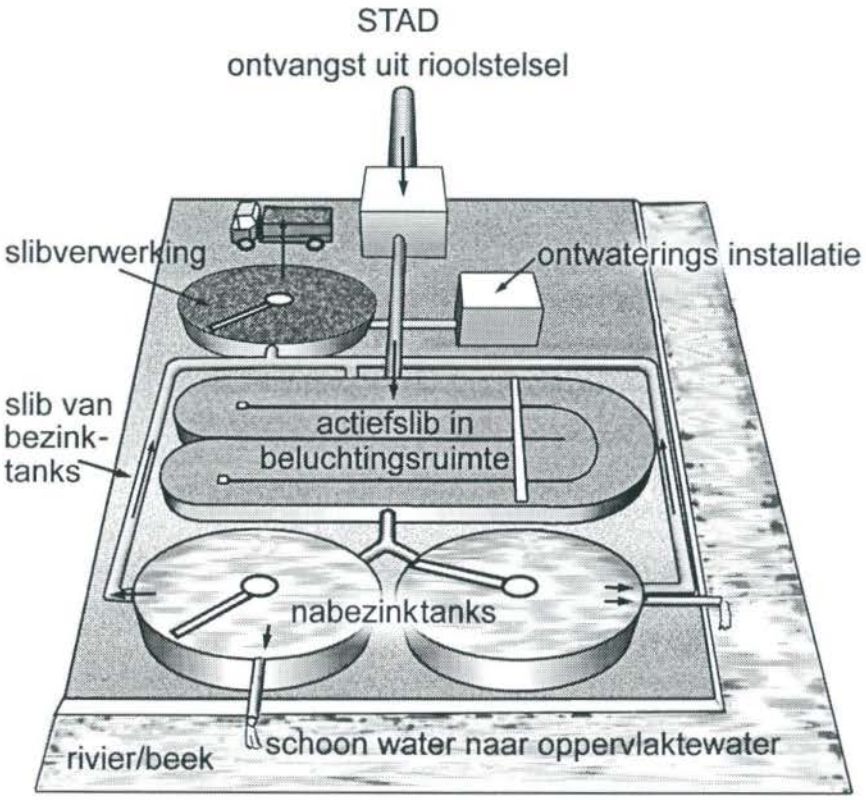
De jaarlijkse kosten kunnen worden vergeleken met de verontreinigingsheffing die door de schappen worden geheven. Deze bedragen in Nederland *f* 70,00 tot *f* 135,00 per v.e.

Grondstoffen
IJzerchloride wordt gedoseerd voor de verwijdering van fosfaat. Flocculant is benodigd voor de ontwatering van spuislib. De jaarlijkse kosten van chemicaliën bedragen circa *f* 2,70 per v.e.

Energie
Het geïnstalleerd vermogen bedraagt circa 7,5 W per v.e. De jaarlijkse energiekosten bedragen circa *f* 5,00 per v.e.

Afvalproduct
Per v.e. wordt circa 0,05 kg droge stof slib geproduceerd. De jaarlijkse kosten per v.e. bedragen circa *f* 20,00.

Ruimtebeslag
Per v.e. is circa 0,02 m^2 benodigd om een laagbelaste actiefslibinstallatie te realiseren. In figuur B6.2 staat de lay-out van een laagbelaste actiefslibinstallatie. Het ruimtebeslag hiervan bedraagt circa 20.000 m^2.



Figuur B6.2 Lay out van een laagbelaste actiefslibinstallatie.

Kwetsbaarheid

Laagbelaste actiefslibinstallaties hebben een relatief grote buffercapaciteit en zijn daardoor weinig kwetsbaar. Hydraulische piekbelastingen kunnen over het algemeen goed worden verwerkt met behoud van het zuiveringsrendement [laagbelast, OASA]. Soms treedt tijdens perioden met neerslag tijdelijk een verslechtering van het zuiveringsrendement op. Doordat het rioolstelsel in een stedelijk gebied zeer groot is, veel woningen maar ook bedrijventerreinen en verharde oppervlakken zijn aangesloten, worden hydraulische pieken afgevlakt en eventuele lozingen van toxische stoffen (DOKA, bestrijdingsmiddelen, motorolie, en dergelijke) verdund. Deze installaties zijn dus robuust en een resultaat van jarenlange praktijkervaringen.

