

Voor dit artikel is het energieverbruik steeds omgerekend naar de primaire energie die nodig is voor de opwekking. Dit maakt een vergelijking van verschillende energiestromen mogelijk. De volgende conversiefactoren van energievectors naar primaire energie zijn gebruikt:

- brandstof, zoals aardgas: 100 procent;
- stoom en andere warmtestromen: 90 procent;
- elektriciteit: 40 procent.

In deze conversiefactoren is geen rekening gehouden met efficiëntie van de installaties die de desbetreffende energievectoren leveren¹⁾.

De resultaten van deze studie zijn weergegeven in kWh of mWh voor elektriciteit en in mJ of tJ primaire energie voor alle energiestromen, inclusief warmte en (bio) gas. Om de verschillende onderdelen in de watercyclus goed met elkaar te vergelijken, is het energieverbruik uitgedrukt per kubieke meter (afval- of drink)water. Dit is wellicht niet logisch in de afvalwaterketen, aangezien daar voornamelijk in eenheden per inwoner-equivalent wordt gerekend.

Drinkwater

De Nederlandse drinkwaterbedrijven produceren in 2007 in totaal 789 miljoen kubieke meter water voor huishoudens en nog bijna 300 miljoen kubieke meter water voor de zakelijke markt²⁾. Verschillende industriële bedrijven produceren hun eigen water, maar deze gegevens zijn over het algemeen niet openbaar. In deze studie ligt de nadruk op energie in de communale watercyclus. In 2009 werd in totaal 0,50 kWh per kubieke meter gebruikt voor de communale drinkwaterproductie en -distributie³⁾. Hiervan was 0,40 kWh per kubieke meter duurzaam opgewekte energie. In totaal werd circa 3550 tJ_{primaire}^a energie gebruikt voor communale drinkwater ofwel 6,9 Watt per Nederlandse inwoner^b.

Het gemiddelde energieverbruik voor drinkwaterdistributie is geschat op 0,11 kWh per kubieke meter. Dat is 0,99 mJ_{primaire}^c per kubieke meter^{d)}. Dit zou dus betekenen dat 0,39 kWh per kubieke meter (3,51 mJ_{primaire} per kubieke meter)^d aan energie voor de communale drinkwaterproductie wordt gebruikt.

Riolering

In Nederland ligt meer dan 100.000 kilometer aan riolering⁵⁾. Aangezien 99 procent van de Nederlandse bevolking is aangesloten op de riolering (één procent kleinschalige individuele afvalwaterverzameling en -zuivering), wordt al het huishoudelijk gebruikte water naar een afvalwaterzuivering gevoerd. Zoals eerder aangegeven verbruikten de Nederlandse huishoudens in 2007 in totaal 789 miljoen kubieke meter water. Naast deze hoeveelheid huishoudelijk afvalwater kwam er nog 1.139 miljoen kubieke meter industrieel water, regenwater en grondwater in het riool. De rioleringen in Nederland verwerkten dus 1.928 miljoen kubieke meter afvalwater in 2008. De meeste riolen hebben geen pompen en zijn zogenoemde vrijval riolen. Vooral in

onderwerp (eenheid)	hoeveelheid	referentie
aantal huishoudens	7.242.000	CBS 2008
aantal mensen per huishouden	2,24	CBS 2008
huishoudelijke drinkwaterproductie (miljoen m ³ /jaar)	789	Vewin 2008
energiegebruik communale drinkwaterproductie en distributie (kWh/m ³)	0,50	Vewin 2010
energiegebruik riolering (kWh/m ³)	0,11	STOWA 2008
rwzi-influent (miljoen m ³ /jaar)	1.928	CBS 2008
CZV in rwzi-influent (ton/jaar)	946.039	CBS 2008
aantal inwonerequivalenten in rwzi-influent	24.414.000	CBS 2008
elektriciteit inkoop rwzi's (mWh/jaar)	583.000	CBS 2008
elektriciteit via WKK (mWh/jaar)	170.000	CBS 2008
totaal elektriciteitsgebruik rwzi's (mWh/jaar) [*]	721.000	CBS 2008
aardgasgebruik rwzi's (nm ³ /jaar)	30.193.000	CBS 2008
eigen biogasgebruik rwzi's (nm ³ /jaar)	77.379.000	CBS 2008
warmteproductie (tJ/jaar)	951)	CBS 2008
energie-efficiëntie awzi's (kWh/kg BZV _{verwijderd})	5,6	CBS 2008

