Effecten van alternatieve sanitatie

Trends in waterbesparing en het effect op drinkwaterproductie- en distributie

BTO 2012.034
Maart 2013

KWR Watercycle Research Institute

BTO

KWR Watercycle Research Institute

Effecten van alternatieve sanitatie

Trends in waterbesparing en het effect op drinkwaterproductie- en distributie

BTO 2012.034
Maart 2013

© 2012 KWR
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Postbus 1072 3430 BB Nieuwegein T 030 606 95 11 F 030 606 11 65 E info@kwrwater.nl I www.kwrwater.nl

Colofon

Titel
Effecten van alternatieve sanitatie; Trends in waterbesparing en het effect op drinkwaterproductie en -distributie

Opdrachtnummer
B111716

Rapportnummer
BTO 2012.034

Onderzoeksprogramma
Drinkwaterbehandeling

Projectmanager
Erwin Beerendonk

Opdrachtgever
BTO

Kwaliteitsborger
Jan Post

Auteur
Roberta Hofman-Caris

Verzonden aan
PBC Waterbehandeling

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Voorwoord

De ontwikkeling van alternatieve sanitatie concepten leidt mogelijk tot een afname van de drinkwatervraag. Dit heeft tot gevolg dat de verblijftijd van het drinkwater in het leidingnet kan toenemen. In hoeverre dit een probleem zou kunnen zijn, is op het ogenblik nog niet bekend. Aanpassing van het leidingnet is echter geen reële optie. Toenemende verblijftijden kunnen daardoor consequenties hebben voor de eisen die aan het zuiveringsproces worden gesteld. In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de recente ontwikkelingen op het gebied van alternatieve sanitatie, en de gevolgen die dit zou kunnen hebben voor de watervraag. Er wordt ingegaan op wettelijke bepalingen, die van invloed kunnen zijn op de mogelijkheden om hierop in te spelen. Verder wordt aandacht geschonken aan die aspecten in de drinkwaterzuivering, die van belang kunnen zijn om nagroei in het net bij langere verblijftijden te voorkomen.
Met dank aan Jan Peter van der Hoek (Waternet, TU Delft), Eri Salome (Vitens) en Grietje Zeeman (WUR) en Paul van de Wielen (KWR), voor hun inbreng in de discussies.

Samenvatting

In diverse landen speelt een tekort aan drinkwater een belangrijke rol in het bevorderen van het gebruik van waterbesparende technologie. In Nederland is dit niet aan de orde, maar zouden alternatieve sanitatieconcepten wel kunnen leiden tot afname van de hoeveelheid te zuiveren afvalwater, wat gunstig is voor het energieverbruik van RWZI's en de effectieve terugwinning van nutriënten uit het afvalwater. Dit leidt echter automatisch tot een afname van de vraag naar drinkwater. In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de huidige stand van zaken met betrekking tot alternatieve sanitatie: welke concepten zijn er op de markt, en hoe is de prognose met betrekking tot grootschalige toepassing? Dit leidt tot de schatting dat binnen tien tot twintig jaar de gemiddelde drinkwatervraag met 20% zou kunnen afnemen. Voor de drinkwatervraag tijdens piekbelastingen heeft dit echter geen gevolgen. Aangezien het ontwerp van het leidingnet gebaseerd is op deze piekbelastingen, en verder aan strenge wetgeving is gebonden, zal dit geen gevolgen hebben voor het drinkwaterleidingnet op zich. Het kan echter wel gevolgen hebben voor de verblijftijd van het water in dit net. Dit zou kunnen leiden tot neerslag en opwerveling van deeltjes, en tot problemen met nagroei in het net. Hierbij speelt mee dat een langere verblijftijd in het net kan leiden tot opwarming van het water in de zomer, zeker wanneer de zomertemperaturen als gevolg van klimaatverandering stijgen. In hoeverre dit alles een probleem kan zijn, moet nog onderzocht worden. Om eventuele problemen te voorkomen zou het water zo weinig mogelijk biodegradeerbaar materiaal (AOC, Assimable Organic Carbon) moeten bevatten. Dit wordt bijvoorbeeld gevormd tijdens omzetting van organische microverontreinigingen in de zuivering. Er is onderzoek nodig om te bepalen hoe dit voorkomen kan worden, dan wel om de beste verwijderingsmethode ervoor te bepalen. Een ander aspect dat aandacht verdient, is de rol die Natuurlijk Organisch Materiaal (NOM) kan spelen in de biologische stabiliteit van het drinkwater, bijvoorbeeld als precursor voor de vorming van AOC, of bij fouling van membranen.

Inhoud

Voorwoord **1**

Samenvatting **3**

Inhoud **5**

1 Inleiding **7**

2 Waterverbruik **9**

3 Waterbesparende apparaten **13**

3.1 Strategiën voor waterbesparing 13

3.2 Douche en bad 13

3.3 Toilet 14

3.4 Wasmachine en vaatwasser 15

3.5 Waterbesparende kranen 15

4 Mogelijke besparing **17**

4.1 Internationale ervaringen 17

4.2 Menselijk gedrag 18

4.3 Mogelijkheden in Nederland 18

5 Wettelijke regelingen en mogelijkheden **21**

5.1 Drinkwater 21

5.2 Huishoudwater en gezuiverd afvalwater 22

6 Gevolgen voor de waterzuivering **23**

7 Conclusies **25**

8 Literatuur **27**

1 Inleiding

Mensen worden steeds meer milieubewust. Het verspillen van schoon drinkwater wordt voor veel mensen minder acceptabel, en bovendien realiseert men zich steeds meer dat verspilling van water vaak gepaard gaat met verspilling van kostbare energie. Daarom zie je op de markt allerlei water- en energiebesparende apparaten verschijnen. In veel landen die te maken hebben met een tekort aan geschikt water om drinkwater van te maken, wordt het gebruik van dergelijke apparatuur bevorderd. In Nederland speelt dit probleem niet. Toch is ook hier aandacht voor alternatieve sanitatieconcepten. Minder gebruik van drinkwater leidt immers automatisch tot minder afvalwater dat gereinigd moet worden. Dit scheelt in het energieverbruik van RWZI's, en leidt bovendien, door de hogere concentraties, tot een efficiëntere terugwinning van nutriënten uit het afvalwater.
Indien dergelijke apparaten op grote schaal zouden worden toegepast, zou dat een significante daling van het (drink)watergebruik kunnen betekenen. Dit heeft echter ook grote gevolgen voor de leveranciers van dat drinkwater. Hun zuiveringsprocessen en transportleidingen zijn berekend op een bepaald debiet, en als dat significant afneemt worden die processen in elk geval minder efficiënt. Een langere verblijftijd van het water in het distributienet heeft gevolgen voor de biologische stabiliteit van het water. Daarom is op verzoek van de drinkwaterbedrijven een verkennend onderzoek uitgevoerd naar welke waterbesparende apparaten er in de markt verkrijgbaar zijn, hoeveel water hiermee zou kunnen worden bespaard, en wat dit voor de drinkwaterbedrijven zou kunnen gaan betekenen. Hierbij is ook gekeken naar de wettelijke bepalingen die hierop van toepassing zijn, en die eventueel onderzoek op dit terrein vergemakkelijken of bemoeilijken.

