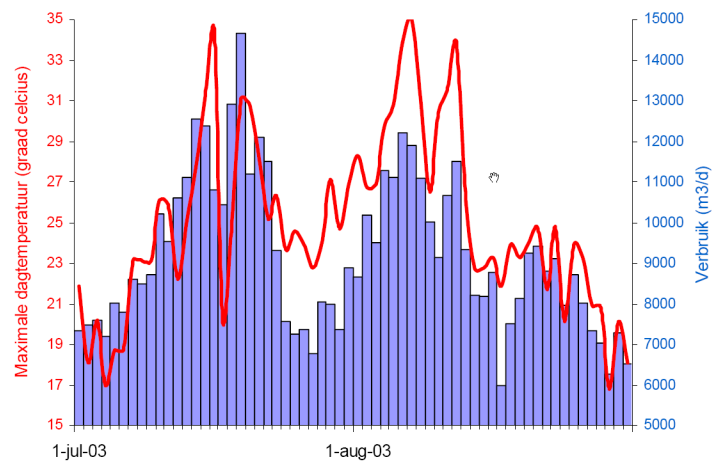


BTO 2008.007 (s)
augustus 2008

Klimaatverandering en de gevolgen voor waterdistributie – *een inventarisatie van onderzoeksbehoeften*



BTO 2008.007 (s)
augustus 2008

Klimaatverandering en de gevolgen voor waterdistributie - *een inventarisatie van onderzoeksbehoeften*

© 2008 Kiwa Water Research
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.

Kiwa Water Research
Groningehaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511
Fax 030 60 61 165
Internet www.kiwa.nl

Colofon

Titel

Klimaatverandering en de gevolgen voor
Waterdistributie - een inventarisatie van
onderzoeksbehoeften

Projectnummer

B111629

Projectmanager

Drs. P.G.G. Slaats

Kwaliteitsborgers

Dr. Ir. J.H.G. Vreeburg, Ir. E.J.M. Blokker

Auteurs

Drs. K.H.A. van Daal, Drs. P.G.G. Slaats

Dit rapport is selectief verspreid onder medewerkers van BTO-participanten en is verder niet openbaar.

Samenvatting

Uit diverse onderzoeken komt naar voren dat het klimaat aan het veranderen is. Hoewel Nederland en de wereld zich sterk maken om klimaatverandering zoveel mogelijk te beperken moet men zich toch voorbereiden op een veranderend klimaat. Een veranderend klimaat heeft ook invloed op de drinkwatersector. Het is belangrijk voor de drinkwaterbedrijven de veranderingen en effecten van klimaatverandering duidelijk in kaart te brengen, zodat ingespeeld kan worden op de effecten.

Literatuuronderzoek wijst uit dat het klimaat invloed heeft op verschillende gebieden die raken aan de distributie van drinkwater. In het voorliggend onderzoek is gekeken naar veranderende vraagpatronen, faalkans van leidingen en de gevolgen voor kwaliteit van het drinkwater in het distributienet.

Vraagpatronen

Uit het onderzoek komt naar voren dat het klimaat (temperatuur en neerslag) een invloed heeft op het waterverbruik. Op basis van de (beperkte) beschikbare gegevens lijkt de invloed sterk afhankelijk van de aard van het voorzieningsgebied. In landelijk gebied neemt het waterverbruik toe door klimaatverandering. In stedelijk gebied is er beperkte invloed van een veranderend klimaat op het verbruik.

Om de invloed van klimaatverandering op het waterverbruik in te kunnen schatten is verbetering van de techniek van het modelleren nodig. De tot op heden beschikbare tijdreeksanalysemethoden hebben moeite met het goed modelleren van extremen in de waterverbruiksreeksen. Deze extremen kunnen echter cruciaal zijn bij de vraag of een productielocatie of distributienet wel voldoende goed is ingericht op mogelijke veranderingen als gevolg van klimaatverandering.

Om te bepalen wat het effect van een veranderend verbruik is op het distributienet kan geen gebruik worden gemaakt van historische verbruiksmetingen. Hiervoor kan echter uitstekend het simulatiemodel SIMDEUM toegepast worden. Dit model kan worden ingezet voor het bepalen van het effect van de verschillende klimaatscenario's op het huishoudelijk waterverbruik en de gevolgen daarvan voor de productie en distributie van drinkwater.

Faalkans

AC-leidingen ouder dan 40 jaar kunnen meer storingen gaan vertonen door een veranderend klimaat (drogere perioden). Voor AC-leidingen jonger dan 40 jaar kan met de huidige storingsgegevens geen relatie worden gevonden tussen storingen en weersomstandigheden. Het aantal storingen kan echter niet volledig verklaard worden door de weersomstandigheden (temperatuur, neerslag, verdamping en wind). Mogelijk spelen andere factoren, zoals waterverbruik, ook een rol.

Omdat de kans op lange droge periodes in een aantal klimaatscenario's toeneemt, is het aan te bevelen de relaties tussen lange, droge periodes en het

optreden van storingen nader te onderzoeken. Een goede storingsregistratie is daarvoor van belang.

Daarnaast kunnen stormen leiden tot het omwaaien van bomen en, via de boomwortels, tot het falen van leidingen. In klimaatmodellen van het KNMI wordt berekend dat de zwaarte van zware stormen iets zal toenemen en dat de zwaarste stormen op gaan treden in het winterhalfjaar, waarin meer neerslag zal vallen. De kans op storingen in het winterhalfjaar neemt daardoor toe.

Waterkwaliteitsproblemen

De temperatuur van het drinkwater in het leidingnet kan door twee oorzaken hoger worden:

- de temperatuur van het oppervlaktewater neemt toe, waardoor de temperatuur 'af pompstation' toeneemt;
- het drinkwater in het leidingnet kan opwarmen in de zomer, bijvoorbeeld ten gevolge van opwarming van het bovengedeelte.

In 2008 is onderzoek gestart om de opwarming van het water in het distributienet nader te kwantificeren.

Uitkomsten workshops

Tijdens workshops met experts uit de distributiesector is naar voren gekomen dat de distributiesector vooral belangstelling heeft voor mogelijke effecten op het verbruik.

Door klimaatverandering integraal te bekijken (in combinatie met andere ontwikkelingen) en structureel te concretiseren wat voor waterdistributie van belang is, kunnen de gevolgen van de trends voor waterdistributie in perspectief geplaatst worden; als klimaatverandering werkelijk problemen oplevert voor waterdistributie, hoe groot is het probleem dan; wat zijn de aard en omvang van eventuele problemen?

Inhoud

	Samenvatting	1
	Inhoud	3
1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doelstelling	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Klimaatverandering	7
2.1	Wereldwijde klimaatverandering	7
2.2	Ontwikkeling van het Nederlandse klimaat	7
2.3	KNMI Klimaatscenario's	9
2.4	WB21 scenario's	13
3	Veranderende vraagpatronen	15
3.1	Algemeen	15
3.2	Drukproblemen en watertekorten	19
3.3	Conclusies en aanbevelingen	21
4	Storingen van leidingen	23
4.1	Algemeen	23
4.2	Invloed van weersomstandigheden op storingen in leidingen	23
4.3	Conclusies en aanbevelingen	26
5	Gevolgen voor waterkwaliteit	27
5.1	Temperatuurverhoging	27
5.2	Overstromingen	29
5.3	Conclusies en aanbevelingen	30
6	Onderzoeksbehoeften	31
6.1	Algemeen	31
6.2	Workshop Klimaatverandering en distributie	31
6.3	Workshop Waterdistributie van de toekomst	31
6.4	Vervolgonderzoek	32
7	Literatuur	35

I	WB21 en KNMI'06 scenario's: overeenkomsten en verschillen	39
1.1	Overeenkomsten	39
1.2	Verschillen	39

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Weerrecords worden de laatste jaren keer op keer verbroken. De zachtste winter ooit, de droogste juli, de warmste augustus. Kortom, het klimaat is aan het veranderen. Uit diverse onderzoeken komt naar voren dat de temperatuur in de afgelopen eeuw is gestegen en dat er meer extremen voor zullen komen (IPCC, 2007).

Nederland en de wereld maken zich sterk om klimaatverandering zoveel mogelijk te beperken. Toch is het nagenoeg zeker dat de invloed van de mensheid op het klimaat de komende tijd zal blijven bestaan (PPCC, 2007) en zal er rekening gehouden moeten worden met de effecten van klimaatverandering.

Een veranderend klimaat heeft ook invloed op de drinkwatersector. Zo zullen veranderingen in temperatuur en neerslag wellicht leiden tot meer incidenten zoals meer storingen en problemen met de waterkwaliteit. Door de mogelijke effecten van klimaatveranderingen in kaart te brengen kunnen maatregelen worden getroffen om die effecten in de toekomst zo veel mogelijk te beperken.



Figuur 1. Waterballet na een leidingbreuk

1.2 Doelstelling

Het doel van dit project is het bundelen van de kennis van de invloed van het klimaat op drinkwaterdistributie en vaststellen waar de onderzoeksbehoefte ligt.

1.3 Leeswijzer

Allereerst wordt de klimaatverandering nader toegelicht, met specifiek aandacht voor het Nederlandse klimaat en de verwachte veranderingen voor Nederland (hoofdstuk 2).

Hoofdstuk 3 gaat in op veranderende vraagpatronen, hoofdstuk 4 gaat in op de gevolgen voor storingen in leidingen en hoofdstuk 5 gaat over de mogelijke gevolgen van klimaatverandering op de drinkwaterkwaliteit gedurende de distributie.

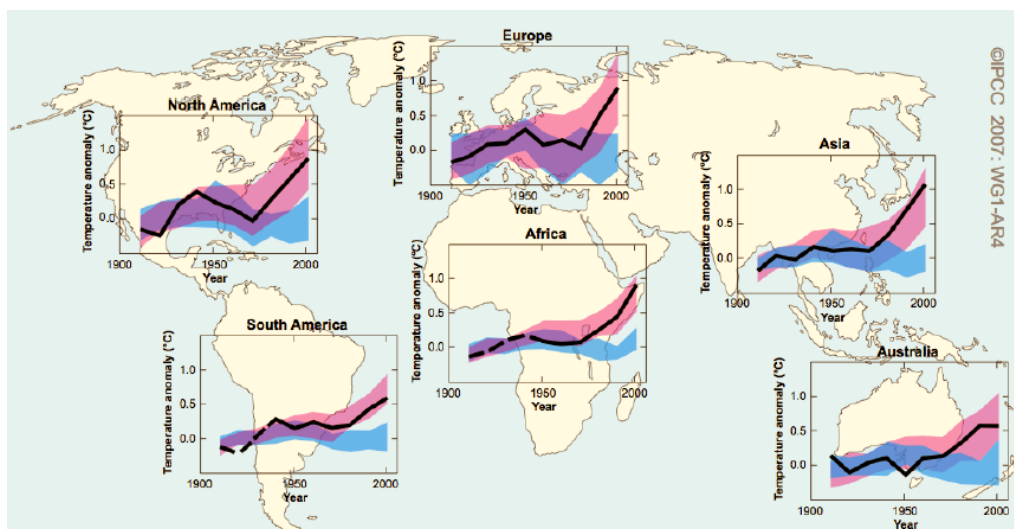
Hoofdstuk 6 gaat in op uitkomsten van twee workshops waarin het onderwerp 'Klimaatverandering en waterdistributie' is besproken met experts uit de bedrijfstak. Op basis van de uitkomsten van de workshops zijn onderzoeksbehoeften voor *Klimaatverandering en distributie* geformuleerd.

