

Op weg naar een klimaatneutrale waterketen

Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Rijkswaterstaat

KWR

Watercycle Research Institute



Rijkswaterstaat RIZA
Postbus 17, 8200 AA Lelystad
bezoekadres
Zuiderwagenplein 2, 8224 AD Lelysta
telefoon: 0320 298411
internet: www.riza.nl

KWR
Watercycle Research Institute
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
Telefoon: 030 - 60 69 511
Fax: 030 - 60 61 165
Internet: www.kwrwater.nl

Stichting RIONED
Postbus 133, 6710 BC Ede
Bezoek: Galvanistraat 1, 6716 AE Ede
Telefoon: 0318-63 11 11
Fax: 0318-63 33 37
E-mail: info@rioned.org
Internet: www.riool.net

STOWA
Arthur van Schendelstraat 816
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
Telefoon: 030 - 232 11 99
Fax: 030 - 232 17 66
E-mail: stowa@stowa.nl
Internet: www.stowa.nl

Publicaties en het publicatie-overzicht van de STOWA
kunt u uitsluitend bestellen op:
www.stowa.nl

ISBN 90-5773-411-3



COLOFON

UITGAVE STOWA, Utrecht 2008

AUTEURS

Jos Frijns, KWR Watercycle Research Institute
Mirabella Mulder, Grontmij
Jelle Roorda, Grontmij

PROJECTGROEP

Guy Henckens, Waterschap Brabantse Delta
Henk Ketelaars, Evides
Bas Nanninga, Hoogheemraadschap van Delfland
Frank Verwijmeren, Brabant Water
René van der Werf, Gemeente Delft

OPDRACHTGEVERS

Ministerie VROM
Stowa
WaterKIP

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2008-17
ISBN 978.90.5773.411.3



TEN GELEIDE

De watersector krijgt volop te maken met de gevolgen van klimaatverandering. De sector heeft er dan ook belang bij dat gewerkt aan maatregelen die de klimaatverandering beperken. Met dit project wordt beoogd om als watersector het goede voorbeeld te geven. In het rapport is de klimaatvoetafdruk van de huishoudelijke waterketen weergegeven en zijn de mogelijkheden aangegeven voor de watersector om de eigen impact op het klimaat te verminderen.

Is de productie van drinkwater en het transport en zuiveren van afvalwater klimaatneutraal te maken? De noodzaak tot klimaatneutraal werken is tot de watersector doorgedrongen. Vooral op het gebied van energie-efficiency verbetering zijn al vele maatregelen genomen. De toetreding dit jaar van de waterschappen tot de MJA3 afspraken zal een extra stimulans betekenen in het reduceren van het energieverbruik. Dit rapport laat zien dat meer nodig is en dat juist klimaatwinst te behalen valt door over de eigen grenzen heen te kijken. De gehele waterketen in beschouwing te nemen is dan de meest logische stap. Oplossingen kunnen ook in combinaties met andere sectoren zoals bijvoorbeeld afval of landbouw liggen. De sleutel ligt in samenwerking en innovatie.

In dit project hebben partners in de waterketen samengewerkt in de bepaling van de klimaatvoetafdruk en in het benoemen van kansen voor klimaatneutrale maatregelen. Wij hopen dat dit ook u motiveert bij verdere samenwerking en innovatie.

Utrecht, november 2008

de directeur van de STOWA
Ir. J.M.J. Leenen

de directeur van KWR
Prof.dr. W. van Vierssen

SAMENVATTING

AANLEIDING EN DOEL

De watersector staat voor de opgave om de gevolgen van klimaatverandering op te vangen, zoals extreme neerslag en verzilting. Klimaat staat hoog op de agenda en de sector wil graag zicht hebben op haar eigen bijdrage aan het versterkte broeikaseffect. Door klimaatneutrale maatregelen te nemen kan de watersector het goede voorbeeld geven.

Bij de productie van drinkwater en transport en zuivering van afvalwater wordt energie gebruikt en komen broeikasgassen vrij. Doel van het project is de klimaatvoetafdruk van de waterketen te bepalen. Daarnaast worden maatregelen voorgesteld om de waterketen aan te passen zodat de negatieve invloed op het klimaat geminimaliseerd kan worden.

RESULTATEN

DE KLIMAATVOETAFDruk

De uitstoot van broeikasgassen wordt uitgedrukt in CO₂-equivalenten (CO₂-eq.). Deze is gebaseerd op de 'Global Warming Potential' (GWP), wat aangeeft in welke mate een gas bijdraagt aan het broeikaseffect. De GWP van de Nederlandse waterketen bedraagt 1,67 miljoen ton CO₂-equivalenten per jaar (zie bijlage II voor een totaaloverzicht). In de waterketen is de GWP bijdrage van de afvalwaterzuivering veruit het grootst (zie tabel 1).

TABEL 1

TOTAAL JAARLIJKSE GLOBAL WARMING POTENTIAL VAN DE NEDERLANDSE WATERKETEN

Drinkwater	436.875 ton CO ₂ -eq.	26,1%
Riolering	123.620 ton CO ₂ -eq.	7,4%
Afvalwater	1.114.310 ton CO ₂ -eq.	66,5%
Totaal	1.674.805 ton CO ₂ -eq.	

- **Energieverbruik**

Uiteraard vormt het benodigde energieverbruik een belangrijke bijdrage aan het broeikas-effect door de waterketen: 934.840 ton CO₂-eq. per jaar. Het gemiddelde energieverbruik voor de productie en distributie van drinkwater bedraagt 0,47 kWh/m³ en voor afvalwaterzuivering 26,6 kWh/i.e.-verwijderd. De eigen energieopwekking (biogas uit slibgisting) is hierin verdisconteerd.

- **Directe emissies**

Bij zuiveringsprocessen komt CO₂ vrij. Omdat het hier kort-cyclische koolstof betreft (niet van minerale oorsprong) draagt dit CO₂ niet bij aan het broeikaseffect. Methaan (CH₄, GWP = 21) en lachgas (N₂O, GWP = 310) emissies tellen wel mee in de klimaatvoetafdruk. Gezamenlijk blijken deze emissies een grote bijdrage (36%) te hebben in de totale GWP van de waterketen: 610.345 ton CO₂-eq. per jaar. Het gaat hier om methaanemissies die vrijkomen bij ontgasen van grondwater, methaan dat vrijkomt in de waterlijn en sliblijn van RWZI's, en vooral lachgas dat vrijkomt in de waterlijn van RWZI's en na lozing van het effluent. Over lachgasemissies bestaat nog veel onduidelijkheid en zijn metingen in de praktijk vrijwel (nog) niet gedaan.



- Indirecte emissies

Ook het energieverbruik bij de productie van grondstoffen en chemicaliën die gebruikt worden in de waterketen, wordt meegenomen bij de klimaatvoetafdruk van de waterketen. Deze bijdrage is (gemiddeld voor de watersector) slechts 3%. Bij drinkwaterbedrijven, bijvoorbeeld, die oppervlaktewater als bron gebruiken kan het aandeel door indirecte emissies als gevolg van het gebruik van natronloog, ijzerchloride en geregenereerd actief kool substantiëler zijn. De CO₂-bijdrage van de gebruikte materialen is verwaarloosbaar. Ten slotte is er nog een beperkte bijdrage aan het broeikasemissie-effect door gebouwverwarming en vervoer van de werknemers van de organisaties die zorgdragen voor de waterketen.

De 1,67 miljoen ton GWP bijdrage door de waterketen is op het totaal van Nederland van 212 miljoen ton GWP gering (0,8%). De broeikasgasemissies van Nederland komen grotendeels voor rekening van een beperkt aantal sectoren zoals de energiesector, zware industrie en transport, en een twintigtal andere sectoren die ieder een klein deel bijdragen. De watersector is een van deze sectoren en heeft er belang bij om het goede voorbeeld te geven. Zeker als een beroep gedaan wordt op huishoudens om zuinig om te gaan met warm water.

De GWP bijdrage van water ten behoeve van huishoudelijk gebruik is 1,5 kg CO₂-eq./m³ water (zie tabel 2). Dat komt per huishouden overeen met 160 kg CO₂-eq. per jaar (3,3% van de GWP door energiegebruik in huishoudens). De GWP bijdrage voor het verwarmen van tapwater is echter 4x zo groot (693 kg CO₂-eq. per huishouden per jaar). Vorig jaar is in Nederland het warmwater gebruik voor douchen gestegen, en hier lijkt dan ook een belangrijk aangrijpingspunt voor verbetering te liggen in water- en daarmee energiebesparing.

TABEL 2

GWP BIJDRAGE WATERKETEN VAN HUISHOUDENS

Drinkwater	0,36 kg CO ₂ -eq. / m ³ water
Riolering	0,07 kg CO ₂ -eq. / m ³ water
Afvalwater	1,07 kg CO ₂ -eq./ m ³ water
Totaal	1,50 kg CO ₂ -eq. / m ³ water

KLIMAATNEUTRALE AANPASSINGEN

Om de klimaatvoetafdruk te verminderen zijn allerlei maatregelen mogelijk, die deels ook al worden toegepast. Het gaat in de eerste plaats om het realiseren van een zo efficiënt mogelijk en optimaal functionerend proces voor drinkwater, riolering en afvalwaterzuivering. Voorbeelden van deze efficiency en optimalisatie maatregelen per sector zijn: lage druk UV, drinkwater modelvraagvoorspelling, centrale ontharding, tegengaan rioolvreemd water, voorkomen luchtinsluiting riolering, rwzi beluchttingsregeling op O₂, bellenbeluchting, toepassing gisting en biogasbenutting, dit alles als maatwerk, ingepast in de lokale situatie. Het beperken van de directe emissies is minder eenvoudig te realiseren. Wellicht is/wordt methaangaswinning bij grondwaterwinningen interessant. Over de bijdrage en de beperking van lachgasemissies is nog onvoldoende bekend.

Daarnaast zijn er een aantal klimaatneutrale maatregelen in de keten waarmee een grotere GWP winst te verwachten valt. Het gaat dan om inrichtingsvraagstukken en optimalisaties in de gehele keten en om nieuwe concepten. In tabel 3 zijn deze maatregelen weergegeven.



TABEL 3

KLIMAATNEUTRALE MAATREGELEN IN DE WATERKETEN

-
- 1) Afstemming riolering en zuivering:
 - optimalisatie afvalwatersysteem (OAS)
 - 2) Besparing van (warm)water bij huishoudens:
 - gebruik regenwater voor toiletspoeling
 - warmwater besparing
 - 3) Hergebruik van warmte:
 - douchewarmteterugwinning
 - toepassing warmtepomp op afvalwater in huishoudens
 - warmteterugwinning uit influent (of effluent) van rwzi's
 - 4) Moderne sanitatie:
 - gescheiden urine en/of zwart water inzamelingsystemen
 - hergebruik van nutriënten uit afvalwater
-

AANBEVELINGEN

Er zijn volop mogelijkheden om de klimaatvoetafdruk in de drinkwater-, riolering- en afvalwatersector te verminderen. Dat geldt vooral voor het reduceren van het energieverbruik. Over de mogelijkheden om broeikasgasemissies te verminderen is nog veel onbekend en hier is dan ook nader onderzoek voor nodig. Met het implementeren van energie-efficiency maatregelen kan meteen begonnen worden. Aanbevolen wordt hier prioriteit aan te geven, ook omdat energiemaatregelen hand in hand kunnen gaan met efficiency verbeteringen en optimalisaties van het proces. Wel dienen deze maatregelen integraal te worden beoordeeld.

Voor een substantiële vermindering van de klimaatvoetafdruk moet echter gekeken worden naar maatregelen in de waterketen. Aanbevolen wordt met een klimaatbril naar de waterketen te kijken, zodat kansen zichtbaar worden die zowel de klimaatvoetafdruk als de optimalisatie van de inrichting van de waterketen ten goede kunnen komen. Ook kan gezocht worden naar combinaties met andere ketens, zoals de energie- en afvalketen. Betrek in de ketenanalyse de gebruiker, en stimuleer de huishoudens te besparen op het warmwatergebruik. Geef hierbij als sector het goede voorbeeld door klimaatneutrale maatregelen te nemen. Ten slotte, het zoeken naar klimaatneutrale optimalisaties in de keten betekent dat samenwerking tussen organisaties in de waterketen nodig is.



DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstututen en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl





OP WEG NAAR EEN KLIMAATNEUTRALE WATERKETEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	DE WATERKETEN EN HET KLIMAAT	1
1.2	PROJECT AANPAK	2
1.2.1	Doelstelling	2
1.2.2	Activiteiten	2
2	AFBAKENING EN UITGANGSPUNTEN	4
2.1	AFBAKENING	4
2.1.1	Reikwijdte van de waterketen	4
2.1.2	Bijdrage aan broeikaseffect:	5
2.2	UITGANGSPUNTEN	7
2.2.1	Functionele eenheid	7
2.2.2	Global warming potentials: CO ₂ -equivalenten	7
2.2.3	Percentage van totaal en vergelijking met andere sectoren	8
3	KLIMAATVOETAFDRIJF	9
3.1	DRINKWATER	9
3.1.1	Energieverbruik productie en distributie	9
3.1.2	Directe emissies	10
3.1.3	Indirecte emissies	11
3.1.4	Slibeindverwerking	11
3.1.5	GWP drinkwater	12
3.2	RIOLERING	13
3.2.1	Energieverbruik transport	14
3.2.2	Directe emissies	14
3.2.3	Indirecte emissies	14
3.2.4	GWP riolering	15



3.3	AFVALWATERZUIVERING	15
3.3.1	Energieverbruik	17
3.3.2	Directe emissies	18
3.3.3	Indirecte emissies	21
3.3.4	GWP afvalwaterzuivering	22
3.4	DE KLIMAATVOETAFDRIJK VAN DE WATERKETEN	23
3.4.1	De GWP van de waterketen	23
3.4.2	De GWP van de waterketen in perspectief	23
3.4.3	Bijdrage van de waterketen aan de huishoudelijke GWP	24
4	KLIMAATNEUTRALE MAATREGELLEN IN DE WATERKETEN	26
4.1	DRINKWATER	26
4.1.1	Maatregelen energieverbruik	26
4.1.2	Maatregelen directe emissies	28
4.1.3	Maatregelen indirecte emissies	28
4.1.4	Overige maatregelen	28
4.1.5	Conclusie	30
4.2	RIOLERING	30
4.3	AFVALWATERZUIVERING	31
4.3.1	Maatregelen energieverbruik	31
4.3.2	Maatregelen directe emissies	34
4.3.3	Maatregelen indirecte emissies	34
4.3.4	Overige maatregelen	34
4.3.5	Conclusie	35
4.4	KLIMAATNEUTRALE WATERKETEN CONCEPTEN	36
4.4.1	Nieuwe ketenconcepten en samenvatting alle maatregelen	36
4.4.2	Afstemming riolering en zuivering	37
4.4.3	Besparing van (warm)water bij huishoudens	37
4.4.4	Hergebruik van warmte	38
4.4.5	Moderne sanitatie	39
5	CASE DELFT	40
5.1	INTRODUCTIE CASE HARNASCHPOLDER	40
5.2	DRINKWATER	41
5.2.1	Pompstation Kralingen	41
5.2.2	De GWP van drinkwater voor Harnaschpolder	41
5.2.2	GWP reductie maatregelen drinkwater	43
5.3	RIOLERING EN AFVALWATERBEHANDELING	43
5.3.1	AWZI Harnaschpolder	43
5.3.2	De GWP van afvalwater voor Harnaschpolder	45
5.3.3	GWP reductie maatregelen afvalwater	46
5.4	KETENMAATREGELLEN	47
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	49
6.1	CONCLUSIES	49
6.2	AANBEVELINGEN	50
	BRONNEN	52



1

INLEIDING

1.1 DE WATERKETEN EN HET KLIMAAT

Binnen de waterketen wordt water gewonnen, gezuiverd tot drinkwater, gebruikt en getransporteerd als afvalwater en ten slotte gezuiverd en weer op het oppervlaktewater geloosd. Bij elk van deze stappen wordt energie gebruikt. Bovendien vinden in de waterketen emissies van broeikasgassen plaats bij bijvoorbeeld grondwaterwinning (methaan) en afvalwaterzuivering (methaan en lachgas). Daarmee levert de waterketen een bijdrage aan het klimaatprobleem. De vraag doet zich voor of de waterketen niet klimaatneutraal(er) kan worden gemaakt door ingrepen in of aanpassing van de bestaande waterketen.

De actoren in de waterketen merken als eerste de gevolgen van klimaatverandering. Van de watersector wordt dan ook verwacht dat zij maatregelen neemt om met de gevolgen van klimaatverandering om te gaan (adaptatie). Inmiddels lopen er vele initiatieven gericht op adaptatie. Geschat wordt dat de watersector opdraait voor minimaal de helft van de geraamde kosten voor een klimaatbestendig Nederland.

De watersector heeft er dus als geen ander belang bij dat er eveneens aan maatregelen gewerkt wordt die de klimaatverandering beperken (mitigatie). Daarbij geldt dat de actoren in de waterketen dan ook het voorbeeld moeten geven om het klimaat door haar handelen zo beperkt mogelijk te beïnvloeden. En als de watersector zelf inspanningen verricht om haar klimaatbijdrage te beperken, biedt dat een goed uitgangspunt om burgers te wijzen op hun verantwoordelijkheid om op klimaatverantwoorde wijze met water om te gaan. De activiteiten rond de “meerjarenafspraken energie” en de uitwerking van “waterwegen” (o.a. de energieproducerende RWZI) zijn hiervan goede voorbeelden.

Vanuit dit besef van urgentie en voorbeeldfunctie is met ondersteuning van het Ministerie VROM en de STOWA en RIONED een project uitgevoerd om de klimaatvoetafdruk van de waterketen in kaart te brengen. Daarbij zijn maatregelen voorgesteld om de waterketen aan te passen zodat de negatieve invloed op het klimaat geminimaliseerd kan worden. Het project is door KWR (voorheen Kiwa Water Research) en Grontmij uitgevoerd in nauwe samenwerking met organisaties vanuit de hele waterketen: drinkwaterbedrijven Brabant Water en Evides, Waterschap Brabantse Delta en Hoogheemraadschap van Delfland, en de gemeente Delft.

Het achterliggende idee hierbij is dat juist door samenwerking in de waterketen klimaatneutrale verbeteringen gerealiseerd kunnen worden. Enerzijds door van elkaar te leren: bijvoorbeeld rond energie-efficiënte zuiveringsstappen in de afvalwaterzuivering en drinkwaterbereiding. Anderzijds door gezamenlijk met een ‘klimaatbril’ te kijken naar de inrichting van de waterketen. Hiermee sluit het project aan bij het Bestuursakkoord Waterketen 2007 (VROM et al, 2007), waarin afspraken zijn gemaakt om door samenwerking te komen tot een duurzame waterketen.

1.2 PROJECT AANPAK

1.2.1 DOELSTELLING

Doel van het project is een klimaatvoetafdruk (climate footprint) van de waterketen te maken, om:

- daarmee duidelijk te krijgen waar in de keten de grootste last ligt (uitgedrukt in global warming potential) en welke bijdrage de waterketen levert t.o.v. andere sectoren;
- waar mogelijkheden liggen om energieverbruik te verminderen of juist energie op te wekken;
- waar mogelijkheden liggen om in de keten te optimaliseren;
- te komen tot een strategie om de waterketen aan te passen zodat de invloed op het klimaat geminimaliseerd kan worden;
- concrete voorstellen voor praktische uitwerking te formuleren.

Het resultaat hiervan is een algemene systematiek om klimaataspecten rond de waterketen in beeld te brengen en concrete aangrijpingspunten te formuleren om de waterketen klimaatneutraler te laten worden. Hiermee wordt tevens een handreiking gegeven richting burgers om hen bij de klimaatneutrale waterketen te betrekken.

1.2.2 ACTIVITEITEN

De gehanteerde werkwijze is om via het opstellen van de climate footprint, in een interactief waterbreed overleg, tot concrete maatregelen te komen.

De volgende stappen zijn doorlopen:

- 1) Inventarisatie: climate footprint per stap in keten
Bij het bepalen van de klimaatvoetafdruk is het allereerst van belang om te bepalen wat wel en niet meegenomen moet worden op het gebied van energieverbruik, directe broeikasgas-emissies en indirecte emissies (zoals grondstoffenverbruik). De climate footprint van de verschillende onderdelen is vervolgens bepaald in de vorm van global warming potentials (CO₂-equivalenten) waardoor een overzicht voor de gehele waterketen ontstaat en een vergelijking met andere sectoren mogelijk is.
- 2) Strategie voor aanpassingen in de waterketen
In overleg met de watersector zijn mogelijke 'klimaatneutrale aangrijpingspunten' in de waterketen in kaart gebracht. Het gaat dan om inrichtings- en afstemmingsvraagstukken in de gehele keten, om energiebesparing en duurzame energieopwekking bij de verschillende stappen in de keten, en om optimalisaties in de keten. Hierbij gaat het enerzijds om aanpassingen van het bestaande systeem, en anderzijds om nieuwe concepten voor de waterketen.
- 3) Toepassing van het concept klimaatneutrale waterketen
Het ontwikkelde concept is praktisch getoetst bij de waterketen van een woonwijk in Delft. Bedoeling is om zicht te krijgen op afwegingen en keuzes bij de inrichting te laten leiden door een klimaatneutrale aanpak. Waar liggen over de gehele keten gezien de kansen voor een meer klimaatneutrale waterketen? En welke rol spelen de gebruikers, de burgers, hierbij? De (variatie in) klimaatimpact van de gehele keten, inclusief de huishoudens, is in beeld gebracht.



4) Kennis delen en communicatie

Centraal in het project stond de bundeling van kennis waarbij van elkaar geleerd is. Hiertoe is onder andere een brainstormsessie gehouden met een grote groep vertegenwoordigers van organisaties in de waterketen. De resultaten van het project, en van andere klimaatinitiatieven in de watersector, zijn gepresenteerd op een WaterKIP symposium georganiseerd in samenwerking met de KVWN/NVA Programmagroep Waterketen (zie bijlage I). Ook in H₂O is het project onder de aandacht van de watersector gebracht (Frijns et al, 2008, en bespreking symposium in H₂O 14/15, 2008).

2

AFBAKENING EN UITGANGSPUNTEN

2.1 AFBAKENING

Bij het bepalen van de climate footprint is het allereerst van belang om te bepalen wat wel en niet meegenomen moet worden. Met andere woorden, wat zijn de systeemgrenzen? Het gaat dan om twee zaken: de reikwijdte van de waterketen, en de bijdrage aan het broeikaseffect.