2 Waterverbruik

Veel onderzoek naar het gebruik van drinkwater is uitgevoerd in landen waar schoon drinkwater schaars is, hetzij door gebrek aan geld (en dus aan waterleidingen en waterzuiveringen), hetzij door droogte (zoal in bv. Australië) [Carragher et al., 2012]. Het valt op dat er grote verschillen zijn, niet alleen per land, maar zelfs per regio, per stad en per wijk, en ook nog afhankelijk van de dag en het tijdstip.

Het gemiddelde waterverbruik per persoon in Nederland is ongeveer 125 L/dag. Voor België komt dit gemiddelde verbruik uit op ongeveer 106 L/dag (het laagste verbruik binnen Europa). Zie ook Tabel 2-1 [Inman en Jeffrey, 2006]. Het waterverbruik is niet evenredig over de week verdeeld: in het weekend wordt circa 30% meer leidingwater gebruikt dan door de week, en ook over de dag verdeeld zijn duidelijk pieken waarneembaar [Blokker en Vloerbergh, 2011].

Tabel 2-1: gemiddeld waterverbruik per persoon per dag in verschillende landen

Land	Waterverbruik (l/p/d)
België	106
Zuid Iran [1)]	122
Nederland	128
Groot-Brittannië	150
Polen	154
Europa gemiddeld	170
Denemarken	186
VS	276
Australië	503

1) [Keshavarzi et al., 2006]

Het hoge verbruik in Australië en de VS is te verklaren uit een relatief hoog buitenverbruik, vooral voor het sproeien van tuinen en dergelijke.

Uit internationaal onderzoek blijkt dat het drinkwaterverbruik sterk afhankelijk is van een aantal factoren[Inman en Jeffrey, 2006; Keshavarzi et al., 2006; Willis et al., 2011b]:

- Gezinsgrootte (bij grotere gezinnen wordt per persoon minder water gebruikt)
- Leeftijd gezinsleden en/of gezinshoofd
- Opleidingsniveau
- Platteland versus stad
- Grootte perceel, c.q. tuin en eventuele kassen
- Klimaatfactoren (voor met betrekking tot buitengebruik van water, c.q. sproeien van tuinen)
- Gewoonten met betrekking tot het wassen van auto's en het schoonhouden van het terrein
- Onderhoud en uitvoering van apparatuur (lekkages, waterbesparende apparaten e.d.). Uit een studie in Jordanië [Damanhouri, 2012] bleek dat "rijke" families slechts 20% van hun drinkwater gebruikten voor toiletspoelingen, terwijl dat bij "arme" families opliep tot 53%, doordat die laatste lekkende stortbakken niet lieten repareren.

Uit studies in Kenia, Tanzania en Oeganda blijkt dat gezinnen die zijn aangesloten op de waterleiding meer water gebruiken dan gezinnen die geen waterleiding hebben. Verder gaat er in sommige landen veel drinkwater verloren door lekkages in het distributienet: 39% in Italië en 50% in Bulgarije [Inman en Jeffrey, 2006].

Hoewel de term "drinkwater" anders doet vermoeden, wordt dit zeer schone water slechts voor een heel klein deel gebruikt om te drinken of om voedsel te bereiden. Het grootste waterverbruik vindt plaats via de douche (39%), gevolgd door het toilet (29%) en de wasmachine (16%) [www.praktischduurzaam.nl].

Waterbesparende maatregelen zijn dan ook vooral zinvol in combinatie met deze toepassingen. Een uitsplitsing van het waterverbruik in Nederland per persoon per dag is weergegeven in Tabel 2-2.

Tabel 2-2: Waterverbruik liter pp/dag in Nederland [bron: www.Vewin.nl; Wikipedia drinkwater; Foekema en van Thiel, 2010]

Jaar	1995	1998	2001	2004	2007	2010
Bad	9,0	6,7	3.7	2.8	2.5	2,8
Douche	38,3	39,7	42.0	43.7	49.8	48,6
Wastafel	4,2	5,1	5.2	5.1	5.3	5,0
Toilet	42,0	40,2	39.3	35.8	37.1	33,7
Kleding wassen Hand	2,1	2,1	1,8	1,5	1,7	1,1
Kleding wassen Machine	25,5	23,2	22,8	18,0	15,5	14,3
Afwas, hand	4,9	3,8	3,6	3,9	3,8	3,1
Afwas, machine	0,9	1,9	2,4	3,0	3,0	3,0
Voedselbereiding	2,0	1,7	1.6	1.8	1.7	1,4
Koffie/thee/water	1,5	1,6	1.6	1.6	1.8	1,8
Overig	6,7	6,1	6.7	6.4	5.3	5,3
Totaal	137	132	131	124	128	120

Het verbruik in Nederland komt vrij goed overeen met wat internationaal gebruikelijk is (Tabel 2-3 en Tabel 2-4).

Tabel 2-3: Drinkwaterverbruik (%) in verschillende landen [Inman en Jeffrey, 2006]

Gebruik	Engeland Wales	Schotland	Finland	Zwitserland	VS	Australië
Toiletspoeling	33	31	14	33	11	20
Bad/douche	20	32	29	32	8	26
Keuken (wassen, afwassen)	17	35	34	19	16	20
Gemengd	27	<1	21	14	7	
Buiten	3	1	2	2	58	34

Tabel 2-4: Drinkwatergebruik(L/p/d) in verschillende regio's van Australië en in de VS [Willis et al., 2011b]

Gebruik	USA	Perth	Melbourne	Auckland
Wasmachine	56,8	42,0	40,4	39,9
Douche	43,9	51,0	49,1	44,9
Kraan	41,3	24,0	27,0	22,7
Vaatwasser	3,8		2,7	2,1
Bad	4,4		3,2	5,5
Toilet	70	33,0	30,4	31,3
Irrigatie	381,6	180	57,4	13,9
Lekkage	36,0	5	15,9	7,0
Anders	12,5		0,0	0,8
Totaal	650,3*)	335,0	226,2	168,1

*) Afwijkingen t.o.v. Tabel 2-1 worden veroorzaakt door grote regionale verschillen.

Uit de gegevens van Tabel 2-2 is op te maken dat het waterverbruik per persoon per dag de afgelopen jaren licht gedaald is. Deze daling is grotendeels te verklaren uit het gebruik van zuiniger apparaten, zoals waterbesparende toiletten en moderne wasmachines. Hierbij moet echter worden aangetekend, dat er steeds meer gedoucht wordt, en dat in steeds meer huishoudens de vaatwasser zijn intrede heeft gedaan. Overigens gebruiken moderne vaatwasmachines niet significant meer water dan met de hand afwassen.
Ook in Nederland is het gebruik overigens afhankelijk van de leeftijd van mensen, zoals blijkt uit Tabel 2-5. Veel water wordt gebruikt in de douche, en uit Tabel 2-5 blijkt dat vijfenzestigplussers daar juist minder water gebruiken. De verwachting is echter dat in de toekomst het douchewatergebruik onder ouderen zal stijgen, omdat mensen hun huidige douchegewoonten aanhouden als ze ouder worden.

