

***De invloed van weersomstandigheden
- maximale temperatuur en neerslag –
op de korte termijn drinkwatervoorspelling***

L.A. Goedhart



University of Twente
The Netherlands

***De invloed van weersomstandigheden
- maximale temperatuur en neerslag –
op de korte termijn drinkwatervoorspelling***

Auteur: L.A. Goedhart
Civiele Techniek & Management
Universiteit Twente
Enschede

Begeleiders: Ir. M. Bakker
Water Treatment
Afdeling PA&ICT
DHV
Amersfoort

Dr. K.M. Wijnberg
Waterbeheer
Universiteit Twente
Enschede

Datum onderzoek: 1 Mei 2007- 23 Juli 2007
Plaats onderzoek: Amersfoort

Samenvatting

Het doel van dit onderzoek is aantonen dat er een empirisch onderbouwde relatie bestaat tussen weersomstandigheden en het daarbij behorende drinkwaterverbruik. Met behulp van de maximale temperatuur en neerslag zal getracht worden de korte termijn OPIR-voorspelling te verbeteren. Voorwaarde is echter wel dat door toevoeging van de bovengenoemde relatie de korte termijn voorspellingen globaal gezien beter moeten worden dan voorheen het geval was.

OPIR is het korte termijn drinkwatervoorspellingsmodel dat door DHV is ontwikkeld om het productiepatroon en het daarmee samenhangende zuiveringsproces te kunnen optimaliseren. Voorheen werd de productiesnelheid van drinkwaterzuivering in Nederland voorheen bijna altijd direct gebaseerd op de waterhoogte in het reinwaterbassin. Doordat hier mensen en simpele algoritmes bij kwamen kijken, werd er onnodig of juist te laat geschakeld in het zuiveringsproces. OPIR is in staat om 48 uur vooruit de drinkwatervraag te voorspellen, waardoor er minder geschakeld hoeft te worden in het proces en de waterkwaliteit sterk wordt verbeterd.

Uit literatuuronderzoek blijkt dat de maximale temperatuur, neerslag en verdamping indicatoren zijn die gebruikt worden om drinkwatervoorspellingen mee te doen. De modellen van Maidment et al. (zoals geciteerd in Zhou et al. , 2000), Zhou et al. (2000) en Gato et al. (2007) bevatten onder andere deze weersvariabelen. Om praktische redenen is gekozen om in dit onderzoek alleen de relatie tussen maximale temperatuur / neerslag en drinkwaterverbruik te analyseren.

Aan de hand van de beschikbare drinkwaterdata van DHV en de weersgegevens van het KNMI voor de waterleidingsgebieden Beegden en Eindhoven voor de periode 2005-2006 is er een statistisch onderzoek uitgevoerd naar de relatie tussen drinkwaterverbruik en weersomstandigheden. Geconcludeerd kan worden dat er een relatie bestaat tussen de absolute weersomstandigheden en het absolute drinkwaterverbruik; bij stijgende temperatuur wordt ook het drinkwaterverbruik hoger. Echter kan er geen duidelijk aantoonbare relatie worden gelegd tussen het verschil in maximale temperatuur/neerslag en het verschil in drinkwaterverbruik; als het vandaag 5 graden warmer is dan gister, wil dat niet zeggen dat er automatisch ook x % meer drinkwatervraag is.

Op basis van deze laatste constatering is het niet mogelijk om de voorspelling van OPIR te verbeteren, omdat hiervoor een beter inzicht nodig is in wat een verandering in weersvariabele voor effect heeft op de verandering in watervraag.

Doordat er in het statistische onderzoek alleen rekening is gehouden met de werkelijke waarden voor maximale temperatuur en drinkwaterverbruik, wordt het menselijke gedrag niet meegenomen. Als bijvoorbeeld op het weerbericht wordt gezegd dat het morgen gaat regenen, zal in Nederland niemand zijn tuin gaan sproeien. Maar andersom wanneer het morgen al de 10^e droge dag wordt van de hittegolf, zullen veel meer mensen besluiten om hun planten eens wat extra water te geven. Juist dat stukje menselijk gedrag had kunnen zorgen voor een extra dimensie in de OPIR voorspelling.