* Uit de CBS-data blijkt dat het totale elektriciteitsgebruik van de Nederlandse rwzi's minder is dan de som (753.000 mWh/jaar) van elektriciteitsinkoop en -opwekking via warmtekrachtkoppeling. Wellicht dat het overschot (32.000 mWh/jaar) wordt teruggeleverd aan het net, maar dit is niet vermeld.

Overzicht van uitgangsggegevens voor het bepalen van de globale energiestromen in de Nederlandse gebruikerswaterketen.

de buitengebieden zijn er echter ook drukrioleringen en richting de afvalwaterzuivering wordt het afvalwater veelal via persleidingen verpompt. Een recente schatting geeft aan dat het elektriciteitsgebruik voor de riolering 0,11 kWh per kubieke meter (0,99 mJ_{primaire} per kubieke meter)^e bedraagt^{d)}. Dit zou betekenen dat in 2008 circa 1.909 tJ_{primaire}^f aan energie is besteed voor het verzamelen en verpompen van afvalwater naar de afvalwaterzuivering. Dit komt overeen met 3,7 Watt per Nederlandse inwoner^g.

Afvalwaterzuivering en slibverwerking

In 2008 werd 1.928 miljoen kubieke meter afvalwater naar de Nederlandse rwzi's gevoerd. Uit CBS-gegevens kan worden afgeleid dat deze stroom afvalwater 946.039 ton aan CZV (chemisch zuurstofverbruik) bevatte. De gebruikelijke afvalwaterzuivering werkt met een actiefslibproces. Dit proces heeft zuurstof nodig en moet dus worden belucht. Het aandeel beluchtingsenergie bedraagt ongeveer 60 procent van het totale energieverbruik bij de communale afvalwaterzuivering. In 2008 kochten de 352 Nederlandse rwzi's in totaal 583.000 mWh (5.247 tJ_{primaire}^{h)} aan elektriciteit. Daarnaast werd gas gebruikt. Een groot deel van dit gas werd zelf bij de rwzi's geproduceerd en gebruikt (77.379.000 kubieke meter), maar ook werd 30.193.000 kubieke meter aardgas verbruikt; hiermee werd 170.000 mWh aan elektriciteit opgewekt in warmtekrachtkoppeling.

Uitgaande van een verbrandingswaardeⁱ van 32 mJ per kubieke meter voor aardgas en 25 mJ per kubieke meter voor biogas komt

het totale gasverbruik van de rwzi's op 2.900 tJ_{primaire} (1.934 tJ biogas + 966 tJ aardgas), waarmee in ieder geval 170.000 mWh elektriciteit en 951 tJ warmte werd geproduceerd. In 2008 bedroeg het totale gas- en elektriciteitsgebruik van de Nederlandse rwzi's dus 8.147 tJ_{primaire}. Dit lijkt erg veel, maar met een totale vuilast van 24.414.000 i.e. komt dit overeen met bijna 10,6 W/i.e.^j ofwel 15,9 Watt per Nederlander^k.

Energie terugwinnen

Zoals bekend bestaan op de afvalwaterzuivering mogelijkheden om energie terug te winnen. In 2008 kwam in totaal 946.039 ton aan CZV de afvalwaterzuivering binnen. Als de aanname wordt gemaakt dat alle CZV uit acetaat bestaat, dan kwam in 2008 dus 15,75 x 10⁹ mol acetaat op de zuivering. De verbranding van acetaat (CH₃COOH + 2 O₂ → 2 CO₂ + 2 H₂O) levert 876,1 kJ/mol op. De energiewaarde van de organische stof in afvalwater is daarom 13.802 tJ^m. Afvalwater heeft dus een chemisch energiepotentie van 27 Watt per persoonⁿ of 17,9 W per inwonerequivalent^o.