2.1.1 REIKWIJDTE VAN DE WATERKETEN

De waterketen is het geheel van diensten aan huishoudens en bedrijven dat te maken heeft met het gebruik en afvoeren van water (VROM et al, 2007). De waterketen omvat (zie figuur 2.1):

- Drinkwater: winning, productie en distributie;
- Riolering: inzameling en transport afvalwater;
- Afvalwaterzuivering: zuivering van afvalwater (RWZI).

Voor het bepalen van de climate footprint van de waterketen worden tevens de volgende aspecten meegenomen¹:

- Slibeindverwerking
- Hemelwater: wordt apart aangegeven
- Emissies (N₂O) door lozing effluent op oppervlaktewater

FIGUUR 2.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE WATERKETEN BRON: WATERKIP (STOWA 2006.20)



In Nederland wordt jaarlijks 1.210 miljoen m³ drinkwater geproduceerd uit grond- en oppervlaktewater en na gebruik wordt dit afgevoerd op het rioolstelsel. Samen met het hemelwater wordt 1.854 miljoen m³ water getransporteerd naar de rioolwaterzuivering. Hier wordt in totaal 26,8 miljoen inwonerequivalenten afvalwater gezuiverd, waarna het geloosd wordt op het oppervlaktewater (CBS, 2006).

¹ In een enkel geval wordt warm tapwater geleverd door energiebedrijven. Deze vallen buiten beschouwing van dit project.

We richten ons in dit project op de huishoudelijke waterketen. De industriële waterketen, met z'n eigen waterbronnen en afvalwaterzuiveringsinstallaties, wordt niet meegenomen. Hoewel in dit project het energieverbruik voor het verwarmen van water door huishoudens bekeken wordt, valt dit buiten de climate footprint van de waterketen.

2.1.2 BIJDRAGE AAN BROEIKASEFFECT:

De bijdrage aan het broeikaseffect bestaat uit het energieverbruik en de directe en indirecte broeikasgasemissies.

1) Energieverbruik:

Belangrijkste bijdrage aan broeikaseffect door de waterketen wordt veroorzaakt door het benodigde fossiel energieverbruik. Het energieverbruik is in hoofdzaak elektra, en gedeeltelijk gas. Bij de productie van energie komen emissies vrij. De CO₂ equivalenten zijn (Senter-Novem, 2006):

- Elektriciteit: 0,59 kg CO₂ / kWh
- Aardgas: 56,8 kg CO₂ / GJ = 1,8 kg CO₂ / m³

Een deel van de energie in de waterketen wordt zelf opgewekt (biogas uit slibgisting). De toepassing van deze opgewekte energie resulteert in verminderd fossiel energieverbruik. Het verstoekte biogas wat daadwerkelijk resulteert in verminderd energieverbruik draagt niet bij aan het broeikaseffect (kort-cyclisch) en telt mee als vermeden energieverbruik en vermeden broeikasgasemissie.

Een gedeelte van het biogas wordt echter niet omgezet in nuttig toepasbare elektriciteit en warmte. Een gedeelte van het biogas wordt namelijk: afgefakkeld, afgeblazen en/of gebruikt bij de aandrijving van gasmotoren. In totaal wordt 8,9% van het geproduceerde biogas in Nederland niet nuttig toegepast voor de opwekking van warmte en elektriciteit (CBS, 2006)

Een deel van de energie wordt ingekocht als groene energie. Toepassing van groene (of duurzame) energie wordt in dit project apart aangegeven, maar voor de bepaling van de klimaatvoetafdruk van de waterketen wordt deze buiten beschouwing gelaten (is in feite een oplossingsmaatregel die al gedeeltelijk toegepast wordt).

2) Directe emissies

Bij zuiveringsprocessen komt CO₂ vrij. Omdat het hier kort-cyclisch koolstof betreft (niet van fossiele oorsprong) draagt dit CO₂ niet bij aan het broeikaseffect. Deze CO₂ emissies worden niet meegeteld in de climate footprint.

Zoals is overeengekomen in het Kyoto protocol dragen directe emissies van methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) wel bij aan het broeikaseffect. Emissies van fluorhoudende gassen spelen geen rol in de waterketen.

Voor de bepaling van de directe emissies bij waterzuivering is onder andere gebruikt gemaakt van het Protocol 7138 Afvalwater (VROM, 2007a):

$$\text{CH}_4 (\text{RWZI}) = \text{CH}_4 (\text{waterlijn}) + \text{CH}_4 (\text{slibvergister}) = 0,0085 * \text{CZV} (\text{influent})$$

$$\text{N}_2\text{O} (\text{RWZI}) = 0,01 * \text{Nkj} (\text{influent})$$

$$\text{N}_2\text{O} (\text{effluent RWZI}) = 0,01 * \text{Ntot} (\text{effluent}) * 44/28$$

Over de juistheid van deze factoren is zowel in Nederland als in andere Europese landen veel discussie ontstaan. Met name op het gebied van lachgas zijn er wetenschappelijke onderzoeken die andere factoren voorstellen dan in het Protocol Afvalwater worden voorgesteld. In dit rapport is op bepaalde onderdelen dan ook afgeweken van het Protocol Afvalwater voor de lachgasemissiebepaling. In paragraaf 3.3.2 wordt hier nader op ingegaan.

In de verschillende protocollen is geen berekeningswijze opgenomen voor de methaan- en lachgasemissie vanuit de riolering. Aangezien er voor de Nederlandse situatie zeer weinig bekend is over methaanemissies uit riolen (kan ontstaan bij lange verblijftijden en $T > 15^\circ\text{C}$), is deze emissie in dit rapport verwaarloosbaar geacht in verhouding tot de hoeveelheden methaan die bij de zuivering vrijkomen. Directe emissies van lachgas zijn zeer beperkt gezien de anaerobe condities in het rioolstelsel. De lachgasemissie is bepaald aan de hand van de hoeveelheid stikstof die in Nederland via overstorten op het oppervlaktewater terecht komt (zie paragraaf 3.2.2).

Bij de verbranding van biogas ontstaan door onvolledige verbranding tevens lachgas en methaan. Ondanks dat de emissies als kortcyclisch worden beschouwd, schrijft de IPCC-richtlijn voor dat de methaan- en lachgasemissies hiervan worden meegenomen in de klimaatvoetafdruk, omdat methaan en lachgas veel sterkere broeikasgassen zijn als koolstofdioxide. De koolstofdioxide-emissie hoeft niet te worden meegenomen (IPCC, 2006).

De factoren die gebruikt zijn om de lachgasemissies te berekenen zijn ontleend aan het Protocol 7141 Biomassa (VROM 2007b) en bedragen:

- 0,1 kg N_2O /GJ
- 5 kg CH_4 /GJ

bij een energie-inhoud van biogas van 23,3 MJ/Nm³.

Deze berekening geldt voor wat betreft lachgas zowel bij de verbranding van biogas voor nuttige toepassing als in het geval van affakkelen. Voor de methaanemissie hoeft deze berekening alleen te worden uitgevoerd voor het biogas dat wordt afgefakkeld. Methaanemissie dat ontstaat bij biogasverbranding ten behoeve van nuttige toepassing is reeds verrekend in de berekening van directe emissies van de slibgisting conform het Protocol 7138 Afvalwater (VROM, 2007a).

3) Indirecte emissies

- Grondstoffenverbruik:

Bij de productie van grondstoffen / chemicaliën wordt energie gebruikt en daarmee vinden broeikasgasemissies plaats. Omdat grondstoffen in de waterketen worden gebruikt, tellen deze emissies mee bij de climate footprint van de waterketen. De emissies als gevolg van omzetting van de chemicaliën in het waterketenproces zijn verwaarloosbaar.

- Organisatie (gebouw en vervoer werknemers):

De klimaatvoetafdruk van de organisatie (het waterbedrijf) bestaat hoofdzakelijk uit gebouwverwarming en vervoer door de werknemers. Omdat de organisaties er voor de waterketen zijn, wordt het meegenomen in dit project. Bovendien is dit relevant voor het in kaart brengen of een waterbedrijf klimaatneutraal is.



- **Materiaalverbruik:**

Het materiaalverbruik wordt in dit project buiten beschouwing gelaten. De CO₂ bijdrage van de gebruikte materialen is verwaarloosbaar omdat het een eenmalige toepassing van het materiaal betreft dat over een periode van 15-30 jaar gebruikt wordt over miljoenen m³ water ².

Dat wil overigens niet zeggen dat bij installatiebouw er niet gekeken hoeft te worden naar materiaalkeuze. In het kader van duurzaam bouwen is een vergelijking van de klimaatvoetafdruk van de productie van verschillende materialen van belang. De materiaalkeuze heeft echter een verwaarloosbare invloed op de climate footprint van de werking (operations) van de installaties (zie ook Strutt et al, 2008).

2.2 UITGANGSPUNTEN

2.2.1 FUNCTIONELE EENHEID

De climate footprint is bepaald voor heel Nederland waarbij de meest recente jaarcijfers gebruikt worden (2006): aantal CO₂-equivalenten / jaar.

Als functionele eenheid is gekozen voor: m³ water (geproduceerd, getransporteerd en gezuiverd). Dus wordt bepaald: aantal CO₂-equivalenten / m³ water.

Opgemerkt wordt dat er geen eenduidige functionele eenheid voor de waterketen is. Ook m³ is een lastige eenheid: voor de RWZI is zowel m³ als CZV/BZV relevant en wordt met inwonequivalenten (i.e.'s, 136 g TZV) gewerkt. In dit project wordt daar waar relevant ook het aantal i.e.'s weergegeven, en daar waar omgerekend wordt naar m³ wordt aangegeven hoe dit gedaan is.

2.2.2 GLOBAL WARMING POTENTIALS: CO₂-EQUIVALENTEN

Om de invloed van de verschillende broeikasgassen te kunnen optellen, wordt gebruik gemaakt van de omrekening naar de zogeheten CO₂-equivalenten. Eén CO₂-equivalent staat gelijk aan het effect dat de uitstoot van 1 kg CO₂ heeft. Het is gebaseerd op het 'Global Warming Potential' (GWP), dat is de mate waarin een gas bijdraagt aan het broeikas effect. Zo heeft methaan een GWP van 21 CO₂-eq. Dat houdt in dat 1 kilo methaan over een periode van 100 jaar 21 maal zoveel aan het broeikas effect bijdraagt als 1 kilo CO₂.

TABEL 2.1

GLOBAL WARMING POTENTIALS VOOR GESELECTEERDE BROEIKASGASSEN

gas	GWP	GWP
	(100-jaar) SAR *	(100-jaar) AR4 **
CO ₂	1	1
CH ₄	21	25
N ₂ O	310	298

* GWP SAR: GWP volgens het IPCC Second Assessment Report, 1996.

** GWP AR4: Bijgestelde GWP in IPCC Fourth Assessment Report, 2007.

Bronnen: IPCC, 1996 & IPCC, 2007

2 In de studie naar de climate footprint van Waternet (Janse & Wiers, 2006) wordt de bijdrage van materialen wel meegenomen maar deze is gering: 8270 ton CO₂-eq, over 20 jaar en 90 M m³/j = 0,0045 kg CO₂/m³.



In tabel 2.1 zijn de gehanteerde GWP's voor de broeikasgassen weergegeven. In dit project wordt gebruikt gemaakt van GWP (100-jaar) SAR zoals overeengekomen in het United Nations Framework Convention on Climate Change en het Kyoto Protocol (IPCC, 1996). Het eindresultaat wordt ook weergegeven volgens de bijgestelde GWP (100-jaar) AR4 (IPCC, 2007).

2.2.3 PERCENTAGE VAN TOTAAL EN VERGELIJKING MET ANDERE SECTOREN

Het overzicht van de broeikasgasemissies in Nederland is beschreven in de Nederlandse rapportage voor IPCC (MNP, 2007). De onderliggende cijfers zijn te vinden op www.emissie-registratie.nl. De totale GWP van Nederland in 2005 bedraagt 212 miljoen ton CO₂-eq. (MNP, 2007).

Drinkwater is in de rapportage meegenomen als onderdeel van 'commercial and institutional services' en 'other industrial processes'. Afvalwater wordt apart gerapporteerd in sector 8.3 voor wat de directe emissies betreft (conform VROM, 2007a: 606.000 ton CO₂-eq.).



3

KLIMAATVOETAFDruk

In dit hoofdstuk wordt de klimaatvoetafdruk beschreven van afzonderlijk drinkwater, rioleering en afvalwaterzuivering, en van de gehele Nederlandse waterketen.

3.1 DRINKWATER

Het deel drinkwater beslaat de winning, productie en distributie van drinkwater. Voor de winning van drinkwater wordt in hoofdzaak gebruik gemaakt van oppervlaktewater (40%) en grondwater (60%). Hierbij wordt gebruik gemaakt van innamepompen. Afhankelijk van de kwaliteit van de bron bestaat de productie uit een aantal zuiveringsprocessen. Voor dit project wordt uitgegaan van de volgende hoofdstappen:

Oppervlaktewater:

- voorfiltratie
- eventueel beluchting of ontharding
- flocculatie / sedimentatie
- snelle zandfiltratie en/of actieve koolfiltratie
- (na)desinfectie met langzame zandfilters, ozon of ultraviolet licht

Grondwater :

- beluchting
- filtratie

Tenslotte, wordt voor de distributie het water op druk gebracht voor de eindverbruikers.

De hoeveelheid water geproduceerd in 2006 is 1.210 miljoen m³ (Vewin, 2006b), waarvan meer dan 95% drinkwater en de rest ander water. Ongeveer 1/3 van het geproduceerde water is bestemd voor de zakelijke markt en 2/3 voor huishoudens: 729 miljoen m³.

3.1.1 ENERGIEVERBRUIK PRODUCTIE EN DISTRIBUTIE

Het energieverbruik is afhankelijk van de omvang van het productieproces, de gehanteerde hoofdstappen voor zuivering, en de transportafstanden tussen winning en zuivering en klant. De spreiding tussen zuiveringslocaties is dan ook groot: 0,3 – 0,6 kWh/ m³. In z'n algemeenheid is het energieverbruik bij drinkwaterproductie uit grondwater lager dan bij oppervlaktewater; bij grondwater bestaat deze grotendeels uit pompenergie.

Het gemiddelde energieverbruik voor de productie en distributie van drinkwater is 0,47 kWh/ m³ (Vewin, 2006a). Het totale energieverbruik van de drinkwaterproductie en distributie bedraagt 568,7 miljoen kWh/jaar.³ Dit komt overeen met 335.533 ton CO₂-eq.

³ Inclusief gas en olie verbruik t.b.v. eigen opwekking elektriciteit.



Het specifieke energieverbruik voor de verschillende procesonderdelen wordt bepaald door de drukval en het overige verbruik, zoals roerwerken, saturatie bij flotatie, UV lampen. De kengetallen voor het specifiek energieverbruik zijn weergegeven in tabel 3.1.

TABEL 3.1

SPECIFIEK ENERGIEVERBRUIK DRINKWATER PRODUCTIE EN DISTRIBUTIE

Procescomponent	Specifiek energieverbruik (kWh/ m ³)
Inname	0,055
Vlokvorming	0,024
Flotatie	0,05
Torenbeluchting	0,08
Filtratie	0,012
Actieve kool filtratie	0,008
Ontharding	0,020
UV desinfectie	0,062
Membranfiltratie	0,5 - 1,5
Distributie	0,11

Bron: de Moel et al, 2005/ eigen gegevens KWR

Gemiddeld bedraagt het aandeel van de distributie ongeveer een kwart van het totale energieverbruik. Ook dit verbruik fluctueert sterk van situatie tot situatie, afhankelijk van het hoogteverschil tussen productielocatie en eindgebruiker en de uitgebreidheid van het distributienet.

Op basis van ervaringsgegevens wordt het gemiddelde energieverbruik voor distributie geschat op 0,11 kWh/ m³. Dit blijkt goed overeen te komen met gegevens van pompstation Kralingen van Evides:

$$\text{Debiet} = 4700 \text{ m}^3/\text{u} = 1,31 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Opvoerhoogte} = 30 \text{ m}$$

$$\text{Rendement} = \text{rend. pomp} (0,75) \times \text{rend. el.inst.} (0,9) = 0,68$$

$$\text{Benodigd vermogen} = 1,31 \times 30 \times 9,81 / 0,68 = 567 \text{ kW}$$

$$\text{Energieverbruik} = 567 \times 365 \text{ d} \times 24 \text{ u} = 4.9670.000 \text{ kWh/j}$$

$$\text{Distributie: } 40.000.000 \text{ m}^3/\text{j} = 0,12 \text{ kWh/ m}^3$$

3.1.2 DIRECTE EMISSIES

Bij grondwaterwinning vindt bij de ontgassing emissies plaats van CO₂ en CH₄. De CO₂ emissie kan in dit geval als langcyclisch beschouwd worden en bedraagt circa 10 kton / jaar (Vewin, 1997). Het methaangehalte van grondwater varieert sterk en is gemiddeld 12 mg/l (Drijver et al, 2007). VROM (2005b) hanteert als kental: 2,47 ton CH₄ per miljoen m³ onttrokken grondwater. In 2003 bedroeg de totale hoeveelheid methaanemissie door ontgassen van grondwater in Nederland 1,83 kton (VROM, 2005b) en in 2006 was deze 1,77 kton (www.emissieregistratie.nl).

Een andere emissie is lachgas dat vrijkomt wanneer ozonering wordt toegepast. Bij enkele bedrijven wordt zelf ozon geproduceerd. Wanneer dit wordt gedaan met lucht in plaats van met zuivere zuurstof, kan er N₂O gevormd worden met de stikstof uit de lucht. Per m³ geozoneerd drinkwater komt dan 0,11 g N₂O vrij (UKWIR, 2008). In Nederland wordt circa 21,9 miljoen m³ geozoneerd met lucht⁴, hetgeen overeenkomt met 2409 kg N₂O /jaar.

⁴ Bron: Evides: Baanhoek en Braakman. Overigens droogt Evides de lucht grondig om vorming van lachgas te minimaliseren.

3.1.3 INDIRECTE EMISSIES

- Grondstoffen

Bij de productie van chemicaliën wordt energie verbruikt en komen er emissies vrij. Deze dragen bij aan de GWP van de waterketen.

Voor het overzicht chemicaliënverbruik is een gemiddelde genomen voor Nederland van de chemicaliën waarvan de grootste hoeveelheden gebruikt worden en waarbij het meeste energie nodig is voor de productie (gebaseerd op gegevens van drinkwaterbedrijven t.b.v. de benchmark), zie tabel 3.2.

TABEL 3.2 CHEMICALIËNVERBRUIK BIJ DRINKWATER PRODUCTIE

Type chemicaliën	ton / jaar	conversiefactor kg CO ₂ / kg *
natronloog – NaOH	8945	0,96
ijzerchloride - FeCl ₃	2287	1,15
ijzersulfaat - FeSO ₄	6448	0,11
zoutzuur – HCl	928	0,35
geregenereerde actieve kool	3709	2,8 **

* Simapro in Janse en Wiers, 2006

** productie 1 kg actief kool: 23 Mj gas + 1,5 kg CO₂ emissie (Simapro)

De GWP ten gevolge van indirecte emissies door de inzet van chemicaliën bij de drinkwater productie bedraagt op basis van voorgaande uitgangspunten 22.636 ton CO₂-eq.

- Organisatie

Energieverbruik kantoren:

Het gemiddelde energieverbruik van kantoren bedraagt 18 m³ gas per m² en 100 kWh per m² (Novem, 2002), met een gemiddeld kantooroppervlak van 30 m² per persoon. Bij de drinkwaterbedrijven zijn 4811 fte werkzaam aan drinkwatergerelateerde activiteiten (Vewin, 2006a). Het energieverbruik van de kantoren bedraagt dan: ⁵

- 2,6 miljoen m³ gas (verwarming)
- 14,4 miljoen kWh elektra

Transport:

Gebaseerd op gemiddeld afstand woon-werkverkeer (CBS) en de gegevens zakelijk transport van Waternet (Janse & Wiers, 2006) en Brabant Water (883.446 liter in 2006), wordt het totale jaarlijkse brandstofverbruik voor de drinkwatersector geschat op 5,6 miljoen liter (benzine en diesel).

3.1.4 SLIBEINDVERWERKING

Bij de productie van drinkwater komt bij de coagulatie en het schoonspoelen van snelfilters ijzerhoudend slib vrij en bij de ontharding worden er kalkkorrels of sterk kalkhoudend slib geproduceerd. De hoeveelheid reststoffen die in 2006 zijn aangeboden bij de Reststoffenunie bedraagt 108.000 ton (Vewin, 2006a).

⁵ Deze inschatting komt goed overeen met het energieverbruik van de kantoren en laboratoria van het grootste waterbedrijf Vitens (1500 fte) zoals gerapporteerd in hun milieujarverslag 2006, en met de aangeleverde gegevens van Brabant Water: 3,2 miljoen kWh voor kantoren in 2006.



Vrijwel alle vrijkomende drinkwaterreststoffen worden nuttig ingezet als secundaire grondstof in de industrie en als bouwgrondstof. Zo wordt ijzerhoudend slib gebruikt als kleur- en vulstof in de baksteenindustrie, en kalkkorrels worden onder andere door de staalindustrie en bij kolenvergassing gebruikt. Andere reststoffen worden ingezet als bouwstof of vulstof in geluidswallen. Alleen waterijzer wordt niet volledig hergebruikt en wordt opgeslagen.

Directe emissies:

Op locatie zijn de emissies van dit slib minimaal. Bovendien is eventuele CO₂ emissie kortcyclisch.

Indirecte emissies:

Voor het transport van drinkwaterslib wordt jaarlijks 1,5 miljoen liter diesel gebruikt (Reststoffenunie, 2007).

3.1.5 GWP DRINKWATER

In Tabel 3.3 is de GWP van drinkwater productie en distributie samengevat.