Tabel 2-5: Watergebruik in Nederland als functie van leeftijd [bron: www.vewin.nl]

	0-12 jr.	**13-17 jr.**	**18-24 jr.**	**25-34 jr.**	**35-44 jr.**	**45-54 jr.**	**55-64 jr.**	**65+ jr.**	**Totaal**
Bad	8,6	1,6	0,4	2,1	2,6	2,2	2,9	0,8	2,8
Douche	30,3	49,7	63,9	66,4	53,8	54,1	38,1	36,9	48,6
Wastafel	4,8	5,5	3,7	5,1	4,3	5,1	5,0	6,5	5,0
Toilet	24,5	29,7	30,8	30,6	33,5	34,2	43,0	40,0	33,7
Handwas kleding	0,8	0,4	0,5	1,6	0,9	1,3	1,4	1,6	1,1
Machinewas kleding	12,9	13,0	10,4	14,6	14,7	15,6	14,7	15,8	14,3
Afwassen hand	1,0	0,9	2,5	2,1	2,0	2,6	4,7	8,3	3,1
Afwassen machine	3,2	3,2	1,7	2,7	2,8	3,1	3,6	2,8	3,0
Voedselbereiding	0,5	0,6	1,3	1,7	1,3	1,8	1,8	2,1	1,4
Koffie / thee	0,5	1,0	0,8	1,3	1,6	1,6	1,2	1,2	1,2
Water drinken	0,6	0,7	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6
Overig keukenkraan	3,1	4,0	3,3	7,8	5,1	5,5	5,5	8,1	5,3
Totaal	90,9	110,2	119,8	136,6	123,2	128,0	122,4	124,8	120,1

3 Waterbesparende apparaten

3.1 Strategiën voor waterbesparing

Vooral in Australië, dat al enkele jaren te kampen heeft met grote droogte, is veel onderzoek gedaan naar mogelijkheden om water te besparen. Ruwweg zijn er twee strategieën toegepast:

1) Mensen bewust maken van hun watergebruik, in de hoop dat ze daardoor minder gaan gebruiken
2) Het propageren van waterbesparende apparatuur

Voor de eerste strategie is gebruik gemaakt van verschillende middelen [Inman en Jeffrey, 2006; Kenney et al., 2008]. Gebruik maken van verschillende tarieven voor het gebruik van drinkwater bleek vooral effect te hebben op het gebruik buiten, maar leverde slechts een besparing van 5-15% op. Om echt effect te hebben zouden strengere regels en veel hogere prijzen gehanteerd moeten worden. Het plaatsen van watermeters, die direct het gebruik per keer en/of per toepassing aangeven, zou meer resultaat opleveren. Men kan hierbij denken aan een apparaatje op de kraan, dat mensen eraan herinnert hem uit te draaien als geen water nodig is, of een metertje op de douche, dat begint te piepen na een aantal minuten [Willis et al, 2010a].

3.2 Douche en bad

Voor een gemiddeld bad wordt ongeveer 120 L water per keer gebruikt [www.praktischduurzaam.nl; volgens www.kraanwater.nu is het 114,2 L per keer]. Uiteraard is hierop te besparen, maar een dergelijke besparing kan niet verwezenlijkt worden door het gebruik van bijvoorbeeld een ander type kraan. Overigens is de bijdrage van het bad aan het totale waterverbruik relatief klein, en lijkt het zelfs af te nemen (zie Tabel 2-2).
Het gebruik van de douche neemt de laatste jaren sterk toe. Een "gewone" douche levert ongeveer 10L/min, wat neerkomt op ongeveer 85L per douchebeurt [www.praktischduurzaam.nl] of 62,3 L per keer [www.kraanwater.nu]. Over het algemeen resulteert dit in een gebruik van gemiddeld 49,8 L per persoon per dag. Zogenaamde "stortdouches" of "comfort douches", die steeds populairder lijken te worden, leveren zelfs 20 L/min. (gemiddeld gebruiken deze douches twee keer zoveel water per minuut als gewone douches [Foekema en van Thiel, 2011]. Er is echter ook een tegenovergestelde trend, waarbij steeds meer gebruik gemaakt wordt van waterbesparende douchekoppen. Hiermee kan het verbruik van een douche worden teruggebracht van 10L/min naar 4,5-8,5 L/min, wat een aanzienlijk besparing oplevert. Aangezien dit verwarmde douchewater ook een groot warmtelek naar buiten toe vertegenwoordigt, is het niet alleen een flinke besparing op watervolume, maar ook op energie. Volgens het Ministerie van VROM (2009) (http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/verslagen/2009/07/20/waterbesparende-maatregelen.html is de besparing ongeveer 25% op zowel water als energiegebruik. Overigens zijn er ook nieuwe typen douches op de markt, die voorzien zijn van een warmtewisselaar om het warmteverlies naar het riool te verkleinen. Bij het systeem van Ecoplay (www.ecoplay.nl) wordt het warme bad- of douchewater opgevangen en gereinigd. Dit gebeurt door de zwaardere deeltjes te laten bezinken, en de lichtere met behulp van een skimmer uit de bovenste waterlaag te verwijderen. Via een warmtewisselaar wordt de warmte gebruikt om nieuw douchewater te verwarmen. Het water zelf kan voor toiletspoelingen worden gebruikt, waardoor een besparing op het totale gebruik gerealiseerd wordt. Een andere ontwikkeling is de installatie van comfort douches ("stortdouche", "powerdouche", "regendouche" of "jets"), waarbij het water wordt hergebruikt. Na een gewone douche kan de gebruiker overschakelen op de "comfortmodus". Hierbij wordt wel 15-50 L/min geleverd, maar doordat het water wordt hergebruikt, is slechts ongeveer 7 L/min. extra nodig is, om de gewenste temperatuur te bereiken (http://www.mijnhuisinstallatie.nl).