Natuurlijk is het niet realistisch om er vanuit te gaan dat alle CZV kan worden gezien als acetaat en dat dit ook nog eens volledig te winnen is. Bovendien moeten de nutriënten ook uit het afvalwater verwijderd worden en daarvoor is vaak organische stof benodigd (bijvoorbeeld denitrificatie). Toch biedt deze hoeveelheid chemische energie in het afvalwater een interessant perspectief. Door een deel van deze energie te winnen, bijvoorbeeld via vergisting tot methaan of verbranding, is het al mogelijk om de afvalwaterzuivering energieneutraal te maken.

Het inzetten van autotrofe stikstofverwijdering (zoals het Sharon/Anammox-proces) kan het mogelijk maken meer organische stof te winnen. De fosfaten kunnen ook door middel van chemische precipitatie worden verwijderd. Het gebruik van chemicaliën heeft echter ook consequenties voor energiegebruik (en broeikasgasemissie). Het is dus zaak de juiste balans te vinden.

Thermische energie

Huishoudelijk water

De temperatuur van het geleverde drinkwater varieert met de seizoenen. De temperatuur waarmee het drinkwater aankomt in de huizen, is in grote mate afhankelijk van de bodemtemperatuur, die weer afhankelijk is van de buitentemperatuur⁶⁾. Gemiddeld over het hele jaar bedraagt de drinkwatertemperatuur bij aankomst in het huis ongeveer 12,5°C⁷⁾.

Iedere Nederlander gebruikt dagelijks zo'n 130 liter drinkwater (zie tabel 2). Zeker de helft van dit water wordt voor het gebruik in meer of mindere mate verwarmd. Voor bad/douche en (af)wasmachine wordt het water meestal verwarmd tot ongeveer 40°C. Zelfs het water in de WC-stortbak wordt op in huis. In de zomer is dit over het algemeen geen probleem, maar in de winter ontstaat daardoor extra energiebehoefte om het huis behaaglijk warm te houden. Over het geheel gezien wordt water in het huishouden gemiddeld tot 27°C opgewarmd. Per jaar kost dit 47.890 tJ aan energie. Dit komt overeen met 93,6 Watt per Nederlandse inwoner⁸⁾ en steekt schril af bij de 6,9 Watt die per Nederlander nodig is voor de productie en distributie van het drinkwater. Conversie- en warmteverliezen die optreden bij het warmwatergebruik, zijn in deze berekening niet meegenomen. In de praktijk zal het energieverbruik voor gebruik van warm water dus nog hoger uitvallen.

Het huishoudelijke afvalwater bevat dus relatief veel (laagwaardige) thermische energie. Deze biedt grote mogelijkheden voor energiebesparing. Als bijvoorbeeld de energie wordt teruggewonnen van het warme douchewater met een realistisch rendement van 50 procent (610 kWh per huishouden per jaar), kan een gemiddeld huishouden de jaarlijkse kosten voor verlichting of de wasdroger besparen^{8),9)}. Als alle Nederlandse huishoudens een douchewarmtewisselaar zouden hebben, kan in totaal 15.903 tJ aan energie worden teruggewonnen, waardoor minimaal een gelijke hoeveelheid primaire energie wordt bespaard (afhankelijk van de energievactor die door warmteterugwinning niet gebruikt hoeft te worden en de gerelateerde energieconversiefactor). De primaire energiebesparing bedraagt minimaal 31 Watt per Nederlander⁵⁾.