TABEL 3.3 GWP DRINKWATER TOTAAL NEDERLAND (2006)

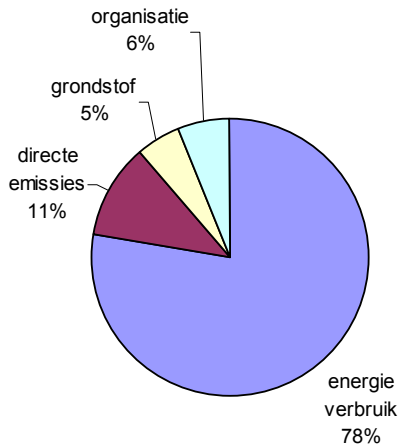
	hoeveelheid per jaar	conversie naar GWP	ton CO ₂ -eq.
Waterproductie	1.210.000.000 m ³		
Energieverbruik			
• Elektra	568.700.000 kWh	0,59 kg CO ₂ / kWh	335.530
Directe emissies			
• CO ₂ ontgassen	10.000.000 kg	1	10.000
• CH ₄ ontgassen	1.770.000 kg	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	37.170
• N ₂ O ozonering	2.409 kg	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	745
Indirecte emissies			
• Grondstoffen:			
o natronloog	8.945 ton	0,96	8.585
o ijzerchloride	2.287 ton	1,15	2.630
o ijzersulfaat	6.448 ton	0,11	710
o zoutzuur	928 ton	0,35	325
o actieve kool	3.709 ton	2,8	10.385
• Organisatie:			
o verwarming	2.600.000 m ³ gas	1,8 kg CO ₂ / m ³	4.680
o elektra	14.400.000 kWh	0,59 kg CO ₂ / kWh	8.495
o vervoer	5.600.000 l	2,45 kg CO ₂ / l *	13.720
Slibeindverwerking			
• emissies	0		0
• vervoer	1.500.000 l diesel	2,6 kg CO ₂ / l	3.900
Totaal			436.875

* gemiddeld voor benzine en diesel

Bij bovenstaande cijfers wordt nogmaals opgemerkt dat de spreiding tussen verschillende regio's groot is. Het maakt nogal wat uit of drinkwater geproduceerd wordt uit oppervlaktewater of grondwater, en of de distributie door een dun- of dichtbevolkt gebied loopt.

Voor drinkwater productie en transport kan geconcludeerd worden dat het grootste aandeel aan de GWP bepaald wordt door het energieverbruik (zie figuur 3.1). Ook hier is de spreiding weer groot, afhankelijk van de zuiveringsstappen die toegepast worden, en ook bij de verschillende zuiveringstechnologiën (zoals membraantechnieken) is er verschil in energieverbruik. Het aandeel grondstoffengebruik is vrij gering, maar ook hier geldt weer dat bij sommige oppervlaktewaterbedrijven dit aandeel substantiëler is.

FIGUUR 3.1 GWP VERDELING VAN DRINKWATER PRODUCTIE EN TRANSPORT



3.2 RIOLERING

Er kan op verschillende manieren onderscheid worden gemaakt in typen rioolstelsels. Op basis van de verschillende wijzen waarop hemelwater wordt ingezameld kunnen rioolstelsel verdeeld worden in de gemengde en (verbeterd) gescheiden rioolstelsels. In gemengde stelsels wordt al het afvalwater en regenwater door één en dezelfde buis afgevoerd. De oudere rioolstelsels (van voor 1970) zijn uitgevoerd als gemengd stelsel. Bij hevige regenval treden de overstorten in het stelsel in werking, waardoor ongezuiverd rioolwater in het oppervlaktewater terecht komt. Bij een (verbeterd) gescheiden rioolstelsel wordt het hemelwater gescheiden van het huishoudelijk afvalwater afgevoerd. Wanneer het regenwaterriool tijdens hevige regenbuien overstort, dan wordt het oppervlakte water voor het overgrote deel belast met regenwater.

Gemengde en (verbeterd) gescheiden rioolstelsels zamelen het afvalwater over het algemeen in onder vrij verval. Buiten de bebouwde kom zijn de transportafstanden meestal zo lang, dat het te kostbaar is om dit afvalwater door middel van zwaartekracht te transporteren. De riolering zou dan te diep komen te liggen. Ook is het buitengebied dun bevolkt, waardoor gemakkelijk verstoppingen kunnen ontstaan. Om toch het afvalwater in te kunnen zamelen wordt in de buitengebieden veel gebruik gemaakt van drukriolering. Het afvalwater van panden wordt in een pompput verzameld en verpompt naar het dichtstbijzijnde dorp, waar het vervolgens in een vrij verval stelsel wordt gepompt. De vrijverval stelsels en drukriolering zijn voor het overgrote gedeelte in het beheer van gemeenten.

Vanuit de gemeentelijke rioolstelsels wordt het afvalwater getransporteerd via rioolgemalen en persleidingen naar de rwzi. Deze persleidingen zijn in beheer bij waterschappen.

De totale lengte van riool- en transportleidingen in Nederland bedraagt (Rioned, 2006):

- vrijverval riolering: 80.000 km (gemeenten) + 350 km (waterschappen)
- drukriolering: 15.000 km (gemeenten)
- persleiding: 7.700 km (waterschappen)

3.2.1 ENERGIEVERBRUIK TRANSPORT

Bij het vrijvervalstelsel is er alleen energieverbruik door de tussengemalen. Voor het afvalwatertransport door persleidingen lopen de energieverbruiken per waterschap erg uiteen. Dit komt omdat afstanden, besturingssystemen en ontwerpgrondslagen sterk verschillen. Hetzelfde geldt voor het energieverbruik van de drukriolering van gemeenten. Op basis van expert judgement en praktijkgegevens is het elektriciteitsverbruik voor het verpompen van afvalwater vastgesteld op 0,11 kWh/m³. Het totale verbruik komt daarmee op 203.893.470 kWh per jaar, ofwel 120.300 ton CO₂-eq.

3.2.2 DIRECTE EMISSIES

In het rioolstelsel zijn de omstandigheden dusdanig dat er biologische omzettingen plaats kunnen vinden waarbij methaangas en lachgas vrijkomen. Over de hoeveelheid die hierbij vrijkomt is voor de Nederlandse situatie niets bekend. Internationale (wetenschappelijke) onderzoeken richten zich voornamelijk op methaanvorming in riolering van warme landen vanwege explosiegevaar. Deze waarden zijn niet representatief voor de Nederlandse situatie. Over lachgasemissie vanuit riolering is vrijwel geen informatie te vinden. Directe emissies van lachgas zijn zeer beperkt gezien de anaerobe condities in het rioolstelsel. In dit project wordt er van uitgegaan dat de bijdrage door directe emissies van methaan en lachgas vanuit het rioolstelsel relatief klein zijn, en deze is daarom niet meegerekend in de GWP.

Conform de protocollen dient er rekening te worden gehouden met lachgasemissies, die veroorzaakt worden door biologische processen in het oppervlaktewater die gevoed worden door het stikstof wat zich in het effluent van de rwzi bevind. Voor stikstof wat via overstorten op het oppervlaktewater terecht komt, is in dit rapport dezelfde benadering gevolgd (zie paragraaf 3.3.2). De methaanemissies die vrijkomt bij overstorten wordt verwaarloosbaar geacht.

Jaarlijks stort er circa 2% ongezuiverd rioolwater over naar oppervlaktewater. Dit komt overeen met 2.140.000 kg stikstof (RWS-RIZA, 2004). Deze lozing komt (conform de berekening in paragraaf 3.3.3) overeen met 3.320 ton CO₂-eq.

3.2.3 INDIRECTE EMISSIES

In een zeer beperkt aantal gevallen worden chemicaliën (nutriox = calciumnitraat) gebruikt ten behoeve van geur- en/of sulfidebestrijding. De indirecte emissies die hierdoor worden veroorzaakt zijn verwaarloosbaar.

Het beheer en onderhoud van riolering kost energie voor bijvoorbeeld zuigwagens en reiniging en inspectie van riolen. Omdat het deel 'riolering' een relatief klein onderdeel uitmaakt van de gemeentelijke taken is de indirecte bijdrage door het energieverbruik van de gemeentelijke organisaties niet meegenomen en toebedeeld aan de GWP van riolering.

3.2.4 GWP RIOLERING

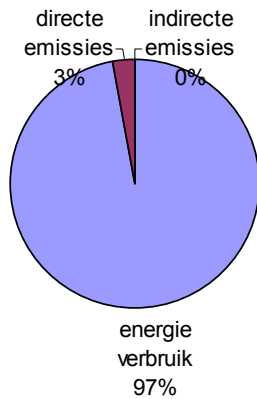
In Tabel 3.4 is de GWP van riolering samengevat.

TABEL 3.4 GWP RIOLERING TOTAAL NEDERLAND (2006)

	hoeveelheid per jaar	conversie naar GWP	ton CO ₂ -eq.
Afvalwater transport	1.853.577.000 m ³		
Energieverbruik			
• Elektra	203.893.470 kWh	0,59 kg CO ₂ / kWh	120.300
Directe emissies			
• N ₂ O overstorten	10.700 kg	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	3.320
Indirecte emissies			
• Grondstoffen:			
o niet bepaald	verwaarloosbaar		0
• Organisatie:			
o niet bepaald	gering		0
Totaal			123.620

Opgemerkt wordt dat de GWP-bepaling van riolering gebaseerd is op schattingen. Over het energieverbruik van transport zijn weinig gegevens voorhanden, over de directe emissies van methaan en lachgas is weinig bekend, en de indirecte emissies zijn verwaarloosbaar geacht. Op basis van deze schattingen is in figuur 3.2. de GWP-verdeling weergegeven.

FIGUUR 3.2 GWP VERDELING VAN RIOLERING



3.3 AFVALWATERZUIVERING

De communale afvalwaterzuivering kan verdeeld worden in de hoofdstappen afvalwaterbehandeling en slibverwerking. De afvalwaterbehandeling is afgebakend tot en met de slibindikking en eventuele gisting. De slibverwerking omvat de slibontwatering en slibeindverwerking inclusief tussenliggend transport. De reden voor deze afbakening is dat er op veel rwzi's centraal ontwaterd wordt.

AFVALWATERBEHANDELING

De behandeling van communaal afvalwater vindt op uiteenlopende wijze plaats. In dit rapport is uitgegaan van de volgende hoofdtypen rioolwaterzuiveringinrichtingen (rwzi):

- rwzi's met voorbezinking en gisting
- rwzi's zonder voorbezinking en gisting

Binnen deze twee hoofdtypen wordt ook gekeken naar de invloed van chemische of biologische defosfatering. De afvalwaterbehandeling is afgebakend tot en met de slibindikking en eventuele gisting. In tabel 3.5 zijn de hoofdstappen van een rwzi weergegeven die in dit project zijn bekeken:

TABEL 3.5 HOOFDSTAPPEN AFVALWATERBEHANDELING

Rwzi met voorbezinking en gisting	Rwzi zonder voorbezinking en gisting
Roostergoedverwijdering	Roostergoedverwijdering
Zandverwijdering in water- of sliblijn	Zandverwijdering
Voorbezinking	Biologie*
Biologie*	Nabezinking
Nabezinking	Slibindikking
Primair slibindikking	Slibbuffering
Secundair slibindikking	
Gisting	
Buffering uitgestit slib	

* biologische of chemische fosfaatverwijdering

De hoeveelheid afvalwater die behandeld wordt in Nederland en de capaciteiten van rwzi's worden weergegeven in inwonerequivalenten (i.e.'s). Eén inwonerequivalent is gelijk aan de hoeveelheid vuilvracht die gemiddeld door één persoon gedurende een etmaal wordt geloosd. In 2006 werd er in Nederland voor 26,8 miljoen inwonerequivalenten aan afvalwater geproduceerd (CBS, 2006). Circa 70% van deze afvalwaterhoeveelheid wordt geproduceerd door huishoudens (CBS 2000-2004). De verschillende rwzi-typen zijn als volgt verdeeld over de totale hoeveelheid jaarlijks te behandelen inwonerequivalenten (CBS, 2006):

- chemische defosfatering zonder voorbezinking en gisting: 35%
- chemische defosfatering met voorbezinking en gisting: 42%
- biologische defosfatering zonder voorbezinking en gisting: 10%
- biologische defosfatering met voorbezinking en gisting: 13%

SLIBVERWERKING

Jaarlijks wordt 360.000 ton droge stof zuiveringsslib geproduceerd (CBS, 2006). De slibverwerking is in dit project afgebakend vanaf de slibontwatering op rwzi's tot en met de eindslibverwerking inclusief tussenliggend transport.

Slibontwatering vindt in hoofdzaak plaats door middel van zeebandpersen of centrifuges van gemiddeld 3,5% droge stof (ds) naar 23% ds. Gemiddeld wordt het slib ten behoeve van ontwatering 10 km tussen rwzi's getransporteerd (Stowa, 2005). Het ontwaterde slib wordt vervolgens verder verwerkt in verschillende installaties in Nederland (zie tabel 2). Hiervoor wordt het ontwaterde slib gemiddeld 100 km getransporteerd (Stowa, 2005). In tabel 3.6 is weergegeven op welke wijze het ontwaterde slib wordt verwerkt.

TABEL 3.6

VERWERKING ONTWATERD SLIB IN NEDERLAND

Verbranden	48%
Thermisch drogen (en nuttige toepassing)	20%
Thermisch drogen, meestoken enci	8%
Thermisch drogen, meestoken e-centrale	1%
Biologisch drogen (composteren)	13%
Meeverbranden AVI	6%
Storten	4%

Bron: CBS 2006; Stowa 2005

3.3.1 ENERGIEVERBRUIK

In totaal werd in 2006 728 miljoen kWh aan elektriciteit verbruikt voor de afvalwaterbehandeling inclusief slibontwatering. Hiervan werd 151 miljoen kWh opgewekt met behulp van biogas. Het netto energieverbruik inclusief slibontwatering komt hiermee uit op 577 miljoen kWh. Hiervan wordt 5,7% gebruikt voor de slibontwatering. Het netto energieverbruik voor de afvalwaterbehandeling zonder slibontwatering is dan 544 miljoen kWh. Verder werd er 28,8 miljoen m³ aardgas ingekocht (CBS 2006).

Het specifiek energieverbruik zuiveren afvalwater bedraagt gemiddeld 26,6 kWh per i.e.-verwijderd (i.e. = 136 g TZV) (UvW, 2006). In tabel 3.7 zijn de kengetallen voor het specifiek energieverbruik van de verschillende procesonderdelen weergegeven.

TABEL 3.7

SPECIFIEK ENERGIEVERBRUIK AFVALWATERBEHANDELING EN SLIBONTWATERING

Procescomponent	Specifiek energieverbruik	Range energieverbruik
zuiveren afvalwater totaal	26,6 kWh/i.e.	20,4 - 33,2 kWh/i.e.
beluchting	14,8 kWh/i.e.	9,6 - 20,9 kWh/i.e.
o belenbeluchting		4,0 - 5,0 kg O ₂ /kWh
o puntbeluchting		1,5 - 2,5 kg O ₂ /kWh
slibontwatering	0,12 kWh/kg ds	0,05 - 0,23 kWh/kg ds
o centrifuges		0,04 - 0,065 kWh/kg ds
o zeefbandpersen		0,02 - 0,035 kWh/kg ds

Bron: Loeffen et al (2005), Projectbureau Energiebesparing GWW (2005), UvW (2006)

AFVALWATERBEHANDELING

Het overgrote deel van het elektrisch energieverbruik in de afvalwaterbehandeling wordt veroorzaakt door de beluchting van de biologische reactoren: 75-80% (CBS, 2006). Het overige gedeelte wordt verbruikt door met name pomp- en menginstallaties, en luchtbehandeling (indien aanwezig). Daarnaast dient warmte opgewekt te worden voor de verwarming van gebouwen en procesonderdelen (met name slibgisting). Indien slibgisting wordt toegepast dan wordt de warmte voor deze slibgistingstanks geleverd door biogas. Voor de overige warmtevraag wordt daarnaast nog een kleine hoeveelheid aardgas ingekocht. Bij rwzi's zonder slibgisting wordt in de warmtevraag voorzien door middel van aardgas of warmte van stadsverwarmingsnetten.

Het toepassen van voorbezinking en gisting heeft een grote invloed op het netto energieverbruik van de afvalwaterbehandeling. Door gisting, al dan niet in combinatie met voorbezinking, toe te passen wordt het netto energieverbruik van een rwzi met ca. 40-45% verlaagd. Dit wordt veroorzaakt doordat de organische stof uit het afvalwater niet energie-intensief wordt

verwijderd in de biologie, maar wordt omgezet in biogas, welke vervolgens via WarmteKracht-Koppeling (WKK) weer kan worden omgezet in warmte en elektriciteit. De toepassing van deze opgewekte energie resulteert in minder fossiel energieverbruik op de rwzi. Biogas wat omgezet wordt in energie wat nuttig wordt toegepast draagt niet bij aan het broeikas effect vanwege het kortcyclische karakter, waardoor het meegeteld kan worden als vermeden energieverbruik en niet bijdraagt aan de broeikasgasemissies van de afvalwaterketen.

ENERGIEOPWEKKING UIT BIOGAS

In 2006 werd ca. 95 miljoen m³ biogas geproduceerd. Het overgrote deel hiervan (68%) is omgezet in elektriciteit en warmte door middel van gasmotoren. Circa 9% is afgefakkeld/afgeblazen en 9% is direct geleverd aan externen. Een klein gedeelte wordt gebruikt voor directe aandrijving van de gasmotoren (CBS 2006).

SLIBVERWERKING

Zoals aangegeven in paragraaf 3.3.1, bestaat de slibverwerking uit slibontwatering en slibeindverwerking zoals drogen en (mee)verbranden (zie tabel 3.6). Het energieverbruik van de slibontwatering bedraagt ca. 33 miljoen kWh (CBS, 2006). Ook voor het energieverbruik van de slibontwatering geldt dat bij rwzi's met slibgisting er minder energie nodig is voor slibontwatering dan bij rwzi's zonder slibgisting. Dit wordt veroorzaakt doordat er bij rwzi's met slibgisting minder slib wordt geproduceerd, vanwege de biologische afbraak.

In 2005 is in opdracht van de STOWA een slibketenstudie uitgevoerd. Hierin is voor verschillende bestaande en toekomstige slibverwerkingsroutes bepaald hoeveel fossiele energie wordt gebruikt voor de slibketen van slibontwatering tot en met slibeindverwerking inclusief tussenliggend transport. Deze fossiele energie is voor elke route omgezet in kg CO₂/i.e. (Stowa 2005). In combinatie met de verdeling van de verschillende typen rwzi's en slibverwerkingsmethoden (zie tabellen 3.5 en 3.6) en deze gegevens is een gemiddelde CO₂-emissie bepaald van de huidige slibverwerking in Nederland in 2006 ten gevolge van energieverbruik: 3,8 kg CO₂/i.e. De GWP ten gevolge van energieverbruik in de slibverwerking bedraagt in 2006 102.100 ton. Hierbij wordt opgemerkt dat de GWP-bijdrage van het slibtransport slechts 5% bedraagt van de GWP van de slibverwerking oftewel 5.105 ton GWP (Stowa, 2005).

3.3.2 DIRECTE EMISSIES

AFVALWATERBEHANDELING

Bij de afvalwaterbehandeling komen CO₂-, CH₄- en N₂O -emissies vrij in de biologische reactoren, tussentijdse slibbuffering en slibgisting. Daarnaast vindt er N₂O -vorming plaats in het oppervlaktewater waarop het effluent van rwzi's wordt geloosd. Voor de bepaling van deze emissies is in eerste instantie gebruik gemaakt van het Protocol Afvalwater van VROM (VROM, 2007a):

$$\text{CH}_4 (\text{RWZI}) = \text{CH}_4 (\text{waterlijn}) + \text{CH}_4 (\text{slibvergister}) = 0,0085 * \text{CZV} (\text{influent})$$

$$\text{N}_2\text{O} (\text{RWZI}) = 0,01 * \text{Nkj} (\text{influent})$$

$$\text{N}_2\text{O} (\text{effluent RWZI}) = 0,01 * \text{Ntot} (\text{effluent}) * 44/28$$

De hierboven beschreven formules zijn gebaseerd op de IPCC-richtlijnen van 1996. In 2006 zijn deze IPCC-richtlijnen echter geactualiseerd. In deze richtlijnen zijn de volgende formules opgenomen (IPCC, 2006):

$$\text{CH}_4 \text{ (RWZI)} = \text{CH}_4 \text{ (waterlijn)} + \text{CH}_4 \text{ (slibvergister)} = 0,0085 * \text{CZV (influent)}$$

$$\text{N}_2\text{O (RWZI)} = 3,2 \text{ g N/inwonerequivalent/jaar}$$

$$\text{N}_2\text{O (effluent RWZI)} = 0,005 * \text{N}_{\text{tot}} \text{ (effluent)} * 44/28$$

De methaanemissies van de afvalwaterbehandeling zijn in dit rapport berekend op basis van de formule conform VROM 2007a.⁶

Op het gebied van lachgas zijn er echter wetenschappelijke onderzoeken die andere factoren voorstellen dan in het Protocol Afvalwater en de (geactualiseerde) IPCC-richtlijnen worden voorgesteld. Deze onderzoeken zijn veelal gebaseerd op labschaalexperimenten, waardoor de juistheid van de extrapolatie van de gevonden meetwaarden naar de praktijksituatie in rwzi's betwijfeld kan worden. Praktijkmetingen op rwzi's zijn zeer beperkt uitgevoerd en de resultaten hiervan zijn gebaseerd op steekmonsters. Bovendien is in zeer beperkte mate aangegeven onder welke omstandigheden de monsters zijn genomen. Dit is een belangrijke omissie, aangezien uit het wetenschappelijk onderzoek blijkt dat de procescondities grote invloed hebben op de hoeveelheden lachgas die geproduceerd wordt in afvalwaterzuivering. Uit het internationale wetenschappelijk onderzoek⁷ blijkt dat de volgende factoren waarschijnlijk zorgen voor een verhoogde lachgasemissie uit respectievelijk de nitrificatie- en denitrificatieruimtes op een rwzi:

Nitrificatie:

- Te laag zuurstofgehalte veroorzaakt door bijvoorbeeld onvoldoende beluchting en/of door een gradiënt in de slibvlok;
- Hoog nitrietgehalte veroorzaakt door suboptimale proces omstandigheden, zoals onvoldoende beluchting, lage slibleeftijd, toxische componenten, lage temperatuur, hoge ammoniumconcentratie etc.

Denitrificatie:

- Te hoog zuurstofgehalte veroorzaakt door bijvoorbeeld terugvoer van veel zuurstof vanuit de nitrificatie;
- Hoog nitrietgehalte door bijvoorbeeld een tekort aan biologisch afbreekbare organische stof;
- Te lage organische stof/stikstof-verhouding; dit kan inherent zijn aan het influent of veroorzaakt worden door een (te efficiënte) voorbezinkingstap

De meeste praktijkmetingen op rwzi's berekenen een lachgasemissie variërend van 0,005% tot 2,0% lachgasemissie ten opzichte van de stikstofvracht in het influent. Er zijn echter ook uitschieters gemeten tot 15 à 20%. Over het algemeen worden deze laatste hoge waarden gemeten onder omstandigheden die niet representatief zijn voor een rwzi (bijvoorbeeld extreem lage CZV/N-verhoudingen en temperaturen). De gemiddelde waarde die in de literatuur wordt gevonden is ca. 0,5%. Deze waarde wijkt sterk van hetgeen voorgesteld wordt in de

⁶ De resultaten voor methaan uit de water- en sliblijn komen goed overeen met gegevens uit www.emissieregistratie.nl: 8210 ton CH₄ in 2006. Dat geldt niet voor lachgas, vanwege de andere berekeningswijze die hiervoor gehanteerd is (zie deze paragraaf).