2 Klimaatverandering

2.1 Wereldwijde klimaatverandering

Uit diverse onderzoeken komt naar voren dat het klimaat aan het veranderen is. Het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) formuleert dat de wereldgemiddelde temperatuur in de afgelopen 100 jaar tussen de 0,56 en 0,92 °C is gestegen (IPCC, 2007). De veranderingen zijn niet overal gelijk. Zie Figuur 2 voor de temperatuursverandering op de verschillende continenten. De meest gevoelige regio's voor klimaatverandering zijn de Noordpool, Afrika ten zuiden van de Sahara, Aziatische delta's en kleine eilanden (PCCC, 2007).

Klimaatmodellen berekenen voor het eind van de 21^e ten opzichte van 1990, een mondiale temperatuurstijging tussen 1,1 en 6,4 °C (IPCC, 2007). In Europa wordt een stijging verwacht, die hoger ligt dan de mondiale gemiddelde stijging (KNMI, 2006). De verwachting van het IPCC dat de mondiale temperatuur blijft stijgen is gebaseerd op de continue toename van broeikasgassen in de atmosfeer en het ontbreken van klimaatwetgeving (IPCC, 2007). Omdat het klimaatsysteem zeer complex is zijn uitspraken nooit 100% zeker. Een deel van die onzekerheid is te wijten aan de beperkingen van de huidige klimaatmodellen (PCCC, 2007).

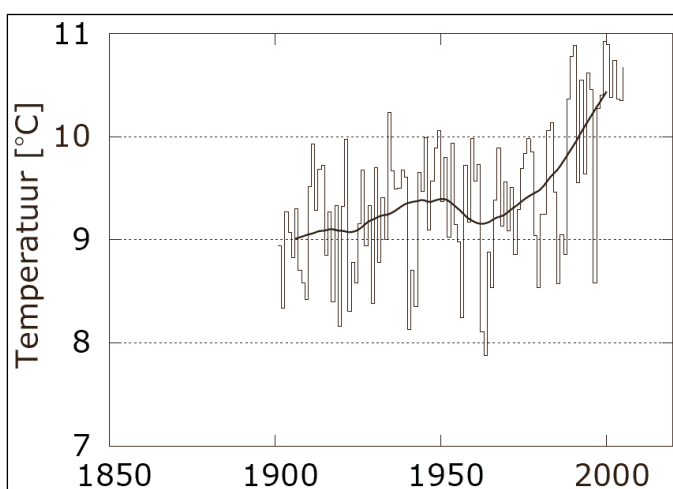


Figuur 2. De gemeten temperatuursverandering op de continenten. De zwarte lijn geeft de 10 jaargemiddelden van de metingen weer (IPCC, 2007).

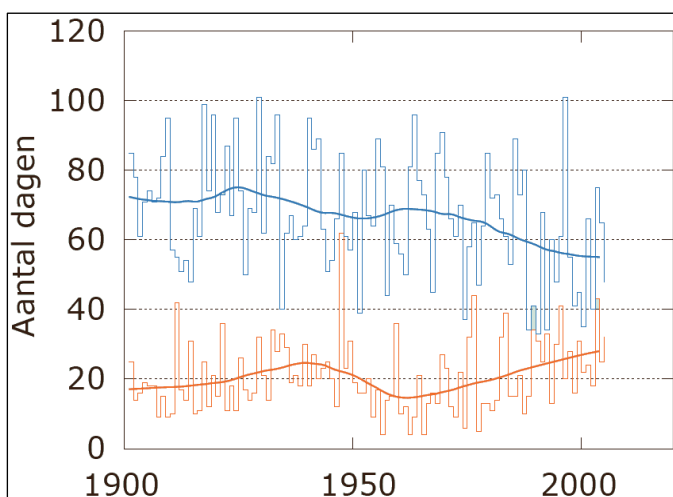
2.2 Ontwikkeling van het Nederlandse klimaat

De wereld warmt op en het Nederlandse klimaat ook. Elk van de afgelopen vijf jaren is ruim warmer dan het langjarige gemiddelde geweest. Het KNMI rapporteert regelmatig over de waargenomen ontwikkeling van het Nederlandse klimaat vanuit een meteorologisch perspectief en beschrijft de toestand van het klimaat in Nederland zoals dat in de afgelopen jaren zich heeft ontwikkeld (KNMI 2006, 2008).

Als men kijkt naar een tijdschaal van langer dan 10 jaar liep de gemiddelde temperatuur in Nederland tot een aantal jaren geleden redelijk parallel aan de wereldgemiddelde temperatuur. De temperatuurstijging lijkt nu iets sneller te gaan: Nederland is sinds 1950 twee keer zo snel opgewarmd als de wereldgemiddelde temperatuur. Die snellere opwarming wordt met zeer grote waarschijnlijkheid niet veroorzaakt door natuurlijke schommelingen. De temperaturen van herfst 2006, winter 2007 en voorjaar 2007 zijn - zelfs als we rekening houden met de snellere opwarming van Nederland - uitzonderlijk grote afwijkingen boven de trend (KNMI, 2008). Sinds 1900 is de temperatuur in Nederland met gemiddeld 1,2 °C gestegen (zie Figuur 3). Tegelijkertijd is het aantal vorstdagen (minimum temperatuur < 0°C) afgenomen en het aantal zomerse dagen (maximum temperatuur ≥ 25°C) toegenomen (zie Figuur 4).



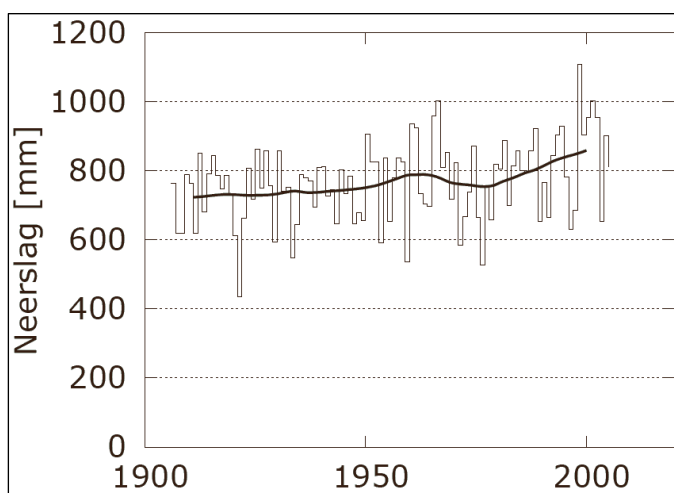
Figuur 3 Gemiddelde jaartemperatuur in De Bilt. De dikke zwarte lijn toont het 30-jaar voortschrijdend gemiddelde (KNMI, 2006)



Figuur 4 Het aantal zomerse dagen in De Bilt is weergegeven in rood en het aantal vorstdagen in De Bilt in blauw. (KNMI, 2006)

Het neerslagbeeld in Nederland komt overeen met het neerslagbeeld van de noordelijke helft van Europa (Bruin, 2002). Volgens het KNMI is de gemiddelde jaarlijkse neerslag in Nederland toegenomen met 18 procent (KNMI, 2006 en 2008), zie figuur 5. De

neerslagsom kent echter een grote variabiliteit van jaar tot jaar. In de afgelopen vijf jaar waren 2007 en 2004 nat en 2003 was een droog jaar. In 2005 en 2006 week de neerslagsom gemiddeld over het land niet veel af van het langjarige gemiddelde. De laatste jaren is er sprake van een groot aantal dagen met zware neerslag in Nederland. Dit is in lijn met de KNMI-klimaatscenario's waarin een toename van de hevigheid van buien in de zomer wordt voorzien.



Figuur 5 Gemiddelde jaarlijkse neerslag in Nederland (13 stations) met het voortschrijdend 30-jaar gemiddelde. (KNMI, 2006)

Nederland is te klein en de meetreeksen zijn te kort om veranderingen in het aantal zware stormen bij ons vast te kunnen stellen. Daarvoor komen ze te weinig voor. Maar volgens metingen op KNMI-stations sinds 1962 neemt het aantal periodes met sterke wind (vanaf windkracht 6 in het binnenland en vanaf windkracht 7 aan de kust) in Nederland af. De storm van 18 januari 2007 was de enige zware storm in vijf jaar. Langs vrijwel de hele kust stond geruime tijd een windkracht 10. Tijdens de storm viel bovendien bijzonder veel neerslag; op veel plaatsen 50 tot 60 millimeter in 36 uur (KNMI, 2008).

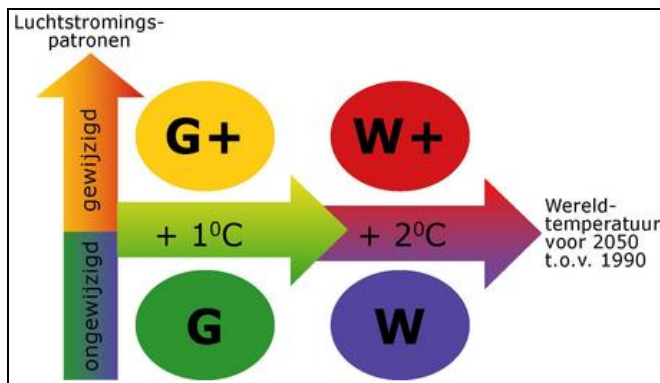
2.3 KNMI Klimaatscenario's

Eind mei 2006 heeft het KNMI vier nieuwe algemene klimaatscenario's voor Nederland gepresenteerd (KNMI, 2006). Deze scenario's zijn samengesteld op basis van de meest recente resultaten van klimaatonderzoek. Deze KNMI'06 scenario's vervangen de scenario's die in 2000 zijn opgesteld voor de Commissie Waterbeheer 21e eeuw (vaak WB21-scenario's genoemd, zie paragraaf 2.4). De klimaatscenario's zijn gebaseerd op de scenario's van het IPCC, die de mondiale klimaatscenario's voor de hele wereld produceren. Deze scenario's zijn gebaseerd op aannames over de uitstoot van broeikasgassen. Deze aannames zijn weer gebaseerd op wereldbeelden over de groei van wereldbevolking, economische groei en technologische ontwikkelingen (IPCC, 2000). Het klimaatstelsel is echter een zeer complex systeem en de veranderingen in Nederland en West Europa kunnen dan ook sterk afwijken van veranderingen op mondiale schaal (PCCC, 2007).

De nieuwe KNMI-scenario's maken gebruik van de belangrijkste mondiale klimaatmodellen, een groot aantal regionale klimaatmodellen, historische meetreeksen en recente kennis over het klimaatsysteem en klimaatverandering. Omdat de veranderingen in Nederland sterk afhangen van de mondiale temperatuurstijging en de verandering in stromingspatronen van de lucht in West Europa was het niet mogelijk de veranderingen in één scenario te vatten. Uiteindelijk heeft het KNMI ervoor gekozen om vier klimaatscenario's op te stellen om de verschillende mogelijkheden van een veranderend klimaat te kunnen beschrijven (KNMI, 2006):

- gematigd (G)
- gematigd plus (G+)
- warm (W)
- en warm plus (W+).

De 2006-scenario's zijn opgesteld voor rond het jaar 2050 en rond het jaar 2100. Figuur 6 biedt een schematisch overzicht van de vier scenario's ten opzichte van het ijkjaar 1990. In Tabel 1 staan de kengetallen van de klimaatscenario's weergegeven voor rond 2050 weergegeven. In Tabel 2 staan de kengetallen van de klimaatscenario's weergegeven voor rond 2100.