Rioolwater

Warm water dat in huishoudens wordt gebruikt om te douchen, te wassen en dergelijke, verliest een groot deel van zijn warmte in de afvoer en het riool. De warmte wordt via de buizen afgegeven aan de bodem. Als deze warmte (= energie) wordt

toepassing	1995	1998	2001	2004	2007
bad	9,0	6,7	3,7	2,8	2,5
douche	38,3	39,7	42,0	43,7	49,8
wastafel	4,2	5,1	5,2	5,1	5,3
toiletspoeling	42,0	40,2	39,3	35,8	37,1
kleding wassen (hand)	2,1	2,1	1,8	1,5	1,7
kleding wassen (machine)	25,5	23,2	22,8	18,0	15,5
afwassen (hand)	4,9	3,8	3,6	3,9	3,8
afwassen (machine)	0,9	1,9	2,4	3,0	3,0
voedselbereiding	2,0	1,7	1,6	1,8	1,7
koffie en thee	1,5	1,1	1,0	1,0	1,2
water drinken	niet opgenomen	0,5	0,5	0,6	0,6
overig keukenkraan	6,7	6,1	6,7	6,4	5,3
totaal	137,1	131,9	130,7	123,8	127,5

Tabel 2: Nederlands huishoudelijk watergebruik (liter per persoon per dag²⁾).

teruggewonnen, betekent dat een enorme energiebesparing. Terugwinnen kan met warmtewisselaars in het riool. Op enkele plaatsen worden momenteel pilotprojecten met rioolwarmtewisselaars uitgevoerd. In Hamburg is in een woonwijk een warmtewisselaar van 95 meter geplaatst in een riool waardoor twaalf liter afvalwater per seconde stroomt. De energiebesparing die hierdoor gerealiseerd wordt, bedraagt ongeveer 33 procent en de reductie van de uitstoot aan kooldioxide zelfs 46 procent. De kosten voor deze energielevering bedragen 250.000 euro, waardoor de terugverdientijd minder dan 13 jaar is.

Toepassing van warmtewisselaars in het riool zal het rioleringsenergiegebruik naar verwachting niet verhogen. Tauw doet in opdracht van onder andere STOWA in Zwolle onderzoek naar de huishouding van thermische energie uit afvalwater. Uit dit onderzoek zou moeten blijken welke warmtewisselaars beschikbaar zijn en welke geschikt zijn voor de Nederlandse situatie. Door het meten van de temperatuur van afvalwater bij het verlaten van een huis, in het riool dicht bij het huis, in een wijkverzamel punt en bij de rwzi hoopt men de beste plaats van terugwinning te kunnen bepalen. In het project wordt ook onderzocht wat de invloed is van terugwinnen van thermische energie op het functioneren van de rwzi. Temperatuursonderzoek rond drinkwaterleidingen heeft aangetoond dat het water vrij snel de omgevingstemperatuur aanneemt⁶⁾. Hoewel er een verschil is tussen drinkwaterleidingen en riolerings, mag verwacht worden dat ook het rioolwater een snelle temperatuuruitwisseling heeft met de omgeving. Dat zou dus betekenen dat het afvalwater snel afkoelt na het verlaten van het huis. De invloed van regenwater en 'rioolvreemd' water zal dit alleen maar versterken.

Energie in bebouwde omgeving

In de innovatieagenda energie bebouwde omgeving is de ambitie neergelegd om in 2020 energieneutrale huizen te bouwen.

Later moeten huizen zelfs energie gaan opleveren. Bovendien wordt verwacht dat in de toekomst de behoefte aan koeling van woningen zal toenemen, wat leidt tot een hoger energieverbruik. Het is dus nog een hele opgave om energieneutrale woningen te realiseren. Door het terugwinnen van warmte uit water kan echter al een flinke slag gemaakt worden. Terugwinnen van warmte uit water is goed, maar water besparen is nog beter. Minder watergebruik betekent tegelijkertijd ook minder energiegebruik. Waterbesparende douchekoppen zijn bijvoorbeeld uitermate geschikt om het warmwatergebruik terug te dringen. Er lijkt echter eerder een trend te zijn naar meer watergebruik, met regendouches in luxere badkamers.