Inhoudsopgave

Voorwoord	5
1 Inleiding	6
2 Probleemstelling.....	7
3 Onderzoeksmethode	9
4 OPIR.....	10
5 Watervraag	11
6 Weersomstandigheden en drinkwaterverbruik	13
6.1 Literatuuronderzoek.....	13
6.1.1 Drinkwatermodellen & weersomstandigheden	13
6.1.2 Drinkwaterverbruik & weersomstandigheden	14
6.2 Interview	16
6.3 Gekozen weersvariabelen	16
7 Statistisch onderzoek.....	17
7.1 Datasets	17
7.2 Analyse over de tijd	18
7.3 Grootste foutenanalyse OPIR	19
7.4 Maximale temperatuur	21
7.5 Neerslag	27
8 Discussie	32
9 Conclusie.....	33
Literatuurlijst	34

Voorwoord

“De relatie tussen drinkwaterverbruik en weersomstandigheden”, zoals de titel van deze stageopdracht oorspronkelijk luidde, trok gelijk mijn aandacht. In het kader van het project OPIR Meteo was DHV geïnteresseerd in een onderzoek naar de relatie tussen drinkwaterverbruik en weersomstandigheden, wat zou kunnen leiden tot een eventuele verbetering van de OPIR-voorspelling. Dit alles heeft geleid tot de stageopdracht waaraan ik de afgelopen twaalf weken met veel plezier heb gewerkt en waarvan u in dit rapport de onderzoeksmethode, resultaten en conclusies vindt.

Graag wil ik mijn begeleider binnen DHV, Martijn Bakker, bedanken voor de begeleiding en de stagemogelijkheid die hij mij heeft geboden.

Ook wil ik dr. Kathelijne Wijnberg bedanken voor haar tijd, kritische blik en het in de goede richting sturen van het onderzoek.

Bovendien wil ik de heer Houthuijzen van Vitens bedanken voor zijn medewerking aan het interview.

Als laatste wil ik DHV B.V. en in het bijzonder mijn collega's in Amersfoort, bedanken voor de leuke tijd die ik heb gehad tijdens mijn stage en de mogelijkheid die zij mij hebben geboden om de organisatie beter te leren kennen.

Amersfoort, 23 juli 2007
Lea Goedhart

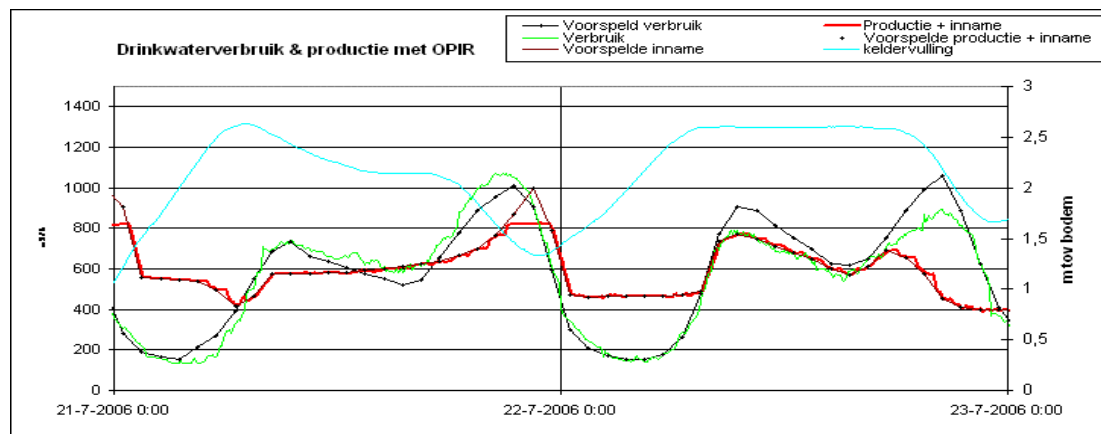
1 Inleiding

De ene dag is het mooi weer, 30 graden Celsius en kun je rustig op het strand liggen, maar de volgende dag kan de regen met bakken tegelijk uit de lucht vallen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat weersomstandigheden grote invloed hebben op het gedrag van mensen, zo veranderen bijvoorbeeld het consumptiepatroon, het verplaatsingspatroon en het leefpatroon op het moment dat het weer verandert. Dit geldt ook voor het verbruik van drinkwater. Bij matige tot gemiddelde weersomstandigheden verloopt de consumptie van drinkwater heel regelmatig en dus voorspelbaar. Bij mooi weer echter wijken de drinkwaterconsumenten plotseling af van hun normale verbruikspatroon. Ze gaan niet alleen meer water verbruiken, maar ook op andere tijdstippen. Vooral in de avonden tussen 19.00 uur en 24.00 uur wordt extra water verbruikt.