⁷ Persoonlijke communicatie met Mark van Loosdrecht en Marlies Kampschreur, TU Delft. Zie voor een overzicht: UKWIR, 2008.

geactualiseerde IPCC-richtlijn. De 3,2 g N/i.e./jaar (IPCC, 2006) komt voor de Nederlandse situatie overeen met een factor van circa 0,01%⁸. De berekeningswijze in de IPCC-richtlijn is gebaseerd op een onderzoek aan één kleine rwzi (Czepiel et al, 1995). In Groot-Brittannië wordt op basis van de verschillende wetenschappelijke onderzoeken voor de lachgasemissie afgeweken van de IPCC-richtlijn en een waarde aangehouden van 0,4% van de stikstofvracht in het influent (UKWIR, 2008).

De hoeveelheid lachgas die bij afvalwaterbehandeling ontstaat is nog onduidelijk. Zowel nationaal als internationaal zullen er het komende jaar on-line praktijkmetingen aan rwzi's worden verricht (o.a. Stowa project "Emissies van broeikasgassen vanuit RWZI's") om beter grip te krijgen op deze emissies en te bepalen wat er verder onderzocht dient te worden om het ontstaan van lachgasemissies beter te begrijpen en om dit tegen te gaan. Vooruitlopend op dit onderzoek is in dit rapport niet uitgegaan van de factoren zoals de IPCC-richtlijnen en VROM 2007a voorschrijven, maar van de volgende berekeningswijzen:

$$\begin{aligned} N_2O \text{ (RWZI)} &= 0,005 * N_{kj} \text{ (influent)} \\ N_2O \text{ (effluent RWZI)} &= 0,005 * N_{tot} \text{ (effluent)} * 44/28 \end{aligned}$$

In 2006 is in totaal 938 miljoen kg CZV en 85,8 miljoen Nkjeldahl aan influent aangevoerd naar de verschillende rwzi's. Met het effluent is 19,1 miljoen kg Nkjeldahl geloosd (CBS 2006). De directe emissies door methaan- en lachgasemissie vanuit de afvalwaterbehandeling bedraagt op basis van deze waarden 346.880 ton.

Voor de afvalwaterbehandeling komen hier nog de directe emissies ten gevolge van de verbranding van biogas bij (zie paragraaf 2.1.2). De GWP ten gevolge van biogasverbranding bedraagt 89.700 ton CO₂-eq.

SLIBVERWERKING

Afhankelijk van het type slibeindverwerking komen in meer of mindere mate methaan- en lachgasemissies vrij. Met name bij biologisch drogen en bij slibverbranding komt lachgas vrij.

De berekeningsmethodiek voor directe emissies door biologisch drogen is gebaseerd op de aanpak van het UK Water Industry Research Limited dat voor Groot-Brittannië in 2008 een leidraad voor de GWP-bepaling van de waterketen heeft gepubliceerd (UKWIR, 2008). Hierin is bepaald dat er 31 kg N₂O per ton N in slib wordt geproduceerd. Voor methaanemissies door biologisch drogen is op basis van hetzelfde rapport een factor van 1,5 kg CH₄ per ton ds gebruikt.

Conform IPCC 2006, wordt er bij slibverbranding 0,9-0,99 kg N₂O /ton droge stof geproduceerd. Ook over deze factor bestaat veel discussie aangezien deze factor tevens gebaseerd is op enkele metingen en extrapolatie vanuit andere biomassastromen dan zuiveringsslib. Op basis van de jaarverslagen van SNB en DRSH slibverbranding (DRSH, 2006; SNB, 2006) is in dit rapport een lagere factor aangehouden van 0,7 kg N₂O /ton ds. Deze lagere waarde ten opzichte van de IPCC-richtlijn is gekozen aangezien er in de Nederlandse situatie maatregelen zijn genomen om de lachgasemissie te verlagen zoals het toepassen van een grotere overmaat zuurstof. Hierdoor wordt de lachgasemissie met ca 20% beperkt.

⁸ Gebaseerd op een totale afvalwaterhoeveelheid van 26.796.091 i.e. 136 g TZV en 85.842.000 kg Nkj in 2006 (CBS, 2006).

Verder is conform de UKWIR voor tussenliggend opslag en voor het vervolgens storten van ontwaterd slib een emissiefactor van 1,1 kg CH₄/ton ds gehanteerd.

De GWP ten gevolge van directe emissies door slibverwerking bedraagt op basis van voorgaande uitgangspunten 122.500 ton CO₂-eq.

3.3.3 INDIRECTE EMISSIES

- Grondstoffen

In tabel 3.8 is weergegeven welke chemicaliën in welke hoeveelheden worden gebruikt bij de afvalwaterbehandeling en slibontwatering.

TABEL 3.8 CHEMICALIËNVERBRUIK AFVALWATERBEHANDELING INCLUSIEF SLIBONTWATERING

Type chemicaliën	ton / jaar	conversiefactor kg CO ₂ / kg *
FeCl ₃ , FeSO ₄ , AlClSO ₄ waterlijn	20.221	1,13
FeCl ₃ , FeSO ₄ , AlClSO ₄ sliblijn	2.189.935	1,13
Polyelectrolyt	3.407.406	1,15

* Simapro in Janse en Wiers, 2006

Bron: CBS, 2006; UvW, 2006

Daarnaast worden er bij de eindslibverwerking hulpstoffen gebruikt bij de slibverbranding in de rookgasreiniging zoals zoutzuur en natronloog. Op basis van de jaarverslagen van SMB en DRSH is bepaald dat er 0,036 ton CO₂/ton ds slib wordt veroorzaakt door de inzet van deze hulpstoffen. De GWP die veroorzaakt wordt door de inzet van hulpstoffen bij de overige slib-eindverwerkingstechnieken is verwaarloosbaar.

De GWP ten gevolge van indirecte emissies door de inzet van chemicaliën bij de afvalwaterbehandeling en slibverwerking bedraagt op basis van voorgaande uitgangspunten 35.630 ton CO₂-eq.

- Organisatie

Energieverbruik kantoren:

Het gemiddelde energieverbruik van kantoren bedraagt 18 m³ gas per m² en 100 kWh per m² (Novem, 2002), met een gemiddeld kantooroppervlak van 30 m³ per persoon. Bij de waterschappen zijn circa 11.000 fte werkzaam. Het energieverbruik van de kantoren bedraagt dan:

- 6 miljoen m³ gas (verwarming)
- 33,4 miljoen kWh elektra

Transport

Gebaseerd op gemiddeld afstand woon-werkverkeer (CBS) en de gegevens zakelijk transport van Waternet (Janse & Wiers, 2006), wordt het totale jaarlijkse brandstofverbruik voor de waterschappen geschat op 5,7 miljoen liter (benzine en diesel).



3.3.4 GWP AFVALWATERZUIVERING

In Tabel 3.9 is de GWP van afvalwaterzuivering samengevat.

TABEL 3.9 GWP AFVALWATERBEHANDELING TOTAAL NEDERLAND (2006)

	hoeveelheid per jaar	conversie naar GWP	ton CO ₂ -eq.
Afvalwaterproductie	1.853.577.000 m ³ 26.796.091 i.e. 136 g TZV		
Energieverbruik afvalwaterbehandeling			
• Elektra	544.100.000 kWh	0,59 kg CO ₂ / kWh	321.020
• Aardgas	28.882.000 m ³	1.80 kg CO ₂ / m ³	51.990
Energieverbruik slibverwerking	3,8 kg CO ₂ / i.e.		102.100
Directe emissies			
• CH ₄ waterlijn	6.565.020 kg CH ₄	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	137.865
• CH ₄ sliblijn	1.406.790 kg CH ₄	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	29.545
• N ₂ O waterlijn	429.210 kg N ₂ O	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	133.055
• N ₂ O lozing effluent	149.730 kg N ₂ O	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	46.415
• CH ₄ niet afgefakkeld biogas	Verrekend in CH ₄ sliblijn	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	Nvt
• N ₂ O niet afgefakkeld biogas	201.745 kg N ₂ O	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	62.740
• CH ₄ afgefakkeld biogas	20.810 kg CH ₄	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	20.810
• N ₂ O afgefakkeld biogas	19.820 kg N ₂ O	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	6.145
• CH ₄ slibeindverwerking	428.980 kg CH ₄	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	9.010
• N ₂ O slibeindverwerking	366.210 kg N ₂ O	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	113.525
Indirecte emissies			
• Grondstoffen			
o FeCl ₃ , FeSO ₄ , AlClSO ₄ waterlijn	20.221 ton	1.13*	22.850
o FeCl ₃ , FeSO ₄ , AlClSO ₄ waterlijn	2.189 ton	1.13*	2.473
o polyelectrolyet	3.407 ton	1.15	3.920
o hulpstoffen slibeindverwerking	0.037 kg CO ₂ / kg ds		6.385
• Organisatie			
o verwarming	6.000.000 m ³ gas 33.380.000 kWh	1,8 kg CO ₂ / m ³ 0,59 kg CO ₂ / kWh	10.800 19.695
o vervoer	5.700.000 l	2,45 kg CO ₂ / l **	13.965
Totaal			1.114.308

* gemiddeld voor FeCl₃, FeSO₄ en AlClSO₄

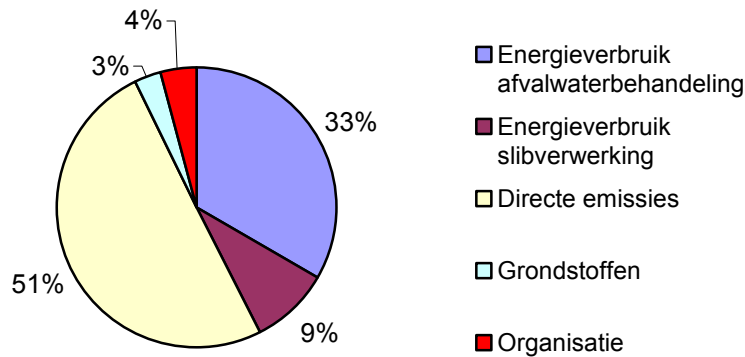
** gemiddeld voor benzine en diesel

Bij bovenstaande cijfers wordt nogmaals opgemerkt dat de spreiding tussen verschillende typen rwzi's en eindslibverwerking groot is. Het maakt nogal wat uit of er al dan niet slibgisting wordt toegepast, of er chemisch of biologisch wordt gedefosfateerd en welke slibeindverwerkingstechniek wordt ingezet.

Voor de afvalwaterketen kan geconcludeerd worden dat de GWP bepaald wordt door vooral de directe emissies en het energieverbruik (zie figuur 3.3). Hierbij is het energieverbruik van de afvalwaterbehandeling vele malen groter dan van de slibverwerking. Het aandeel grondstoffengebruik en organisatie is vrij gering. Het aandeel directe emissies is verrassend groot.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat rondom de bepaling van de directe emissies onzekerheden zijn.

FIGUUR 3.3 GWP VERDELING VAN DE AFVALWATERBEHANDELING



3.4 DE KLIMAATVOETAFDruk VAN DE WATERKETEN

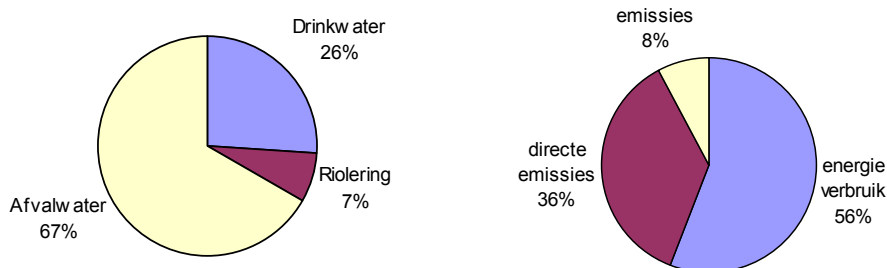
3.4.1 DE GWP VAN DE WATERKETEN

In bijlage II is een totaal overzicht gegeven van de klimaatvoetafdruk van de waterketen voor Nederland (in 2006). Deze bedraagt 1,67 miljoen ton CO₂-eq. per jaar. Volgens de bijgestelde GWP (100-jaar) AR4 (zie paragraaf 2.2.2) bedraagt de klimaatvoetafdruk 1,70 miljoen ton CO₂-eq.

In figuur 3.4 is de GWP verdeling weergegeven over de afzonderlijke onderdelen.

Geconcludeerd wordt dat afvalwaterbehandeling het grootste aandeel heeft van de GWP van de waterketen: 67%. De GWP van de riolering is, hoewel slechts een schatting, beperkt. De invloed op de GWP in de waterketen is in afnemende volgorde: energieverbruik, directe emissies en indirecte emissies. De bijdrage van directe emissies is nog omgeven met onzekerheden maar lijkt verrassend groot: 36%. Het gaat hier vooral om methaan en lachgas emissies bij afvalwaterzuivering (zie de vorige paragraaf).

FIGUUR 3.4 GWP VERDELING VAN DE WATERKETEN



3.4.2 DE GWP VAN DE WATERKETEN IN PERSPECTIEF

De totale broeikasgasemissies van Nederland in 2005 bedraagt 212 miljoen ton GWP (MNP, 2007). Op het totaal van Nederland is de GWP bijdrage van de waterketen beperkt: 0,8%. Toch is deze bijdrage relevant. De GWP van Nederland wordt in hoofdzaak bepaald door de energiesector, zware industrie en vervoer. Daaronder zijn er circa 20 sectoren die ieder 0,5-2% bijdragen, en de waterketen is er een van. En in al deze sectoren wordt eveneens gewerkt aan

klimaatmitigatie. Zo draagt het vliegverkeer wereldwijd 'slechts' 2% bij aan de broeikasgasemissies, maar wordt er volop gewerkt aan compensatie ('green seat') en mitigatie (beleidsdoelstellingen om klimaatneutraal te vliegen).

Zoals in de inleiding beschreven, heeft de watersector er alle belang bij dat er gewerkt wordt aan klimaatmitigatie, waarbij zij zelf het goede voorbeeld kan geven. Veel organisaties zijn dan ook gestart met initiatieven om de bijdrage aan het klimaatprobleem te beperken. Voorbeelden zijn Brabantse Delta, Brabant Water, Delfland, Evides, Regge & Dinkel, Rivierenland, Vitens en Waternet die bezig zijn klimaatbeleid te formuleren en maatregelen te nemen om energie te besparen.⁹ En op 1 juli 2008 zijn de waterschappen toegetreden tot de meerjarenafspraken energie van het Ministerie EZ. Met deze MJA Zuiveringsbeheer wordt 30% energieefficiëntieverbetering beoogd in de periode 2005-2020. In het volgende hoofdstuk worden de mogelijke klimaatmitigatiemaatregelen besproken.

Niet alleen in Nederland maar ook in onze omliggende landen staat klimaat op de agenda bij de watersector en wordt de klimaatvoetafdruk bepaald en mitigatiemaatregelen in kaart gebracht. Zo heeft UKWIR de carbon footprint van de waterketen van het Verenigd Koninkrijk bepaald (UKWIR, 2008). Zowel de gebruikte methode¹⁰ als het resultaat is op hoofdlijnen vergelijkbaar met deze studie. De GWP bedraagt 4,15 miljoen ton CO₂-eq. hetgeen 0,55% bedraagt van het totaal voor UK.

3.4.3 BIJDRAGE VAN DE WATERKETEN AAN DE HUISHOUDELIJKE GWP

Bij het bepalen van de klimaatvoetafdruk van de waterketen zijn de gebruikers niet meegenomen. Uiteraard draagt het feitelijke watergebruik bij aan de klimaatvoetafdruk en daar waar door de huishoudens energie (warmte) wordt toegevoegd aan het water draagt dit bij aan de klimaatvoetafdruk van de huishoudens.

Nederland heeft 16,3 miljoen inwoners. Er zijn 7,2 miljoen huishoudens met een gemiddelde grootte van 2,3 personen. Het jaarlijkse energieverbruik van een gemiddeld huishouden (2,3 personen) is in 2006 (www.energie.nl): 1650 m³ aardgas en 3400 kWh elektra. De jaarlijkse CO₂-uitstoot van een huishouden door energieverbruik bedraagt 4.976 kg CO₂-eq., ofwel 5 ton GWP.¹¹ Voor Nederland is het energieverbruik door huishoudens goed voor 35,8 miljoen ton GWP.¹²

In tabel 3.10 is de GWP bijdrage van de waterketen voor huishoudelijk gebruik weergegeven. Hiertoe is gerekend met de hoeveelheid drinkwater zonder de zakelijke markt, riolering zonder hemelwater, en de zuivering van afvalwater zonder bedrijfsafvalwater en zonder hemelwater (gebaseerd op vuillast, terugberekend van i.e.'s). Met andere woorden, de broeikasgasemissie om 1 m³ water voor 1 huishouden te produceren, transporteren en zuiveren bedraagt: 1,5 kg CO₂-eq. Het totaal aandeel van de huishoudelijke waterketen bedraagt 1,1 miljoen ton GWP per jaar .

9 Voor voorbeelden van recente klimaatadaptatie en mitigatie projecten van waterschappen zie UvW, 2008.

10 UKWIR hanteert dezelfde aanpak voor bepaling van de GWP: zelfde aannames voor lachgasemissies; materialen worden eveneens buiten beschouwing gelaten. Belangrijkste verschil is dat het grondstoffenverbruik (nog) niet is meegenomen.

11 Een gemiddeld huishouden verbruikt rond de 9 ton CO₂ per jaar. Hiervan is 5 ton door energieverbruik en 4 ton door vervoer; niet meegerekend is de uitstoot als gevolg van aankoop producten (www.milieucentraal.nl).

12 In CBS statline wordt voor de emissies van broeikasgassen door huishoudens (exclusief vervoer) 18,7 miljoen ton GWP gerapporteerd (in 2005). Dit is exclusief emissies door vervoer en elektraverbruik, en wordt dus in hoofdzaak bepaald door gasverbruik voor verwarming.



Het gemiddelde waterverbruik per persoon bedraagt 127,5 liter per dag (TNS NIPO, 2007) wat overeenkomt met 107 m³ per huishouden per jaar.

Aangezien de GWP bijdrage van de waterketen per m³ water 1,5 kg is, bedraagt de jaarlijkse GWP van de huishoudelijke waterketen 160 kg CO₂. Dat komt overeen met 3,3% van jaarlijkse CO₂-uitstoot van een huishouden door energieverbruik.

Hoewel deze 3,3% een relevante bijdrage is, is de GWP die gerelateerd is aan het opwarmen van water in huishoudens aanzienlijk groter. Voor de bereiding van warm tapwater gebruikt een huishouden 385 m³ gas per jaar (www.milieucentraal.nl).¹³ Dat komt overeen met 693 kg CO₂-eq. / jaar per huishouden. Dat is een 4x zo grote bijdrage ten opzichte van de waterketen.

TABEL 3.10 DE GWP PER M³ WATER VOOR HUISHOUDENS

Huishoudelijke waterketen		
drinkwater		
aandeel voor huishoudens	m ³	729.000.000
	%	60%
	kg CO ₂ -eq. / m ³	0,36
	ton GWP	263.210
riolering		
aandeel voor huishoudens	m ³	729.000.000
	kg CO ₂ -eq. / m ³	0,07
	ton GWP	48.620
afvalwater		
aandeel voor huishoudens	i.e.	18.757.000
	%	70%
	kg CO ₂ -eq. / i.e.	41,6
	ton GWP	780.290
	kg CO ₂ -eq. / m ³	1,07
totaal	ton GWP	1.092.120
	kg CO ₂ -eq. / m ³	1,50

13 Voor Noord-Nederland is het watergerelateerde energieverbruik vastgesteld op 164 m³ gas per persoon (377 m³ per huishouden), waarvan 50% voor baden / douchen, en 15% respectievelijk voor wassen, afwassen en koken / koffie+thee (Warns-project).



4

KLIMAATNEUTRALE MAATREGELEN IN DE WATERKETEN

In dit hoofdstuk worden mogelijke maatregelen beschreven die de klimaatvoetafdruk verminderen. Het gaat hierbij zowel om maatregelen op korte termijn (optimalisatie bestaand systeem) als op de lange termijn (nieuwe concepten). Eerst wordt een overzicht gegeven van mitigatiemaatregelen per sector, waarna in paragraaf 4.4 mogelijke maatregelen beschreven worden door met een klimaatbril te kijken naar de gehele waterketen.

4.1 DRINKWATER

4.1.1 MAATREGELEN ENERGIEVERBRUIK

Het merendeel van het energieverbruik in de drinkwater sector is nodig om de drukval over de productiestappen en distributie te overbruggen. De uitdaging ligt er in om dit op energie-efficiënte wijze te doen. Toepassing van relatief energie-efficiënte zuiveringsapparatuur is momenteel al gemeengoed in de drinkwatersector. Zo zijn bijvoorbeeld pompen voor inname en distributie al uitgerust met frequentie regelaars. In de optimalisaties van het beheer van de productie valt wellicht nog iets te halen.

Hieronder zijn een aantal ontwikkelingen / mogelijkheden voor energiebesparing beschreven, onder te verdelen naar a) energie-efficiënte productie technologie, en b) optimale distributie:

A) ENERGIE-EFFICIËNTE TECHNOLOGIE VOOR DRINKWATER PRODUCTIE

- *Lagedruk UV*

Een nieuwe ontwikkeling in de geavanceerde oxidatie van organische microverontreinigingen middels UV-peroxide is de toepassing van lagedruk lampen. Gemiddeld verbruiken lagedruk lampen de helft minder energie voor dezelfde emissie dan middendruk lampen die momenteel worden toegepast. Voor de verwijdering van 90% organische microverontreiniging is het energieverbruik van lage druk UV/H₂O₂ circa 30-50% lager dan van midden-druk UV/H₂O₂ (Ijpelaar et al, 2007).

- *Nieuwe membraan concepten*

Het energieverbruik van membraanfiltratie is relatief hoog, en de verschillen tussen de filtratietechnieken zijn groot. Bij drinkwaterproductie d.m.v. membraantechnologie worden de afgelopen jaren filtratieconcepten toegepast met een lager energieverbruik, bijv. door toepassing van ultra lagedruk TFC-membranen.