Een andere mogelijkheid is het gebruiken van restwarmte of zonnewarmte. Een zonneboiler op het huis kan efficiënt zijn. In Almere wordt gebruik gemaakt van een zoneiland. Op 7.000 vierkante meter staan 520 zonnecollectoren die koud water verwarmen tot 70°C en zo jaarlijks 9.750 gJ aan duurzame energie opleveren. Dit is tien procent van de warmtebehoefte van de 2.700 woningen in de wijk. De overige warmtebehoefte wordt geleverd door gebruik van restwarmte van de plaatselijke warmtekrachtcentrale. Een nadeel van warmteterugwinning en zonnewarmte is dat deze vorm van energie vooral beschikbaar is op tijdstippen dat de energievraag laag is. Warmte-koudeopslag (WKO) kan hiervoor een oplossing bieden. WKO is een methode om energie in de vorm van warmte of koude op te slaan in de bodem. Hierdoor kunnen gebouwen op het juiste tijdstip verwarmd en/of gekoeld worden. De effecten van (grootschalige en wijdverbreide) WKO (op bijvoorbeeld drinkwaterwinning) moeten nog wel beter in kaart gebracht worden.

Rwzi-effluent

Naast de chemische energie uit afvalwater is het ook mogelijk om thermische energie uit het rwzi-effluent te winnen. Gemiddeld is de temperatuur van het effluent bij het verlaten

van de rwzi circa 15°C. Door het relatief grote volume kan heel wat warmte gewonnen worden. Als vijf graden van de 1.928 miljoen kubieke meter effluent wordt teruggevoerd, waardoor het water afkoelt van gemiddeld circa 15 naar 10°C, dan kan dit in totaal ongeveer 40.353 tJ^o opleveren. Dit komt overeen met 78,9 Watt per Nederlandse inwoner^o.

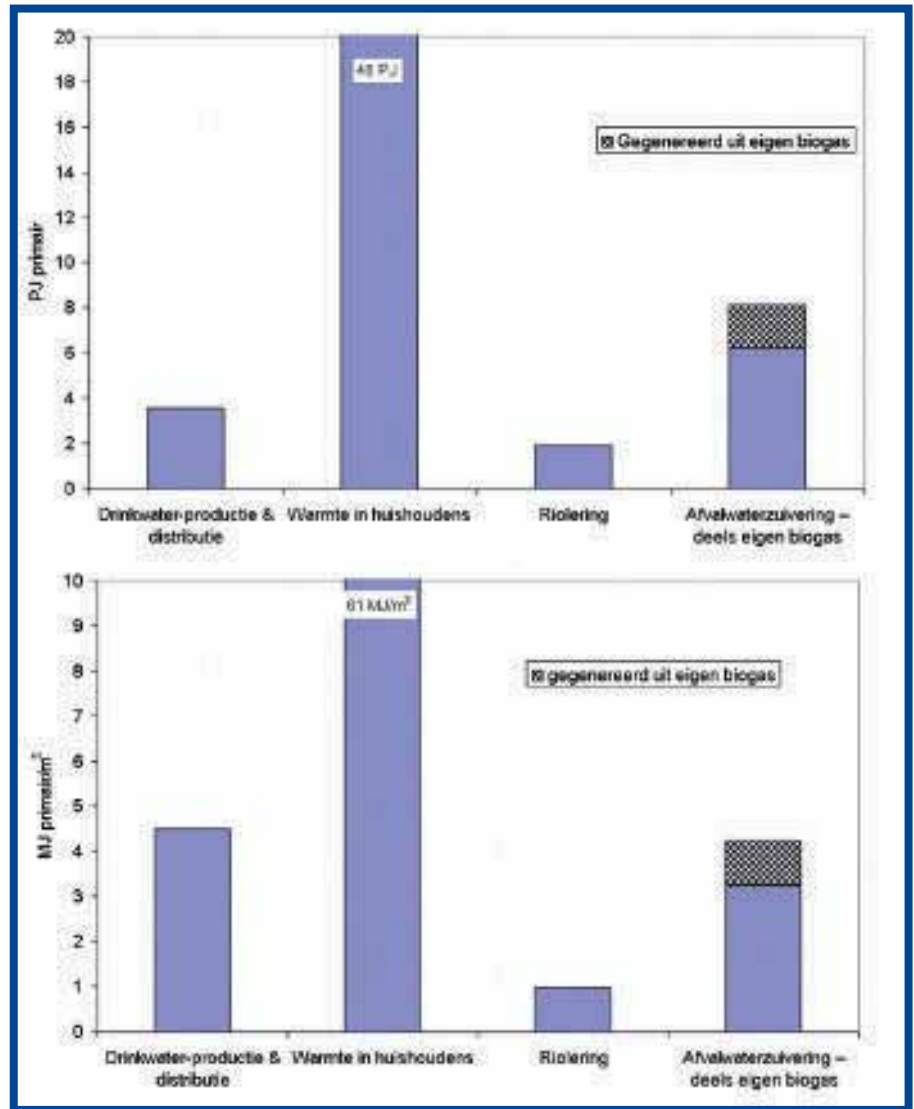
Het terugwinnen van warmte uit rwzi-effluent heeft geen negatieve invloed op het zuiveringsproces in de afvalwaterzuivering, dit in tegenstelling tot warmteterugwinning uit het rioolwater voordat het de afvalwaterzuivering bereikt¹⁰. Ook warmtepompen gebruiken echter energie. De prestatie van warmtepompen wordt weergegeven door een prestatiecoëfficiënt (COP) en is de verhouding tussen de geleverde warmte en de hiervoor verbruikte elektriciteit. Een realistische COP van bijvoorbeeld vier wordt gedefinieerd door een opbrengst van vier thermische kWh waarvoor één kWh elektriciteit wordt verbruikt.