Voor de kwaliteit van het drinkwater is de Nederlandse bevolking afhankelijk van de drinkwaterbedrijven. Deze bedrijven verzorgen de zuivering van drinkwater en de levering van betrouwbaar drinkwater aan de consument. Om het zuiveringsproces te optimaliseren heeft advies- en ingenieursbureau DHV uit Amersfoort het softwareprogramma Optimal Production by Intelligent contRol (OPIR) ontwikkeld dat het drinkwaterverbruik voor de eerstvolgende 48 uur kan voorspellen. Op basis van deze voorspelling optimaliseert de software de bedrijfsvoering van de drinkwaterinfrastructuur: het berekent de voordeligste productie van zuiveringen en het efficiëntste gebruik van de buffers aan de hand van recent drinkwaterverbruik. Er wordt in het huidige OPIR programma echter nog geen gebruik gemaakt van actuele of voorspelde weersgegevens om de productievoorspelling te optimaliseren, terwijl het zeer aannemelijk is dat een “mooi weer” situatie invloed heeft op de drinkwatervraag.

Het doel van dit onderzoek is aantonen dat er een empirisch onderbouwde relatie bestaat tussen weersomstandigheden en het daarbij behorende drinkwaterverbruik. Met behulp van de maximale temperatuur en neerslag zal getracht worden de korte termijn OPIR-voorspelling te verbeteren. Voorwaarde is wel dat door toevoeging van de bovengenoemde relatie de korte termijn voorspellingen globaal gezien beter moeten worden dan voorheen het geval was.

Dit rapport beschrijft het onderzoek naar de relatie tussen drinkwaterverbruik en de weersomstandigheden maximale temperatuur en neerslag. De probleemstelling en onderzoeksmethode worden in hoofdstuk 2 en 3 uitgelegd. In hoofdstuk 4 wordt OPIR kort beschreven en hoofdstuk 5 behandelt het begrip watervraag; welke factoren zijn hiervoor verantwoordelijk en op welke termijn wordt het beschouwd. Hoofdstuk 6 geeft de gevonden literatuur voor drinkwatermodellen inclusief weersomstandigheden én de gevonden relaties tussen drinkwaterverbruik en weersomstandigheden weer. Hoofdstuk 7 toont de resultaten van het statistisch onderzoek, in hoofdstuk 8 vinden we de discussie en als laatste geeft hoofdstuk 9 een overzicht van de conclusies en aanbevelingen.



Figuur 1 Voorbeeld: OPIR voorspelt te laag tijdens de avondbult op 21 juli 2006 en een dag later te hoog voor zowel de ochtendbult als de avondbult. Bron: DHV BV

2 Probleemstelling

Het zuiveringsproces op drinkwaterpompstations wordt in de huidige situatie gestuurd door bedrijfsvoerders op de pompstations of door eenvoudige sturingsalgoritmen. De manier van zuiveren kan van grote invloed zijn op de waterkwaliteit. Zeker wanneer de pompstations gestuurd worden door mensen zal er onnodig of juist te laat geschakeld worden in het pompregime. Elke verandering in het pompgedrag van drinkwater zorgt voor kwaliteitsverlies. Door het proces te automatiseren hoeft er minder geschakeld te worden en gaat de waterkwaliteit omhoog. Het afvlakken van de fluctuatie in de watervraag zorgt voor meerdere voordelen (Bakker, Van Schagen & Timmer, 2003):

- Filtratieonderzoek heeft uitgewezen dat er slechter gefilterd wordt na een verandering in de productiesnelheid. Door de waterstroom met een constante snelheid door de zandfilters te leiden wordt een beter zuiveringsresultaat verkregen.
- Door bronnen met een goede waterkwaliteit vroegtijdig op te schakelen, kan het gebruik van waterbronnen met een slechtere waterkwaliteit kan worden vermeden.
- Door vaker gebruik te maken van dezelfde bronnen, zal de ruwe waterkwaliteit constanter zijn, wat resulteert in een constantere reinwaterkwaliteit.
- Doordat er minder geschakeld hoeft te worden, worden optimalere procescondities verkregen.
- Hydraulische verliezen, en daarmee energieverbruik, worden geminimaliseerd.
- De pieken in energieverbruik zullen lager zijn en er kan relatief goedkopere energie in de nachturen worden gebruikt, waardoor de energierekening daalt.

Om het drinkwaterverbruik beter te kunnen voorspellen en op die manier de productie van drinkwater probeert te sturen, heeft DHV het korte termijn drinkwater voorspellingsmodel OPIR ontwikkeld. Echter bij grote weersveranderingen is er geconstateerd dat OPIR enkele dagen achterloopt met zijn voorspelling, dat wil zeggen dat de voorspelling te langzaam wordt bijgesteld. Zeker met de verwachte klimaatsveranderingen op komst, lijkt het belangrijk dat weersomstandigheden in OPIR worden meegenomen. Verwacht wordt dat doormiddel van een correctiefactor voor weersomstandigheden de voorspellingen betrouwbaarder worden en eventuele fouten kunnen worden afgevlakt. Het verbeteren van OPIR met weersgegevens zorgt ervoor dat de waterkwaliteit wordt geoptimaliseerd en energie bespaard. Dit is extra service voor de drinkwaterbedrijven die al gebruik maken van de DHV software en aantrekkelijk voor de drinkwaterbedrijven die het programma nog aan willen schaffen.