Figuur 6.
Schematisch overzicht van de
KNMI klimaatscenario's 2006
(KNMI, 2006)

Tabel 1. KNMI 2006-Klimaatscenario's voor Nederland rond 2050 (KNMI,2006)

2050	G	G+	W	W+	
Wereldwijde temperatuurstijging	+1°C	+1°C	+2°C	+2°C	
Verandering in luchtstromingspatronen in West Europa	nee	ja	nee	ja	
Winter (jan, feb, mrt)	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,1°C	+1,8°C	+2,3°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+7%	+7%	+14%
	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	0%	+2%	-1%	+4%
Zomer (jun, jul, aug)	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+6%	-19%
	potentiële verdamping	+3%	+8%	+7%	+15%

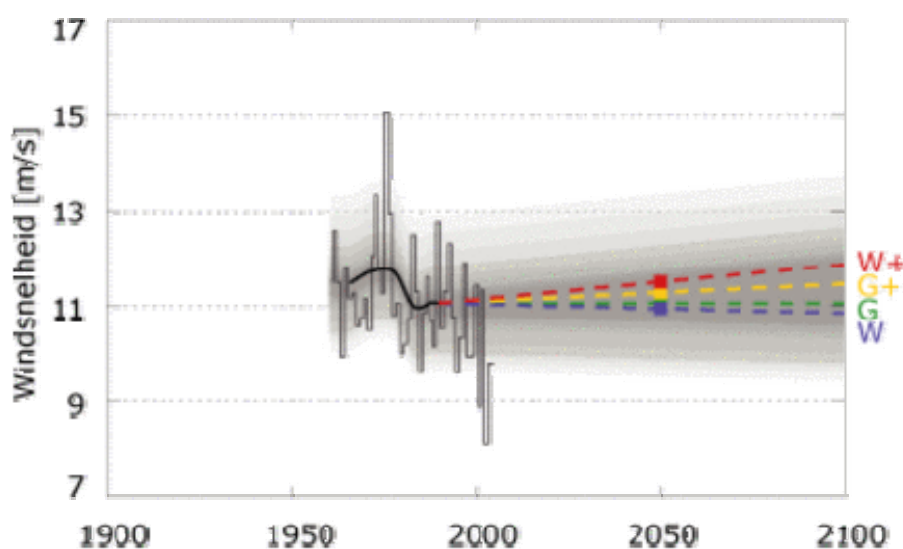
Tabel 2. KNMI 2006-Klimaatscenario's voor Nederland rond 2100 (KNMI,2006)

2100	G	G+	W	W+	
Wereldwijde temperatuurstijging in 2050	+1°C	+1°C	+2°C	+2°C	
Wereldwijde temperatuurstijging in 2100	+2°C	+2°C	+4°C	+4°C	
Verandering in luchtstromingspatronen in West Europa	nee	ja	nee	ja	
Winter (jan, feb, mrt)	gemiddelde temperatuur	+1,8°C	+2,3°C	+3,6°C	+4,6°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+7%	+14%	+14%	+28%
	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	-1%	+4%	-2%	+8%
Zomer (jun, jul, aug)	gemiddelde temperatuur	+1,7°C	+2,8°C	+3,4°C	+5,6°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+6%	-19%	+12%	-38%
	potentiële verdamping	+7%	+15%	+14%	+30%

Uit de tabel komt naar voren dat tot 2050 de temperatuur, vergeleken met het klimaat rond 1990 (1976-2005), met 2 °C stijgt en de jaarlijkse winterneerslag met 14% stijgt. Voor de zomer wordt zowel een toe- als afname verwacht. Tot 2100 zal de wereldgemiddelde temperatuur met 4 °C stijgen, vergeleken met het klimaat rond 1990. In alle scenario's neemt de neerslaghoeveelheid in de winter tussen de 7 en 28% toe. In de zomer kan zowel een toe- of afname optreden. In het meest ernstige geval neemt de neerslag rond 2100 in de zomer af met 38% (scenario W+).

Het is moeilijk om uitspraken te doen over de gevolgen van klimaatverandering op de windsituatie in Nederland. De windsituatie is erg complex en daardoor moeilijker te voorspellen dan de gevolgen voor temperatuur of neerslag. Het windklimaat wordt o.a. beïnvloed door de veranderingen in temperatuur en de regionale spreiding daarin.

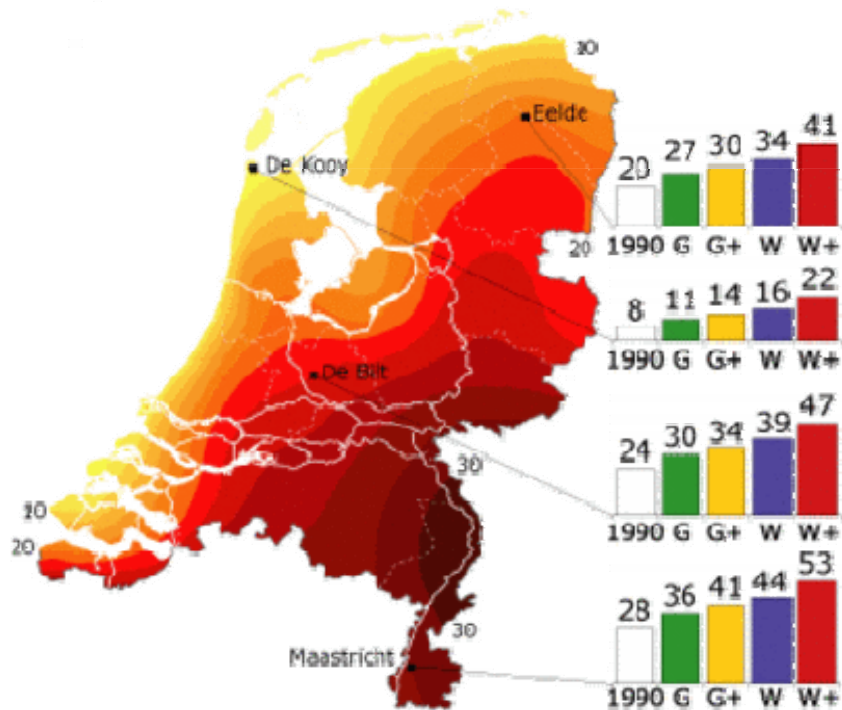
In de G en W scenario's verandert de hoogste daggemiddelde windsnelheid met 1% of minder. In de G+ en W+ scenario's is een lichte toename zien van de hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar. De toename in de hoogste daggemiddelde windsnelheid is gering en klein ten opzichte van de natuurlijke schommelingen. Klimaatmodellen berekenen dat het totaal aantal stormen licht afneemt, maar de zwaarte van zware stormen zal iets toenemen.



Figuur 7. Hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar in De Bilt tussen 1962 en 2005, en in kleur de vier klimaatscenario's (KNMI, 2006).

In de toekomst worden door de klimaatverandering meer warme dagen voorspeld. Figuur 8 geeft het gemiddeld aantal zomerse dagen (maximum temperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) per jaar voor de periode 1971-2000. Voor vier plaatsen in Nederland is per klimaatscenario de voorspelling voor het aantal zomerse dagen in 2050 gegeven (KNMI).

De verwachting is dat door de toename van de temperatuur voornamelijk steden, door de hoge mate van asfaltering, meer last krijgen van opwarming van het water in het distributienet.



Figuur 8. Op kaart het gemiddeld aantal zomerse dagen (maximum temperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) per jaar voor 1971-2000, en in grafieken de voorspelling voor het aantal zomerse dagen per klimaatscenario voor 2050 voor vier plaatsen in Nederland (KNMI)

2.4 WB21 scenario's

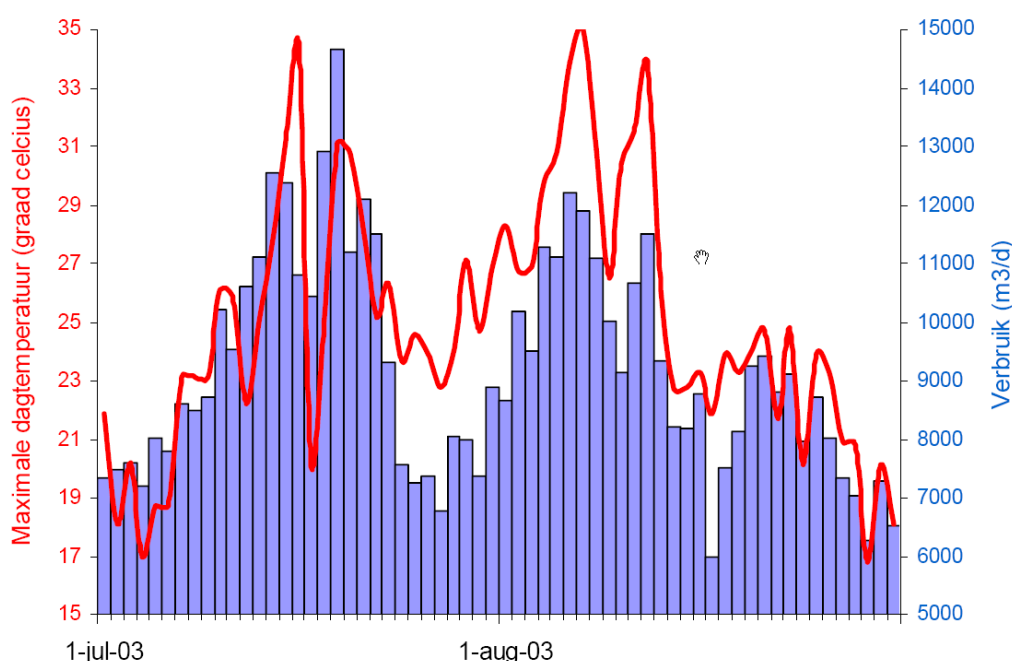
In sommige studies wordt verwezen naar de WB21 scenario's (Zwolsman et al., 2007; Cirkel et al., 2005). In 2000 heeft het KNMI op basis van de toen beschikbare resultaten van klimaatonderzoek drie algemene klimaatscenario's voor Nederland samengesteld voor de Commissie Waterbeheer 21e eeuw (WB21). Naar deze scenario's wordt vaak verwezen als de WB21-scenario's. Tussen de KNMI-2006 en de WB21 scenario's zitten verschillen. Ter vergelijking zijn de KNMI-2006 en WB21 scenario's en hun overeenkomsten en verschillen beschreven in Bijlage I.

3 Veranderende vraagpatronen

3.1 Algemeen

Het drinkwaterverbruik hangt af van verschillende factoren. Demografische factoren (bevolkingsgroei, huishoudengroote, leeftijdsopbouw), socio-economische factoren (feestdagen, landgebruik) en fysieke factoren (temperatuur) spelen allemaal een rol.

Het drinkwaterverbruik wordt zeker in de zomermaanden duidelijk beïnvloed door meteorologische omstandigheden. Bij een onderzoek naar het drinkwaterverbruik in Budel (Noord Brabant) is in de zomer een duidelijk verband te zien tussen de maximale dagtemperatuur en het drinkwaterverbruik (zie Figuur 9) (Cirkel *et al.*, 2005).