Conclusies

Theoretisch kan zelfs meer energie uit de watercyclus worden gehaald dan nodig is voor een goed functionerende watercyclus. Een substantieel deel van de energie die aan water wordt toegevoegd is thermische energie (warmte). Het opwarmen van water speelt dus een significante rol in de energiehuishouding van de watercyclus (zie afbeelding 2). In huishoudens wordt 93,6 Watt per Nederlandse inwoner aan verwarming van water gependend. Dit komt overeen met 47.890 tJ_{primaire} (zie tabel 3) en is veel meer dan de bijna 26,6 Watt per persoon (13.607 tJ_{primaire}) die nodig is voor de productie en distributie van drinkwater en het verzamelen en zuiveren van afvalwater. De benodigde energie voor de verwarming van water in huis laat echter ook zien dat waterbesparing veel effect zou kunnen hebben. Als minder water wordt verwarmd, is er direct ook minder energieverbruik. Gebruik van bijvoorbeeld een waterbesparende douchekop heeft dus een groot effect.

Warmte terugwinnen

Door het benutten van de warmte uit afvalwater kan heel veel energie teruggevoerd worden (zie tabel 4). Dit kan bijdragen aan de realisatie van een energie- en klimaatneutrale watercyclus. Alleen al door het toepassen van douchewarmtewisselaars in alle huishoudens zou jaarlijks



Afb. 2: Overzicht van het globale energieverbruik in de Nederlandse gebruikerswaterketen: PJ totaal (bovenste grafiek) en MJ_{primaire}/m³ (afval)water (onderste grafiek).

15.903 tJ kunnen worden hergebruikt en dus bespaard. Het zou goed kunnen dat deze directe warmteterugwinning in de huishoudens geen invloed heeft op de afvalwatertemperatuur in de afvalwaterzuivering¹⁰, omdat die temperatuur voornamelijk bepaald wordt door de bodemtemperatuur.

Dan zijn er ook geen nadelige gevolgen voor het biologische zuiveringsproces. Bovendien bestaat de mogelijkheid warmte terug te winnen uit rwzi-effluent (potentieel 40.353 tJ per jaar, waardoor het effluent vijf graden afkoelt). Hierdoor kan zelfs meer energie

teruggewonnen worden dan wordt gebruikt in de Nederlandse waterketen. De efficiëntie van warmtepompen is daarbij een bepalend criterium naast de lokale afzetmogelijkheid voor de warmte. Bij verafgelegen rwzi's kan dit wat lastiger zijn. Dan lijkt warmteterugwinning uit het riool of een zoneiland in de woonwijk interessanter.