Dit onderzoek heeft als doel:

Aantonen dat er een empirisch onderbouwde relatie bestaat tussen weersvoorde weersomstandigheden en het daarbij behorende drinkwaterverbruik. Met behulp van deze relatie zal getracht worden de korte termijn OPIR-voorspelling te verbeteren. Voorwaarde is wel dat door toevoeging van de bovengenoemde relatie de korte termijn voorspellingen (maximaal 48 uur vooruit) globaal gezien beter moeten worden dan voorheen het geval was.

Om dit doel te bereiken moeten een aantal onderzoeksvragen beantwoord worden:

1. Welke relatie bestaat er tussen weersvoorspellingen en het drinkwaterverbruik?
 - a. Hoe kan de relatie tussen de voorspelling van de maximale temperatuur en de drinkwatervoorspelling worden omschreven?
 - b. Hoe kan de relatie tussen de voorspelling van de neerslag en de drinkwatervoorspelling worden omschreven?
2. Welke relatie bestaat er tussen de actuele weersomstandigheden en het drinkwaterverbruik?
 - a. Hoe kan de relatie tussen de maximale temperatuur en het drinkwaterverbruik worden omschreven?
 - b. Hoe kan de relatie tussen het verschil tussen twee opeenvolgende dagen in maximale temperatuur en in drinkwaterverbruik worden omschreven?
 - c. Hoe kan de relatie tussen neerslag en drinkwaterverbruik worden omschreven en hangt deze af van neerslagduur, neerslaghoeveelheid of de periode zonder neerslag?
3. Bij welke weersomstandigheden voorspelt OPIR verkeerd?
 - a. Wat valt er op aan de weersgegevens van die dagen?

- b. Doen de grootste fouten van OPIR zich voort uit grootste veranderingen in het weer, of doen grote fouten in OPIR zich ook voor bij kleine veranderingen in het weer?
4. Hoe kan de bij 1. en/of 2. genoemde relatie op praktisch toepasbare wijze de voorspelling in OPIR verbeteren?

3 Onderzoeksmethode

Volgens de onderstaande werkwijze wordt geprobeerd de onderzoeksvragen te beantwoorden.

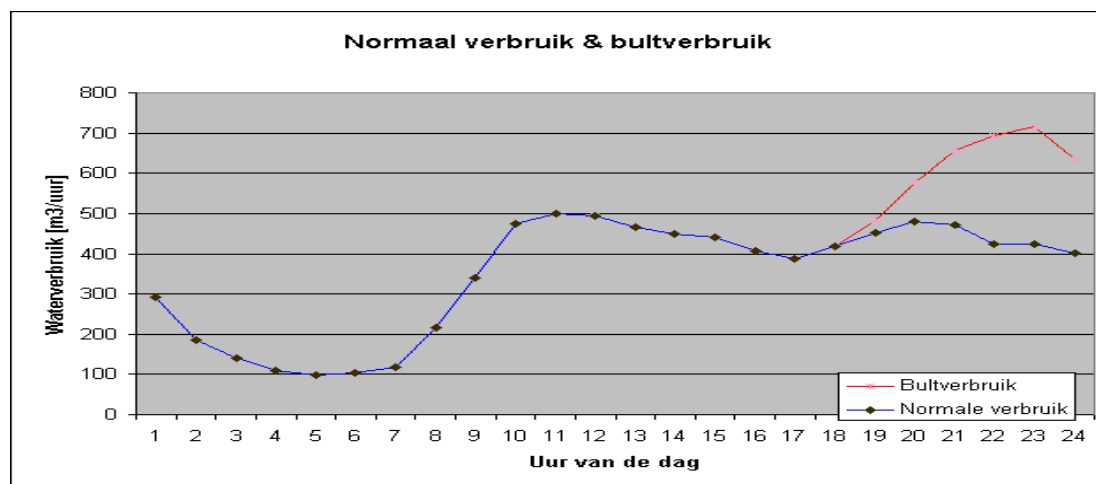
Allereerst wordt er in literatuur gezocht naar drinkwatermodellen die gebruik maken van weersomstandigheden of weersvoorspellingen om een beter inzicht te krijgen naar een mogelijke relatie tussen weersomstandigheden en het drinkwaterverbruik. Ook wordt er gezocht naar artikelen die meer duidelijkheid kunnen scheppen over de mogelijke relatie tussen weersomstandigheden en drinkwaterverbruik. Bovendien vindt er een interview plaats met de heer Houthuijzen, werkzaam bij het waterleidingsbedrijf Vitens op het pompstation Bremerberg in Flevoland, om ervaringen en inzichten uit de praktijk aan het licht te brengen.