Gescheiden rioolstelsels zijn relatief kwetsbaar. Het risico op foutieve aansluitingen is niet onaanzienlijk en de gevolgen zijn relatief groot. Er zijn slechts weinig foutieve aansluitingen in het stelsel nodig om de vuiluitworp te evenaren van een gemengd stelsel. Foutieve aansluitingen kunnen vooral optreden als woningen worden uitgebreid en afvalwaterleidingen op het perceel worden aangesloten op het regenwaterstelsel.

Afhankelijkheid burgerlijk gedrag

Laagbelaste actiefslibinstallaties zijn in staat om onafhankelijk van het gedrag van de bewoners van het stedelijk gebied te presteren.

6.3 Locale waterzuivering

6.3.1 Bestaand hoog Nederland

Uitgangspunten
Het afvalwater in een bestaand hoog gebied gaat locaal gezuiverd worden in een actiefslibinstallatie op wijkniveau. Een gemengd rioolstelsel voert het afvalwater af naar deze lokale zuivering. In tabel B6.2 staan de uitgangspunten van de lokale actiefslibinstallatie.

Tabel B6.2 Uitgangspunten actief slibinstallatie

Parameter	Eenheid	Waarde
Vuillast	v.e.	7640
Dagdebiet	(m^3/d)	756
DWA (geen RWA)	(")	63
BZV-vracht	(kg/d)	305
Slibbelasting	(kg BZV/kg ds.d)	0.054
Vergaande N- en P-verwijdering - biologische P-verwijdering en aanvullende ijzerchloride dosering - simultane nitrificatie en denitrificatie		
Vergaande maatregelen lucht en geluid		
Afvoer van ingedikt slib, geen ontwatering op locatie		
Annuïteit	(%)	4,2
- civiel	(jaar)	30
- mechanisch/elektrisch	(jaar)	15
Onderhoud		
- civiel		0,5
- mechanisch/elektrisch		2
Chemicaliën		
- ijzerchloride (40%)	(*f* per ton)	*f* 300,00
- pe	(*f* per kg)	*f* 15,00
Slibverwerking	(*f* per ton)	*f* 450,00
Energieverbruik	(kWh/i.e.d.)	0,1

Op basis van deze gegevens wordt een beluchtingscircuit ontworpen met een inhoud van circa 1.420 m^3, gevolgd door een nabezinktank met een oppervlak van circa 94 m^2. Verder zijn een anaërobe tank, een selector, een roostergoedverwijdering, een slibindikker, een slibopslag en een luchtbehandelingsinstallatie onderdelen van de installatie.

Plaats in de hydrologische cyclus
De lokale RWZI zal aan de rand van de bestaande wijk worden geplaatst. Het effluent zal worden geloosd op het stedelijk oppervlaktewater.

Prestaties
De lozingseisen als gesteld in paragraaf 2.4 van dit rapport worden gerealiseerd.

Kosten
In tabel B6.3 zijn de stichtingskosten en de jaarlijkse kosten weergegeven.

Tabel B6.3 Overzicht van stichtingskosten en jaarlijkse kosten voor een laagbelaste actiefslibinstallatie voor vergaande nutriëntenverwijdering op locaal niveau.

Stichtingskosten lokale RWZI		
- RWZI	f	6.300.000,00
- per woning	f	2.062,50
- per persoon	f	825,00
Jaarlijkse kosten		
- annuïteit	f	470.000,00
- onderhoud	f	52.000,00
- bediening	f	40.000,00
- chemicaliën	f	18.000,00
- energie	f	42.000,00
- slibverwerking	f	50.000,00
- **Totaal**	f	672.000,00
- per woning	f	220,00
- per persoon	f	88,00

Grondstoffen
IJzerchloride wordt gedoseerd voor de verwijdering van fosfaat en poly elektroliet wordt toegepast bij de slibindikking.

Energie
Het vermogen van de installatie bedraagt circa 765 kWh/d. Bij een kostprijs van *f* 0,15 per kWh bedragen de jaarlijkse kosten voor energie circa *f* 42.000,00.

Afvalproduct
De installatie produceert slib dat op locatie wordt ingedikt en vervolgens wordt afgevoerd naar een centrale slibverwerkingsinstallatie. De slibproductie bedraagt circa 110 ton ds per jaar.