Figuur 9. Maximale dagtemperatuur en verbruik voor het pompstation Budel (NB). In rood is de maximale dagtemperatuur weergegeven, met blauw is het dagverbruik weergegeven (Cirkel *et al.*, 2005)

Over het effect van klimaatverandering op het drinkwaterverbruik is nog weinig bekend. Resultaten van internationale onderzoeken wijzen op een toename van het jaarlijks huishoudelijk drinkwatergebruik van circa 2-4% in West-Europa en Noord-Amerika door klimaatverandering (Cohen, 1987). Het effect van klimaatverandering blijkt echter ten opzichte van andere factoren (demografische en socio-economisch) beperkt.

Murdock *et al.* (1991) concluderen dat klimatologische en andere fysieke parameters ten opzichte van demografische en socio-economische variabelen een relatief kleine invloed hebben op het drinkwaterverbruik per hoofd van de bevolking. Resultaten van een empirische analyse laten zien dat in de

periode 1991-2021 het jaarlijks huishoudelijke waterverbruik in Engeland en Wales met 20% zal toenemen, zonder klimaatverandering (Herington, 1996). Een stijging van de temperatuur door klimaatverandering met 1,1 °C geeft volgens deze analyse een stijging met ongeveer 5% (toegeschreven aan douchen en gebruik in de tuin). De gevolgen van klimaatverandering voor de piekvraag naar water zijn volgens dit onderzoek groter: de watervraag in 'piekweken' kan stijgen met 40% ten opzichte van het referentiejaar 1991.

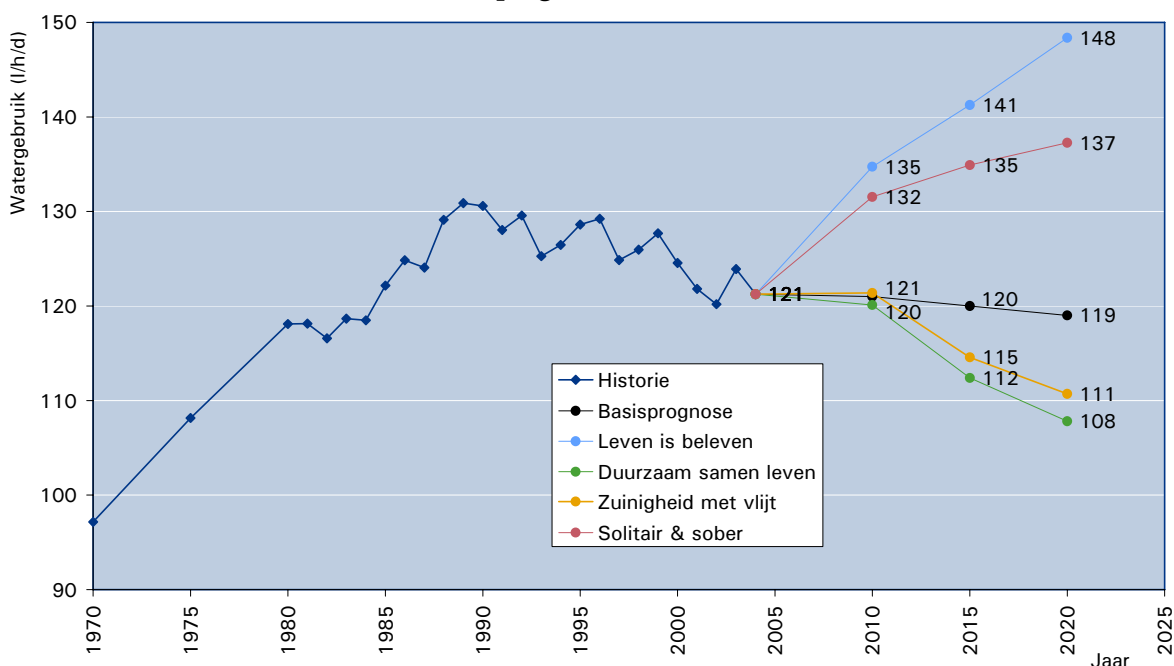
Voor de Nederlandse situatie is een prognose opgesteld voor het landelijk drinkwatergebruik (Vewin, 2005). In de prognose zijn drie mogelijke ontwikkelingen van het drinkwatergebruik uitgewerkt, omdat verschillende demografische en sociaal-economische ontwikkelingen denkbaar zijn, die het watergebruik beïnvloeden. De drie uitgewerkte ontwikkelingen van het watergebruik zijn een basisprognose en een onder- en bovengrens van die basisprognose. Volgens de basisprognose zal het totale drinkwatergebruik afnemen van 1152 miljoen m³ in 2004 tot 1106 miljoen m³ in 2020. Bij extreme ontwikkelingen kan het hooguit 180 miljoen m³ lager of 245 miljoen m³ hoger uitvallen. De kans op realisatie van deze twee extremen is echter zeer gering, omdat daarvoor bij alle betrokken verklarende factoren een extreme ontwikkeling in dezelfde richting zou moeten plaatsvinden.

De uitkomsten van de prognose door Baggelaar en Geudens zijn als basisprognose gebruikt om gescheiden prognoses op te stellen voor de vier toekomstbeelden van de 'Kartonnen Doos', namelijk: *Leven is beleven*, *Duurzaam samenleven*, *Zuinigheid met vlijt* en *Solitair & Sober* (Hummelen, 2006). In de twee individualistisch ingestelde toekomstbeelden *Leven is beleven* en *Solitair & sober* neemt het totale drinkwatergebruik toe tot 1255 resp. 1251 miljoen m³ in 2020. Dit is hoger dan het huidige watergebruik, en ook hoger dan de basisprognose.

In de twee toekomstbeelden met een meer coherente en milieubewuste samenleving - *Duurzaam samen leven* en *Zuinigheid met vlijt* - is het watergebruik lager dan voorspeld in de basisprognose: 986 resp. 1078 miljoen m³ in 2020. Het toekomstbeeld *Zuinigheid met vlijt* benadert de basisprognose het meest.

Uit deze studie volgt ook dat het huishoudelijk verbruik op basis van verschillende sociale, economische en culturele ontwikkelingen in de periode 2005 tot 2020 tussen -15% en 15 % zal veranderen. Het is de vraag hoe klimaatverandering deze prognose nog verder zal beïnvloeden (Figuur 10).

Hoofdelijk huishoudelijk gebruik - historie en prognose voor toekomstbeelden



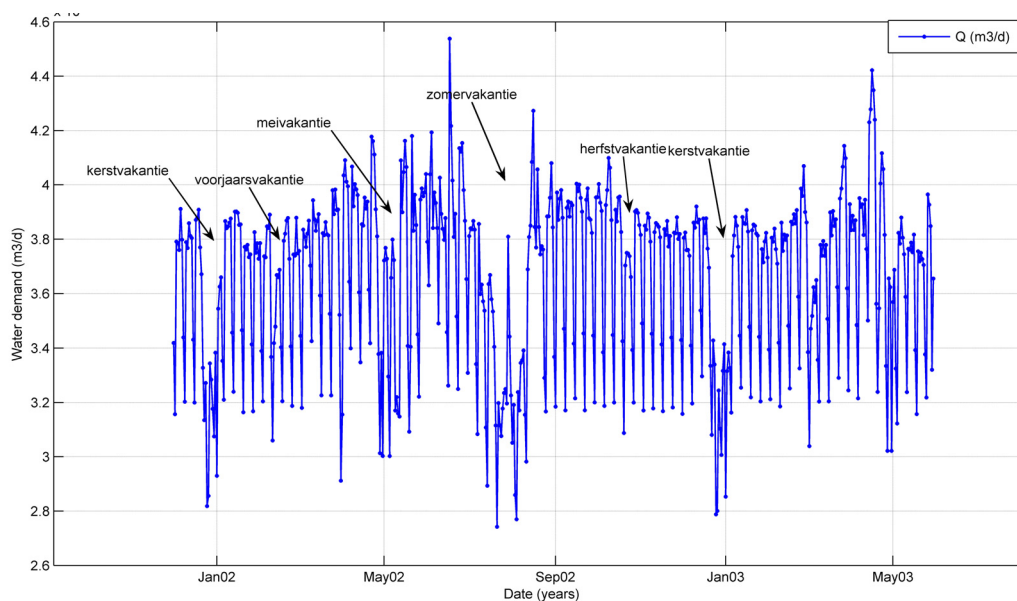
Figuur 10. Hoofdelijk huishoudelijk gebruik; historie en prognose voor de vier toekomstbeelden (Hummelen, 2006)

In Nederland is in het kader van BTO is onderzoek gedaan naar de gevolgen van klimaatverandering op waterverbruik in landelijke en stedelijke afzetgebied (Cirkel *et al.*, 2005; Zwolsman *et al.*, 2007). Voor het landelijk gebied is gekozen voor de eerder genoemde locatie Budel in het afzetgebied van Brabant Water. Uit analyse van de gegevens voor Budel kan het volgende worden geconcludeerd:

- Bij een maximum dagtemperatuur van minder dan 17 °C is er geen relatie tussen meteorologische variabelen en het verbruik waar te nemen. Boven de 17 °C lijkt er een positief lineair verband op te treden tussen de maximum dagtemperatuur en het verbruik waarbij elke graad temperatuurstijging zorgt voor 1,8% meer waterverbruik;
- Bij minder dan 6 zonuren per dag is er geen relatie met het verbruik waar te nemen. Boven deze drempelwaarde lijkt er een positief lineair verband op te treden tussen het aantal zonuren en het verbruik;
- Bij een potentieel neerslagoverschot groter dan 0 mm/dag (meer neerslag dan verdamping) is er geen relatie met het verbruik waar te nemen. Onder deze drempelwaarde lijkt er een negatief lineair verband op te treden tussen het potentieel neerslagoverschot en het verbruik (Cirkel *et al.*, 2005).

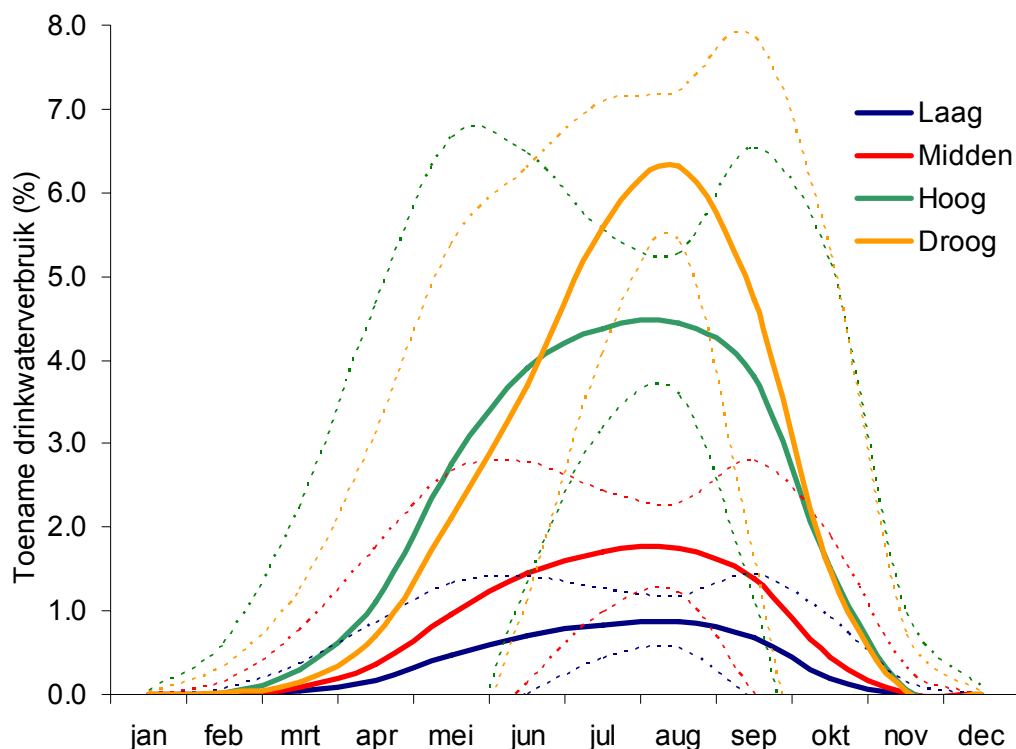
Voor de analyse van stedelijk gebied is gekozen voor verbruikgegevens van het pompstation dat de stad Tilburg van water voorziet. Wat opvalt aan het verbruik is een daling van waterverbruik in de zomermaanden, terwijl er in

het landelijk gebied juist meer waterverbruik is in de zomermaanden. Na een uitgebreidere analyse lijkt het erop dat het waterverbruik in Tilburg sterk wordt beïnvloed door het patroon van werken en vrije tijd. Het waterverbruik blijkt maandag t/m vrijdag zeer constant en zaterdag en zondag significant lager. Ook de vakanties kunnen uit het waterverbruik afgeleid worden, zoals te zien is in Figuur 11, waarin de verbruiksgegevens van 2002 zijn weergegeven. De invloed van vakanties op de verbruiksgegevens wijst erop dat mensen in hun vrije tijd uit de stedelijke gebieden wegtrekken. Verder volgde uit deze studie dat het waterverbruik toenam met 2,4% bij een stijging van het neerslagtekort van 1 mm (Zwolsman *et al.*, 2007).