Er is gekozen om een stedelijk en een landelijk gebied te onderzoeken, wat resulteerde in de twee waterleidingsgebieden Eindhoven en Beegden (Limburg). Beiden worden onderzocht voor de periode 1 januari 2005 – december 2006. Door de drinkwatergegevens en de weersgegevens voor maximale temperatuur en neerslag in grafische plots te zetten met de bijbehorende statistische parameters kan de correlatie tussen de datasets worden vastgesteld. Bij een sterke correlatie tussen de datasets liggen de waargenomen punten dicht bij de regressielijn. Een sterke correlatie wordt weergegeven door een $R^2=1$ en wanneer er geen verband is tussen de data zal dit worden weergegeven met $R^2=0$. Er wordt gezocht naar een relatie met een hoge R^2 .

Om de eenvoud van het OPIR-model te kunnen handhaven is er in eerste instantie gezocht naar een lineair verband, deze is in dit rapport aangehouden tenzij bewerking van de regressielijn een aanzienlijk beter resultaat gaf.

Doordat er geen weersvoorspellingen voor deze gebieden te achterhalen valt, zal er worden gewerkt met de daadwerkelijk gemeten dagwaarden voor maximale temperatuur, neerslag en het bultverbruik voor drinkwater.

Mocht de gevonden relatie betrouwbaar genoeg zijn dan wordt er met behulp van MATLAB het algoritme van de (bult)voorspelling aangepast en wordt onderzocht of dit zorgt voor een globale verbetering van de voorspelling.



Figuur 2 Normaal verbruik & bultverbruik. Waarbij het bultverbruik het verschil is tussen de lijn van het bultverbruik en het normale verbruik.

4 OPIR

Bakker et al. (2003) hebben een algoritme ontwikkeld waarbij 48-uurvoorspellingen betreffende de watervraag kunnen worden gedaan, zodat daardoor een gunstiger productiepatroon kan worden gerealiseerd. De productiesnelheid van drinkwaterzuivering in Nederland werd voorheen bijna altijd direct gebaseerd op de waterhoogte in het reinwaterbassin. Zeker wanneer de pompstations gestuurd worden door mensen zal er onnodig of juist te laat geschakeld worden in het pompregime. Zoals hierboven beschreven zorgt elke verandering in het pompgedrag van drinkwater voor kwaliteitsverlies, door het proces te automatiseren hoeft er minder geschakeld te worden en stijgt de waterkwaliteit.

Voorspelling verbruik

Het Optimised Production by Intelligent control (OPIR) model komt tot een dagvoorspelling door de normale voorspelling en de bultvoorspelling bij elkaar op te tellen (zie ook grafiek 2). De normale voorspelling wordt gedaan voor de eerstvolgende 48 uur, maar kan ook gedaan worden voor elk uur uit deze eerstvolgende 48-uursperiode. Hiervoor wordt gekeken naar het verbruik in de voorgaande 48 uur en vermenigvuldigd met factoren voor het dagtype en uurtype. Omdat het drinkwaterverbruik op de verschillende dagen van de week niet constant is, wordt de voorspelde dagvraag berekend aan de hand van de genormaliseerde dagverbruiken van de afgelopen 48 uur. Op dagen met een hoog verbruik vindt er voornamelijk 's avonds veel waterafname plaats, deze avondbult is een belangrijke factor voor het productieproces. Om die reden wordt in OPIR het zogenaamde bultverbruik losgekoppeld van de normale voorspelling. Het bultverbruik is gebaseerd op de avondbult(en) van de voorgaande 48 uur. Mocht blijken dat de dagvoorspelling toch niet voldoet aan de drinkwatervraag op de desbetreffende dag dan kan de voorspelling in OPIR met de hand worden aangepast ('de zogenaamde machinist') door de turbofactoren te wijzigen. Door deze variabele factor handmatig bij te stellen is het mogelijk om het totale voorspelde verbruik met maximaal 20% te verhogen of te verlagen.

Zelflerend

OPIR doet voorspellingen met behulp van dagtype factoren en uurfactoren voor de verschillende dagen van de week en de verschillende dagcurven. OPIR leert deze factoren zelf aan door het historische verbruik te analyseren. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen gewone maandagen t/m zondagen en feestdagen of dag voor een feestdag of dag na een feestdag. Voor de uurfactoren wordt onderscheid gemaakt tussen 'normale' curve maandag t/m zondag en 'bultcurve' maandag t/m zondag.