Ruimtebeslag
De benodigde ruimte wordt geschat op 1.200 m^2.

6.3.2 Nieuwbouw laag Nederland

Uitgangspunten
Huizen zijn voorzien van een composttoilet waarin de faeces en de urine terecht komen en gezamenlijk met het GFT-afval worden gecomposteerd. De huishoudens produceren alleen grijs water. De grijswater-riolering kan bestaan uit een stelsel met relatief dunne leidingen. Het grijswater wordt

gezuiverd in een helofytenfilter. Het gezuiverde water wordt geloosd op het stedelijk oppervlaktewater. Een voorbeeld van een dergelijk grijswaterzuiveringssysteem wordt gerealiseerd in onder andere een wijk in Arnhem. In de huishoudens worden twee kwaliteiten water toegepast. Naast drinkwater wordt tevens het effluent van het helofytenfilter via een tweede drinkwaterleidingnet aangeleverd. Dit zogenaamde huishoudwater heeft een goede kwaliteit en kan direct gebruikt worden in bijvoorbeeld wasmachines.

In onderstaande tabel is de omvang en de kwaliteit van de grijze afvalwaterstroom voor de hele wijk aangegeven.

Tabel B6.4 Uitgangspunten en omvang grijze afvalwaterstroom nieuwbouw laag Nederland.

Parameter	Eenheid	Waarde
Debiet	(m^3/d)	598
CZV	(kg/d)	436
N_{totaal}	(kg/d)	9
P_{totaal}	(kg/d)	7
SS	(kg/d)	119
Voorzuivering door vetvang huis		
Belasting helofytenfilter		
Vergaande N- en P-verwijdering - vastlegging van P door precipitatie - biologische N-verwijdering		
Lozing op oppervlaktewater		
Afschrijftermijn	(jaar)	25

Voor de behandeling van deze hoeveelheid grijswater is een helofytenfilter benodigd met een oppervlak van circa 1,25 ha. Het grijze water passeert eerst een olie- en vetvang, die is geplaatst bij het huis. Een gedeelte van het oppervlaktewater in de wijk (totaal 6,4 ha) wordt hiervoor speciaal ingericht.

Plaats in de hydrologische cyclus
De compost uit de composttoiletten wordt periodiek verwijderd en toegepast als nuttige meststof/grondverbeteraar.
In de olie- en vetvang worden opdrijvende oliën en vetten afgeroomd. Vanuit deze put wordt het afvalwater naar het (horizontaal doorstroomde) helofytenfilter afgevoerd. Het effluent ervan wordt geloosd op het stedelijk oppervlaktewater, een gedeelte wordt hergebruikt in huishoudens.

Prestaties
Als uitgangspunt geldt dat het effluent uit het helofytenfilter voldoet aan dezelfde eisen als die van het effluent voor rwzi's voor CZV, N-totaal, P-totaal en onopgeloste bestanddelen (SS). Met betrekking tot de microverontreinigingen kunnen hogere verwijderingsrendementen gerealiseerd dan in een RWZI omdat de hydraulische verblijftijd langer is. Daardoor kunnen micro-organismen zich beter adapteren aan de af te breken organische

micro-verontreinigingen. Zware metalen kunnen beter adsorberen aan de bodemdeeltjes.

Helofytenfilters worden over het algemeen ontworpen op de te verwijderen fosfaatvracht. De afschrijvingstermijn bedraagt 25 jaar. Vaak wordt een fosfaatbindend materiaal toegevoegd om te voorkomen dat het filter eerder dan 25 jaar doorslaat. Er is een ontwikkeling gaande dat naast zand ook vulmateriaal met een grotere diameter (bijvoorbeeld kleikorrels, diameter 4 - 8 mm) wordt toegepast om verstopping van het filter te voorkomen.

Kosten

In tabel B6.5 en tabel B6.6 zijn de stichtingskosten en de jaarlijkse kosten weergegeven.

Tabel B6.5 Overzicht van de stichtingskosten.

Onderdeel	Kostprijs per eenheid	Bedrag (*f*)
Composttoilet[1]	*f* 4.000,00	*f* 14.540.000,00
Helofytenfilter inclusief hergebruik effluent		*f* 550.000,00
Olie- en vetvang	*f* 500,00	*f* 1.817.500,00
Totaal		*f* 16.907.500,00
Kosten per woning		*f* 4.650,00

1 Het betreft de meerkosten ten opzichte van een "conventioneel" toilet. voor wasmachines.

Tabel B6.6 Overzicht van de jaarlijkse kosten.