Figuur 11. Vakantieperioden hebben een sterke invloed op het waterverbruik in stedelijk gebied (Zwolsman *et al.*, 2007)

In het onderzoek in Budel en in Tilburg is gebleken dat de gebruikte modellen moeite hebben met het modelleren van extreem hoge dagverbruiken. Dit kan leiden tot een onderschatting van het effect van meteorologische variabelen op drinkwaterverbruik (Zwolsman *et al.*, 2007). In het onderzoek van Zwolsman *et al.* (2007) is op basis van de WB21 scenario's een schatting gemaakt van het waterverbruik rond 2050. In Figuur 12 staat de schatting voor de toename van het drinkwaterverbruik voor het voorzieningsgebied van Budel uitgezet bij de verschillende scenario's. De +1 % tot 6 % extra in de zomer komt bovenop de prognose van de Vewin, die gebaseerd is op demografische en sociaal-economische ontwikkelingen (Baggelaar en Geudens, 2005). Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit een eenzijdige bron is en dat voor slechts één gebied is vastgesteld.



Figuur 12. Toename van het drinkwaterverbruik in voorzieningsgebied Budel rond 2050 voor de vier WB21 klimaatscenario's Laag, Midden, Hoog en Droog scenario). Met de gestippelde lijnen zijn de 95% betrouwbaarheidsintervallen weergegeven (Zwolsman et al., 2007).

3.2 Drukproblemen en watertekorten

Behalve de procentuele stijging is ook de absolute verbruikstoename van belang en dan vooral de extremen in verbruik. In warme zomers zoals die van 2003 en 2006 werd record op record verbroken. Bij Brabant Water lag de afzet in juli 2006 25% hoger dan de afzet in juli van het jaar daarvoor (Waterspiegel, 2006). Als de opwarmende trend doorzet kunnen in de zomer problemen ontstaan met de drinkwatervoorziening.

Een veel gebruikte maat voor de extremen is de maximale dagafzet en de piekfactor. In het rapport van Zwolsman *et al.* (2007) zijn voor de WB21 scenario's bepaald wat de gevolgen van klimaatverandering zijn voor de maximale dagafzet en de piekfactor. De maximale dagafzet is gedefinieerd als de hoogste dagsom in een bepaald jaar. De piekfactor is gedefinieerd als de maximale dagafzet gedeeld door de gemiddelde dagafzet over een bepaald jaar en is een maat voor de variatie in de afzet. Voor het bepalen van de maximale dagafzet en maximale piekfactor voor zowel pompstation Budel als Tilburg is gebruik gemaakt van de gegenereerde 'huidige' verbruiksreeksen en de daarvan afgeleide reeksen voor de klimaatscenario's. Per scenario is bepaald hoe de maximale dagafzet en de maximale piekfactor veranderen als gevolg van de temperatuurstijging.

Voor pompstation Budel blijkt dat de maximale dagafzet kan stijgen met maximaal 4,3 % bij het hoge klimaatscenario en met maximaal 6 % bij het

droge klimaatscenario. De maximale piekfactor stijgt ten opzichte van de huidige situatie met 2,6 % in het hoge scenario en 3,7 % in het droge scenario. Voor pompstation Tilburg blijkt dat de maximale dagafzet kan stijgen met maximaal 0,5 % bij het hoge klimaatscenario en met maximaal 1,3 % bij het droge klimaatscenario. De maximale piekfactor stijgt ten opzichte van de huidige situatie met 0,4 % in het hoge scenario en 0,6 % in het droge scenario. Uit deze getallen komt duidelijk de relatieve ongevoeligheid van het waterverbruik in de stad Tilburg voor meteorologische veranderingen naar voren. Dit in tegenstelling tot het landelijke gebied rond Budel waar het waterverbruik veel sterker wordt beïnvloed door het weer.

Volgens de waterbedrijven beschikt men in Nederland over genoeg grond- en oppervlaktewater om ook in geval van droogte aan de piekvraag te voldoen (Waterforum Online, 2005). De enige beperking is mogelijk de capaciteit van het leidingnet (Waterforum Online, 2005 – Waterspiegel, 2006). Wanneer er sprake is van een hogere piekvraag moet het leidingnet daar op afgestemd worden. Normaal ligt de druk in het leidingnet tussen de 280 en 400 kPa. Als er veel water tegelijkertijd gebruikt wordt, daalt de druk. Een te lage druk kan leiden tot leveringsonderbrekingen.

Volgens inschattingen van experts bij Kiwa Water Research is de capaciteit van het leidingnet beperkend als er een piekvraag is. Dit is eenvoudig te kwantificeren aan de hand van Darcy-Weissbach: als het verbruik met 10% toeneemt (1,1), zal de drukval met het kwadraat daarvan toenemen (1,21), dus 21%. De drukval over het leidingnet in Nederland is vrij gering, in de orde van 100 tot 200 kPa. Bij een verbruiktoename van 10% neemt de drukval toe van 120 tot 240 kPa. Deze drukval is op te vangen door het inzetten van grotere pompen.

Tot nu toe heeft dit in perioden met extreem verbruik nog niet tot problemen geleid. In de hitteweek van 20 t/m 26 juni 2005 kwam de waterdruk bij Oasen niet onder de norm van 200 kPa (Waterforum Online, 2005). Ook in 2006 heeft de hitte van juni en juli niet geleid tot leveringsproblemen (Waterspiegel, 2006).

In België leidde de hittegolf van 2005 bij de Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening (VMW) tot problemen doordat op sommige plaatsen het verbruik toenam met 67% van het normale verbruik (HLN.be, 2006). Niet bekend is of deze 67% was ten opzichte van de normale piek of ten opzichte van het normale gemiddelde verbruik. De toename van het verbruik leidde tot problemen met de waterdruk van het leidingnet, die niet op peil kon worden gehouden. Leveringsonderbreking bij een honderdtal, vooral hoger gelegen, aansluitingen was hiervan het gevolg. De voornaamste oorzaak waren volgens VMW de buffers die niet op peil kon houden. Het achterblijven van buffers heeft te maken met productieplanning of operationalisering van de productie, en niet met een te klein gedimensioneerd leidingnet. In België heeft VMW na de problemen in 2005 onmiddellijk een aantal maatregelen genomen om de productiecapaciteit te verhogen.

Voor de capaciteit van het leidingnet is niet de dag-piekfactor van belang, maar de uur-piekfactor. Uur-piekfactoren zijn nog niet geanalyseerd op basis

van historische reeksen. Kwalitatief valt hier wel een uitspraak over te doen: het blijkt dat het piek uur vooral tussen 7 en 8 optreedt (Blokker, 2005). Uit een ander onderzoek blijkt dat in zomer ten gevolge van tuinsproeien het verbruik in avond toeneemt (Blokker, 2006a). Het is echter niet te verwachten dat het piek uur naar de avond zal verschuiven. Daardoor zal de uur-piekfactor niet evenredig toenemen met de temperatuur. Het is waarschijnlijk niet mogelijk om uur-piekfactoren met historische reeksen te bekijken, omdat dan extremen nog lastiger te verklaren zijn. Waarschijnlijk is dit wel mogelijk met SIMDEUM (zie later).

3.3 Conclusies en aanbevelingen

Uit het onderzoek komt naar voren dat het klimaat een invloed heeft op het waterverbruik. Op basis van de (beperkte) beschikbare gegevens lijkt de invloed sterk afhankelijk van de aard van het voorzieningsgebied. In landelijk gebied neemt het waterverbruik toe door klimaatverandering. In stedelijk gebied is dit minder het geval.

De waterbedrijven gaan er vanuit dat er geen problemen zijn te verwachten met waterwinning. Bij een toename van het waterverbruik is de capaciteit van het leidingnet de enige beperking. Wanneer er sprake is van een hogere piekvraag moet het distributiesysteem (inclusief pompen) daarop afgestemd worden.

Om de invloed van klimaatverandering op het waterverbruik in te kunnen schatten is verbetering van de techniek van het modelleren nodig. De tot op heden beschikbare tijdreeksanalysemethoden hebben moeite met het goed modelleren van extremen in de waterverbruiksreeksen. Deze extremen kunnen echter cruciaal zijn bij de vraag of een productielocatie of distributienet wel voldoende goed is ingericht op mogelijke veranderingen als gevolg van klimaatverandering.