Bepalen in te zetten productie

Het doel van OPIR is het bepalen van het benodigde productiedebiet. Daarom moeten er ook correcties, bijvoorbeeld voor het schoonspoelen van de filters, worden meegenomen. Hiervoor wordt in OPIR een correctiefactor meegenomen. In de reinwaterkelders zijn er verschillende niveaus gedefinieerd die niet onderschreden of overschreden mogen worden, ook is er een dagelijks gewenst vulniveau gedefinieerd. Aan de hand van deze verschillende niveaus wordt de "OPIR slurf" vastgesteld. OPIR voert vergelijkingen uit met verschillende productiedebieten om te bepalen welke welke productielijn het langst binnen de slurf blijft. Deze productielijn zal de eerstvolgende tijd worden aangehouden.

Huidige situatie en verdere ontwikkeling

Er wordt op meerdere drinkwaterzuiveringen met het OPIR model gewerkt. Hierdoor is het zuiveringsproces al deels geoptimaliseerd, de waterkwaliteit verbetert en het energieverbruik gedaald.

OPIR werkt continu aan verbetering, doordat de zelflerende component de recente gebruiksgegevens analyseert en zo de dagfactoren en de uurfactoren aanpast. Er wordt nu alleen nog maar gebruik gemaakt van het gerealiseerde verbruik uit het bijbehorende waterleidingsgebied in combinatie met een beperkt aantal dagfactoren, uurfactoren en dagcurves. Echter bij plotselinge temperatuurverschillen treden er zo nu en dan fouten op in de voorspelling, verwacht wordt dat dit geoptimaliseerd zou kunnen worden door bijvoorbeeld toevoeging van weersfactoren aan OPIR.

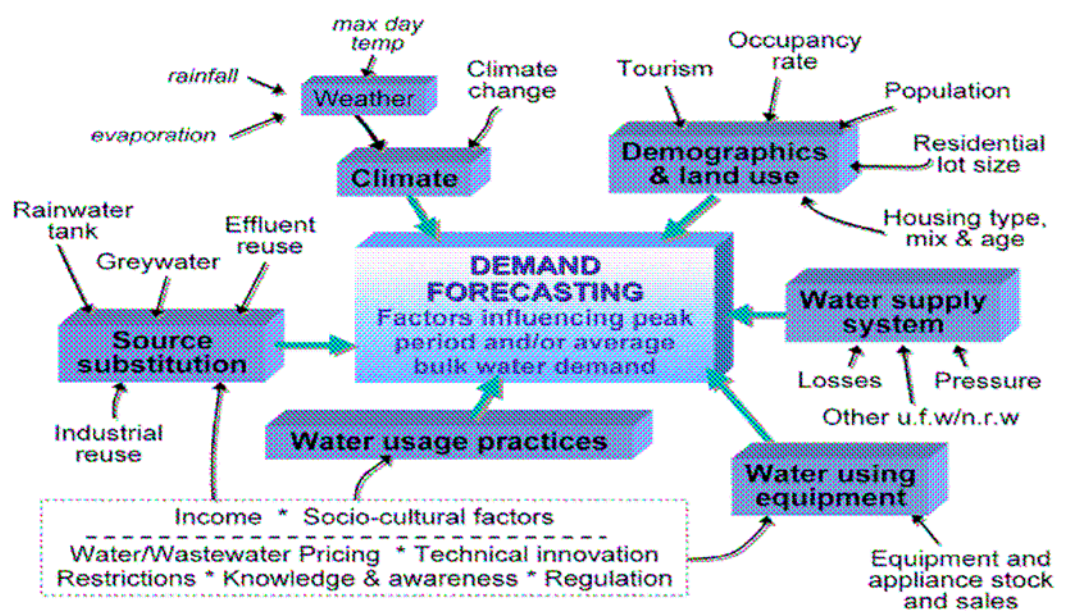
5 Watervraag

In Nederland werd er in 2004 gemiddeld zo'n 124 liter water per persoon per dag verbruikt¹, voor onder andere douchen, kleding wassen en consumptie. Gemiddeld, want de watervraag kan een grote variatie vertonen doordat er vele factoren van invloed zijn op de watervraag. Ondanks deze grote verschillen zijn er toch globale patronen te ontdekken voor één kalenderjaar en voor de verschillende dagen van de week.