Onderdeel	Kosten
Annuïteit	
- composttoilet (30 jaar)	*f* 631.000,00
- helofytenfilter (25 jaar)	*f* 32.500,00
- olie en vetvang	*f* 88.500,00
Onderhoud	*f* 25.000,00
Personeel	*f* 60.000,00
Energie	*f* 10.000,00
Slibverwerking	*f* 450.000,00
Totale jaarlijkse kosten	*f* 1.270.000,00
Kosten per persoon	*f* 170,00
Kosten per woning	*f* 550,00

1 Inclusief de vervangingskosten van het vulmateriaal.

Op basis van bovenstaande gegevens bedragen de jaarlijkse kosten van het composttoilet, de behandeling van het grijze water alsmede de apparatuur voor hergebruik van huishoudwater circa *f* 170,00 per v.e.

Grondstoffen
Er vindt een besparing plaats met betrekking tot spoelwater voor toiletten ten opzichte van conventionele toiletten.

Aan het helofytenfilter worden toeslagstoffen toegevoegd (ijzer en/of kalk) om het fosfaatbindend vermogen gedurende 25 jaar te waarborgen. Ook kan ijzerhoudend zand gebruikt worden. Als vuistregel voor het grijze water kan 20 kg Fe per v.e. gehanteerd worden.

Energie
Het composttoilet wordt continu mechanisch geventileerd. Het geïnstalleerd vermogen bedraagt circa 0,4 W per v.e. Het grijze afvalwater wordt intermitterend op het helofytenfilter gepompt. Het geïnstalleerd vermogen bedraagt circa 1,0 W per v.e. De jaarlijkse energiekosten bedragen in totaal circa *f* 1,00 per v.e.

Afvalproductie
Als wordt uitgegaan dat de compost niet verontreinigd is en geen ziektekiemen bevat kan de compost uit de composttoiletten worden toegepast in tuinen, plantsoenen en parken. Nader onderzoek naar de samenstelling van compost uit composttoiletten is noodzakelijk om uit te wijzen en toetsing aan het BOOM-besluit is noodzakelijk.

Het vulmateriaal van het helofytenfilter zal eens de 25 jaar moeten worden vervangen omdat een doorslag van fosfaat kan optreden waardoor het gehalte aan fosfaat in het effluent oploopt. Het zand kan worden hergebruikt als bouwmateriaal. Afhankelijk van het gehalte aan milieuvreemde stoffen in het grijze water (prioritaire stoffen als zware metalen, organische microverontreinigingen en bestrijdingsmiddelen) zal de concentratie van deze stoffen in het vulmateriaal oplopen. De kans bestaat dat de gehalten de grenswaarden uit het bouwstoffenbesluit overschrijden. Nader onderzoek naar de samenstelling van het zand uit het helofytenfilter en toetsing aan het bouwstoffenbesluit is aanbevolen.

In de vetvangput wordt naast opdrijvende delen ook zwevende stof en vaste deeltjes afgevangen. Op jaarbasis gaat het om circa 0,05 m^3 slib per v.e. Deze bestanddelen zullen jaarlijks uit de olie- en vetvang verwijderd moeten worden met bijvoorbeeld een kolkenzuiger. Het residu zal waarschijnlijk kunnen worden verbrand afhankelijk van de calorische waarde ervan. De verwachting is dat het residu niet verontreinigd is.
Wanneer zich een dichtbegroeid helofytenfilter heeft ontwikkeld kan jaarlijks een deel van het riet gemaaid worden. Voor riet zijn diverse toepassingsmogelijkheden zoals dakbedekking, isolatie en mulch.

Ruimtebeslag
Voor de behandeling van het grijswater is een netto oppervlak nodig van 1,5 m^2 per persoon. Voor de hele woonwijk is dit 1,25 ha. Hierbij is uitgegaan van voorbehandeling met een olie- en vetvang. In de huizen is een composttoilet ingebouwd.