3.3 Toilet

Na de douche is het toilet de grootste waterverbruiker in een huishouden. Gemiddeld wordt een toilet zes keer per dag doorgespoeld, waarvan één á twee keer voor een "grote boodschap", en ca. vijf keer voor een kleine. Een traditioneel toilet gebruikt hiervoor 9-12 L water per keer, wat neerkomt op 21000 L per persoon per jaar. Een modern toilet is over het algemeen uitgerust met een kleinere stortbak, waardoor slechts 6L per keer nodig is. Wanneer ook nog een spaarknop (eventueel met spoelonderbreker) wordt toegepast, kan de hoeveelheid worden aangepast van 6 L per keer tot 3 L per keer, wat resulteert in een gemiddeld jaarverbruik van 9000 L per persoon. Inmiddels zijn er ook andere typen toiletten ontworpen, die minder water gebruiken:

- Gustavsberg toilet (tegenwoordig WISA): gebruikt 2 of 4 L per keer, met een totaal van ongeveer 6000 L/jaar. Dit toilet, met een speciale vorm, moet wel worden toegepast in combinatie met een zogenaamde "booster". Dit is een voorraadvat van 14 of 18 L, in combinatie met speciaal gevormde rioolbuizen. Dit vat loopt alleen leeg als het vol is, om op die manier verstoppingen van het riool te voorkomen.
- Broyeur: dit toilet is uitgerust met een elektrische vermaler. In principe gebruikt het 3 L water per keer, maar 1 of 2 L per keer is ook mogelijk. Standaardverbruik bij dit type toilet is ongeveer 6500 L/jaar.
- Scheidingstoilet: hierbij worden urine en feces apart opgevangen, waarbij voor het wegspoelen van de feces 4 L water per keer wordt gebruikt. Dit toilet verbruikt minder dan 2000 L per jaar.
- Vacuümtoilet: bij dit type toilet is alleen een beetje (<1 L) water nodig om de toiletpot schoon te spoelen. Een dergelijk toilet verbruikt dan ook maar een beetje meer dan 2000 L per jaar.
- Composttoilet: hierbij wordt helemaal geen water gebruikt, en is ook geen aansluiting op het rioolstelsel nodig.
- Urinoir: het waterverbruik is hooguit 2 L/keer, en soms wordt helemaal geen water gebruikt. Een waterloos urinoir werkt met een stankafsluiter. Er zijn ook hybride varianten
- Ecoplay: bad-/douchewater wordt opgevangen in een reinigings- en opslagtank (in totaal 100L; zie boven). Een control unit bewaakt de kwaliteit en hoeveelheid: als het water te lang in de tank zit wordt het vervangen door leidingwater, en als er te weinig water in opslag is wordt het tekort ook met leidingwater aangevuld. Het ruimtebeslag is vergelijkbaar met een inbouwtoilet. Hiermee kan een besparing tot 30% worden bereikt.

Een overzicht van alle toiletmogelijkheden is gegeven in Tabel 3-1.

Tabel 3-1: diverse typen toiletten en hun waterverbruik per jaar [bron: www.praktischduurzaam.nl]

Type toilet	L per spoelbeurt Klein/groot	m^3 per persoon	m^3 per gezin
Traditioneel	9/9	21	85
Modern	6/6	14	57
Modern + spaarknop	3/6	9	35
Broyeur	3/3	7	26
Gustavsberg	2/4	6	23
Scheidingstoilet	0/4	2	9
Vacuüm	1/1	2	9
compost	0/0	0	0
Ecoplay	0/0	0	0*)
Urinoir	0-2	2	9

*) Indien de hoeveelheden bad-/douchewater voldoende zijn om alle toiletspoelingen mee uit te voeren.

Andere mogelijkheden om water te besparen in het toilet zijn het aanpassen van een bestaand toilet (bijvoorbeeld door een ballast (zoals een gevulde PET-fles) in de stortbak leggen, waardoor het volume spoelwater afneemt), of het gebruik van opgevangen regenwater om door te spoelen.

In sommige landen, bijvoorbeeld in Hongkong, is het al gebruikelijk om voor toiletspoeling zeewater toe te passen. Aangezien in Nederland nog geen tekort is aan zoet drinkwater, is het niet te verwachten dat hier een apart leidingnet voor zal worden aangelegd.

N.B. De simpelste waterbesparing bij toiletten wordt bereikt door lekkages tijdig te verhelpen [Inman en Jeffrey, 2006]. In Australië leverde dit tot 44% besparing op.

Volgens prof. Dr. Ir. G. Zeeman (WUR) [Zeeman, 2012] maken vacuümtoiletten de grootste kans om op grotere schaal te worden toegepast. Aangezien deze toiletten al geruime tijd worden toegepast in vliegtuigen en schepen is hun technische ontwikkeling ver gevorderd, en is het redelijk betrouwbare technologie. Scheidingstoiletten daarentegen zijn nog lang niet optimaal ontwikkeld. Dit bemoeilijkt hun toepassing, waardoor ook de verdere ontwikkeling weer stagneert. Een ontwikkeling die wel steeds meer toepassing vindt zijn de waterloze urinoirs. Het is echter niet waarschijnlijk dat deze in woonhuizen geïnstalleerd zullen worden (dat vereist bouwkundig nogal wat aanpassing), maar in openbare gelegenheden, scholen en kantoren kunnen deze wel tot een flinke waterbesparing leiden.

3.4 Wasmachine en vaatwasser

Oudere vaatwassers gebruikten ongeveer 25 L per keer. Een nieuwe vaatwasser verbruikt op het ogenblik ongeveer 17 L water per wasbeurt, maar er zijn ook al machines in de handel die minder dan 10 L nodig hebben. Hierdoor is het waterverbruik van een vaatwasser niet veel anders dan het waterverbruik van met de hand afwassen.

Oudere wasmachines gebruikten ongeveer 87 L water per wasbeurt. Gemiddeld draait een wasmachine circa 220 wasbeurten per jaar. Hiervoor is tegenwoordig echter slechts 56,9 L water per keer nodig [www.kraanwater.nu], waardoor het verbruik neerkomt op ongeveer 16% van het totale drinkwaterverbruik per persoon per jaar.

3.5 Waterbesparende kranen

De doorstroming van tapwater bedraagt normaal 14-15 L/min., en deze hoeveelheid kan worden teruggebracht tot 7 L/min door gebruik te maken van een “waterbespaarder”. Waterbesparende kranen gebruiken in de regel 35-45% minder water, maar dit kan oplopen tot 80%. Ondanks het feit dat het totale watergebruik via de kraan vrij laag is, kan dit toch een besparing opleveren.

4 Mogelijke besparing

4.1 Internationale ervaringen

In landen die te kampen hebben met droogte zijn diverse strategieën ontwikkeld om het waterverbruik te verminderen. Een trainingsprogramma om mensen bewust te maken van hun waterverbruik in de Arabische wereld [Damanhouri, 2010 en 2012] leidde tot een besparing van 25% in de badkamer, 29% in de keuken, 10% bij het toilet en 9% bij het auto's wassen. In de VS verwachten Kenney et al. [Kenney et al., 2008] een besparing van 10% per toilet, 8% per douchekop en 11% door efficiëntere irrigatietechnieken. In Australië bleek dat het variëren van tarieven voor drinkwatergebruik (met een getrapt systeem) weinig effect had. Het installeren van een metertje op de douche dat na vijf minuten begon te piepen leverde een besparing op tot 27 %. Overigens bleek uit dergelijk onderzoek wel, dat vooral mensen die zich toch al bewust waren van hun waterverbruik, hierdoor water gingen besparen. Technische aanpassingen leidden tot een structurele vermindering van het watergebruik. Simpele aanpassingen (zoals een fles in de stortbak van het toilet, en beluchter op de kraan) leverde een besparing op van 9-12%, maar bij het gebruik van meer geavanceerde apparatuur liep dit op tot 35-59% [Inman en Jeffrey, 2006]. Door grote verschillen in gebruik per regio maar ook door individuele huishoudens verwachten de auteurs dat er overall een besparing van 10-20% bereikt kan worden over een periode van de komende tien tot twintig jaar. Door de hele waterketen in beschouwing te nemen, dus ook te kijken naar hergebruik, de infrastructuur en sociopolitieke factoren, zou volgens Mitchell [Mitchell, 2006] een besparing van minstens 20% tot zelfs een vrijwel zelfvoorzienend systeem bereikt kunnen worden. Ook Willis et al. [Willis et al., 2010a, 2010b, 2011a, 2011b] kijken naar de hele waterketen. Van geavanceerdere apparatuur verwachten zij een besparing van 35-50%. Door gebruik te maken van gezuiverd afvalwater voor het spoelen van het toilet, en voor buitengebruik (sproeien, schoonmaken, brandbestrijding, maar geen zwembaden en dergelijke) zou een besparing van 40-50% mogelijk moeten zijn (zie Tabel 4-1).