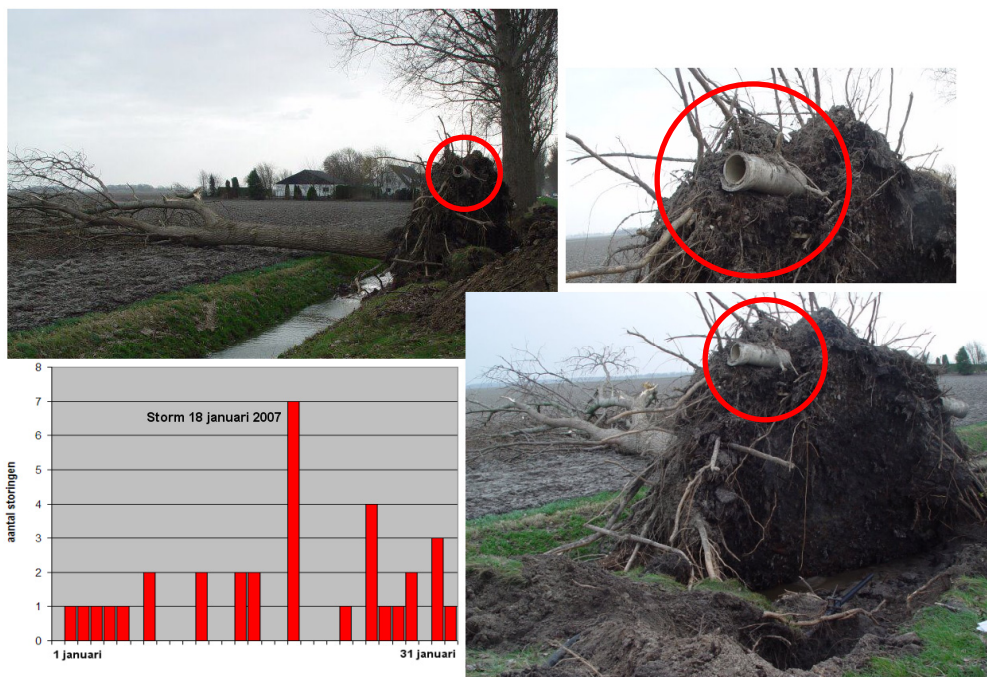
Om te bepalen wat het effect van een veranderend verbruik is op het distributienet kan gebruik worden gemaakt van het model SIMDEUM, SIMulation of water Demand; an End-Use Model (Blokker, 2006b; Blokker, 2006c). Binnen het bedrijfstakonderzoek van de waterleidingbedrijven is dit simulatiemodel ontwikkeld voor het voorspellen van dagpatronen van het huishoudelijk waterverbruik. Het model simuleert per huishouden een reeks afnamepatronen over de dag op basis van kansverdelingen van tapduur, tapvolume en tijdstip van tappingsen in combinatie met de kenmerken van de installatie als het aantal en het type tappunten. Het uitgangspunt is dus het eindgebruik en de daarbij behorende kentallen. Daarnaast heeft het model als invoer statistische data over aantal, leeftijd en geslacht van de bewoners. SIMDEUM kan uitstekend worden ingezet voor het bepalen van het effect van de verschillende klimaatscenario's op het huishoudelijke waterverbruik en de gevolgen daarvan voor de productie en distributie van drinkwater. Hiermee kunnen dag- en uur-piekfactoren worden verspeld. Tevens kunnen de gevolgen van klimaatverandering in relatie tot de gevolgen van andere factoren (zoals demografische ontwikkelingen) worden bepaald.

4 Storingen van leidingen

4.1 Algemeen

Een leiding bezwijkt onder invloed van te hoge belastingen waarbij de toelaatbare spanning op leidingen wordt overschreden. Zettingsverschillen in de bodem kunnen een grote belasting op de leiding geven. Het krimpen en zwellen van grond onder invloed van vocht kan plaatselijk sterk variëren waardoor relatief grote verschillen in verplaatsingen van leidingen ontstaan. Dit kan leiden tot het falen van een leiding.

Stormen kunnen leiden tot het omwaaien van bomen en, via de boomwortels, tot beschadigingen aan leidingen. Storm in combinatie met regen geeft nog grotere kans op schade: meer regen betekent namelijk zwaardere kronen waardoor bomen topzwaar worden en sneller 'omgaan'. Bovendien gaan bomen, vooral wanneer ze horizontale beworteling hebben, eerder om in natte bodems. In Figuur 13 komt de storm van 18 januari 2007 duidelijk tot uiting in het aantal storingen in die periode. Tevens is in de foto's te zien wat de gevolgen van een omwaaiende boom kunnen zijn voor een waterleiding. Deze waterleiding was zo omgeven met wortels, dat de leiding bij het omvallen van de boom werd meegenomen.



Figuur 13. Stormen leiden tot groter aantal storingen

4.2 Invloed van weersomstandigheden op storingen in leidingen

Uit internationale onderzoeken komt naar voren dat er mogelijk een verband bestaat tussen weersinvloeden en storingen in drinkwaterleidingen. In Canada is door de National Research Council Canada (NRCC) onderzoek gedaan naar het falen van leidingen, in dit geval AC-leidingen in Regina. Uit

dit onderzoek komt naar voren dat temperatuur, neerslag en grondsoort behoren tot de factoren die (statistisch gezien) van invloed zijn op het voorkomen van storingen in AC-leidingen en dat deze zelfs als de kritische factoren worden gezien (Hu en Hubble, 2005).

Engels onderzoek laat voor verschillende type leidingen (AC en gietijzer) een invloed van het seizoen op storingen zien (Marshal, 2001). In het onderzoek komt naar voren dat de het optreden van storingen in kleibodems een duidelijke seizoensinvloed vertonen. De storingsfrequentie in AC-leidingen laat in de droge zomermaanden een piek zien, terwijl de storingsfrequentie in gietijzeren leidingen in januari een piek vertoont. Volgens de onderzoeker wordt dit veroorzaakt door volumeveranderingen van de kleigrond door het weer (temperatuur en neerslagtekorten).

Binnen ditzelfde onderzoek is voor één groot waterbedrijf een correlatie aangetoond tussen de storingsfrequentie per kwartaal en het Soil Moisture Deficit (SMD), oftewel het regenwatertekort (als surrogaatmaat voor bodemvochtgehalte). Uit de data is gebleken, dat het regenwatertekort in het voorgaande kwartaal (dus met drie maanden vertraging) van invloed is op de storingsfrequentie.

Ook Kleiner en Rajani (2002) vinden een sterke relatie tussen het regenwatertekort en het optreden van storingen. De 'vorstindex' (als surrogaat voor temperatuur/aantal vorstdagen) geeft bovendien de relatie van temperatuur met leidingbreuk. Kleiner en Rajani veronderstellen dat na extreem droge zomers de vorst dieper in de grond doordringt, waardoor de belasting op de buizen toeneemt.

Er zijn dus aanwijzingen dat de weersomstandigheden een invloed hebben op het aantal storingen in drinkwaterleidingen. Klimaatveranderingen zullen dus ook een invloed hebben op de storingsfrequentie. Op basis van de beperkte beschikbare gegevens zijn de te verwachten effecten niet te voorspellen. Om meer inzicht hierin te krijgen is meer onderzoek nodig.

Uit de bevindingen van medewerkers van Nederlandse waterbedrijven is op te maken dat er vermoedens zijn dat het aantal storingen gerelateerd is aan weersomstandigheden. Uit statistisch onderzoek van de storingsdata van de waterbedrijven DZH, Vitens MN, Brabant Water, Oasen en PWN komt dit niet naar voren (Vloerbergh en Blokker, 2007). In deze studie is zichtbaar dat bij WML in de zomer wel een hogere storingsfrequentie is waargenomen. Een eenduidige analyse van de storingsdata was echter beperkt uit te voeren omdat de storingsdatabases van de deelnemende waterbedrijven verschillen van opzet en inhoud. Om op nationaal niveau meer inzicht te krijgen in de relatie tussen storingen in leidingen en het klimaat is een eenduidige storingsregistratie van belang.

Met de storingsgegevens van één bedrijf (WMD) is onderzoek uitgevoerd naar de invloed van weersomstandigheden op het optreden van storingen in AC-leidingen (Van Daal, 2008). Met behulp van statistische methoden is onderzocht of op basis van de storingsgegevens een relatie kan worden gevonden tussen spontane storingen in AC-leidingen en de weersfactoren temperatuur, neerslag, verdamping en wind. Daarbij is zowel gekeken naar de invloed van individuele factoren als naar de invloed van combinaties van factoren. Tevens is onderzocht of bij bepaald type ondergrond of leeftijd van

leidingen sprake is van een grotere gevoeligheid voor weersfactoren. De conclusie van het onderzoek was dat AC-leidingen jonger dan 40 jaar minder gevoelig zijn voor weersinvloeden dan AC-leidingen ouder dan 40 jaar en dat het weer inderdaad van invloed is op het optreden van storingen in oudere AC-leidingen: bij hogere temperaturen, een hogere verdamping en minder neerslag traden meer storingen op. Voor leidingen jonger dan 40 jaar lijkt er geen relatie tussen het optreden van storingen in AC-leidingen en de genoemde factoren te bestaan. Ook bleek dat leidingen in veen niet gevoeliger zijn voor weersfactoren dan leidingen in zand.

In de beschreven tijdreeksanalyse is er bij een verklaarde variantie van 70 % of meer sprake van een duidelijke relatie tussen de onderzochte factoren(en) en het optreden van storingen. In het genoemde onderzoek lag de verklaarde variantie tussen storingen en het weer (temperatuur, neerslag, verdamping en wind) in alle gevallen onder de 70%. Dit kan duiden op een invloed van andere factoren of een meer indirecte invloed van het weer. Een voorbeeld is dat het waterverbruik gedurende (het begin van) een droge periode toeneemt en voor een drukverandering in het leidingnet kan zorgen waarmee storingen kunnen toenemen (Van Daal, 2008). Een ander voorbeeld is de zettingsgevoeligheid van de bodem; krimpen en zwellen van de bodem bij wisselingen tussen droogte en regen kunnen een grote belasting op het leidingnet geven. Het krimpen en zwellen van grond onder invloed van vocht kan plaatselijk sterk variëren waardoor relatief grote verschillen in verplaatsingen van leidingen ontstaan (Zwolsman *et al.*, 2007).

De klimaatmodellen van het KNMI berekenen een toename van langere drogere perioden. Ten gevolge hiervan kunnen het aantal storingen in AC-leidingen toenemen. Hoe de situatie is bij andere leidingmaterialen, en dan voornamelijk PVC, is niet bekend.

In het onderzoek naar storingen in AC-leidingen en het weer was de invloed van de wind op het optreden van storingen in AC-leidingen ouder dan 40 jaar niet terug te vinden (Daal, 2008). Er was wel een invloed van wind op het optreden van storingen in de gehele populatie AC-leidingen. Het is duidelijk dat bij leidingen die storen door het omwaaien van bomen zoals te zien is in figuur 11 de leeftijd van de leiding niet van belang is.

Klimaatmodellen van het KNMI berekenen dat het totale aantal stormen naar alle waarschijnlijkheid gelijk blijft, maar de zwaarte van zware stormen iets zal toenemen. Bovendien treden de zwaarste stormen op in het winterhalfjaar, waarin de klimaatscenario's meer neerslag verwachten. Deze combinatie van stormen en neerslag (verzadigde bodem en topzware bomen) maakt dat de kans op storingen in het winterhalfjaar groter wordt.

Een ander gevolg van klimaatverandering kan zijn dat overstromingen vaker voorkomen. Overstromingen kunnen grote invloed hebben op de infrastructuur en leveringszekerheid. De meeste bovengrondse infrastructuur ligt binnendijs en is niet bestand tegen overstroming. Overstromingen zouden kunnen zorgen voor leveringsonderbrekingen en schade aan deze infrastructuur. Naar verwachting is ondergrondse infrastructuur, zoals het netwerk van transport- en distributieleidingen voor drinkwater, wel bestand tegen overstromingen (Vewin, 2002).

4.3 Conclusies en aanbevelingen

Het blijkt dat AC-leidingen ouder dan 40 jaar meer storingen kunnen gaan vertonen door een veranderend klimaat (drogere perioden). In 2050 zijn alle (nog resterende AC-leidingen) ouder dan 40 jaar. Dit betekent dat het aantal storingen in AC-leidingen toe zal nemen ten gevolge van klimaatverandering. Het aantal storingen kan echter niet volledig verklaard worden door de weersomstandigheden (temperatuur, neerslag, verdamping en wind). Mogelijk spelen andere factoren, zoals waterverbruik, ook een rol. Omdat de kans op lange droge periodes in een aantal klimaatscenario's toeneemt, is het aan te bevelen de relaties tussen lange, droge periodes en het optreden van storingen (zoals in PVC) nader te onderzoeken. Een goede storingsregistratie is daarvoor van belang. Stormen in combinatie met neerslag kunnen leiden tot het omwaaien van bomen en, via de boomwortels, daardoor tot het falen van leidingen. Door klimaatverandering zal de zwaarte van zware stormen iets toenemen en dat de zwaarste stormen op gaan treden in het winterhalfjaar, waarin meer neerslag zal vallen. De kans op storingen in het winterhalfjaar neemt daardoor toe.