Kwetsbaarheid
De compostering in een eigen composttoilet wordt sterk beïnvloed door de stoffen die in het toilet terechtkomen. In principe kan alleen organisch materiaal verwerkt worden. Het gebruik van bijvoorbeeld antibiotica bij ziekte of het gebruik van chemische reinigingsmiddelen kan de biologische afbraak remmen of zelfs tijdelijk stopzetten.
Wanneer een helofytenfilter wordt toegepast op woonwijkschaal is het weinig kwetsbaar. De werking wordt niet beïnvloed doordat het afvalwater bij lozing van ongewenste en/of toxische stoffen voldoende wordt verdund.

Afhankelijkheid burgerlijk gedrag
Het gebruik van een composttoilet, vergt een zorgvuldige afweging van reinigingsmiddelen. Er mogen geen vreemde stoffen in het toilet geloosd worden. Dit leidt onherroepelijk tot een verstoring van de compostering. De aanwezigheid van pathogenen in compost is afhankelijk van het composteringsproces. De mogelijke aanwezigheid heeft geen gevolgen voor de volksgezondheid bij het gebruik maken van het toilet. Risico op besmetting bestaat wanneer bijvoorbeeld spelende kinderen in een park of plantsoen in aanraking komen met niet goed gecomposteerde compost. Ook is besmetting mogelijk door het eten van bladgewassen wanneer onvoldoende verteerde compost wordt gebruikt in de moestuin. Waarschijnlijk loopt de kwaliteit van de individuele compostering sterk uiteen door verschillen in beheer van de eigen compostering. Goede voorlichting over het gebruik van het toilet en toe te passen reinigingsmiddelen zal nodig zijn, maar kan niet leiden tot kwalitatief identieke compost op verschillende plekken.
Aan lozing van grijswater op het helofytenfilter worden geen eisen gesteld anders dan aan lozing op de riolering bij een RWZI. Uiteraard moet het lozen van toxische stoffen zoveel mogelijk voorkomen worden.

6.3.3 Nieuwbouw hoog Nederland

Uitgangspunten
Grijs en zwart afvalwater worden gescheiden ingezameld en gezuiverd op wijkniveau. Zwart water wordt behandeld in een anaërobe zuiveringsinstallatie (Anaerobic Sludge Blanket Reactor = UASB). Hierin vindt de omzetting van organisch materiaal (BZV in methaangas plaats. Het gas wordt opgevangen in een gashouder en gebruikt voor onder andere opwarming van de reactor zodat hogere omzettingsrendementen kunnen worden gerealiseerd. Fosfaat wordt uit het zwarte water grotendeels verwijderd door middel van precipitatie met ijzerchloride. Stikstofcomponenten worden verwijderd door middel van nitrificatie en denitrificatie in twee aparte biofilmreactoren. Aan de denitrificerende reactor wordt methanol toegevoegd om de denitrificatie goed te laten verlopen.

In tabel B6.7 is de omvang van de grijze en zwarte afvalwaterstroom voor de hele wijk aangegeven.

Tabel B6.7 Omvang grijze en zwarte afvalwaterstroom nieuwbouw hoog Nederland.

		Grijs	Zwart
Debiet	(m^3/d)	510	227
CZV	(kg/d)	372	372
N_{totaal}	(kg/d)	7	74
P_{totaal}	(kg/d)	6	9
SS	(kg/d)	119	179

Prestaties
Er wordt vanuit gegaan dat de prestaties van deze configuratie vergelijkbaar zijn met die van een centrale RWZI. Dezelfde effluentkwaliteit kan worden gerealiseerd. Aan deze configuratie kleven nog wel onzekerheden. In Nederland is de installatie niet in de praktijk toegepast.

Kosten

In tabelB6.8 zijn de stichtingskosten weergegeven.

Tabel B6.8 Overzicht van de investeringskosten.

Onderdeel	Kostprijs per eenheid	Bedrag (kf)
UASB, Fosfaatprecipitatie, Nitrificerende biofilmreactor, Denitrificerende biofilmreactor inclusief methanoldosering		*f* 1.600.000,00
Helofytenfilter		*f* 1.000.000,00
Olie en vetvang		*f* 1.500.000,00
Totaal		*f* 4.100.000,00
Per woning		*f* 1.330,00

Jaarlijkse kosten

- annuïteit	*f* 266.500,00
- onderhoud (4%)	*f* 164.000,00
- bediening	*f* 60.000,00
- chemicaliën	*f* 65.000,00
- energie	*f* 45.000,00
- slibverwerking	*f* 250.000,00
Totaal	*f* 851.000,00
Per woning	*f* 275,00
Per persoon	*f* 114,00

Grondstoffen
Verbruik van ijzerchloride en methanol.