Tabel 4-1: Mogelijkheden van hergebruik van water [Willis et al., 2010b]

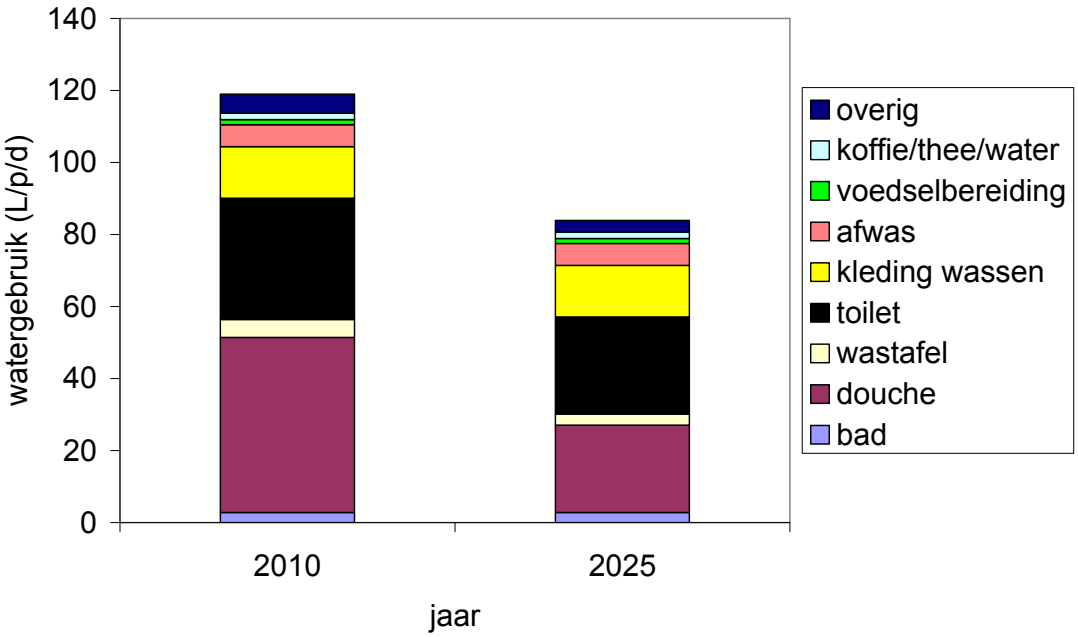
Gebruik van Drinkwater	Volume (L/p/d)
Lekkage	1.2
Wasmachine	31.1
Douche	47.7
Kraan	26
Vaatwasser	2.4
Bad	7.6
Irrigatie	5.0
Totaal drinkwater	121
Gebruik van gezuiverd afvalwater	
Lekkage	0.7
Toilet	21.7
Irrigatie	15.2
Totaal hergebruikt water	37.6
Totaal volume	158.6

4.2 Menselijk gedrag

Uit verschillende studies blijkt ook dat het menselijk gedrag een factor is waar rekening mee gehouden moet worden. Zo zijn mensen die geavanceerde waterbesparende apparatuur hebben geïnstalleerd soms geneigd om te denken dat ze nu bijvoorbeeld rustig langer kunnen douchen, omdat ze toch besparend bezig zijn [Inman en Jeffrey, 2006; Willis, 2010a]. Op die manier wordt door het installeren van waterbesparende apparatuur soms het tegenovergestelde effect bereikt, namelijk dat het waterverbruik toeneemt. Ook valt op dat de meeste besparing gerealiseerd wordt bij mensen die zich toch al bewust waren van hun waterverbruik. Het invoeren van waterbesparende maatregelen en apparatuur moet dus gepaard gaan met educatie, wil het tot het gewenste effect leiden.

4.3 Mogelijkheden in Nederland

In Nederland speelt gebrek aan drinkwater geen belangrijke rol, waardoor dit niet echt een drijfveer is om waterbesparing te bevorderen. Milieubewuste consumenten kunnen wel op eigen initiatief water gaan besparen, maar dit zal geen gevolgen hebben op grote schaal. Mogelijke drijfveren om toch meer waterbesparing te promoten zijn de energiebesparing wanneer minder water opgewarmd hoeft te worden, en de afvalwaterzuivering. Wanneer er minder water gezuiverd hoeft te worden, bespaart dit ook weer energie, en is het eenvoudiger nutriënten terug te winnen (omdat de concentraties hoger zijn) [Zeeman, 2012].
Uit beide vorige hoofdstukken is duidelijk geworden dat de grootste waterbesparing kan plaatsvinden door de douchekop aan te passen, en door een ander type toilet te gebruiken. Aannemende dat de besparing in de douche ongeveer 50% bedraagt en aan de kraan 40%, en dat iedereen massaal zou overstappen op een zuiniger toilet (verbruik 20 L/dag), dan zou het dagelijks waterverbruik per persoon dalen van 120 L (in 2010) naar 84 L (Figuur 4-1). Bij massaal gebruik van composttoiletten (wat niet erg aannemelijk is) zou dit zelfs 64 L per dag worden. Een vermindering van het waterverbruik met 35% is theoretisch mogelijk. Afgaand op internationale studies, lijkt een afname van 20% realistisch, zeker ook omdat in Nederland nog geen actief beleid wordt gevoerd om waterbesparing aan te moedigen.



Figuur 4-1: Mogelijke effecten van alternatieve sanitatie op het toekomstig drinkwatergebruik in Nederland

Uit een onderzoek van Blokker et al. [Blokker en Vloerbergh, 2011] blijkt dat er diverse factoren zijn die een verdergaande waterbesparing beïnvloeden. Dit hangt ondermeer af van de economische situatie, de mate van globalisering, en van mogelijke klimaatveranderingen. Vooral het "buitengebruik" is afhankelijk van eventuele klimaatveranderingen: hoe belangrijk vinden mensen het om hun tuin te sproeien (met drinkwater)? De economische en politieke situatie is ook erg bepalend voor de bereidheid van mensen om te investeren in waterbesparende apparatuur.
Inmiddels zijn er enkele proefprojecten uitgevoerd, waarbij een nieuwbouwwijk werd voorzien van bijvoorbeeld vacuümtoiletten en een kleinschalige afvalwaterzuiveringsinstallatie (DeSaH in Sneek,)
In Sneek werken o.a. Wetsus, de gemeente, de Universiteit Wageningen, de provincie en een woningcorporatie samen, en is een substantiële waterbesparing bereikt. De proef lijkt succesvol, en dus wordt op het ogenblik een groter project, met meer woningen, uitgewerkt.