Een nieuwe innovatie is AiRO, reiniging van membranen met lucht/waterspoeling. Omdat hiermee deeltjesvorming en biofouling beheerst worden is slechts een beperkte voorbehan-

deling nodig hetgeen energie bespaard (eigen informatie KWR). Minder vervuiling betekent eveneens minder drukval; daar staat tegenover dat energie nodig is voor de luchtspoeling. Ander voorbeeld is de ontwikkeling in energie-efficiëntere ontzoutingsprocessen voor drinkwaterproductie uit zeewater. Hoewel nog steeds energie-intensief kan de nieuwe membraandestillatietechnologie Memstill (Hanemaaijer et al, 2006) gebruikmaken van laagwaardige restwarmte. Bij zeewater ontzouting wordt tevens gekeken naar de mogelijkheid om de rest-energie in het concentraat te benutten. Ook met toepassing van wind- (of zonne-)energie bij RO processen wordt geëxperimenteerd.

Recent worden ook keramische membranen toegepast (Heijman, 2007) die een hogere permeabiliteit hebben en daardoor een lager energieverbruik vergen (0,1 kWh/ m³).

Toekomstige ontwikkeling van membranen met minder drukval is te verwachten, bijv. door toepassing nanotechnologie.

B) OPTIMALE DISTRIBUTIE VAN DRINKWATER

- *Optimale waterverdeling in distributiegebied*

Optimale inzet van pompstations in een voorzieningsgebied (Riemersma et al, 2000), zowel voor inname (lokale bronnen) en verdeling (waarbij ook over de grenzen van een ander waterbedrijf gekeken wordt) als afvlakken van de productie (door inzet van een basislastpompstation waarbij de overige pompstations de pieken opvangen). In gebieden met geaccidentteerd terrein is toepassing van drukzonescheiding energetisch voordelig.

- *Modelvraagvoorspelling die gekoppeld is aan inname*

Er komen nieuwe modellen beschikbaar die stochastische afnamepatronen van individuele huishoudens voorspellen (Blokker, 2006). Middels prognosebesturing kan de drinkwater-vraag op uurbasis voorspeld worden. Door de productie af te stemmen op de verwachte vraag kan met behulp van buffers een zo constant mogelijk productiedebiet gerealiseerd worden. Een constant debiet is energie efficiënter dan een fluctuerend debiet. Bij grote debieten is het energieverbruik namelijk relatief groot. Dit komt doordat de wrijving die optreedt bij stroming van water in leidingen kwadratisch toeneemt met het debiet.

Hiermee samenhangend: energiegestuurde bergingen (hoog/laag houden van peilen) kunnen onnodig pompen voorkomen.

- *Drukverlaging*

Een ander mogelijkheid is het verlagen van de druk op het net (decentraal) in tijden dat hoge druk niet nodig is (bijvoorbeeld 's nachts). Echter, omdat de druk op het moment dat de vraag omhoog gaat ook weer verhoogd moet worden levert tijdelijke drukverlaging zeer waarschijnlijk geen energiewinst op. Een algehele continue drukverlaging in het distributienet, daarentegen, kan mogelijke wel energiebesparend zijn. Brabant Water onderzoekt de mogelijkheden hiertoe, o.a. in relatie tot lekverliezen / infiltratie en comfort beleving bij consumenten.

- *Druk 'optimaliseren' door aanjagers.*

De transportcapaciteit van een leidingsysteem kan vergroot worden door het toepassen van een aanjager (een direct in de leiding geplaatste pompinstallatie). Door het plaatsen van aanjagers op verschillende plaatsen in het net kan de benodigde druk beter afgestemd worden op de vereiste druk aan de tap, in vergelijking met 1 pomp aan het begin van het distributienet. Hier is een beperkt energievoordeel mee te verkrijgen.



- *Voor de toekomst: leidingen met minder wrijving, bijv. door nanodeeltjes of luchtbelletjes.*

De stromingsweerstand neemt af en het energieverbruik daalt. Dit idee vergt nog veel onderzoek, bijv. of luchtbelletjes biofilm vorming juist tegengaan of niet.

4.1.2 MAATREGELEN DIRECTE EMISSIES

Als bij een grondwateronttrekking het vrijkomende methaan wordt gewonnen en nuttig ingezet, levert dat naast een energiebesparing ook een beperking op van de emissie van het broeikasgas methaan. In ondiep grondwater kunnen methaangehaltes voorkomen van 30 tot 50 mg/l. In het verleden werden hiertoe brongaswinnings toegepast, maar na de grootschalige introductie van aardgas niet meer. Momenteel wordt opnieuw bekeken of bij permanente grootschalige grondwateronttrekkingen, waarbij sprake is van een hoog methaangehalte, het interessant is om het methaan te winnen. Een veelbelovende wintechniek is membraanontgassing (Drijver et al, 2007).

4.1.3 MAATREGELEN INDIRECTE EMISSIES

Bij oppervlaktewaterbedrijven kan het grondstoffengebruik een substantiële bijdrage leveren aan de GWP. Theoretisch kan de inzet van minder en andere grondstoffen de GWP verlagen. Waternet bekijkt momenteel de mogelijkheden hiertoe en spreekt de leveranciers van de chemicaliën hier op aan.

4.1.4 OVERIGE MAATREGELEN

- *Centrale ontharding*

Zoals eerder besproken, ligt een belangrijke uitdaging in het terugdringen van het energieverbruik bij het verwarmen van tapwater in huishoudens. Drinkwaterbedrijven hebben hier rechtstreeks invloed op door het toepassen van ontharding. De hardheid van water wordt bepaald door de hoeveelheden calcium en magnesium in het water. Bij verhitting slaan deze zouten neer en ontstaat kalkaanslag. Het kost meer energie om water op te warmen wanneer er kalkaanslag zit op de verwarmingselementen van het apparaat. Het energiegebruik kan bij een gasgeiser tot 15% meer kosten bij kalkafzetting. Bij een gasboiler kunnen de energiekosten zelfs met 20 tot 50% verhoogd worden (MIMOSA, 2003).

De laatste jaren hebben steeds meer waterleidingbedrijven het water al centraal onthard. Hoewel het energieverbruik bij de drinkwaterbedrijven door toepassing van ontharding is toegenomen, heeft dit geresulteerd in substantiële energiebesparing bij het verwarmen van tapwater in huishoudens.

Een eenvoudige rekensom laat zien dat de energiebesparing bij verwarmen van water in huishoudens vele malen groter is dan de energiekosten die gepaard gaan met centrale ontharding:

Centrale ontharding: 0,02 kWh/ m³

Extra energieverbruik drinkwatersector per huishouden per jaar:

107 m³ water = 0,14 kWh = 0,08 kg CO₂-eq.

Gasverbruik warm tapwater: 385 m³ gas per huishouden per jaar

Besparing energie huishoudens: 20% minder gasverbruik voor warm water
= 77 m³ gas = 138 kg CO₂-eq.



- *Koude-warmte opslag*

Van een geheel andere orde is de mogelijkheid voor bodemenergiesystemen: koude-warmte opslag (KWO). Een KWO-systeem gebruikt grondwater voor de opslag van warmte en koude. Het systeem slaat het overschot aan koude in de winter op in een aquifer. De koude bel wordt in de zomer aangesproken voor koeling. In de winter wordt de warme bel, die in de zomer gevoed werd, afgetapt voor verwarming. Het onttrokken grondwater wordt steeds weer geïnjecteerd, zodat er geen grondwater wordt verbruikt. Een warmtepomp of -wisselaar zorgt voor overdracht van energie van het grondwater naar b.v. de te koelen of te verwarmen ruimte.

KWO is een mooie vorm van duurzame energie, maar in het geval van een open KWO-systeem is er contact met het grondwater dat eveneens als drinkwaterbron dient. Toepassing van KWO leidt tot veranderingen in grondwaterstroming en temperatuur van de bodem (vooral bij gesloten KWO-systemen). Een verandering in temperatuur kan op zijn beurt weer leiden tot veranderingen in chemische samenstelling en in microbiologische eigenschappen van het grondwater (Stuyfzand, 2008). Hierdoor kunnen conflicterende belangen ontstaan tussen het gebruik van grondwater als grondstof voor de openbare drinkwatervoorziening en het gebruik van grondwater als energiedrager bij KWO projecten.

De provincies verlenen dan ook geen vergunning voor open KWO-systemen in grondwaterbeschermingsgebieden. Ook bij gesloten KWO-systemen (ook wel bodemwarmtewisselaars genoemd) kunnen er risico's voor de grondwaterkwaliteit zijn. Daar voor gesloten systemen geen vergunning nodig is, worden er ook geen eisen gesteld aan eventuele doorboring van afsluitende lagen en het gebruik van materialen. Wel is er een ontheffing op de provinciale milieuverordening nodig voor verticale gesloten systemen in grondwaterbeschermingsgebieden.

De meeste drinkwaterbedrijven stellen zich voorsnog op het standpunt dat zolang er onzekerheden zijn over de effecten van KWO het voorzorgprincipe gehanteerd moet worden. Dit betekent dat zij KWO-systemen willen weren uit grondwaterbeschermingsgebieden. Daar staat tegenover dat, indien KWO zorgvuldig wordt aangelegd en beheerd en aangetoond is dat het grondwatersysteem niet negatief beïnvloed wordt, de drinkwaterbedrijven geen bewaren tegen KWO hebben. Brabant Water, bijvoorbeeld, onderschrijft de meerwaarde van bodemenergiesystemen, vanwege de positieve effecten op het energiebesparings- en verduurzamingsbeleid en staat er daarom voor open om gecontroleerd met de eventuele risico's voor de drinkwatervoorziening om te gaan.

- *Groene energie inkoop*

In 2006 bedroeg het aandeel groene energie inkoop 34% van het totale energieverbruik van de Nederlandse waterbedrijven (Vewin, 2006a). Met deze inkoopmaatregel compenseert de drinkwatersector al een belangrijk deel van haar energieverbruik door deze te betrekken uit duurzame bronnen. De al gerealiseerde GWP winst door deze groene energie inkoop bedraagt 114.000 ton CO₂-eq. per jaar (26% van de totale GWP van de drinkwatersector).

Daarnaast zijn waterbedrijven bezig met het zoeken naar mogelijkheden voor duurzame energieopwekking en -opslag. Zo heeft WMD zonnepanelen op haar pompstation in Annen en onderzoekt PWN de haalbaarheid van het plaatsen van windmolens op de productielocaties.

4.1.5 CONCLUSIE

Het energieverbruik hangt samen met de vereiste zuiveringsinspanning. De verwachting is dat het energieverbruik in de (nabije) toekomst zal toenemen. Steeds verdergaande verwijdering van (nieuwe) stoffen (hormoonverstorende stoffen, medicijnresiduen) vraagt om geavanceerde en soms energie-intensieve productiemethoden. Daarmee samenhangend is eveneens de (toekomstige) keuze van bronnen (bijvoorbeeld zeewater). De uitdaging ligt er in om de verwachte toename van het energieverbruik zo beperkt mogelijk te houden door energie-efficiënte zuivering. In de drinkwatersector bestaat de indruk dat er in zijn algemeenheid niet zo veel energiewinst te halen valt bij de drinkwaterproductie. Belangrijkste voordeel zal dan ook te halen zijn door waterbesparing bij gebruikers zodat er minder drinkwater geproduceerd en gedistribueerd hoeft te worden.

4.2 RIOLERING

De GWP van riolering wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door energieverbruik (97,3%) en voor een klein gedeelte door directe emissies vanuit overstorten. De mogelijkheden voor energiebesparing zijn als volgt:

A) VERMINDERING HOEVEELHEID AFVALWATER

Het energieverbruik van de riolering zou kunnen worden verminderd door de afvalwaterhoeveelheid te verkleinen door:

- *gemengde stelsels te vervangen door verbeterd gescheiden stelsels;*
- *regenwater af te koppelen en/of te hergebruiken;*
- *rioolvreemd water terug te dringen.*

Het te behalen energievoordeel van deze maatregelen is sterk lokaal afhankelijk, maar zal maximaal 10-20% van het totale energieverbruik voor het transport van afvalwater bedragen. Naast energiewinst doordat er minder (stedelijk) afvalwater verpompt hoeft te worden is er vooral ook energiewinst bij de rwzi doordat er minder afvalwater behandeld hoeft te worden.

B) OPTIMALISATIE TRANSPORT

- *Voorkomen luchtinsluiting*

De TU Delft/CiTG en WL|Delft Hydraulics startten in 2003 het onderzoeksprogramma CAPaciteitsverliezen in afvalWATERpersleidingen (CAPWAT). Als gevolg van luchtinslag in gemaalkelders en (bio)chemische processen in het afvalwater komt het veelvuldig voor dat zich in dergelijke leidingen gas en/of luchtophopingen vormen. Dit kan significante hydraulische verliezen tot gevolg hebben die zich vertalen in een toename van het energieverbruik, verlaging van de capaciteit en in bepaalde gevallen zelfs tot het absoluut disfunctioneren van persleidingsystemen. Praktijkmetingen geven aan dat energieverliezen kunnen oplopen van 16% onder RWA-omstandigheden tot maximaal 70-80% onder DWA-omstandigheden (Lemmens, 2005).

- *Real-time control sturing op hoeveelheid*

Verder kan het energieverbruik van afvalwatertransport verder verlaagd worden door rioolgemalen die samen op één net aangesloten zijn beter te sturen op het afvalwateraanbod. Hierdoor worden gemiddeld lagere snelheden bereikt, waardoor het energieverbruik wordt verlaagd.



Met real-time control aansturing van regelbare schuiven in de riolering kan de bestaande ruimte in het rioleringsstelsel optimaal benut worden zodat de piekafvoer beperkt wordt. Dit levert vooral energievoordelen op bij de rwzi (zie paragraaf 4.4).

- *Inzet boostergemalen*

Tenslotte kunnen in grote persleidingnetten boostergemalen gebruikt worden die geen gebruik maken van een natte kelder, waardoor het afvalwater met minder energieverlies doorgetransporteerd kan worden. In de Nederlandse situatie kan deze maatregel slechts beperkt toegepast worden.

4.3 AFVALWATERZUIVERING

4.3.1 MAATREGELEN ENERGIEVERBRUIK

Er bestaat een scala aan maatregelen die op relatief korte termijn op rwzi's kan worden toegepast. De kansen voor energiebesparing bij een bestaande rwzi zijn er met name voor verbeterde regeling: realiseer een zo efficiënt mogelijk en optimaal functionerend proces. Bijvoorbeeld, het besparingspotentieel is groot voor verbeterde regeling van de zuurstoftoevoer. Bij renovatie of nieuwbouw zijn er volop mogelijkheden om te kiezen voor energiezuinige apparatuur en systemen. Bijvoorbeeld door te kiezen voor gisting, belenbeluchting of zeefbandpersen.

De mogelijke energiebesparingsmaatregelen zijn onder andere geïnventariseerd (Loeffen et al, 2005) en opgenomen in het InfoMil informatieblad rwzi's ten behoeve van energie in de milieuvergunning (InfoMil, 2006). Deze maatregelen omvatten:¹⁴

A) OPTIMALISEREN BIOLOGISCHE PROCESSEN

- *Scheiden voortstuwers en beluchting*, en daarmee samenhangend:
- Het installeren van *belenbeluchting* in plaats van punt- of borstelbeluchting (afhankelijk van diepte tank): 40 - 60% energiebesparing op het verbruik van de beluchting.
- *Anoxische zone* inbouwen inclusief recirculatie op nitraat regelen: energiebesparing zeer afhankelijk van plaatselijke situatie.

B) OPTIMALISEREN REGELINGEN

- *Beluchttingsregeling* optimaliseren, op basis van O₂, redox, ammonium, nitraat; ook plaats sensors en setpoints optimaliseren: 25 - 50% en 5 - 10% energiebesparing op het verbruik van de beluchting ten opzichte van respectievelijk geen meters en alleen O₂ meters.
- *Retourslibdebietsregeling* optimaliseren op basis van slibspegel: 0 - 40% energiebesparing op het verbruik van de retourslibpompen.
- *FO's* plaatsen op beluchting, gemalen, slibpompen: 20 - 50% energiebesparing op het verbruik van het betreffende apparaat.

¹⁴ Voor een toelichting op de maatregelen a), b) en c) zie InfoMil (2006)

C) OPTIMALISEREN OVERBRENGINGSRENDEMENTEN

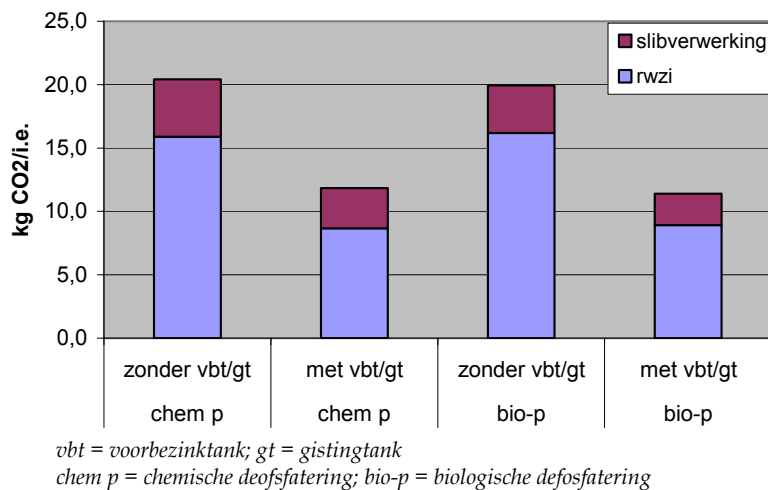
- Toepassen *hoogrendementsmengers en - compressoren*: respectievelijk 20 – 50% energiebesparing op het verbruik van het betreffende apparaat en 10 - 15 % op de beluchting.
- *Zeefbandpersen* in plaats van centrifuges: tot maximaal 50% energiebesparing.¹⁵
- *Luchtbehandeling* (hoeveelheid, compartimentering, H2S-regeling) optimaliseren: energiebesparing zeer afhankelijk van plaatselijke situatie.

D) ENERGIEZUINIGE SYSTEMEN

- *Toepassen gisting*

Een ingrijpendere maatregel voor rwzi's zonder gisting is het toepassen van voorbezinking en gisting. Hierdoor wordt de organische stof niet energie-intensief omgezet in beluchtingstanks door bacteriën, maar energie-extensief in gistingstanks door bacteriën. Bovendien is het energieverbruik voor slibverwerking minder omdat er minder, en beter ontwaterbaar, slib wordt geproduceerd. Als het primaire energieverbruik van de verschillende typen omgerekend wordt naar kg CO₂/i.e. dan levert het toepassen van voorbezinking en gisting een besparing op van gemiddeld 40% kg CO₂/i.e. (zie figuur 4.1). Hierbij wordt opgemerkt dat deze getallen gebaseerd zijn op de gemiddelde Nederlandse situatie voor afvalwaterbehandeling en slibverwerking. Zo is in de slibketenstudie uitgevoerd door Stowa (2005) bepaald dat het energetisch ongunstig is om slib te vergisten indien de eindslibverwerking bestaat uit indirecte thermische droging met restwarmte gevolgd door bijstoken in een cementoven of electriciteitscentrale. Deze verwerkingsroute wordt in de huidige situatie beperkt toegepast (zie tabel 3.6). Voor de overige verwerkingsroutes genoemd in tabel 3.6 is het toepassen van gisting energetisch voordelig. In welke mate dit het geval is dient per geval bekeken te worden.

FIGUUR 4.1 KILOGRAM CO₂/I.E. TEN GEVOLGE VAN PRIMAIR ENERGIEVERBRUIK VOOR VERSCHILLENDE TYPEN RWZI'S EN GEMIDDELDE SLIB-EINDVERWERKING



15 Voor zeefbandpersen geldt dat gelet moet worden op de Arbo-eisen voor geur en aerosolvorming. Centrifuges realiseren een hoger eind drogestofpercentage dan een zeefbandpers, hetgeen voor minder energiegebruik zorgt verder in de keten (transport en eindverwerking).

- *Hoogrendementsomzetting en benutting van biogas*

Momenteel wordt biogas over het algemeen omgezet in gasmotoren met een gemiddeld elektrisch rendement van 30%. De opgewekte warmte wordt vaak niet ten volle benut, aangezien in de zomer de warmtevraag van de rwzi zelf vele malen kleiner is dan het aanbod. Op vele rwzi's wordt dit overschot aan warmte zelfs energie-intensief weer weggekoeld.

De potentiële energie in biogas is op verschillende wijzen beter te benutten:

- Restwarmte van het koelwater en de rookgassen van gasmotoren beter benutten door aanleg van een warmtenet naar andere bedrijven, kantoren en woningen (bijvoorbeeld Waterschap Veluwe levert restwarmte van de slibgisting van rwzi Apeldoorn aan een woonwijk). Indien vraag en aanbod juist op elkaar worden afgestemd kunnen totaalrendementen (elektriciteit + warmte) van meer dan 90% behaald worden.
- Vervangen oudere WKK-installaties met lage elektrische rendementen (25-30%) door nieuwe typen met een elektrisch rendement van 40%.

Ook kan er voor gekozen worden om zogenaamde “groene gas netten” aan te leggen en het vervolgens af te zetten naar industrieën die het biogas omzetten met een hoger rendement dan op een rwzi gebruikelijk is. Ook kan het biogas opgewerkt worden tot aardgaskwaliteit. Zo levert Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier aan woningen groen gas van de rwzi Beverwijk. Ook Brabantse Delta bekijkt de mogelijkheden van opwaardering van biogas naar groen gas. Wel dient de netto energie-efficiëntie van de RWZI hierbij in de gaten te worden gehouden.

Ten slotte worden er momenteel biogasbrandstofcellen ontwikkeld die elektrisch rendementen in de toekomst kunnen halen van 55%.

- *Energie-efficiënte deelstroombehandeling*

Een probleem bij het toepassen van gisting is soms de vergrote aanvoer van stikstof naar de waterlijn van de rwzi, met name in het geval van centrale slibverwerkingsinstallaties en bij thermische drogers. Deze stikstofvracht kan energiezuiniger in zogenaamde deelstroombehandelingsinstallaties behandeld worden dan in conventionele rwzi's. De deelstroombehandelingstechnieken zijn vooral geschikt voor behandeling van stikstofrijke deelstromen, met een ammoniumgehalte van enkele honderden mg/l tot zelfs 2.000 mg/l, zoals bijvoorbeeld rejectiewater van slibverwerkingsinstallaties.

Traditionele stikstofverwijdering loopt via de zogenaamde nitraatroute: eerst wordt ammonium geoxideerd naar nitraat, dat vervolgens wordt omgezet naar stikstofgas onder verbruik van BZV (koolstofbron). Efficiënter is het om stikstof te verwijderen via de nitrietroute (waarbij methanol als koolstofbron wordt toegevoegd), zoals in het SHARON-systeem gebeurt. Dit vermindert het verbruik van beluchtingsenergie met 25% tot maximaal 40% afhankelijk van de omstandigheden in de hoofdzuivering (Mulder et al, 2006).