Organische energie

Uit afvalwater kan ook organische energie worden gewonnen en benut: in theorie genoeg om de primaire energiebehoefte van de waterbedrijven in de municipale

Tabel 3: Overzicht van het globale energieverbruik in de Nederlandse gebruikerswaterketen in 2008.

onderdeel	elektriciteitsverbruik per jaar (MWh)	elektriciteitsverbruik per jaar (kWh/m ³)	energieverbruik per jaar (tJ _{primaire})	energieverbruik per jaar (MJ _{primaire} /m ³)
drinkwaterproductie en -distributie	394.500	0,50	3.550	4,5
warmte in huishoudens			47.890	60,7
riolering	212.080	0,11	1.909	0,99
afvalwaterzuivering	721.000	0,37	8.147	4,23
waarvan eigen biogas	170.000	0,088	1.934	1,00

onderdeel	energieopbrengst per jaar (t _{primaire})	energieopbrengst per jaar (mJ _{primaire} /m ³)
douchewarmtewisselaar	15.903	20,2
warmte uit rwzi-effluent	40.353	20,9
organische stof uit rwzi-effluent	13.802	7,2

Tabel 4: Overzicht van de potentiële energieopbrengst uit de Nederlandse gebruikerswaterketen in 2008.

waterketen te dekken. In de afvalwater-zuiveringspraktijk wordt al een groot deel van het geproduceerde slib vergist, waarbij 1.934 t aan energie (biogas) gewonnen werd in 2008. Dit biogas wordt doorgaans in WKK-installaties omgezet in elektriciteit en warmte. In 2008 werd op die manier 170.000 MWh aan elektriciteit geproduceerd en op de rwzi's zelf verbruikt.

Er zou echter nog meer organische energie uit het afvalwater gewonnen kunnen worden door de organische stof niet eerst te oxideren maar direct te verzamelen. Daarna kan het worden vergist en/of verbrand. Indien alle organische stof uit het rwzi-influent op deze manier optimaal benut zou worden, dan kan jaarlijks 13.802 t gewonnen worden. Dit is echter niet realistisch, omdat naast winning- en conversieverliezen momenteel ook nog organische stof nodig is voor het verwijderen van nutriënten. Door het toepassen van autotrofe stikstofverwijdering, zoals Anammoxprocessen, is de organische stof hiervoor in de toekomst echter wellicht niet meer nodig en kan ook bespaard worden op beluchtingsenergie¹¹⁾.

Theoretisch kan dus meer energie uit de Nederlandse watercyclus worden gehaald (70.059 tJ) dan in 2008 is gebruikt voor de watercyclus (61.497 tJ). Dit komt doordat organische energie aan het water wordt toegevoegd (een groot deel van het 'afval' in afvalwater) en vooral door de mogelijkheid van het 'dubbel' terugwinnen van warmte (zowel in huishoudens of het riool als bij de rwzi). Er zullen nu technologieën en

concepten geïntroduceerd moeten worden, zoals warmtenetten (een infrastructuur van pijpleidingen die warmteaanbieders, meestal over een grote afstand, verbindt met warmtevragers). Deze nieuwe concepten en technologieën zullen ervoor zorgen dat de theoretische energierugwinning ook daadwerkelijk in de praktijk gehaald en benut kan gaan worden, rekening houdend met de geldende zuiveringsnormen.