Factoren die van invloed zijn op de drinkwatervraag

Deze factoren worden onderverdeeld in de prijsgerelateerde variabelen en niet-prijsgerelateerde variabelen. De prijsgerelateerde variabele omvat de waterprijs, welke weinig invloed heeft op de drinkwatervraag vanwege de zwakke prijselasticiteit tussen drinkwatervraag en waterprijs.

De niet-prijsgerelateerde variabelen hebben echter veel meer invloed op de drinkwatervraag. Onder de niet-prijsgerelateerde variabelen worden alle andere factoren samengevat, zoals gezinsgrootte, inkomen, soort huis, aanwezigheid van een vaatwasser en zwembad, dag van de week, een groot sportevenement, vakantie, nationale feestdagen en weersvariabelen.



Figuur 3 De factoren die direct en indirect invloed hebben op de watervraag.

Bron: White, Robinson, Cordell, Jha & Milne (2003)

Tijdschalen drinkwatervraag

Door grote variaties in de bovenstaande factoren, ontstaat een grote variatie in drinkwaterverbruik. Toch zijn er wel patronen te ontdekken. Zo is het algemeen bekend dat mensen op zondag meer water verbruiken dan op doordeweekse dagen en komt in het weekend de watervraag later op gang doordat mensen dan niet hoeven te werken en uitslapen. Daarnaast wordt er tijdens een droge periode geen water gegeven aan de planten in de tuin als bekend is dat er de volgende dag fikse buien worden verwacht. Het menselijke gedrag vormt daardoor een belangrijke factor. De drinkwatervraag kan beschouwd worden op: de lange termijn (periode langer dan 5 jaar), de middel lange termijn (1 jaar), de korte termijn (1 dag tot 1 week) en de ultra korte termijn (periode kleiner dan 1 uur).

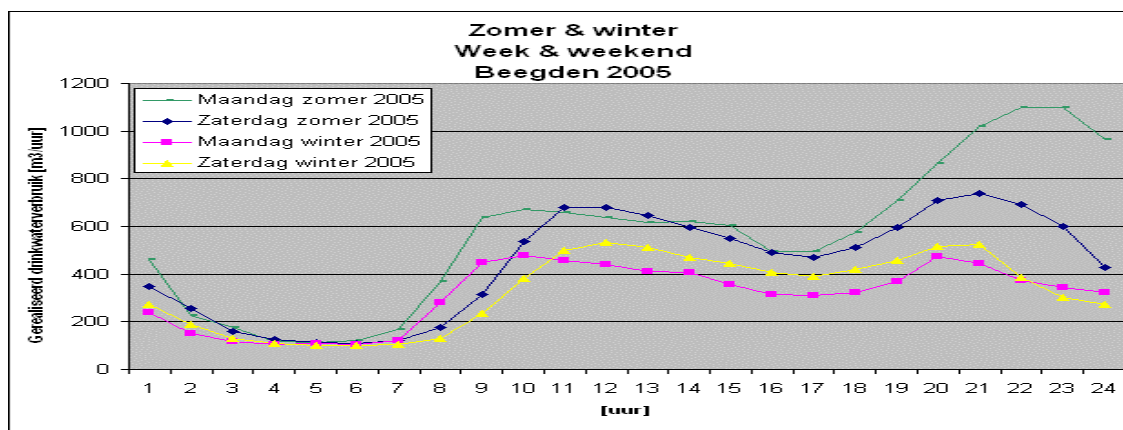
- De lange termijn wordt voornamelijk bepaald door de bevolkingsaantallen in het betreffende gebied. Er vinden continu fluctuaties plaats van de drinkwatervraag. Eén van de oorzaken kan een verandering in weersomstandigheden zijn: in een jaar met weinig neerslag is het

¹ www.wikipedia.nl

drinkwaterverbruik hoger dan in een jaar met veel neerslag. Daarnaast zijn de verschillen in verbruik in een meerjarige periode toe te schrijven aan trends in het verbruik. Door uitbreiding van het aantal inwoners en hierdoor een groei van het aantal gebruikers zal het totale drinkwaterverbruik toe nemen. Ook de gevolgen van veranderende levensgewoonten en waterbesparingcampagnes zijn waar te nemen in de meerjarige verbruiksgegevens. Deze gegevens zijn nodig voor het bepalen of de bestaande zuivering voldoende is of dat er een nieuwe zuiveringsinstallatie gebouwd moet worden.