5 Wettelijke regelingen en mogelijkheden

Technisch is er veel mogelijk om drinkwater te besparen, maar de vraag is of, en zo ja, hoe dit te combineren is met wettelijke vereisten en richtlijnen.

5.1 Drinkwater

Stel dat het waterverbruik inderdaad met 20% afneemt, is het dan reëel te veronderstellen dat in het leidingnet met kleinere diameters volstaan kan worden?
Op de eerste plaats is het niet reëel ervan uit te gaan dat het waterleidingnet op korte termijn vervangen zal worden. Uiteraard wordt er bij reguliere vervanging rekening gehouden met toekomstverwachtingen [Blokker, E.J.M. en A.J. Vogelaar, 2011]. In het Drinkwaterbesluit van 2011 (artikel 46) wordt ook expliciet aangegeven dat rekening moet worden gehouden met een prognose van minstens tien jaar. De dimensionering van het leidingnet is echter niet gebaseerd op het gemiddelde gebruik maar op het piekgebruik, omdat juist onder die omstandigheden voldoende water en druk gegarandeerd moeten kunnen worden. Uit onderzoek van [Blokker en Vloerbergh, 2011] is gebleken dat het gemiddelde gebruik wel kan afnemen, maar dat dit slechts een klein effect zal hebben op het piekverbruik. Dit geeft weinig mogelijkheden om de dimensionering van het leidingnet dus aan te passen als het gemiddelde gebruik zou afnemen. Bovendien zijn er allerlei wettelijke bepalingen waaraan het leidingnet (juist tijdens piekgebruik) moet voldoen.
In de Drinkwaterwet van 3 sept. 2009 (artikel 32) is vastgelegd dat drinkwaterbedrijven ervoor moeten zorgen dat er deugdelijk drinkwater wordt geleverd in een zodanige hoeveelheid en onder een zodanige druk als in het belang van de volksgezondheid vereist is. In het drinkwaterbesluit van 21 juni 2011 wordt hier in meer detail op ingegaan. Drinkwaterbedrijven moeten de kwaliteit van het drinkwater na de laatste zuiveringsstap en aan het tappunt bewaken, en voorkomen dat er verontreinigingen in het leidingnet optreden. Bovendien moeten ze de hoeveelheid afgeleverd water en de druk in het leidingnet van het drinkwaterbedrijf bewaken (artikel 15). In artikel 21 (Aanleg en herstel transport- en distributienet) wordt gesteld dat de leidingen worden aangelegd in overeenstemming met NEN 3650 (veiligheidseisen voor buisleidingsystemen), NEN 3651 (aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken), NEN 7171-1 (Goede ordening ondergrondse netten – Deel 1: criteria) en NPR 7171-2 (Goede ordening ondergrondse netten – Deel 2: procesbeschrijving). Om verontreiniging van het drinkwater te voorkomen moet bij aanleg en herstel van watervoorzieningswerken en distributienet gewerkt worden in overeenstemming met de “Hygiënecode Drinkwater” (BTO 2001.175) [Meerkerk en Kroesbergen, 2010]. Volgens dit rapport moet het transport- en distributieleidingnet niet worden overgedimensioneerd om achteruitgang in de kwaliteit als gevolg van lange verblijftijden te voorkomen. Een dergelijke achteruitgang manifesteert zich in afnemende zuurstofgehalten, nagroei van micro-organismen en sedimentophoping in het leidingnet. De diameters van de leidingen moeten dan ook zodanig zijn, dat onder normale omstandigheden de snelheden in de transport-, distributie-, en aansluitleidingen hoog genoeg zijn om een beperkte verblijftijd te garanderen. Bovendien is een eenduidige stromingsrichting in de leiding gewenst. Volgens het Drinkwaterbesluit (artikel 45) moet de inrichting van het distributienet en de productiecapaciteit het mogelijk maken om op een willekeurig moment van de dag in één uur tijd 1000 liter water op het leveringspunt van een enkelvoudige huishoudelijke installatie te leveren, terwijl de druk ter plaatse van het leveringspunt tenminste 150 kPa ten opzichte van het maaiveld is.
Het ontwerp van distributienetten moet conform SWE 99.011 [Boomen en Vreeburg, 1999] plaatsvinden. Dit houdt in dat een minimumsnelheid van 0,4 m/s gehaald moet worden om een zelfreinigend net mogelijk te maken. Uit praktische overwegingen (geluidsoverlast en drukverlies) mag de maximale snelheid niet hoger zijn dan 1,5 m/s. Daarnaast worden er aan het leidingnet eisen gesteld in verband met de bluswatervoorziening: een debiet van 30 m^3/uur, en leidingdiameters van minstens 63 mm waarop brandkranen worden aangesloten. Op grond hiervan kan geconcludeerd worden, dat het bij een

gemiddelde afname van het drinkwaterverbruik van circa 20% niet mogelijk zal zijn bijvoorbeeld de diameters in het leidingnet te verkleinen, omdat dan niet meer aan de bepalingen voor de bluswatervoorziening en aan het Drinkwaterbesluit (artikel 45) kan worden voldaan. Als het niet mogelijk is om de diameters te verkleinen, betekent dit bij een afnemend gemiddeld verbruik dat er rekening gehouden moet worden met een langere verblijftijd van het water in het distributienet. Zoals boven vermeld kan dit gevolgen hebben voor ophoping van sediment, het zuurstofgehalte van het water, en nagroei van micro-organismen. Wat de minimale hoeveelheid drinkwater is die door het leidingnet moet stromen om de kwaliteit te kunnen blijven garanderen is onderwerp van een Speerpuntonderzoek van Waternet en WML, dat in 2013 door KWR zal worden uitgevoerd.
Bij de nagroei van micro-organismen spelen het AOC- en NOM-gehalte van het water een rol. Voor de drinkwaterbedrijven zal dit betekenen, dat ze hier in hun zuiveringsprocessen rekening mee moeten gaan houden. Een effect dat hierbij ook een belangrijke rol kan spelen, is de opwarming van het water in het leidingnet. Dit kan bij langere verblijftijden plaatsvinden in binneninstallaties en in leidingen die dicht aan het oppervlak gelegen zijn, en kan ook gevolgen hebben voor de nagroei van micro-organismen. Een betere kennis van de processen die plaatsvinden in het distributienet in relatie tot de temperatuur is nodig om deze gevolgen te kunnen inschatten, en eventueel maatregelen te kunnen nemen.
Aangezien wettelijk is vastgelegd dat alleen bepaalde drinkwaterbedrijven een vergunning krijgen om drinkwater aan consumenten te leveren, is het niet mogelijk om consumenten zelf drinkwater te laten produceren. In principe kunnen de huidige zuiveringstechnieken steeds kleinschaliger en handzamer worden ingezet, zeker als ook sensoring nog verder wordt doorontwikkeld. Dan zou kleinschalige waterproductie (op wijkniveau) zeer wel denkbaar worden, zeker als dat ook gebeurt met energie en afvalwaterzuivering. De wetgeving zou hiervoor dan wel aangepast moeten worden.