Sinds een paar jaar is er een nieuwe technologie, het Anammox-proces, beschikbaar die op een goedkopere manier stikstof verwijdert. Deze technologie maakt gebruik van deammonificerende bacteriën, die ammonium en nitriet met elkaar laten reageren tot stikstofgas. Slechts de helft van het ammonium hoeft genitificeerd te worden via de nitrietroute. Afhankelijk van de omstandigheden kan dit een reductie van de energievraag voor de beluchting inhouden van 60-85% ten opzichte van traditionele zuivering (Wett 2006).



- *Aeroob korrelslib*

De nieuwe energiezuinige technologie Nereda wordt momenteel onderzocht op pilot schaal gericht op huishoudelijk afvalwater in Stowa verband (Kraan et al, 2007). Nereda zit nog in de opschalingsfase en is nog niet direct toepasbaar op praktijkschaal.

Nereda is een nieuwe zuiveringstechniek volgens een SBR principe (sequencing batch reactor) die berust op aeroob korrelslib. Dit korrelslib bezit zeer goede bezinkingseigenschappen, waardoor alle zuiveringsprocessen in één reactor kunnen plaatsvinden. Ook kunnen hoge slibconcentraties worden gehandhaafd. Door deze twee eigenschappen is het mogelijk om het proces compact te realiseren. De bereikte effluentkwaliteit zou ruimschoots moeten voldoen aan de hedendaagse eisen.

Doordat onder andere nabezinktanks, mengers en recirculatiepompen overbodig zijn in het Nereda-proces, ligt het energieverbruik lager ten opzichte van de meeste bestaande aerobe systemen. Haalbaarheidsonderzoek op rwzi Epe geeft een besparing van 30-40% weer. Deze energiebesparing zou met name gerealiseerd worden door een mogelijk voordeel in benodigde beluchtingsenergie bij diepere tanks vergeleken met conventionele systemen (zonder dit mogelijke voordeel is de energiebesparing zou dit in de orde van 10% kunnen zijn). Het chemicaliënverbruik voor de technologie is nihil.

4.3.2 MAATREGELEN DIRECTE EMISSIES

De huidige luchtbehandlingssystemen met biofilters zullen nagenoeg geen methaan en lachgas afvangen. Nageschakelde luchtbehandling met actief kool filters zou de lachgasemissie wellicht enigszins kunnen beperken, maar dat zal eerst met metingen gestaafd moeten worden. Het ligt echter meer voor de hand om te werken aan het verminderen van het vrijkomen van methaan en lachgas emissies.

Er is nog veel onduidelijk over de ontstaanswijzen en hoeveelheden methaan en lachgas die bij afvalwaterzuivering ontstaat. Wetenschappelijke studies wijzen uit dat in de praktijk met de juiste procesinstellingen de lachgasemissie wellicht beperkt kan worden. Praktijkmetingen aan rwzi's die het komende jaar zullen worden uitgevoerd kunnen hier wellicht aanknopingspunten voor bieden en noodzakelijk vervolgonderzoek in kaart brengen. Noemenswaardig hierbij is dat de deelstroombehandelingstechnieken die gebruik maken van anaerobe dea-namonificatie, zoals het Demon- en het Canon-(1-traps annamox)-proces wellicht minder lachgas produceren.

4.3.3 MAATREGELEN INDIRECTE EMISSIES

Het chemicaliënverbruik van afvalwaterzuivering kan verlaagd worden door zoveel mogelijk afvalwater biologisch te defosfateren en de slibontwatering te optimaliseren.

4.3.4 OVERIGE MAATREGELEN

- *Co-vergisting*

Door de restcapaciteit van gistinginstallaties te gebruiken voor de co-vergisting van zuiveringsslib met stromen als mest en maaisel wordt de biogasproductie per m³ gistingvolume verhoogd. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is dat zo volledig mogelijk afbreekbare stromen (zoals putvetten) covergist worden zodat de hoeveelheid restmateriaal (en daarmee afvoerkosten) beperkt blijft. Onder andere Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden co-vergist het maaisel van haar eigen watergangen in de slibgisting. Hoogheemraadschap van Delfland onderzoekt thans de mogelijkheden voor covergisting op de awzi Houtrust.



- *Bijstoken zuiveringsslib in energie-, cement- en afvalcentrales*

Uit de Stowa-slibketenstudie uit 2005 is gebleken dat het vanuit energie-oogpunt zeer gunstig is om slib bij te stoken in energiecentrales, cementovens en afvalverbrandingsinstallaties. De organische stof in het zuiveringsslib wordt op deze manier ingezet als vervanger van fossiele brandstof.

- *Groene energie inkoop*

Het aandeel groene energie inkoop van het totale energieverbruik van de Nederlandse waterschappen was in 2006 nog vrij beperkt. Momenteel is een kentering zichtbaar en zijn steeds meer waterschappen zich bewust van de mogelijkheid om met deze inkoopmaatregel een deel van haar energieverbruik te betrekken van duurzame bronnen. Zo is bijvoorbeeld Waterschap Groot Salland overgestapt op volledige inkoop van elektriciteit die op duurzame wijze is opgewekt. De verwachting is dat door de inwerkingtreding van de “Meerjarenafspraak energie zuiveringsbeheer” het aandeel groene energie inkoop bij de waterschappen gaat toenemen.

Waterschappen hechten waarde aan duurzame initiatieven. Een voorbeeld hiervan is het duurzaam bouwen van een nieuw kantoorpand (bijvoorbeeld van Waterschap Rivierenland), waarbij energiebesparing, koude-warmte opslag en de opwekking van groene stroom middels bijvoorbeeld zonnecellen of windmolens belangrijke elementen zijn. Daarnaast worden waterschappen geacht om in 2010 50% van hun totale inkoopvolume duurzaam in te kopen. Dit betekent concreet dat alle inkopen van het waterschap moeten voldoen aan de beschikbare criteria voor duurzaam inkopen. Deze criteria voor de productgroep waterzuiveringsinstallaties en slibbehandeling worden momenteel door SenterNovem opgesteld. Verwacht wordt dat deze eind 2008 bekend zijn.

4.3.5 CONCLUSIE

Uit het voorgaande kan afgeleid worden dat er zowel op de korte als lange termijn nog vele maatregelen zijn te nemen om het energieverbruik van afvalwaterzuivering te verminderen. Met name het omzetten van de organische stof die zich in het zuiveringsslib bevindt door middel van:

- gisting in combinatie met deelstroombehandeling, hoogrendements biogasomzetting en/of covergisting, of
- bijstoken van zuiveringsslib in energie-, cement- en afvalcentrales kan met de huidige stand der techniek al leiden tot een concept waarbij het zuiveren van afvalwater geen energie meer kost, maar energie oplevert. Met toekomstig veelbelovende technieken als de biogasbrandstofcel, energiezuinige afvalwaterzuiveringsconcepten zoals Nereda kan het positieve energie-saldo nog verder worden verhoogd.

Voor het verminderen van de emissies van methaan en lachgas is nader onderzoek nodig.

Ten slotte dient opgemerkt te worden dat het energieverbruik samenhangt met de vereiste zuiveringsinspanning. De verwachting is dat het energieverbruik in de (nabije) toekomst zal toenemen vanwege verscherpte eisen. Steeds verdergaande verwijdering van stoffen als nutriënten en prioritair stoffen met energie-intensieve methoden zoals filtratie en oxidatie drijven het energieverbruik per m³ behandeld afvalwater verder op.¹⁶

¹⁶ Voor additionele zuivering in het kader van de Kaderrichtlijn Water doelstellingen schatten Hoibye et al (2008) een GWP toename van 0,12 kg CO₂-eq./m³.



4.4 KLIMAATNEUTRALE WATERKETEN CONCEPTEN

4.4.1 NIEUWE KETENCONCEPTEN EN SAMENVATTING ALLE MAATREGELLEN

Naast meer klimaatneutrale concepten op onderdelen van de waterketen, kunnen ook concepten voor totale onderdelen van de waterketen en wellicht ook voor de waterketen als geheel ontwikkeld worden. Over het algemeen zijn dit maatregelen die vooral op de middellange termijn (10-25 jaar) bij realisatie op grotere schaal tot een aanzienlijke reductie kunnen leiden. Een maatregel voor het ketenconcept behelst bijvoorbeeld een aanpassing van de transportinfrastructuur die in de huidige situatie voor een periode van enkele decennia nauwelijks zal veranderen. Dat zou namelijk een vernietiging van kapitaal betekenen.

Op de langere termijn (>25-50 jaar) is het zelfs mogelijk om een waterketen met een klimaatvoetafdruk van nul te realiseren. Daarbij zullen ontwikkelingen op het gebied van energiegrondstoffen, duurzaamheid en klimaatverandering een drijvende factor zijn. Maar ook de ontwikkelingen gericht op point-of-use technologie en gebruiksvriendelijkheid van sanitatie kunnen hierbij een stimulerende factor betekenen. Dat geldt ook voor ontwikkelingen in de energie en afvalsector waarbij combinaties met water mogelijk worden.

In tabel 4.1 is een overzicht gegeven van mogelijke ketenconcepten in de waterketen. Allereerst is een samenvatting gepresenteerd van de maatregelen die in de voorgaande paragrafen zijn behandeld. In het onderste deel van de tabel zijn verschillende ketenconcepten benoemd; deze worden in het vervolg van de tekst verder uitgewerkt. Het blijkt dat met name door maatregelen in de keten een substantiële vermindering van de klimaatvoetafdruk mogelijk is.

TABEL 4.1 OVERZICHT VAN KLIMAATNEUTRALE MAATREGELLEN VOOR DE WATERKETEN

drinkwater	riolering	afvalwater
Energie-efficiënte productie: <ul style="list-style-type: none"> lage druk UV nieuwe membraan concepten (bijv. AiRO) 	Vermindering hoeveelheid afvalwater: <ul style="list-style-type: none"> gescheiden stelsel regenwater afkoppelen rioolvreemd water terugdringen 	Optimaliseren biologische processen: <ul style="list-style-type: none"> bellenbeluchting anoxische zone
Optimale distributie: <ul style="list-style-type: none"> optimale verdeling modelvraagvoorspelling drukverlaging aanjagers 	Optimalisatie transport: <ul style="list-style-type: none"> voorkomen luchtinsluiting real-time control inzet boostergemalen 	Optimaliseren regelingen: <ul style="list-style-type: none"> zuurstofregeling retourslibdebieregeling FO-regeling op pompen
Methaangaswinning		Optimaliseren rendementen: <ul style="list-style-type: none"> HR mengers zeefbandpersen
		Energiezuinige concepten: <ul style="list-style-type: none"> gisting biogasbenutting Sharon en Nereda
		Beperking lachgasemissies
gerelateerde maatregelen		
<ul style="list-style-type: none"> Centrale ontharding Koude-warmte opslag Groene energie inkoop 	<ul style="list-style-type: none"> Groene energie inkoop 	<ul style="list-style-type: none"> Co-vergisting Bijstoken slib Groene energie inkoop
waterketen		
Afstemming riolering en zuivering: <ul style="list-style-type: none"> optimalisatie afvalwatersysteem (OAS) 		
Besparing van (warm)water bij huishoudens: <ul style="list-style-type: none"> gebruik regenwater voor toiletspoeling warmwater besparing 		
Hergebruik van warmte: <ul style="list-style-type: none"> douchewarmteterugwinning toepassing warmtepomp op afvalwater in huishoudens warmteterugwinning uit influent (of effluent) van rwzi's 		
Moderne sanitatie: <ul style="list-style-type: none"> gescheiden urine en/of zwart water inzamelingsystemen hergebruik van nutriënten uit afvalwater 		



4.4.2 AFSTEMMING RIOLERING EN ZUIVERING

In de afvalwaterketen wordt volop gewerkt aan Optimalisatie van het Afvalwater Systeem (OAS). In OAS studies wordt gezocht naar mogelijkheden om de hoeveelheid te zuiveren afvalwater en de piekbelasting terug te dringen. Dat kan door:

- Het *afkoppelen* van verhard oppervlak, zodat de neerslag die daarop valt niet naar de rwzi wordt afgevoerd;
- Het aanpassen van het *pompregime* van rioolstelsels (o.a. middels real-time control), waardoor minder regenwater naar de rwzi wordt afgevoerd.

Ook wordt er gewerkt aan het tegengaan van rioolvreemd water waartoe de Droog Weer Afvoer Analyse Systematiek (DWAAS) ontwikkeld is.

De OAS maatregelen leiden uiteindelijk op twee manieren tot energiebesparing. Ten eerste wordt minder regenwater naar de rwzi afgevoerd. Dat bespaart op het transport van regenwater. Ten tweede is, door het beperken van de piekaanvoer, de hydraulische capaciteit van de rwzi kleiner. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld bepaalde nieuwe zuiveringsonderdelen niet dan wel kleiner worden uitgevoerd. Niet alleen dalen de benodigde investeringskosten hierdoor, ook is minder energie nodig voor het bouwen van de installatie en het operationeel beheer hiervan.

4.4.3 BESPARING VAN (WARM)WATER BIJ HUISHOUDENS

Door minder drinkwater te verbruiken kan de GWP verlaagd worden. Waterbesparing bij huishoudens (en de zakelijke markt) betekent minder drinkwaterproductie, transport en zuivering, en daarmee een lagere GWP zowel per huishouden als voor de gehele keten.

- *Gebruik regenwater voor toiletspoeling*

De meest concrete mogelijke maatregel is het terugdringen van het gebruik van drinkwater voor spoelwater in toiletten. In plaats daarvan zou regenwater hiervoor kunnen worden ingezet. Dit is op verschillende locaties, vooral kantoren, al gerealiseerd (bijvoorbeeld Waterschapskantoor Veluwe). Aandachtspunt is dat het oppompen van regenwater (en daarmee energieverbruik) vermeden moet worden: uitgangspunt is dat het regenwater wordt opgevangen op het dak en zonder zuiverende voorziening rechtstreeks onder vrij verval naar het toilet wordt geleid.

Per huishouden levert toiletspoeling met regenwater een besparing op van 80 liter drinkwater per dag (29 m³/jaar). Dit komt overeen met een reductie van 10 kg CO₂-eq. per huishouden per jaar. Daarmee daalt per huishouden de GWP van de huishoudelijke waterketen met 6,5%.

- *Warmwater besparing*

Op dit moment neemt het totale drinkwaterverbruik licht toe, wat een trendbreuk is met het verleden. In 2007 is het waterverbruik door huishoudens gestegen als gevolg van douchen. Ten opzichte van 2004 is er per persoon 5,8 liter meer warm water gebruikt (Vewin, 2007). Dat komt overeen met een stijging van de GWP van 340.000 ton.

Zoals in paragraaf 3.4.3 is aangegeven, is de GWP voor het opwarmen van water door huishoudens 4x zo groot als de GWP voor de huishoudelijke waterketen. Er ligt dan ook een kans in het (opnieuw) op de agenda zetten van warmwater besparing bij huishoudens. Warmwaterverspilling is immers energieverpilling. Hoewel dit strikt genomen niet leidt tot een



verlaging van de klimaatvoetafdruk van de waterketen zoals in dit project gedefinieerd, is de relatie met de waterketen zo nadrukkelijk aanwezig dat deze maatregel hier toch is opgenomen.

Een waterbesparende douchekop verbruikt per jaar 10 kubieke meter water minder, en bespaart zo 45 m³ gas (www.milieucentraal.nl). Dit is een reductie van maar liefst 15 kg CO₂ per jaar door waterbesparing plus 80 kg CO₂ per jaar door energiebesparing. Daarnaast zijn substantiële besparingen mogelijk door een warmwatertoestel te kiezen met een laag energieverbruik. Het meest zuinig zijn toestellen met een elektrische warmtepomp of met een HR combiketel.

Voorlichting aan consumenten speelt een belangrijke rol om te komen tot waterbesparing. Door als sector het goede voorbeeld te geven, onder andere door zelf klimaatneutrale maatregelen te nemen zoals in dit rapport beschreven, kan de bereidwilligheid van consumenten om ook een steentje bij te dragen ten goede komen.

4.4.4 HERGEBRUIK VAN WARMTE

Op een groot aantal plekken in de waterketen komt warmte vrij die op dit moment niet wordt hergebruikt. Daarbij kan gedacht worden aan warmte in de huishoudens (douchewater, waswater), maar ook centraal in het influent en/of het effluent van de rwzi's. In Koetse et al (2008) zijn voor een nieuwbouwwijk verschillende concepten uitgewerkt:

- *Douchewarmteterugwinning*
Hierbij passeert warm douchewater bij afvoer naar het riool een warmtewisselaar. Hierdoor is een gasbesparing van 30% per douchebeurt mogelijk.
- *Toepassing warmtepomp voor al het afvalwater uit huishoudens.*
Dit kan individueel (per huishouden) of collectief worden aangelegd. De warmte wordt afgegeven voor het verwarmingssysteem. De gasbesparing is tot 50% voor verwarming.
- *Warmteterugwinning uit influent (of effluent) van de rwzi*
Bijvoorbeeld voor toepassing in een warmtenet (rwzi Hengelo) of kantoorverwarming (rwzi Apeldoorn). Belangrijk aspect hierbij is warmteverlies voor transport van warm water, wat op kantorenniveau geminimaliseerd wordt. De besparing op gasverbruik voor verwarming ligt in de orde grootte van 30-50%, mogelijk zelfs meer.

Voor een huishouden kan de besparing oplopen tot circa 70 m³ methaangas per jaar hetgeen overeenkomt met 125 kg GWP per huishouden per jaar.

Bovenstaande concepten kunnen mogelijk ook gekoppeld worden met koude-warmte opslag, zodat warmte pas gebruikt wordt als het nodig is en ongebruikt opgeslagen wordt.

Nadeel van warmteterugwinning uit afvalwater is een remmend effect op de biologische afbraakprocessen in de rwzi. Door de relatief lange verblijftijd in de rwzi zal dit effect niet heel groot zijn. Wel zullen de aeratietanks groter gebouwd moeten worden wat kostenverhogend is en in het slechtste geval komt de minimale temperatuur voor nitrificatie in de buurt.

Energiebesparing dan wel extra verbruik bij de rwzi door hogere of lagere aanvoertemperaturen heeft tot op zekere hoogte een zelfregulerend mechanisme: de biologische processen

gaan sneller bij hogere temperaturen, maar er is meer energie nodig om zuurstof in het water te krijgen. Een integrale afweging van maatregelen en effecten over de gehele keten blijkt dus steeds noodzakelijk.

4.4.5 MODERNE SANITATIE

De toepassing van nieuwe sanitatie concepten staat op dit moment sterk in de belangstelling (Stowa, 2008). Daarbij worden met name concepten ontwikkeld waarbij urine en/of ontlasting gescheiden worden ingezameld. Deze concepten hebben op verschillende manieren een relatie met de energiehuishouding en de GWP van de waterketen:

- verlaging drinkwaterverbruik in nieuw type toilet;
- verlaging vuilvracht op de rwzi en mogelijkheid van energie-efficiënte zuiveringsconcepten;
- mogelijkheid tot co-vergisting van bijvoorbeeld GFT-afval op niveau van huishouden/straat/wijk (bij zwart water systemen waarbij urine en ontlasting apart worden ingezameld);
- mogelijkheid herwinning nutriënten, waardoor bespaard wordt op beluchting voor afbraak (NH_3) en op gebruik van kunstmest wat met behulp van veel energie geproduceerd wordt.

Gescheiden urine en zwart water inzamelingsystemen, waarbij veel minder water gebruikt wordt, laten een positieve energiebalans zien (Grontmij, 2008; Roorda et al, 2008). Het verlaagd drinkwaterverbruik per huishouden is circa $12,5 \text{ m}^3$. Daarnaast is er bij gescheiden urine systemen een energievoordeel bij de rwzi omdat er minder N geoxideerd hoeft te worden. De GWP-winst bij gescheiden urine systemen is berekend op circa $6 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ per huishouden per jaar ten opzichte van conventionele toiletsystemen. Dit komt overeen met 4% winst op de GWP van de huishoudelijke waterketen.

Als zwart water (bij vrij verval systemen, géén vacuümsysteem) wordt vergist levert dit per huishouden 500 MJ netto energie per jaar op. Hierin is verdisconteerd dat er energie-inhoud 'weggehaald' wordt van de rwzi en er bij de rwzi minder biogas geproduceerd wordt. In combinatie met het verlaagd drinkwaterverbruik is de GWP-winst bij zwart water systemen (onder vrij verval) circa $38 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ per huishouden per jaar. Dit komt overeen met 24% winst op de GWP van de huishoudelijke waterketen. Bij co-vergisting van het zwarte water (met bijvoorbeeld GFT-afval) is deze energiewinst nog groter.

- *Hergebruik nutriënten uit afvalwater*

Als nutriënten worden hergebruikt uit afvalwater heeft dat in principe een verlaging van het energieverbruik voor verwijdering van (met name) stikstof tot gevolg. Als stikstof wordt vastgelegd in een vloeibare meststroom of in vaste vorm (bijvoorbeeld als struviet), kan dit als alternatief voor kunstmest dienen. Ook voor P terugwinning kan de energiebalans positief uitpakken als dit gerelateerd wordt aan energieverbruik voor winning en opwerking van P-rijke erts en transport van erts en P-rijke kunstmest.

Ook met behulp van concepten voor moderne sanitatie kunnen nutriënten worden teruggedrongen. Ordegrootte 5-10% verlaging van de GWP (Koetse et al, 2008).

5

CASE DELFT

5.1 INTRODUCTIE CASE HARNASCHPOLDER

In het vorige hoofdstuk zijn klimaatneutrale maatregelen beschreven. De mogelijkheden hiervoor zijn praktisch getoetst bij de waterketen van een woonwijk in Delft. Bedoeling is om zicht te krijgen op afwegingen en keuzes bij de inrichting te laten leiden door een klimaatneutrale aanpak. Waar liggen over de gehele keten gezien de kansen voor een meer klimaatneutrale waterketen? Opgemerkt wordt dat het hier slechts een denkoefening betreft; mogelijkheden voor daadwerkelijke toepassing van de maatregelen in de specifieke situatie van Delft zijn niet bekeken in dit project.

In Delft komt een nieuwe woonwijk ‘Harnaschpolder’ waar 1266 woningen en een school voorzien zijn op een terrein van 40 hectare (realisatie tot 2012). Het wordt een ruim opgezette, groene en waterrijke woonwijk. Er is veel aandacht voor duurzaam bouwen, waarbij onder andere de mogelijkheid bekeken is voor de aanleg van een warmtenet gevoed met restwarmte van de naburige awzi Harnaschpolder.