5 Gevolgen voor waterkwaliteit

5.1 Temperatuurverhoging

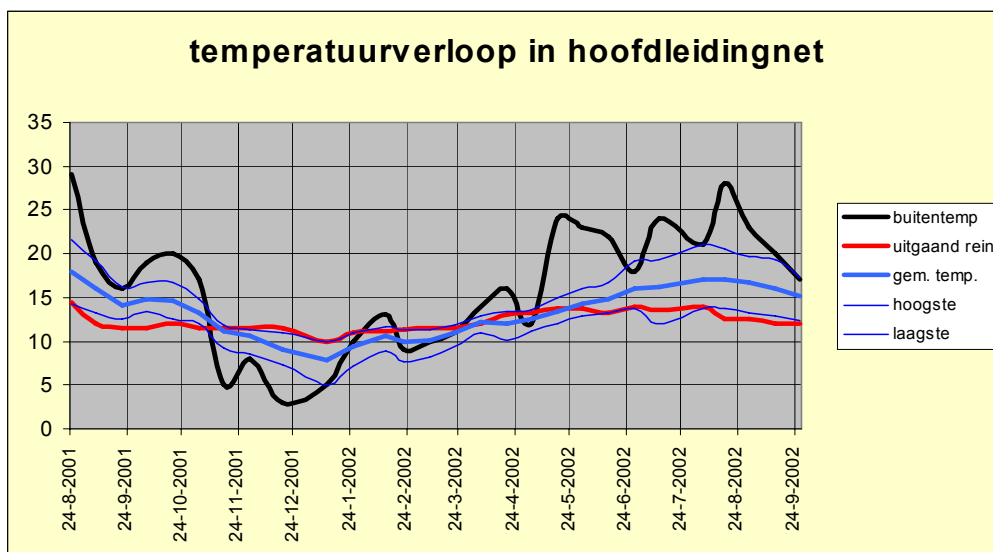
Hogere temperaturen van het oppervlaktewater kunnen leiden tot hogere temperaturen in het leidingnet, waardoor (biologische) processen in het leidingnet beïnvloed kunnen worden (Zwolsman *et al.*, 2007). Dit zou kunnen leiden tot problemen met *Legionella*. In de zomer van 2003 werd de norm van 25 °C bij Eijsden 12 dagen overschreden. Bij Keizersveer is de norm niet overschreden (Van Vliet, 2006). Tussen 2001 en 2005 is bij Lobith de normwaarde 28 dagen overschreden (Van Bokhoven, 2006).

Er wordt verwacht dat hydrologische extremen, zowel in intensiteit als in frequentie vaker zullen voorkomen als gevolg van klimaatverandering (Van Vliet, 2007). Het is zinvol om verder onderzoek te doen naar de gevolgen van inname van oppervlaktewater met een hogere temperatuur bij de distributie van drinkwater, zodat bekeken kan worden of adaptieve maatregelen noodzakelijk zijn.

Ook wanneer gebruik gemaakt wordt van grondwater kan de temperatuur in het leidingnet toenemen door de verandering van het klimaat.

In het distributienet zijn meerdere keren watertemperaturen boven de 25 °C gemeten in een gebied waar grondwater gedistribueerd wordt (Smulders, 2002 en 2005). Deze temperaturen zorgen ervoor dat het geleverde drinkwater water tijdens een hittegolf niet meer voldoet aan het Waterleidingbesluit (temperatuur ≤ 25 °C).

Het onderzoek laat zien dat de temperatuur in het leidingnet fluctueert met de temperatuur in de buitenlucht. De temperatuur in het leidingnet volgt in zekere mate de atmosferische temperatuur, zie Figuur 14. Vooral bij temperaturen hoger dan 24 °C is een stijging van het water in het gedistribueerde water te zien (Smulders, 2002).



Figuur 14. Temperatuurverloop in het hoofdleidingnet van TWM en de relatie met buitentemperatuur (Smulders, 2002)

Uit het onderzoek in 2005 blijkt duidelijk dat de temperatuur in distributieleidingen de temperatuur in de bodem (en daarmee de atmosferische temperatuur) volgt. Het water in de distributieleiding benadert gedurende periodes van laagverbruik de temperatuur in de omringende bodem. Slechts bij zeer korte verblijftijden (minder dan 2 uur) wijkt de watertemperatuur in de distributieleiding significant af van de bodemtemperatuur. De verblijftijd in het distributienet en temperatuur van het water 'af pompstation' zijn beperkt van belang (Smulders, 2005). Op basis van deze gegevens kan gesteld worden dat het in ieder geval om een qua tijd en plaats beperkt probleem gaat: in het Tilburgse onderzoek zijn uitsluitend tijdens een hittegolf op een beperkt aantal plaatsen in het net (zogenaamde hotspots) frequent hogere temperaturen gemeten. De hoge temperaturen beperken zich dan ook nog tot de periode van laagverbruik. In andere delen van het distributienet is de watertemperatuur beneden de 25 °C gebleven. Onderzoek naar verhoging van de temperatuur in het leidingnet dient zich dan ook te richten op de oorzaken van de hoge bodemtemperatuur.

Waternet geeft ook aan dat de watertemperatuur in het distributienet een aandachtspunt is (Waterspiegel, 2006). Vanaf het pompstation is de watertemperatuur altijd gelijkmatig tussen de 12 en 18 °C. De temperatuur van het water in het distributienet wordt in de zomer iets hoger als gevolg van opwarming van het wegdek. In de stad komt immers veel asfalt voor, waardoor snelle opwarming optreedt.

In het kader van het BTO van 2008 wordt door de Vrije Universiteit van Amsterdam, Brabant Water en Kiwa Water Research onderzoek uitgevoerd naar de opwarming van het water in distributieleidingen. Binnen dit onderzoek wordt getracht om de hotspots in een leidingnet op een zo eenvoudig mogelijke manier in kaart te brengen en wordt uitgezocht welke factoren een rol spelen. Het uiteindelijke doel is om de opwarming van de

ondergrond (tot 2 meter) als functie van (bovengronds) meetbare parameters te modelleren. Verwacht wordt dat eind 2008 de resultaten van dit onderzoek beschikbaar zijn.

5.2 Overstromingen

Een overstroming van een gebied waarin zich infrastructuur voor de drinkwatervoorziening bevindt heeft niet alleen gevolgen voor die infrastructuur zelf, maar ook voor de waterkwaliteit. Zo kunnen overstromingen invloed hebben op de waterkwaliteit, bijvoorbeeld wanneer het inundatiewater in reinwaterkelders of transportleidingen terecht komt (Vewin, 2002). Omdat door klimaatverandering heftigere regenval zal optreden in de wintermaanden zal er, indien geen maatregelen genomen worden, meer kans zijn op overstromingen en zullen de problemen, die zich nu al voordoen (zie Figuur 15), vaker voor problemen gaan zorgen.



Figuur 15. Roosteren: Maaspeil NAP +29,40 m. Volledige inundatie van het terrein en de kern Roosteren (Vewin, 2002)

5.3 Conclusies en aanbevelingen

De temperatuur van het drinkwater in het leidingnet kan door twee oorzaken hoger worden:

- de temperatuur van het oppervlaktewater neemt toe, waardoor de temperatuur 'af pompstation' toeneemt;
- het drinkwater in het leidingnet warmt op in de zomer ten gevolge van opwarming van de bodem.

Overstromingen kunnen op een indirecte wijze de waterkwaliteit tijdens distributie gaan beïnvloeden. Dit blijven wel incidenten, hoewel ze vaker kunnen optreden. Voor de waterbedrijven verandert er vrijwel niets.

6 Onderzoeksbehoeften

6.1 Algemeen

De implementatie van het literatuuronderzoek en de inventarisatie van de stand van zaken heeft plaatsgevonden via workshops. Deze hebben geleid tot onderzoeks-voorstellen voor het BTO.

6.2 Workshop Klimaatverandering en distributie

Op 18 september 2007 heeft een workshop plaatsgevonden met experts uit de distributiesector. Tijdens deze workshop zijn de resultaten van de hiervoor beschreven literatuurstudie besproken. Daarnaast is gesproken over andere problemen die het gevolg kunnen zijn van klimaatverandering.

Tijdens deze workshop is duidelijk geworden dat de sector het belangrijk vindt dat er verder onderzoek verricht wordt naar de gevolgen van klimaatverandering voor waterdistributie, zodat tijdig adaptieve maatregelen genomen kunnen worden om ook in de toekomst voldoende en kwalitatief goed drinkwater te kunnen garanderen.

In de workshop zijn de drie onderzoekthema's benoemd die vooral gevolgen kunnen ondervinden van klimaatverandering:

- Verbruik
 - Dimensionering/ Vraagpatronen
 - Drukproblemen
 - Extra energiekosten (pompen)
- Waterkwaliteit
 - Temperatuur
 - Chemische waterkwaliteit
- Storingen
 - Storingen door stormen
 - Storingen door bodemzettingen
 - Wellicht indirecte storingen als gevolg van verbruikspieken

Uit de workshop is naar voren gekomen dat de distributiesector vooral meer inzicht wil in het veranderd verbruik en de effecten op de temperatuur in het leidingnet. Ten aanzien van het veranderend verbruik wordt vooral gedacht aan de invloed van een veranderend klimaat op de extremen in verbruik en hoger piekverbruiken.

Bij de temperatuur in het leidingnet zijn vooral de factoren van belang die opwarming beïnvloeden.

6.3 Workshop Waterdistributie van de toekomst

Om op toekomstige veranderingen in de maatschappij te anticiperen heeft op 31 oktober 2007 de workshop *Waterdistributie van de Toekomst* plaatsgevonden (Vloerbergh, 2008). Tijdens die workshop hebben distributiespecialisten van alle Nederlandse en twee Vlaamse waterbedrijven de resultaten van

verschillende toekomstscenario's en trends geconcretiseerd voor waterdistributie.

Uit de workshop kwam naar voren dat de omvang van het probleem van klimaatverandering voor waterdistributie (nog) niet duidelijk is.

De deelnemers aan de workshop beoordeelden het onderzoek naar de werkelijke impact van klimaatverandering als zeer relevant. Er blijkt grote behoefte te zijn aan kwantificering van de gevolgen van klimaatverandering voor waterdistributie.

Onderzoek dient zich in de eerste plaats te richten op al gedaan en lopend onderzoek en om uitgangspunten voor de scenario's op te stellen. De scenario's geven richting aan van mogelijke ontwikkelingen en het is daarom niet zinvol elk scenario tot in detail door te rekenen.

Door klimaatverandering integraal te bekijken (in combinatie met andere ontwikkelingen) en structureel te concretiseren wat voor waterdistributie van belang is, kunnen de gevolgen van de trends voor waterdistributie in perspectief geplaatst worden; als klimaatverandering werkelijk problemen oplevert voor waterdistributie, hoe groot is het probleem dan; wat zijn de aard en omvang van eventuele problemen?