LITERATUUR

- 1) Vleeming H., E. van der Pol, J. Varwijk en P. Hinderink (2009). Evaluatierapport: mogelijkheden tot energiebesparing in de Nederlandse energie-intensieve industrie. AgentschapNL.
- 2) Vewin (2008). Waterleidingstatistiek 2007.
- 3) Vewin (2010). Water in zicht 2009; bedrijfsvergelijking in de drinkwatersector.
- 4) STOWA (2008). Op weg naar een klimaatneutrale waterketen. Rapport 2008-17.
- 5) Stichting RIONED (2009). Riool in cijfers 2009-2010.
- 6) Van der Molen M., I. Pieterse-Quirins, A. Donocik en E. Smulders (2009). Eigenschappen bodem en oppervlak beïnvloeden temperatuurstijging rond drinkwaterleidingen. H₂O nr. 7, pag. 33-36.
- 7) Blokker M. en I. Pieterse-Quirijns (2010). Temperatuur in het leidingnet hangt samen met het klimaat. H₂O nr. 23, pag. 46-49.
- 8) STOWA (2009). Mastercase energie in de waterketen. Rapport 2009-46.
- 9) Sukkar R. (2009). Ongekende mogelijkheden terugwinnen warmte uit water. Riolerings nr. 16, pag. 19.
- 10) Wanner O., V. Panagiotidis, P. Clavadetscher en H. Siegrist (2005). Effect of heat recovery from raw wastewater on nitrification and nitrogen removal

in activated sludge plants. Wat. Res. 39, pag. 4725-4734.

- 11) Wett B., K. Buchauer en C. Fimml (2007). Energy self-sufficiency as a feasible concept for wastewater treatment systems. Proceedings IWA Leading Edge Technology Conference, Singapore, pag. 21-24.

NOTEN

- a (0,50 kWh/m³ x 789 x 10⁶ m³ x 3,6 / 40) x 100
- b $3550 \times 10^6 \text{ mJ}_{\text{primaire}} / (7.242.000 \times 2,24 \text{ inwoners}) / (365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec.}) \times 10^6$
- c (0,11 kWh x 3,6 / 40) x 100
- d ((0,50 - 0,11 kWh) x 3,6 / 40) x 100
- e (0,11 kWh x 3,6 / 40) x 100
- f $(0,11 \text{ kWh/m}^3 \times 1928 \times 10^6 \text{ m}^3 \times 3,6 / 40) \times 100$
- g $1909 \times 10^6 \text{ mJ}_{\text{primaire}} / (7.242.000 \times 2,24 \text{ inwoners}) / (365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec.}) \times 10^6$
- h $(583 \times 10^6 \text{ kWh} \times 3,6 / 40) \times 100$
- i Verbrandingswarmte voor aard- en biogas is afhankelijk van methaangehalte.
- j $8147 \times 10^6 \text{ mJ}_{\text{primaire}} / 24.414.000 \text{ i.e.} / (365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec.}) \times 10^6$
- k $7822 \times 10^6 \text{ mJ}_{\text{primaire}} / 7.242.000 \times 2,24 \text{ inwoners}) / (365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec.}) \times 10^6$
- l $946,039 \times 10^9 \text{ g} / 60,05 \text{ g/mol}$
- m $15,75 \times 10^9 \text{ mol} \times 876,1 \text{ kJ/mol}$
- n $13.802 \times 10^6 \text{ mJ} / (7.242.000 \times 2,24 \text{ inwoners}) / (365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec.}) \times 10^6$
- o $13.802 \times 10^6 \text{ mJ} / 24.414.000 \text{ i.e.} / (365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec.}) \times 10^6$
- p $1000 \text{ kg/m}^3 \times 789 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar} \times 4186 \text{ J/kg} \times \text{K} \times (27 - 12,5) \text{ K}/10^6$
- q $47.890 \times 10^6 \text{ mJ} / (7.242.000 \times 2,24 \text{ inwoners}) / (365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec.}) \times 10^6$
- r $610 \text{ kWh} \times 7.242.000 \text{ huishoudens} \times 3,6$
- s $15.903 \times 10^6 \text{ mJ} / (7.242.000 \times 2,24 \text{ inwoners}) / (365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec.}) \times 10^6$
- t $1000 \text{ kg/m}^3 \times 1928 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar} \times 4186 \text{ J/kg} \times \text{K} \times 5 \text{ K}/10^6$
- v $40.353 \times 10^6 \text{ mJ} / (7.242.000 \times 2,24 \text{ inwoners}) / (365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec.}) \times 10^6 \text{ mJ} / (7.242.000 \times 2,24 \text{ inwoners}) / (365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ sec.}) \times 10^6$