FIGUUR 5. LOCATIE VAN DE WOONWIJK HARNASCHPOLDER



In dit hoofdstuk is achtereenvolgens beschreven wat de GWP bijdrage is van de drinkwatervoorziening, riolering en afvalwater voor deze woonwijk. Het drinkwater is afkomstig van pompstation Kralingen, en het afvalwater gaat naar de nieuwe awzi Harnaschpolder. Er is gebruik gemaakt van gegevens van gemeente Delft, Evides en Hoogheemraadschap van Delfland. Daarnaast is beschreven hoe de GWP bijdrage vermindert kan worden, waarbij eveneens ketenmaatregelen in kaart gebracht zijn.

5.2 DRINKWATER

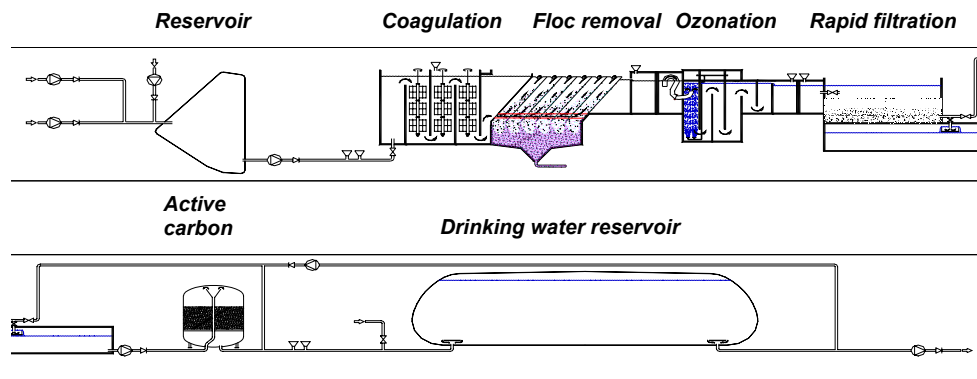
5.2.1 POMPSTATION KRALINGEN

De drinkwaterproductie voor de nieuwe woonwijk Harnaschpolder vindt plaats in pompstation Kralingen van Evides. De totale drinkwaterproductie van Kralingen bedraagt 40 miljoen m³/j, met als voorzieningsgebied Rijnmond-Noord. Bron is Maaswater uit de spaarbekkens van Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch (WBB). Bij het spaarbekken wordt het water centraal onthard, en vervolgens getransporteerd naar Kralingen (34 km).

De zuiveringsstappen zijn als volgt (zie figuur 5.2)

- Inname: oppompen door lage druk pompstation
- Vlokvorming: FeCl₃ dosering en bezinking in lamellenseparator
- Desinfectie: ozonering (uit vloeibare zuurstof, dus geen N₂O)
- Filtratie: dubbellaagsfilter gevolgd door actief koolfilters
- Chloordioxide en natronloog dosering
- Distributie: 8 hoge druk pompen (3 atmosfeer)

FIGUUR 5.20 ZUIVERINGSSCHEMA POMPSTATION KRALINGEN



5.2.2 DE GWP VAN DRINKWATER VOOR HARNASCHPOLDER

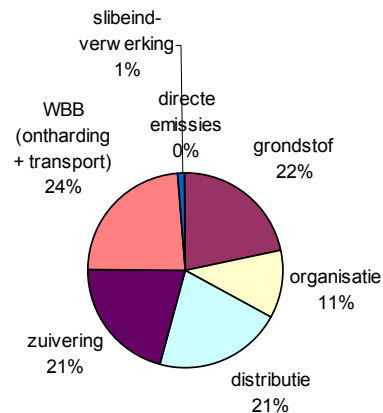
Allereerst is de jaarlijkse GWP van Evides en van pompstation Kralingen in kaart gebracht, tabel 5.1.

De GWP Kralingen bedraagt 12.584 ton/j = 0,31 kg CO₂-eq. / m³.

De verdeling van de GWP Kralingen is als volgt:

FIGUUR 5.3

GWP VERDELING DRINKWATER KRALINGEN





TABEL 5.1 JAARLIJKSE GWP VAN EVIDES EN KRALINGEN

	Evides hoeveelheid	Evides ton CO ₂ -eq	Kralingen hoeveelheid	Kralingen ton CO ₂ -eq
Waterproductie	162.000.000 m ³ (13,4%)		40.000.000 m ³ (24,7%)	
fte	515		15	
Energieverbruik				
• Elektra	71.427.240 kWh	42.142	8.800.000 kWh	
o inname			o 2.200.000 kWh	1.298
o vlokvorming			o 960.000 kWh	566
o filtratie			o 480.000 kWh	283
o distributie			o 4.400.000 kWh	2.596
o overig			o 760.000 kWh	448
ontharding WBB			800.000 kWh	472
transport WBB			4.400.000 kWh	2.596
Directe emissies				
• CO ₂	289 kg	0,3	0	0
• CH ₄ ontgassen	110 kg	2,3	0	0
• N ₂ O ozonering	2.409 kg	747	0	0
Indirecte emissies				
• Grondstoffen				
o natronloog	7.367 ton	7.073	960 ton	921
o ijzerchloride	175 ton (?)	201	1.320 ton	1.518
o ijzersulfaat			0	0
o zoutzuur	257 ton	90	30 ton	11
o actieve kool	- - (?)		120 ton (geschat)	336
• Organisatie				
o verwarming	472.000 m ³ 1.540.800 kWh	850 909	274.000 m ³ 780.000 kWh	493 460
o vervoer	600.000 l	1.470	175.000 l	430
Slibeindverwerking				
• emissies		0	0	0
• vervoer	200.800 l	522	60.000 l	156
Totaal (CO ₂ -eq. ton/j)		54.007 (12,3%)		12.584 (23,3%)

De GWP van drinkwater gerelateerd aan de woonwijk Harnaschpolder bedraagt 42 ton / j. Dat is als volgt bepaald:

Drinkwaterproductie t.b.v. woonwijk Harnaschpolder:

afstand = ca. 20 km (gemiddelde afstand in het voorzieningsgebied)

1266 woningen = $135.460 \text{ m}^3/\text{j} = 0,34\%$

GWP drinkwaterproductie en distributie voor woonwijk = $0,34\%$ van $12.584 = 42 \text{ ton GWP}$
(= 33 kg / huishouden)

of: $1266 \text{ hh} \times 107 \text{ m}^3/\text{hh} \times 0,31 \text{ kg CO}_2\text{-eq./m}^3 = 42 \text{ ton GWP per jaar}$

5.2.2 GWP REDUCTIE MAATREGELEN DRINKWATER

Wat zijn mogelijke maatregelen bij de drinkwater productie en distributie waarmee de GWP van de woonwijk verminderd zou worden? Die zijn beperkt. Centrale ontharding wordt al toegepast, en beperken van methaanemissies is niet van toepassing (geen grondwaterwinning).

Blijft over de mogelijkheid om de energie-efficiëntie enigszins te verhogen. Het zuiveringsproces van Kralingen is vrij standaard en door goed procesbeheer is een geringe energie-efficiëntie verbetering te behalen. De distributie kan maximaal 3% energie-efficiënter door drukverlaging 's nachts (27 m i.p.v. 28,5 m). Stel, in het gunstige geval is een maximale energie-efficiëntie verbetering van 5% mogelijk. Dat komt overeen met een GWP-winst van 440 kg voor de woonwijk, hetgeen overeenkomt met 1% van de GWP-drinkwater. Voor GWP-maatregelen moet dan ook gezocht worden in de keten en bij huishoudens.

5.3 RIOLERING EN AFVALWATERBEHANDELING

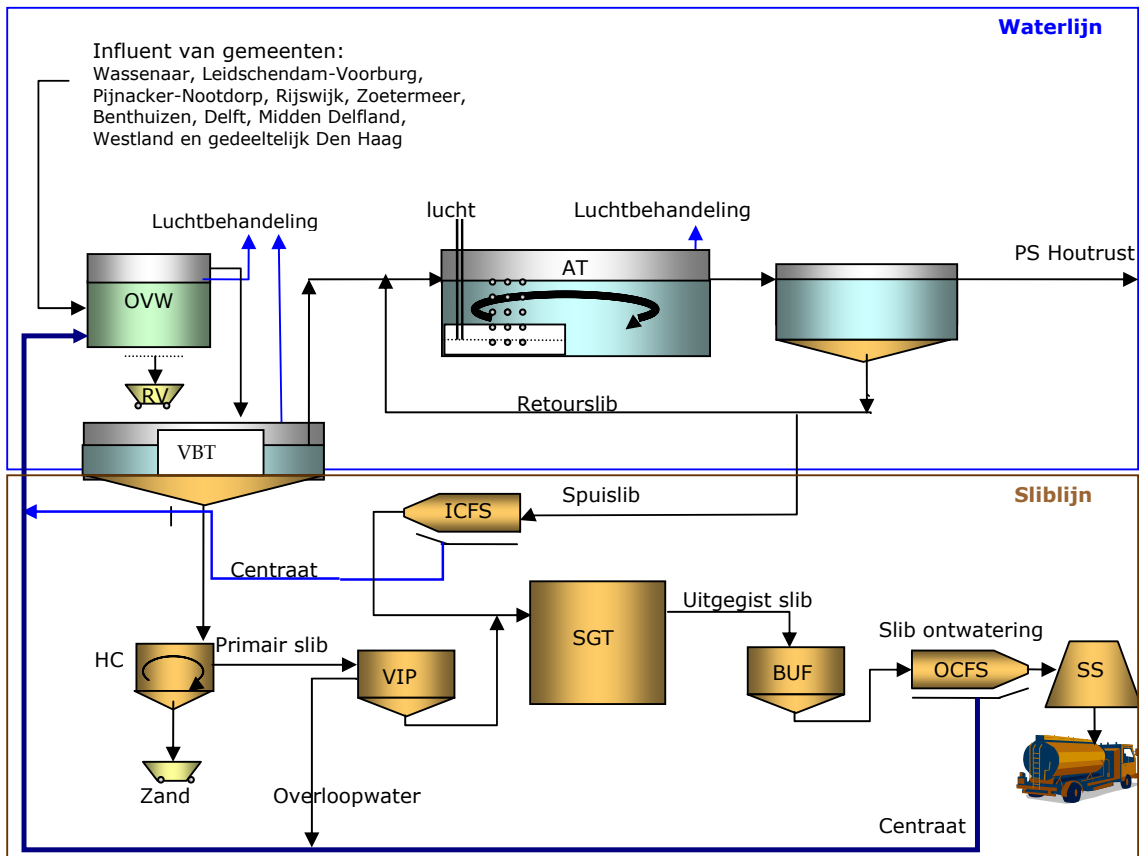
5.3.1 AWZI HARNASCHPOLDER

Het afvalwater van de nieuwe wijk Harnaschpolder wordt via een apart rioolgemeal verpompt naar de awzi Harnaschpolder. De awzi Harnaschpolder heeft als verzorgingsgebied de gemeenten en stadskernen Wassenaar, Leidschendam-Voorburg, Pijnacker-Nootdorp, Rijswijk, Zoetermeer, Benthuizen, Delft, een deel van de gemeente Midden Delfland en Westland en een deel van Den Haag.

De awzi Harnaschpolder heeft een ontwerpcapaciteit van 1.310.000 vervuilingseenheden (v.e. 136 g O₂) en een maximale hydraulische capaciteit van 35.800 m³/h is daarmee één van de grootste awzi's in Nederland. In augustus 2007 is de awzi Harnaschpolder volledig in gebruik genomen.

Het zuiveringsproces, zoals dat in 2007 gefunctioneerd heeft, is in figuur 5.4 (water en slib) weergegeven. De luchtbehandeling gebeurt met biofilters en tijdelijk met een actief koolfilter.

FIGUUR 5.4 PROCESSHEMA AWZI HARNASCHPOLDER



Afkortingen (met tussen haakjes het aantal):

- OVW = ontvang- en verdeelwerk (1)
- VBT = voorbezinktanks (4)
- AT = beluchtingstanks, incl. selector en anaerobe tank (8)
- NBT = nabezinktanks (16)
- RV = roostervuilverwijdering (5)
- HC = hydrocycloon zandvanger (4)
- VIP = voorindikker (primair slib) (2)
- ICFS = indikcentrifuge (secundair slib) (4)
- SGT = slibgistingstanks (2)
- BUF = buffertank uitgegist slib (1)
- OCFS = ontwateringscentrifuges (4)
- SS = slibsilo (2)

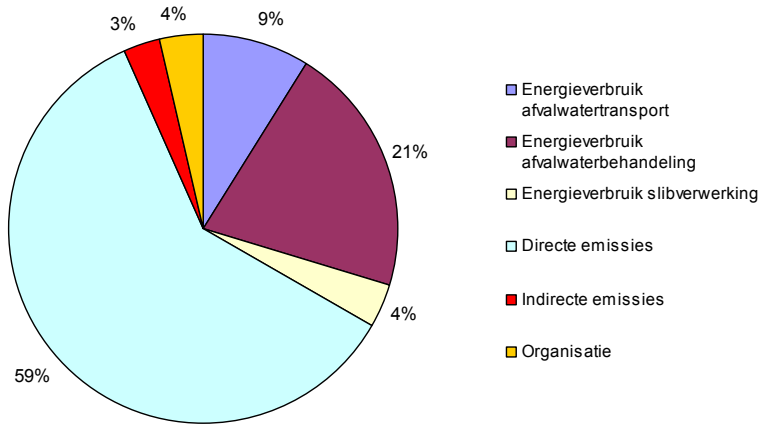
5.3.2 DE GWP VAN AFVALWATER VOOR HARNASCHPOLDER

In tabel 5.2 is de jaarlijkse GWP van awzi Harnaschpolder in kaart gebracht. Hiertoe is gebruik gemaakt van gegevens uit het milieujaarverslag awzi Harnaschpolder uit 2007. De GWP awzi Harnaschpolder bedraagt 44.669 ton/j = 47,8 kg CO₂-eq. / i.e. wat vergelijkbaar is met het landelijke gemiddelde. Voor de wijk Harnaschpolder bedraagt de GWP ten gevolge van de afvalwaterketen 1266 * 2,2 i.e./woning * 47,8 = 133 ton CO₂-eq. / jaar.

De verdeling van de GWP van de afvalwaterketen van awzi Harnaschpolder is als volgt:

FIGUUR 5.5

GWP VERDELING AFVALWATERKETEN AWZI HARNASCHPOLDER





TABEL 5.2 JAARLIJKE GWP VAN AWZI HARNASCHPOLDER

	hoeveelheid per jaar	conversie naar GWP	ton CO ₂ -eq.
Afvalwaterproductie	61.498.120 m ³ 934.562 i.e. 136 g TZV		
Energieverbruik afvalwatertransport	6.765.000	0,59 kg CO ₂ / kWh	3.991
Energieverbruik afvalwaterbehandeling			
• Elektra	15.332.328 kWh	0,59 kg CO ₂ / kWh	9.046
• Aardgas	113.124 m ³	1.80 kg CO ₂ / m ³	204
Energieverbruik slibverwerking	1,7 kg CO ₂ / i.e.		1.589
Directe emissies			
• CH ₄ waterlijn	226.537 kg CH ₄	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	3.330
• CH ₄ sliblijn	48.544 kg CH ₄	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	714
• N ₂ O waterlijn	15.308 kg N ₂ O	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	3.322
• N ₂ O lozing effluent	4.462 kg N ₂ O	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	968
• CH ₄ niet afgefakkeld biogas	verrekend in sliblijn		nvt
• N ₂ O niet afgefakkeld biogas	12.489 kg N ₂ O	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	3.884
• CH ₄ afgefakkeld biogas	3.843 kg CH ₄	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	81
• N ₂ O afgefakkeld biogas	77 kg N ₂ O	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	24
• CH ₄ slibeindverwerking	50.128 kg CH ₄	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	1.053
• N ₂ O slibeindverwerking	31.900 kg N ₂ O	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	9.889
Indirecte emissies			
• Grondstoffen:			
o FeCl ₃ , FeSO ₄ , AlClSO ₄ waterlijn	367 ton	1.13 (gemiddeld)	415
o FeCl ₃ , FeSO ₄ , AlClSO ₄ waterlijn	7,5 ton	1.13 (gemiddeld)	8
o polyelectroliet	128 ton	1.15	147
o hulpstoffen slibeindverwerking	0.037 kg CO ₂ / kg ds		809
• Organisatie:			
o verwarming	216.000 m ³ gas	1,8 kg CO ₂ / m ³	389
o elektra	1.200.000 kWh	0,59 kg CO ₂ / kWh	708
o vervoer	205.300 l	2,45 kg CO ₂ / l	503
	475.300 km O.V.	0.05 kg CO ₂ /km	24
Totaal			44.669

5.3.3 GWP REDUCTIE MAATREGELEN AFVALWATER

De awzi Harnaspolder is een gloednieuwe awzi waar allerlei energiebesparende maatregelen zoals een efficiënte beluchting en slibontwatering, toepassing van voorbezinking en slibgisting en een zo maximaal mogelijke biologische defosfatering al toegepast zijn. Het fossiel energieverbruik van awzi Harnaspolder is dan ook 6,3% lager dan het landelijke gemiddelde.

Het energieverbruik van het afvalwatertransport vanuit de wijk Harnaspolder kan beperkt worden door regenwater zoveel mogelijk in de wijk te bergen conform de huidige plannen. Aanvullend op de huidige plannen kan het regenwater worden opgevangen en worden her-

gebruikt. Overige maatregelen zoals het terugdringen van rioolvreemd water is in de Delftse situatie niet van toepassing aangezien de hoeveelheid rioolvreemd water kleiner is dan 10% (landelijk is dit gemiddeld 20-30%)

Verder dient opgemerkt te worden dat op awzi Harnaschpolder tijdelijk actief kool filters zijn ingezet als nageschakelde luchtbehandeling achter de biologische filters. Aangezien de biologie geheel is afgedekt, zou de lachgasemissie vanuit awzi Harnaschpolder wellicht door deze extra behandelingstap beperkt kunnen worden. Of dit daadwerkelijk het geval is, zal moeten worden bepaald door middel van metingen.

Verlaging van de GWP op de awzi Harnaschpolder kan nog wel bereikt worden door nuttige toepassing van restwarmte van het koelwater en de rookgassen van de gasmotoren (beperkte winst mee te behalen). Daarnaast is eventueel co-vergisting mogelijk totdat de awzi voor 100% belast is. Maaisel uit de watergangen van de wijk Harnaschpolder zou (na voorbewerking) co-vergist kunnen worden met zuiveringsslib. In de wijk Harnaschpolder wordt circa 6,4 km aan watergang aangelegd. Per km watergang wordt jaarlijks circa 8,5 ton maaisel afgevoerd. Dit maaisel bevat 50-70% organische stof. Bij co-vergisting met zuiveringsslib zal er per kg organische stof maaisel circa 450 m³ biogas worden geproduceerd. Op jaarbasis levert dit 14.700 m³ biogas op. Omgerekend per i.e. voor de wijk Harnaschpolder is dit 0,53 m³ biogas/jaar/i.e. In de huidige situatie wordt er 5,77 m³ biogas/jaar/i.e. geproduceerd op awzi Harnaschpolder. Bij de afweging om dergelijke concepten te ontwikkelen, dient echter ook bijvoorbeeld de slib-eindverwerking en de N-emissies te worden meegenomen.

De meest effectieve maatregelen moeten ook hier in de keten gezocht worden. De ketenmaatregelen worden in de volgende paragraaf besproken.

5.4 KETENMAATREGELLEN

Voor de 1266 woningen van de nieuwe wijk Harnaschpolder bedraagt de GWP van de waterketen 175 ton CO₂-eq./jaar. Met behulp van de in paragraaf 4.4 geschetste mogelijkheden voor ketenconcepten zijn deze voor de case Delft uitgewerkt. Opgemerkt wordt dat veel maatregelen te combineren zijn zodat het beste resultaat in de toekomstige situatie verkregen kan worden. De conclusies zijn als volgt:

- warmwater besparing huishoudens: stel een 1% besparing op warmwater gebruik wordt gerealiseerd dan komt dit overeen met 6,9 kg CO₂-eq./j per huishouden ofwel 8,7 ton GWP-winst voor de woonwijk, ofwel 5% winst op totale GWP;
- ander spoelwater voor toiletten (regenwater, onder vrij verval) bespaart 80 liter drinkwater per dag per huishouden. Dat levert een besparing op van 10 ton CO₂-eq./jaar, ofwel 5,5% winst op totale GWP;
- moderne sanitatie: urinescheiding bespaart met name door lager drikwatergebruik 6 kg CO₂-eq./j per huishouden ofwel 7,6 ton GWP-winst voor de woonwijk (4,5% winst op totale GWP). Zwartwater met vergisting (geen vacuümsysteem) heeft een netto energievoordeel van 38 kg CO₂-eq./j per huishouden ofwel 48 ton GWP-winst voor de woonwijk (27,5% winst op totale GWP);
- warmteterugwinning uit afvalwater zeer aantrekkelijk: per huishouden kan 2500 MJ per jaar aan warmte teruggewonnen worden uit het afvalwater, ofwel 207 ton CO₂-eq./jaar (netto levert het energie op).



Vooral de nuttige toepassing van restwarmte van het effluent van de rwzi heeft potentie. Door de gemeente Delft wordt de levering van gezuiverd water als grondstof voor het Warmtebedrijf (stadsverwarming), en over daartoe benodigde voorbereidingswerkzaamheden, onderzocht. In 2008 besluit Delft over de investering in dit innovatieproject. Een warmwaternet voor de wijk Harnaspolder ten behoeve van ruimteverwarming zou een besparing op het fossiel energieverbruik door huishoudens van ca. 33% kunnen betekenen.

6

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 CONCLUSIES

De belangrijkste conclusies zijn:

- De klimaatvoetafdruk van de Nederlandse waterketen bedraagt 1,67 miljoen ton CO₂-equivalenten per jaar.
- De bijdrage in de waterketen aan de Global Warming Potential is als volgt: afvalwaterzuivering het grootst (66,5%), gevolgd door drinkwater (26,1%) en een relatief klein aandeel riolering (7,4%).
- Het energieverbruik draagt voor 55,8% bij aan de GWP. Indirecte emissies hebben een slechts beperkte bijdrage (7,7%). Verrassend groot is het aandeel directe emissies (36%). Vooral de bijdrage van lachgasemissies uit de waterlijn van RWZI's en na lozing van effluent is groot. Er bestaat echter nog veel onduidelijkheid over lachgasemissies.
- De broeikasgasemissie om 1 m³ water voor een huishouden te produceren, transporteren en zuiveren bedraagt 1,5 kg CO₂-eq.
- Met efficiency verbeteringen en optimalisaties in de drinkwaterbereiding, riolering en afvalwaterzuivering is het goed mogelijk het energieverbruik te verminderen. Er is nog onvoldoende bekend over mogelijkheden om directe emissies, zoals lachgas, te beperken.
- Met klimaatneutrale maatregelen in de keten is een substantiële vermindering van de klimaatvoetafdruk te realiseren. In tabel 6.1 is een overzicht gegeven van mogelijke ketenmaatregelen met een inschatting van de GWP winst. Een aantal van deze maatregelen kunnen ook gecombineerd toegepast worden.