De conclusie van de deelnemers aan de workshop was dat het van belang is om nú scenariostudies uit te voeren naar de invloed van klimaatverandering op piekvraag, capaciteit, infrastructuur en waterkwaliteit in bron en leidingnet. Daarbij moeten andere maatschappelijke en sociaal-economische ontwikkelingen meegenomen worden, zodat de gevolgen van klimaat in perspectief staan tot de gevolgen van andere ontwikkelingen.

6.4 Vervolgonderzoek

Binnen het lopend BTO worden al studies uitgevoerd naar verschillende aspecten genoemd in dit rapport. In het BTO wordt onderzoek uitgevoerd naar de opwarming van het water in distributieleidingen. Het doel van dit onderzoek is om de opwarming van de ondergrond als functie van meetbare parameters te modelleren. Verwacht wordt dat eind 2008 de resultaten van dit onderzoek beschikbaar zijn.

Voor het BTO in 2009 is een projectvoorstel opgesteld om de gevolgen van klimaatverandering voor het drinkwaterverbruik nader in kaart te brengen. Het doel van dit project is om het effect te bepalen van de verschillende sociale, economische en klimaatscenario's op het huishoudelijk waterverbruik en de gevolgen daarvan voor de productie en distributie van drinkwater te berekenen met behulp van het model SIMDEUM. Hiermee kunnen veranderingen op deelniveau worden vertaald naar veranderingen op het totaalverbruik en piekverbruik in het totale distributienet. Vervolgens kan worden vastgesteld wat het effect van een andere belasting van het huidige distributienet is op waterkwaliteit en druk.

Ook is voor 2009 een projectvoorstel opgesteld voor het evalueren van het analyseren van de storingsgegevens die in het kader van het storingregistratiesysteem U-STORE zijn verzameld en het zoeken van verbanden tussen leidingnet- en omgevingsfactoren en het optreden van storingen.

Ten slotte is een projectvoorstel opgesteld naar de 'distributiestabiliteit van drinkwater'. Het onderzoek binnen dit project richt zich op de processen die

in het distributienet optreden. Alle processen in het leidingnet zullen elkaar beïnvloeden en biologische verschijnselen, zoals de nagroei van *Legionella* en *Aeromonas*, zijn niet los zijn te zien van de hydraulica, het leidingmateriaal en het sediment. De invloed van de temperatuur van het drinkwater in het leidingnet zal hier deel van uitmaken.

7 Literatuur

Baggelaar P.K. en P.J.J.G. Geudens, 2005 - Prognose landelijke drinkwatervraag tot 2020, Vewin rapport 2005/58/6259, Vewin Rijswijk

Blokker E.J.M., 2005 - Bepaling capaciteit drinkwaterleidingnetten op wijkniveau; een aanpassing van de Q N-methode voor het ontwerp van zelfreinigende netten, KWR 05.072, Kiwa Water Research, Nieuwegein

Blokker E.J.M. en P.G. Schaap, 2006a - Evaluatie zelfreinigende netten; metingen zomer 2006 in Hoofddorp (PWN), KWR 06.096 Kiwa Water Research, Nieuwegein

Blokker E.J.M., 2006b - Modelleren van afnamepatronen - Beschrijving van het simulatiemodel SIMDEUM, BTO 2006.010 Kiwa Water research, Nieuwegein

Blokker E.J.M., 2006c - Modelleren van waterverbruik in huishoudens, H₂O 6, 48-52

Bruin A.T.H., 2002 - Verandering in neerslagkarakteristieken in Nederland gedurende de periode 1901-2001, Klimatologische Dienst KNMI

Cirkel D.G., P. Baggelaar en A. Doomen, 2005 - Klimaatverandering en grondwaterwinning, KWR 05.030 (in opdracht van Brabant Water), Kiwa Water Research

Cohen S.J., 1987 - Projected increases in municipal water use in the Great Lake due to CO₂-induced climate change. Water Resources Bulletin volume 23, no 1

Herrington P., 1996 - Water treatment and supply - All change on the waterfront?, WWT november 1996.

HLN.be, 2006 - "Geen watertekort bij warme zomer" belooft VMW, Het laatste Nieuws, editie 09 juni 2006 (www.hln.be)

Hu Y. and D.W. Hubble, 2006 - Factors contributing to the failure of asbestos cement water mains, National Research Council Canada

Hummelen A.M., 2006 - Prognoses drinkwatergebruik in vier toekomstbeelden. BTO 2005.065, Kiwa Water Research Nieuwegein

IPCC, 2000 - Emissions scenarios, summary for policy makers. A special report of IPCC working group 3

IPCC, 2007 - Climate change 2007: The physical science basis, summary for policy makers. Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Kleiner Y. and B. Rajani, 2002 - Forecasting variations and trends in water-main breaks, Journal of Infrastructure Systems, v. 8, no. 4, Dec. 2002. p. 122-131, NRCC-44677

KNMI, 2006 - Klimaat in de 21e eeuw: vier scenario's voor Nederland, Klimatologische Dienst KNMI

KNMI, 2008 - De toestand van het klimaat in Nederland 2008, KNMI De Bilt

Marshall, 2001 - Understanding burst rate patterns of water pipes, United Kingdom Water Industry Research (UKWIR), report ref. no.: 01/WM/02/16;

Murdock S.H., D.E. Albrecht, R.R. Hamm and K.Backman, 1991 - Role of sociodemographic characteristics in projections of water use. Journal of water resources planning and management volume 116, no 2

PCCC, 2007 - Het IPCC-rapport en de betekenis voor Nederland, Platform Communication on Climate Change (PCCC)

Smulders E.F.P.A., 2002 - Rapportage temperatuurmetingen drinkwaterinstallaties en hoofdleidingnet TWM, TWM Tilburg (niet openbaar)

Smulders E.F.P.A., 2006 - Temperatuurfluctuaties in waterdistributienetten - Onderzoek naar de temperatuurfluctuaties van het water in het distributienet van de N.V., Tilburgsche Waterleiding-Maatschappij, TWM Tilburg (niet openbaar)

Van Bokhoven A.J., 2006 - The impact of climate change on the water quality of the Rhine River, KWR 2006.056(s), Kiwa Water Research, Nieuwegein

Van Daal K.H.A., 2008 - Relatie tussen storingen AC-leidingen en het weer - Tijdreeksanalyse van storingen in het leidingnet van WMD, BTO 2008.006, Kiwa Water Research, Nieuwegein

Van Vliet M.T.H., 2006 - Effects of Droughts and Floods on Water quality and Drinking Water Function of the River Meuse: a preview of Climate Change?, BTO 2006.073 (s) Kiwa Water Research, Nieuwegein

Vewin, 2002 - Aanwijzing en inzet van noodoverloopgebieden: Verkenning van de consequenties voor de drinkwatervoorziening. Dossier T8508-01-002, Vewin

Vloerbergh I.N. en E.J.M. Blokker, 2007 - Statistische storingsanalyse -De mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie, BTO 2007.043, Kiwa Water Research, Nieuwegein

Vloerbergh I.N., 2008. - Waterdistributie van de toekomst - Op tijd voorbereid. BTO 08.022, Kiwa Water Research Nieuwegein.

Waterforum Online, 2005 – Recordgebruik drinkwater leidt nergens tot problemen. Waterforum Online, 30 juni 2005 (<http://www.waterforum.net/>)

Waterspiegel, 2006 – Ondanks extreem warme zomer geen gebrek aan drinkwater, Waterspiegel, no 5, oktober 2006, Vewin

Zwolsman G., G.Cirkel, A. Doomen, M. Jalink, G. van den Berg, C. Maas, J. Vreeburg, G. Ijpelaar en G. Mesman, 2007 - Risicoanalyse van de gevolgen van klimaatverandering voor de drinkwatersector – Waterkwaliteit, waterkwantiteit, ecologie, productie en distributie. BTO 2007.032, Kiwa Water Research, Nieuwegein,

I WB21 en KNMI'06 scenario's: overeenkomsten en verschillen

1.1 Overeenkomsten

- De IPCC projecties voor mondiale temperatuurstijging zijn als uitgangspunt gebruikt. De mondiale temperatuurstijging van +2 °C in 2100 (of +1 °C in 2050) ten opzichte van 1990 wordt zowel in het oude "centrale" scenario gebruikt als in de nieuwe G en G+ scenario's. Een temperatuurstijging van +4 °C in 2100 (of +2 °C in 2050) ten opzichte van 1990 wordt zowel in het oude "hoge" scenario gebruikt als in de nieuwe W en W+ scenario's
- Als basisjaar wordt 1990 gebruikt (de gebruikte referentie periode om het klimaat in 1990 te beschrijven, verschilt wel)

1.2 Verschillen

- In de KNMI'06 scenario's zijn zowel de wereldwijde temperatuurstijging als ook de mogelijke verandering in luchtstromingspatronen gebruikt voor de indeling van de scenario's. In de WB21 scenario's werd alleen de wereldwijde temperatuurstijging gebruikt als "stuurparameter", en werd verondersteld dat de luchtstromingspatronen niet zouden wijzigen
- Voor de KNMI'06 scenario's zijn recente uitkomsten geanalyseerd van een groot aantal klimaatmodellen. Voor de WB21 scenario's was slechts een beperkt aantal klimaatmodellen beschikbaar en daaruit werd alleen de wereldwijde opwarming en zeespiegelstijging gebruikt. Met de nieuwe analyses is de samenhang tussen de wereldwijde opwarming, veranderingen in de luchtstroming boven West Europa en klimaatverandering in Nederland systematisch in kaart gebracht. Het is voor het eerst dat dit gedaan is door de uitkomsten van een scala aan mondiale en regionale klimaatmodellen en meetreeksen te combineren
- Het "lage" WB21 scenario is vervallen. Deze waarde ligt buiten de range uit het IPCC rapport uit 2001. Bovendien is de waargenomen wereldwijde temperatuurstijging sinds 1990 zo sterk dat dit "lage" scenario (+0,5 °C tot 2050) weinig waarschijnlijk lijkt
- In de WB21 scenario's is de temperatuurstijging in Nederland gelijk is aan de wereldwijde temperatuurstijging. In de KNMI'06 scenario's is dit niet het geval. Vooral in de scenario's met verandering in luchtstromingspatronen is de temperatuurstijging in Nederland groter dan de wereldwijde temperatuurstijging
- De hevige neerslag in de winter neemt in de KNMI'06 scenario's minder toe dan in de WB21 scenario's (www.knmi.nl)

Tabel 3. Vergelijking WB21 en KNMI-2006 scenario's (www.KNMI.nl)

Variabele		laag WB21	midden WB21	G '06	hoog WB21	W '06	hoog droog WB21	G+ '06	W+ '06
Temperatuur (°C)									
Gemiddeld (DJF)	winter	+0,5	+1	+0,9	+2	+1,8	+2,0	+1,1	+2,3
Gemiddeld (JJA)	zomer	+0,5	+1	+0,9	+2	+1,7	+3,1	+1,4	+2,8
Neerslag zomer (%)									
Gemiddeld (halfjaar)		+0,5	+1		+2				
Gemiddeld (JJA)				+3		+6	-20	-10	-19
Natte frequentie (JJA)	dag	0	0	-2	0	-3	0	-10	-19
Neerslag winter (%)									
Gemiddeld (halfjaar)		+3	+6		+12				
Gemiddeld (DJF)				+4		+7	+13	+7	+14
Natte frequentie (DJF)	dag	0	0	0	0	0	0	+1	+2
Potentiële evaporatie (%)									
Jaarlijks		+2	+4		+8		+8		
Zomer (JJA)				+3		+7	+24	+8	+15