Energie
Methaangasproductie van de UASB reactor wordt gebruikt voor optimalisatie van de vergisting.

Afvalproductie
Anaëroob ijzerfosfaatslib, denitrificerend slib, zand helofyten filter.

Ruimtebeslag
Het helofytenfilter neemt een totaal oppervlak van circa 1 ha in beslag. De zuivering voor het zwarte water neemt een ruimte van circa 500 m^2 in.

Kwetsbaarheid
De anaërobe zuivering is gevoelig voor toxische verbindingen. Bij voorkeur wordt alleen fecaliën geloosd op de UASB. De afzonderlijke onderdelen van de waterzuivering zijn redelijk beproefd. De combinatie ervan behoeft nader onderzoek.

Afhankelijkheid burgerlijk gedrag
Burgers moeten goed worden voorgelicht over de werking van de waterzuivering en over de te lozen verontreiniging.

6.4 Buitengebied

In dit hoofdstuk worden de zuiveringstechnieken behandeld die kunnen worden toegepast in de varianten van het landelijk gebied.

Uitgangspunten
Alle 47 woningen staan verspreid in het gebied. In de referentiesituatie lozen de individuele woningen (< 10 v.e.) alle apart hun afvalwater (zwart en grijs) in de bodem via een infiltratiebed. Voorbehandeling vindt plaats in een septic tank. Afstromend water van verharde oppervlakken stroomt direct naar het oppervlaktewater. De behandelingseenheid komt overeen met het Lozingenbesluit bodembescherming, omvangrijke lozingen.
In variant 1a worden alle huizen aangesloten op een gescheiden stelsel. Het afvalwater wordt behandeld op de RWZI, het regenwater stroomt zonder aanvullende zuivering naar het oppervlaktewater.

In variant 3 passeert het afvalwater bij de huizen een septic tank waarin onopgeloste bestanddelen grotendeels worden verwijderd. Vervolgens wordt het afvalwater behandeld in een helofytenfilter. Afstromend oppervlaktewater wordt ongezuiverd geloosd op het oppervlaktewater.

In variant 4 wordt het afvalwater behandeld door middel van algenzuivering [Novem Comprimo]. Afvalwater passeert een septic tank waarin de onopgeloste bestanddelen grotendeels worden verwijderd. De septic tank is geplaatst bij de huizen. Het afvalwater wordt vervolgens centraal afgevoerd naar de algenzuiveringsvijver. Het gezuiverde water kan worden geloosd op het oppervlaktewater. Regenwater wordt onbehandeld geloosd op het oppervlaktewater.

Algen zijn in Nederland nog niet getest voor de zuivering van afvalwater. Over de microbiologische en procestechnologische omstandigheden is al relatief veel bekend [proefschrift UvA]. Een studie van Novem heeft aangetoond dat ondanks het geringe cijfermateriaal, zuivering met algen perspectieven biedt. Nutriënten N en P worden door de algen goed verwijderd en er treedt ook een bepaalde mate van desinfectie van het afvalwater op. Het ruimtebeslag is relatief groot (2 - 4 m^2 per v.e.) maar kan door procesoptimalisatie worden verkleind.

Dimensionering

In tabel B6.9 staat een overzicht van de uitgangspunten en een globale dimensionering van de afvalwaterbehandelingssystemen.

Tabel B6.9 Uitgangspunten en globale dimensionering behandelingssystemen.

Parameter	Referentie	Variant 1a	Variant 3	Variant 4
Aantal woningen	47	47	47	47
Aantal v.e.'s	141			
Soort stelsel	geen	gescheiden	geen	afvalwater-stelsel
Afvalwaterzuivering				
- septic tank	6 m^3		6 m^3	6 m^3
- infiltratiebed	11,3 m^2			
- helofytenzuivering			9 m^2	
- algenzuivering				565 m^2

Kosten

In tabel B6.10 staat een overzicht van de gehanteerde stichtingskosten van de afvalwaterbehandelingssystemen.

Tabel B6.10 Stichtingskosten (*f* per woning met 3 v.e.) van de behandelingstechnieken in het buitengebied.