TABEL 6.1 OVERZICHT KLIMAATNEUTRALE MAATREGELEN IN DE WATERKETEN

Maatregel	GWP winst per huishouden per jaar (orde grootte) *
Afstemming riolering en zuivering:	
• optimalisatie afvalwatersysteem	• n.b.
Besparing van (warm)water bij huishoudens:	
• gebruik regenwater voor toiletspoeling	• minder drinkwater: 10 kg CO ₂ -eq.
• warmwater besparing	• spaardouchekop: 95 kg CO ₂ -eq.
Hergebruik van warmte:	125 kg CO ₂ -eq.
• douchewarmteterugwinning	• 30% minder gas
• toepassing warmtepomp op afvalwater in huishoudens	• tot 50% minder gas
• warmteterugwinning uit influent (of effluent) van rwzi's	• 30-50% minder gas
Moderne sanitatie:	
• gescheiden urine en/of zwart water inzamelingsystemen	• 6 – 38 kg CO ₂ -eq.
• hergebruik van nutriënten uit afvalwater	• n.b.

* De GWP van de huishoudelijke waterketen bedraagt 160 kg CO₂-eq. per huishouden per jaar. De bereiding van warm tapwater bedraagt 693 kg CO₂-eq. per huishouden per jaar.

6.2 AANBEVELINGEN

De aanbevelingen voor vervolgonderzoek en implementatie van klimaatneutrale maatregelen zijn als volgt:

- **Standaardiseer de bepaling van de klimaatvoetafdruk**

Standaardisatie van de bepaling van de klimaatvoetafdruk voor waterorganisaties, maakt het gemakkelijker om de klimaatvoetafdruk per organisatie (of organisaties in de keten) te bepalen. Door standaardisatie kan de klimaatvoetafdruk ook met veel vertrouwen toegepast worden om te bepalen op welke onderdelen de klimaatdruk relatief hoog dan wel laag is. Dit maakt het voor waterorganisaties eenvoudiger om klimaatneutrale maatregelen te prioriteren.

Ook in het vergelijken van de werkwijze van waterorganisaties, zoals in de benchmarks, zou een gestandaardiseerde klimaatvoetafdruk kunnen worden meegenomen. Van de benchmark-uitkomsten voor de klimaatvoetafdruk van organisaties kan een stimulerende werking uitgaan om klimaatneutrale maatregelen uit te gaan voeren. Daarnaast is ook voor internationale vergelijking van de watersector een standaardisatie van belang.

- **Voer aanvullend onderzoek uit naar broeikasgasemissies**

Er bestaat nog veel onduidelijkheid over de emissies van lachgas bij afvalwaterzuivering. Zowel de ontstaanswijze als de hoeveelheden die er ontstaan zijn onduidelijk. Gezien de relatief grote bijdrage aan de klimaatvoetafdruk door dit sterke broeikasgas is inzicht nodig in het ontstaan van lachgas zodat perspectieven voor het verminderen van de lachgasemissies duidelijk worden. Hierin zou ook de bijdrage van nieuwe zuiveringstechnologieën (zoals deelstroombehandeling, vergaande zuivering als zandfiltratie, MBR, etc.) moeten worden meegenomen. Een eerste verkennend onderzoek is inmiddels opgestart.

Ook is nader onderzoek nodig naar de emissies van methaan en lachgas uit het rioolstelsel, evenals het energieverbruik bij rioolwatertransport.

- **Streef naar implementatie van klimaatneutrale maatregelen**

Er zijn volop mogelijkheden voor het reduceren van het energieverbruik bij de drinkwaterbereiding, riolering en afvalwaterzuivering. Het implementeren van energiemaatregelen kan hand in hand gaan met efficiency verbeteringen en optimalisaties van het proces. De watersector kan hierbij van elkaar leren en ervaringen uitwisselen.

Waterorganisaties zouden in hun klimaatbeleid de nadruk moeten leggen op daadwerkelijke implementatie van energiemaatregelen, met name in geval van nieuwbouw en renovatie. Het verdient daarbij aanbeveling de maatregelen te beoordelen op hun financiële terugverdientijd binnen de levensduur van de maatregelen (in plaats van de vaak gehanteerde termijn van 5 jaar).

- **Zoek naar klimaatneutrale optimalisaties in de keten**

Vooral door maatregelen in de waterketen is een substantiële vermindering van de klimaatvoetafdruk mogelijk. Door met een klimaatbril naar de waterketen te kijken, worden kansen zichtbaar die zowel de klimaatvoetafdruk als de optimalisatie van de inrichting van de waterketen ten goede kunnen komen. Dat kan op termijn door het toepassen van bijvoorbeeld moderne sanitatie concepten, maar dat kan ook nu al door bijvoorbeeld bij OAS-studies energie en broeikasgasemissies in de keten expliciet mee te nemen. Ook kan gezocht worden



naar combinaties met andere ketens, zoals de energie- en afvalsector, bijvoorbeeld bij de verwerking van GFT-afval.

Vergeet niet de gebruiker, het huishouden, mee te nemen in de ketenanalyse. Dit project heeft laten zien dat het warmwatergebruik door huishoudens relatief meer bijdraagt aan het versterkt broeikaseffect dan de gehele productie, transport en zuivering van water. Dat betekent dat voorlichting aan consumenten om te komen tot waterbesparing van belang is. Deze boodschap is beter over te brengen als de watersector tegelijkertijd met klimaatneutrale maatregelen het goede voorbeeld geeft.

Ten slotte, het zoeken naar klimaatneutrale optimalisaties in de keten betekent dat samenwerking tussen organisaties in de waterketen nodig is. De betrokkenheid van de drinkwaterbedrijven Brabant Water en Evides, de gemeente Delft, en de waterschappen Brabantse Delta en Delfland in dit project heeft laten zien dat het inspireert, dat er van elkaar geleerd wordt, en dat daarmee resultaten bereikt kunnen worden.

- **Communiceer over de klimaatvoetafdruk**

Het bepalen van de klimaatvoetafdruk van de waterketen heeft geleid tot inzicht in de relatieve bijdrage van de waterketen ten opzichte van alle andere sectoren. Daarmee levert de watersector een voorbeeldfunctie, ook voor andere sectoren. Dit zou een stimulans kunnen betekenen voor al die sectoren die met de waterketen te maken hebben. En welke sector heeft dat niet? Door communicatie over de eigen klimaatvoetafdruk kan het gesprek op gang worden gebracht en kunnen sectoren waar water aan geleverd wordt (vanuit de drinkwatersector) en waar afvalwater van getransporteerd en verwerkt wordt (door gemeenten en waterschappen) samen nadenken over zinvolle klimaatneutrale maatregelen.

BRONNEN

Afval Overleg Orgaan, 2002, Milieueffectrapport Landelijk Afval Beheerplan, Achtergronddocument A27, Uitwerking zuiveringslib

Blokker, E.J.M. (2006), Modelleren van afnamepatronen: beschrijving en validatie van het simulatie-model SIMDEUM, BTO 2006.010

Czepiel, P.M., P. Crill & R. Harriss (1995), Nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment, *Environmental Sciences and Technology* 29, pp 2352-2356.

Drijver, B., J. Kappelhof, E. Polman & B. van Breukelen (2007), Methaanwinning uit grondwater duurzaam alternatief met economisch perspectief, *H2O* 19, pp 52-55.

DRSH (2006), Jaarverslag 2006

Frijns, J., J. Roorda & M. Mulder (2008), Op weg naar een klimaatneutrale waterketen, *H2O* 41, nr 10, pp 36-37.

Grontmij (2008), Mogelijkheden nieuwe sanitatie 2^e fase IJburg, studie voor Waternet.

Hanemaaijer, J., J. van Medevoort, A. Jansen, C. Dotremont, E. van Sonsbeek, T. Yuan & L. de Ryck (2006), Memstill membrane distillation – a future desalination technology, *Desalination* 199, nr 1-3, pp 175-176.

Heijman, S.G.J. (2007), Ceramic micro filtration as the first step in direct surface water treatment, *Techneau report*

Hoibye, L., J. Clauson-Kaas, H. Wenzel, H. Larsen, B. Jacobsen & O. Dalgaard (2008), Sustainability assessment of advanced wastewater treatment technologies, *Wat.Sci.Tech.* 58, nr 5, pp 963-968.

InfoMil (2006), Rioolwaterzuiveringsinrichtingen, ten behoeve van energie in de milieuvergunning

IPCC (1996), Second Assessment Report, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

IPCC (2006), Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol 5 Waste, Vol 6 Waste water

IPCC (2007), Fourth Assessment Report (AR4), Climate Change 2007: Synthesis Report

Janse, T & P. Wiers (2006), Broeikasgasemissie vanuit de Amsterdamse Waterketen, *H2O* 18

Koetse, E., A. Mels, I. Bisschops, J. Kunst (2008). Afvalwatersysteem IJburg 2e fase; mogelijkheden voor moderne sanitatie. Grontmij/LeAF rapport voor Waternet.

Kraan, R., B. de Bruin, R. van Dalen & C. Uijterlinde (2007), Nereda succesvolle innovatie door samenwerking, *Neerslag*, nr 3

- Lemmens, R.P.M. (2005), Resultaten CAPWAT onderzoek, memo CAPWAT-2005-06
- Loeffen, P.G.M., W. van Rij & J. Frijs (2005), Energiebesparingsmogelijkheden bij rwzi's, Grontmij I&M-99048741
- MIMOSA (2003), Milieu Indicatie Model voor Optimalisatie en Samenwerking in de Waterketen, Kiwa & Tauw.
- MNP (2007), Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands, National Inventory Report 2007
- Moel, P.J. de, J. Verberk & J. van Dijk (2005), Drinkwater - principes en praktijk
- Mulder, J.W., J. Duin, J. Goverde, W. Poiesz, H. van Veldhuizen, R. van Kempen & P. Roeleveld (2006), Full-scale experience with the Sharon process through the eyes of the operators, Weftec
- Novem (2002), Energieverbruik kantoorgebouwen in Nederland
- Projectbureau Energiebesparing GWW (2005), Kengetallen RWZI, beheerder
- Reststoffenunie (2007), Jaarverslag 2007
- Riemersma, M., A. Verberne, R. Inklaar & J. van der Pijl (2000), De energetisch meest optimale waterverdeling, H2O 11, pp 31-33
- Rioned (2006), Riool in cijfers 2005-2006
- Roorda, J.H., E. Koetse, J. Kunst, A. Buunen-van Bergen, A. Mels, I. Bisschops, P. Piekema & R. Neef (2008), Modern sanitation for the developed world: an example for new areas, IWA Sanitation Challenge Conference, Wageningen
- RWS-RIZA, 2004, Witte vlekken riolering en afvalwaterzuivering – Schatting landelijke emissie met SESRIO
- SenterNovem (2006), Protocol Monitoring Duurzame Energie
- SNB (2006), Jaarverslag 2006
- Stowa (2005), Slibketenstudie - Onderzoek naar de energie- en kostenaspecten in de water- en slibketen, rapportnr. 2005-26
- Stowa (2008), Koepelgroep Ontwikkeling Nieuwe Sanitatie Systemen. Via www.stowa.nl
- Strutt, J., S. Wilson, H. Shorney-Darby, A. Shaw & A. Byers (2008), Assessing the carbon footprint of water production, Journal AWWA 100, nr 6, pp 80-91.
- Stuyfzand P.J., J. Lebbink & Ph. Nienhuis (2008), Koude-Warmte Opslag (KWO) in grondwaterbeschermingsgebieden: (mogelijke) bezwaren, KWR 08.018



- TNS NIPO (2007), Watergebruik thuis 2007
- UKWIR (2008), Carbon accounting methodology
- UvW (2006), Bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer 2006 (benchmark)
- UvW (2008), Klimaat en waterschappen - Op weg naar klimaatbestendig waterbeheer
- Vewin (1997), Water in zicht 1997 (benchmark)
- Vewin (2006a), Water in zicht 2006 (benchmark)
- Vewin (2006b), Waterleidingstatistiek 2006
- Vewin (2007), Waterleidingstatistiek 2007
- VROM (2005b), Protocol 5414 Procesemissies niet fossiel
- VROM (2007a), Protocol 7138 Afvalwater, 6B: CH₄ en N₂O uit afvalwater
- VROM (2007b), Protocol 7141 Biomassa, memo-item Emissies uit verbranding van biomassa
- VROM, V&W, IPO, Vewin, VNG, UvW (2007) Bestuursakkoord Waterketen 2007
- Wett, B. (2006), Solved upscaling problems for implementing deammonification of rejection water, *Wat. Sci. Tech.* 53, nr 12, pp 121-128.
- IJpelaar, G.F., D. Harmsen, E. Beerendonk, D. Metz, A. Knol, A. Fulmer & S. Krijnen (2007), Effective UV/H₂O₂ treatment of contaminated water with LP lamps, *IWA Leading Edge Technology*, Singapore



I SYMPOSIUM

'Op weg naar een klimaatneutrale waterketen'
WaterKIP & PG Waterketen symposium
Woensdag 2 juli 2008

Programma:

12.30 u	Ontvangstmet koffie en broodjes
13.00 u	Welkom en introductie Peter Hesen (Kiwa Water Research)
13.20 u	Samenwerken in de waterketen Marion Fokké-Baggen (Ministerie VROM)
13.40 u	De klimaatvoetafdruk van de waterketen Jos Frijns (Kiwa Water Research)
14.00 u	Broeikasgassen uit afvalwaterzuivering: omissies in emissies Mirabella Mulder (Grontmij)
14.20 u	Klimaatbeleid van Brabant Water Frank Verwijmeren (Brabant Water)
14.40 u	Koffie en thee
15.00 u	Klimaatneutrale maatregelen in de waterketen Jelle Roorda (Grontmij)
15.20 u	Case Delft Rene van der Werf (Gemeente Delft) Bas Nanninga (Hoogheemraadschap van Delfland) Henk Ketelaars (Evides)
15.40 u	Energetische optimalisaties van de stedelijke waterkringloop Tom Voskamp (Waterschap Regge & Dinkel)
16.00 u	Meerjarenafpraak energie voor waterzuivering Hielke van der Spoel (Waterschap Rivierenland)
16.20 u	Discussie: klimaatneutrale aanpassingen in de waterketen Peter Hesen (Kiwa Water Research)
16.40 u	Borrel

**DEELNEMERSLIJST SYMPOSIUM KLIMAATNEUTRALE WATERKETEN, 2 JULI 2008**

<i>Bedrijfsnaam</i>	<i>Naam</i>
Aquario	H. de Vries
Brabant Water	F. Verwijmeren
Brabant Water	H. van Ekert
Climate Partners	P. Wiers
Cosun	J. Raap
CREM	I. Boon
Delfluent Services B.V.	L. Helvensteijn
Delfluent Services B.V.	R. van Kempen
DHV	S. Holthuijsen
Ecofys Netherlands BV	M. van der Vight
Evides	H. Ketelaars
Evides	R. Tummers
Gemeente Delft	R. van der Werf
Gemeente Ridderkerk	M. Maaskant
Gemeente Zwolle	M. Heideveld
Grontmij	J. Driessen
Grontmij	B. Geraats
Grontmij	J. Kamermans
Grontmij	J. Roorda
Grontmij	M. Mulder
H2O	M. van Zaane
Haskoning Nederland B.V.	E.M. van Voorthuizen
Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden	E. Rekswinkel
Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden	T. Do
Hoogheemraadschap van Delfland	W.P.M. van Bragt
Hoogheemraadschap van Delfland	K.J. Appeldoorn
Hoogheemraadschap van Delfland	B. Nanninga
Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard	M. Baars
IF Technology bv	H. Meijer
Kiwa Water Research	J. Frijns
Kiwa Water Research	M. Hootsmans
Kiwa Water Research	M. Nederlof
Kiwa Water Research	D. Voorhoeve
Kiwa Water Research	P. Hesin
Ministerie van Economische Zaken	G.P.J. Hellings
N.V. Slibverwerking Noord-Brabant	L. Korving
Provincie Utrecht	W. Timmers
Rioned	T. Beenen
St. Wateropleidingen	E. de Buijzer
Stowa	B. Palsma
Stowa	C. Uijterlinde
Vewin	D. Zwart
Vewin	H.J. Ijsinga
VMW	T. Diez
VROM	M. Fokke-Baggen
Waternet	J.P. van der Hoek



Bedrijfsnaam

Waternet
Waternet
Waterschap Aa en Maas
Waterschap Aa en Maas
Waterschap Brabantse Delta
Waterschap De Dommel
Waterschap De Dommel
Waterschap De Dommel
Waterschap De Dommel
Waterschap Groot Salland
Waterschap Reest en Wieden
Waterschap Regge en Dinkel
Waterschap Regge en Dinkel
Waterschap Regge en Dinkel
Waterschap Regge en Dinkel
Waterschap Rivierenland
Waterschap Rivierenland
Waterschap Vallei & Eem
Waterschap Vallei & Eem
Waterschap Zeeuwse Eilanden
Waterschap Zeeuwse Eilanden
Welldra B.V.

Naam

T. Janse
A. Struiker
M. Cornelisse
F. Kiestra
G. Henckens
R. Moerman
M. van der Stee
J. de Jonge
H. van Wylick
D. Drost
A. van der Mark
M.J.G. van Zutphen
R.A.B. Koopman
T.J. Voskamp
A.J.F. Luttikhuis
H. van der Spoel
E. de Pooter
G.J. Geerdink
H. van Veldhuizen
J.A. Nieuwlands
A. van Noorden
J.P. van der Eem
A.J.H. de Beaufort

**II GWP WATERKETEN TOTAAL****Global Warming Potential (CO₂-eq.) waterketen Nederland (2006)**

	eenheid	hoeveelheid per jaar	conversie naar GWP	ton GWP
Drinkwaterproductie en distributie	m ³	1.210.000.000		
Riolering	m ³	1.853.577.000		
Afvalwaterzuivering	m ³	1.853.577.000		
	i.e.	26.796.090		
1) Energieverbruik				
Drinkwater				
elektriciteit	kWh	568.700.000	0,59 kg CO ₂ / kWh	335.530
Riolering				
elektriciteit	kWh	203.893.470	0,59 kg CO ₂ / kWh	120.300
Afvalwater				
elektriciteitsverbruik totaal	kWh	686.500.000		
energieopwekking	kWh	142.400.000		
saldo elektriciteitsverbruik	kWh	544.100.000	0,59 kg CO ₂ / kWh	321.020
aardgas	m ³	28.882.000	1,80 kg CO ₂ / m ³	51.990
Slibeindverwerking				
drinkwaterslib transport	liter	1.500.000	2,6 kg CO ₂ / l	3.900
RWZIslib energie incl. transport	kg CO ₂	102.100.000	1 kg CO ₂ / kg CO ₂	102.100
subtotaal	ton GWP			934.840
percentage van totaal	%			55,8
2) Directe emissies				
Drinkwater				
CO ₂ (ontgassen, langcyclisch)	kg	10.000.000	1 kg CO ₂ / kg CO ₂	10.000
CH ₄ (ontgassen)	kg	1.770.000	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	37.170
N ₂ O (ozonering)	kg	2.400	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	745
slibeindverwerking			0 (hergebruik)	0
Riolering				
CH ₄ : verrekend in CH ₄ waterlijn				
N ₂ O overstorten	kg	10.700	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	3.320
Afvalwaterzuivering				
CH ₄ waterlijn	kg	6.565.020	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	137.865
CH ₄ sliblijn	kg	1.406.790	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	29.545
N ₂ O waterlijn	kg	429.210	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	133.055
N ₂ O lozing effluent	kg	149.730	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	46.415
N ₂ O niet afgefakkeld biogas	kg	201.745	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	62.740
CH ₄ afgefakkeld biogas	kg	990.950	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	20.810
N ₂ O afgefakkeld biogas	kg	19.820	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	6.145
CH ₄ slibeindverwerking	kg	428.980	21 kg CO ₂ / kg CH ₄	9.010
N ₂ O slibeindverwerking	kg	366.210	310 kg CO ₂ / kg N ₂ O	113.525
subtotaal	ton GWP			610.345
percentage van totaal	%			36,4



	eenheid	hoeveelheid per jaar	conversie naar GWP	ton GWP
3) Indirecte emissies				
grondstoffengebruik:				
Drinkwater				
NaOH	kg	8.945.000	0,96 kg CO ₂ /kgNaOH	8.585
FeCl ₃	kg	2.287.000	1,15 kg CO ₂ /kg FeCl ₃	2.630
FeSO ₄	kg	6.448.000	0,11 kg CO ₂ /kg FeSO ₄	710
HCl	kg	928.000	0,35 kg CO ₂ / kg HCl	325
gegenereerde actieve kool	kg	3.709.000	2,8 kg CO ₂ / kg	10.385
Riolering				0
Afvalwater				
FeCl ₃ , FeSO ₄ , AlClSO ₄ waterlijn	kg	20.221.000	1,13 kg CO ₂ / kg Me	22.850
FeCl ₃ , FeSO ₄ , AlClSO ₄ sliblijn	kg	2.188.935	1,13 kg CO ₂ / kg Me	2.475
polyelectrolyt	kg	3.407.400	1,15 kg CO ₂ /kg PE	3.920
hulpstoffen slibeindverwerking			0,037 kg CO ₂ / kg ds	6.385
organisatie:				
Drinkwater				
gebouw verwarming	m ³	2.600.000	1,80 kg CO ₂ / m ³	4.680
gebouw elektriciteit	kWh	14.400.000	0,59 kg CO ₂ / kWh	8.495
vervoer	liter	5.600.000	2,45 kg CO ₂ / l	13.720
Riolering				
niet bepaald (gering)				0
Afvalwater				
gebouw verwarming	m ³	6.000.000	1,80 kg CO ₂ / m ³	10.800
gebouw elektriciteit	kWh	33.380.000	0,59 kg CO ₂ / kWh	19.695
vervoer	liter	5.700.000	2,45 kg CO ₂ / l	13.965
subtotaal	ton GWP			129.620
percentage van totaal	%			7,7
Totaal ton GWP	ton GWP / j			1.674.805
Totaal miljoen ton GWP (in 2006)				1,67
Drinkwater totaal	ton GWP			436.875
	%			26,1
Riolering totaal	ton GWP			123.620
	%			7,4
Afvalwater totaal	ton GWP			1.114.310
	%			66,5