5.2 Huishoudwater en gezuiverd afvalwater

In het verleden zijn op grote schaal experimenten uitgevoerd met huishoudwater: water van een mindere kwaliteit dan drinkwater, dat via een apart leidingnet door drinkwaterbedrijven aan huishoudens werd geleverd. Het werd gebruikt voor toiletspoelingen en wasmachines. Dit leverde echter gezondheidsproblemen op bij gebruikers, omdat er fouten gemaakt werden in aansluitingen. Daarom is het gebruik van huishoudwater sinds 2003 verboden, zoals ook verwoord in artikel 3 van het drinkwaterbesluit. Volgens artikel 4 en 5 mag alleen regenwater, opgevangen op het dak, of grondwater worden gebruikt om huishoudwater te maken, en mag het dan alleen worden toegepast voor de spoeling van het toilet. Indien de hoeveelheid huishoudwater hiervoor ontoereikend is, moet drinkwater worden gebruikt. In België is het in de bouwvoorschriften opgenomen dat er zoveel mogelijk voorzieningen moeten worden getroffen voor regenwateropvang. Daarmee komt een vorm van "huishoudwater" weer in beeld.
In Australië zijn goede resultaten geboekt met het inzetten van gezuiverd afvalwater voor bijvoorbeeld toiletspoelingen, het sproeien van de tuin, en de bluswatervoorziening. In Nederland is dit vooralsnog niet toegestaan. Wel schijnt het mogelijk te zijn om gezuiverd water van de douche te gebruiken voor toiletspoeling in huis, maar er mag geen leidingnet worden aangelegd om gezuiverd water van RWZI's te distribueren naar klanten.
Een mogelijkheid voor nieuwbouwwijken is om per wijk een afvalwaterzuiveringsinstallatie te hebben. In principe mag een huishouden geen afvalwater in de bodem of op het oppervlaktewater lozen, maar er kan ontheffing worden gegeven mits het water eerst gezuiverd wordt, en het daarna geen milieuproblemen meer veroorzaakt [Lozingenbesluit WvO huishoudelijk afvalwater (1997); Regeling lozing afvalwater huishoudens (2007); Besluit lozing afvalwater huishoudens (2007), artikel 3 t/m 11]. Het lozen van gezuiverd afvalwater op het riool is ongunstig voor een RWZI, omdat dit water te weinig voedingsstoffen bevat voor de biologische processen waarop de zuivering in een RWZI gebaseerd is.

6 Gevolgen voor de waterzuivering

Het is aannemelijk dat de watervraag de komende tien tot twintig jaar zal afnemen door toepassing van waterbesparende apparatuur. In theorie zou dit tot een afname van ruim 50% kunnen leiden, maar 20% lijkt een realistischer schatting. Het aanpassen van het waterleidingnet is geen optie, aangezien het ontwerp hiervan is gebaseerd op piekbelastingen, en die waarschijnlijk niet veel zullen veranderen [Blokker en Vloerbergh, 2011]. Bovendien is de dimensionering van het leidingnet aan allerlei wettelijke eisen verbonden, die het gebruik van bijvoorbeeld kleinere diameters niet mogelijk maken.
Het gevolg hiervan zal zijn dat de verblijftijd van het water in het leidingnet (iets) zal toenemen. Hier kan in het leidingnet wel iets aan gedaan worden, door bijvoorbeeld bij het ontwerp van nieuwe leidingsystemen of vervanging van oude leidingnetten, rekening te houden met de mate waarin het net vermaasd is. Het is echter vaak de vraag hoe lang de verblijftijd van het water in het leidingnet precies is, en daarmee hangt samen de vraag of een langere verblijftijd een probleem kan zijn. Dit is op het ogenblik nog niet altijd bekend. In het Speerpuntonderzoek van 2013 zal aandacht worden besteed aan de vraag welke minimale hoeveelheid drinkwater door het leidingnet nodig is om de kwaliteit te kunnen blijven garanderen. Vooral de waarborging van de biologische stabiliteit is hierbij een onderzoeksvraag die nog volop in ontwikkeling is.
Een langere verblijftijd in het leidingnet zou wel gevolgen kunnen hebben voor de waterzuivering. Om nagroei in het net te voorkomen, is het van belang zo min mogelijk gemakkelijk (AOC) en moeilijk (biopolymeren) afbreekbaar organisch materiaal en biomassa in het water te hebben. Aangezien bij toepassing van omzettingsprocessen als (geavanceerde) oxidatie AOC wordt gevormd, zal in de zuivering aandacht moeten worden besteed aan de verwijdering hiervan. In het verleden is veel aandacht geschonken aan de verwijdering van AOC in de zuivering door actieve kool. Actieve kool verwijdert AOC efficiënt door biologische activiteit en adsorptie. Mogelijk dat duinfiltratie ook een optie kan zijn voor sommige drinkwaterbedrijven, maar AOC-verwijdering door duinfiltratie is niet zo intensief bestudeerd als AOC-verwijdering door actieve koolfiltratie. Daarnaast is nog onderzoek nodig naar de vraag welke rol natuurlijk organisch materiaal (NOM; bv moeilijk afbreekbaar organisch materiaal) en biomassa spelen in de nagroeiproblematiek en hoe deze componenten het beste kunnen worden verwijderd in de zuivering. Dit speelt niet alleen een rol in de drinkwaterzuivering, maar ook bij biofouling van membranen, die kunnen worden toegepast om bijvoorbeeld organische microverontreinigingen te verwijderen. De optimale zuivering bestaat uit een combinatie van verschillende technieken, zodat microverontreinigingen, fecale ziekteverwekkende micro-organismen en biologisch afbreekbaar organisch materiaal in voldoende mate worden verwijderd. Welke combinatie het meest optimaal is, hangt niet alleen af van technische en plaatselijke factoren, maar ook van economische.
Een langere verblijftijd in het distributienet kan ook gevolgen hebben voor de neerslag en opwerveling van deeltjes in de leidingen, en mogelijk voor groei van bepaalde type micro-organismen (bv opportunistisch pathogenen en *Aeromonas*). Ook dit zijn onderwerpen die nader onderzoek vereisen, en die gevolgen kunnen hebben voor de waterzuivering.
Daarnaast is het mogelijk dat een langere verblijftijd van het water in het distributienet in de zomer leidt tot opwarming van het water in het distributiesysteem. Dit effect zal verder worden versterkt als de klimaatverandering tot hogere zomertemperaturen gaat leiden. Hogere drinkwatertemperaturen hebben mogelijk een effect op de samenstelling van de microbiële gemeenschap in drinkwater en zouden kunnen leiden tot hogere aantallen opportunistische pathogenen (Legionella pneumophila, Pseudomonas aeruginosa, nontuberculeuze mycobacteriën, pathogenene schimmels en Stenotrophomonas maltophilia, aangezien dergelijke micro-organismen zich vermenigvuldigen bij hogere temperaturen. Om de effecten van hogere drinkwatertemperaturen op de groei van (specifieke) micro-organismen te weten is nader onderzoek nodig. Dergelijk onderzoek is momenteel onderdeel van het collectieve BTO-onderzoek en wordt begeleid door de themagroep Biologische Activiteit.