Onderdeel	Referentie	Variant 1a	Variant 3	Variant 4[2]
RWZI[1]		*f* 1.395,00		
Septic tank	*f* 6.000,00		*f* 6.000,00	*f* 2.000,00
Infiltratiebed	*f* 7.000,00			
Helofyten filter			*f* 10.000,00	
Algenzuivering				*f* 1.500,00
Gescheiden stelsel		*f* 20.220,00		*f* 20.220,00
Installatie	*f* 2.000,00		*f* 2.000,00	
Totaal	*f* 15.000,00	*f* 21.615,00	*f* 18.000,00	*f* 23.720,00

1 Exclusief aanleg van gescheiden rioolstelsel, op basis van stichtingskosten uit paragraaf 6.2.

2 Omdat het effluent van de septic tank wordt afgevoerd naar de algenzuivering behoeft het effluent niet te voldoen aan de eisen van het Lozingenbesluit Wet bodembescherming. Hierdoor kan de septic tank kleiner worden gedimensioneerd. Wel moet het effluent via

leidingen worden afgevoerd naar de centrale algenzuiveringsvoorziening. Als indicatie zijn hiervoor de zelfde kosten gehanteerd als voor het gescheiden stelsel.

Grondstoffen
In het helofytenfilter zijn toeslagstoffen nodig om fosfaat te binden.

Energie
De septic tank en het infiltratiebed worden onder vrij verval bedreven, het energieverbruik is minimaal.
Het energieverbruik van het helofytenfilter en de algenzuivering zijn naar verwachting vergelijkbaar.

Kwetsbaarheid
Kleine systemen zijn relatief kwetsbaar voor toxische stoffen. Hydraulische piekbelastingen zijn niet te verwachten omdat regenwater direct afwatert op het oppervlaktewater. Door de temperatuurdaling in de winter kan het zuiveringsrendement teruglopen. Nader onderzoek naar het verwijderingsrendement in vooral de algenvijver is noodzakelijk.

Afhankelijkheid burgerlijk gedrag
Kleinschalige systemen zijn relatief afhankelijk van de burgers. Onderhoud aan de systemen kan worden uitgevoerd door de burgers, groot onderhoud kan worden uitgevoerd door de leverancier (onderhoudscontract).

Bijlage 7

Overzicht van de varianten

Varianten			
2a	2b aangescherpte variant	3	4
- gemengd stelsel - 30% afkoppeling (alleen daken) naar open water - bronmaatregelen - RWZI	- gemengd stelsel - 75% afkoppeling (daken 100%, overige wegen) naar open water - bronmaatregelen - RWZI	- gemengd stelsel - 75% afkoppeling (daken 100%, overige wegen) naar open water - bronmaatregelen - regenwaterbenutting 1 m^3 - RWZI	- 100% afkoppeling naar open water - bronmaatregelen - regenwaterbenutting 1 m^3 - RWZI
- gemengd stelsel - 30% afkoppeling (alleen daken) met infiltratie - bronmaatregelen - RWZI	- gemengd stelsel - 75% afkoppeling (daken 100%, overige wegen) met infiltratie - bronmaatregelen - RWZI	- gemengd stelsel - 75% afkoppeling (daken 100%, overige wegen) met infiltratie - bronmaatregelen - regenwaterbenutting 1 m^3 - RWZI	- 100% afkoppeling met infiltratie - bronmaatregelen - lokale zuivering
- verbeterd gescheiden stelsel - 100% afkoppeling daken en 50% afkoppeling wegen naar open water - bronmaatregelen - RWZI	- smart drain - 100% afkoppeling daken en 50% afkoppeling wegen naar open water - bronmaatregelen - RWZI	- smart drain - 100% afkoppeling daken - bronmaatregelen - regenwaterbenutting 1 m^3 - 50% afkoppeling wegen naar open water - RWZI	- 100% afkoppeling met infiltratie - bronmaatregelen - composttoiletten - tweede waterleidingnet - lokale behandeling grijs water
- verbeterd gescheiden stelsel - 100% afkoppeling daken en 50% afkoppeling wegen met infiltratie - bronmaatregelen - RWZI			- 100% afkoppeling met infiltratie - lokale zuivering
		- helofytenfilter voor DWA	- zuivering met behulp van algen

" wordt verwezen naar paragraaf 2.6 van bijlage 2.