7 Conclusies

Er zijn diverse waterbesparende apparaten op de markt, en sommige hiervan (bijvoorbeeld vacuümtoiletten) zijn technisch dusver ontwikkeld, dat grootschalige toepassing mogelijk is. In Nederland is er (nog) geen officieel beleid om het gebruik van dergelijke apparatuur te stimuleren, of om mensen bewust te maken van hun waterverbruik. Daarom lijkt het niet aannemelijk dat binnen korte tijd de watervraag aanzienlijk zal afnemen. Een afname van circa 20% op een termijn van tien tot twintig jaar lijkt echter wel mogelijk te zijn.
Het aanpassen van het waterleidingnet aan een afnemende watervraag is geen optie, aangezien de dimensies van het leidingnet bepaald worden door de watervraag tijdens piekbelastingen, en de wettelijke bepalingen voor hiervoor aanpassing niet toestaan. Wanneer de gemiddelde watervraag afneemt, heeft dit gevolgen dus gevolgen voor de verblijftijd van het water in het net. Of dit een probleem is, moet nog onderzocht worden. Vaak is onbekend hoe lang de verblijftijd van het water in het net precies is. Bovendien is onderzoek nodig om vast te stellen of dit gevolgen heeft voor mogelijke nagroei in het net, en hoe dit het beste voorkomen kan worden. De rol van NOM, deeltjes en eventueel gevormd AOC moet worden vastgesteld, evenals de optimale manier om deze te verwijderen c.q. vorming ervan te voorkomen. Daarnaast zal onderzoek moeten worden verricht naar de gevolgen van een langere verblijftijd op de vorming van neerslag in de leidingen.
In het verleden zijn distributienetten altijd gedimensioneerd op een verwacht veel groter waterverbruik: toename tot 300 l/ppd en meer. Er zijn daardoor ongetwijfeld nog leidingen te vinden die nu nog steeds te groot zijn. Dit biedt mogelijkheden voor onderzoek naar de effecten die optreden bij langere verblijftijden.

8 Literatuur

www.ecoplay.nl

www.kraanwater.nu

http://www.mijnhuisinstallatie.nl

http://nl.wikipedia.org/wiki/Drinkwater.nl

http://www.praktischduurzaam.nl

http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/verslagen/2009/07/20/waterbesparende-maatregelen.html

Besluit lozing afvalwater huishoudens (2007)

Blokker, E.J.M., Vogelaar, A.J. (2011). Ontwerpen secundair leidingnet, KWR, Nieuwegein. Rapport BTO 2011.025

Blokker, M. , Vloerbergh, I.N. (2011) Kwantitatieve toekomstscenario's waterverbruik; SIMDEUM ingezet voor het berekenen van totaal en piekverbruik; BTO 2011.060

Boomen, M., Vreeburg, J.H.G. (1999) Nieuwe ontwerprichtlijnen voor distributienetten; SWE 99.011

Carragher, B.J., Steward, R.A., Beal, C.D. (2012) Quantifying the influence of residential water applicance efficiency on average day diurnal demand patterns at an end use level: a precursor to optimized water service infrastructure planning; Res.Conser.Recycl., 62, 81-90

Damanhouri, M.S., Mazahreh, A.S., Hammad, H., Al-Shawabkeh, A.F., Al-Saraireh, K.S. (2010) Effect of raising the environmental awareness on reducing kitchen water consumption by Jordanian families living in Amman City; Am. J. Appl. Scie., 7 (8), 1123-1128

Damanhouri, M.S. (2012) Impact of training program to rationalize consumption of domestic water usages; Am. J. Appl. Sci., 9 (8), 1188-1193

Drinkwaterwet (2009)

Drinkwaterbesluit (2011)

Inman, D., Jeffrey, P. (2006) A review of residential water conservation tool performance and influences on implementation effectiveness; Urban Wat. J., 3 (3), 127-143

Foekema, H., van Thiel, L. (2011); Watergebruik thuis 2010; C7455 | 28 januari 2011; Vewin rapport.

Kenney, D.S., Goemans, C., Klein, R., Lowrey, J., Reidy, K. (2008) Residential water demand management: lessons from Aurora, Colorado; J. Am.Wat.Res.Ass., 44 (1), 192-207

Keshavarzi, A.R., Sharifzadeh, M., Kamgar Haghighi, A.A., Amin, S. (2006) Rural domestic water consumption behavior: a case study in Ramjerd area, Fars province, I.R. Iran; Wat.Res. 40, 1173-1178

Lozingenbesluit Wvo huishoudelijk afvalwater (1997)

Meerkerk, M.A., Kroesbergen, J. (2010) Hygiënecode drinkwater, BTO 2001.175, 2de editie

Mitchell, V.G. (2006) Applying integrated urban water management concepts: a review of Australian experience. Environm.Managment 37 (5), 589-605

NEN 3650 (2012) Veiligheidseisen voor buisleidingsystemen

NEN 3651 (2012) Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken

NEN 7171-1 (2009) Goede ordening ondergrondse netten – Deel 1: criteria

NEN 7171-2 (2009) Goede ordening ondergrondse netten – Deel 2: procesbeschrijving

Regeling lozing afvalwater huishoudens (2007)

www.Vewin.nl

Willis, R.M., Stewart, R.A., Panuwatwanich, K. Jones, S., Kyriakides, A. (2010) Alarming visual display monitors affecting shower end use water and energy conservation in Australian residential households; Resources, Conservation and Recycling, 54, 1117-1127

Willis, R.M, Stewart, R.A., Emmonds, S.C. (2010) Pimpama-Coomera dual reticulation end use study: pre-commision baseline, context and post-commission end use prediction; Wat. Sci.Technol. Wat.Suppl, 10 (3), 302-314

Willis, R.M., Steward, R.A., Williams, P.R., Hacker, C.H., Emmonds, S.C., Capati, G. (2011) Residential potable and recycled water end uses in a dual reticulated supply system; Desal. 272, 201-211

Willis, R.M., Stewart, R.A., Panuwatwanich, K., Williams, Ph.R., Hollingsworth, A.L. (2011) Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption; J. Environm.Managm, 92, 1996-2009

Zeeman, G., (2012) Wageningen Universiteit; Persoonlijke communicatie

Postbus 1072 3430 BB Nieuwegein T 030 606 95 11 F 030 606 11 65 E info@kwrwater.nl I www.kwrwater.nl