- Wanneer er wordt gekeken naar de middel lange termijn is te zien dat niet alleen de grootte van het verbruik van belang is, maar ook de spreiding van de watervraag over het jaar en de voorspelde piekvraag. Deze gegevens zijn nodig om strategische keuzes te kunnen maken over het gebruik van de bestaande infrastructuur.
- Op de korte termijn is er veel variatie te zien in het weekverloop van het waterverbruik. Dit verloop wordt beïnvloed door min of meer vaststaande levenspatronen van de gebruikers, denk hierbij bijvoorbeeld aan het principe maandag = wasdag. Uiteraard verschilt dit enorm per distributiegebied. Wel is het zo dat er twee pieken optreden in het verbruikerspatroon op een dag, de zogenaamde ochtend- en avondbult. De grootste variatie doet zich voor in de avondbult. In de zomer is deze enorm en in de winter is deze juist kleiner dan de ochtendbult.
- Een voorbeeld van een ultra korte termijn beschouwing is het moment de pauze van een voetbalwedstrijd van Oranje. Iedereen zit in spanning voor de tv op het moment van de wedstrijd, om vervolgens in de rust een kopje koffie te zetten of naar de wc te gaan. Wat uiteraard resulteert in een topverbruik.

Voor dit onderzoek zijn de korte termijn tot middel lange termijn zeer interessant. Zeker de verdeling van het waterverbruik over de dag en de week, en het maken van strategische keuzes voor de productie. Er zijn al diverse gegevens bekend over de watervraag. Normaal gesproken krijgt men het volgende beeld te zien:



Figuur 4 Invloed van de dag van de week en seizoen op de drinkwatervraag.

Uit de bovenstaande grafiek wordt duidelijk dat het drinkwaterverbruik in de zomermaanden hoger ligt dan het verbruik in de wintermaanden. Ook kan er onderscheidt worden gemaakt tussen de dagen van de week, in het weekend begint het drinkwaterverbruik later dan doordeweeks. Op zaterdagen ligt het drinkwaterverbruik normaal gesproken hoger dan doordeweeks. Een ander fenomeen is dat er bij een hoger verbruik een avondbult zichtbaar wordt bovenop het normale standaardverbruik, dit is de zogenaamde avondbult.

6 Weersomstandigheden en drinkwaterverbruik

Dit hoofdstuk kan onderverdeeld worden in twee delen; allereerst de resultaten van het literatuuronderzoek en ten tweede een verslag van het interview met Hans Houthuizen, procescoördinator bij het pompstation Bremerberg te Biddinghuizen, werkzaam bij waterleidingsbedrijf Vitens.

6.1 Literatuuronderzoek

Het literatuuronderzoek wordt opgesplitst in het onderzoek naar drinkwatermodellen op basis van weersomstandigheden en ten tweede de invloed van het weer op het drinkwaterverbruik.

6.1.1 Drinkwatermodellen & weersomstandigheden

Er zijn meerdere mogelijkheden om het drinkwaterverbruik over de tijd te voorspellen: eindgebruikers voorspelling, econometrische voorspelling en de tijdserie voorspelling. Het eindgebruikers model is gebaseerd op het uiteindelijke gebruik van het drinkwater, hierbij worden voorspellingen gedaan op basis van het verwachte specifieke eindgebruik. De econometrische voorspelling is gebaseerd op de historische relaties tussen verschillende onafhankelijke variabelen en het waterverbruik (de afhankelijke variabele) onder de veronderstelling dat deze relaties zich in de toekomst blijven voordoen. Er worden voorspellingen verzameld over de onafhankelijke variabelen en daarmee wordt het waterverbruik voorspeld. De tijdseriemethode voorspelt de watervraag zonder dat er andere factoren nodig zijn.

Het huidige model van OPIR werkt volgens dit laatstgenoemde principe. Doordat we streven OPIR te verbeteren met weersrelaties is er gezocht naar informatie op basis van econometric forecasting. Uit dit onderzoek blijkt dat het toevoegen van weersomstandigheden aan drinkwater voorspellingsmodellen een vrij recente ontwikkeling is. Met als gevolg dat er nog maar weinig modellen bekend zijn in de literatuur. De gevonden modellen zijn allen ontwikkeld door of gebaseerd op het model van Maidment, Miaou & Crawford uit 1985 (zoals geciteerd door Zhou, McMahon, Walton & Lewis, 2000).

Maidment et al. model

Het korte-termijn voorspellende model van Maidment et al (zoals geciteerd door Zhou, 2000) is gebaseerd op de Box en Jenkins tijd serie analyse uit 1976 (zoals geciteerd door Zhou, 2000) en is vervolgens gecombineerd met de volgende aannames:

1. de totale watervraag wordt onderverdeeld in basisverbruik en seizoensgebruik. Het basisverbruik is weersonafhankelijk en komt overeen met het gemiddelde watergebruik in de wintermaanden. Het seizoensgebruik daarentegen is weersafhankelijk en wordt beschouwd als het verschil tussen de basisvraag en de totale vraag gedurende de andere maanden van het jaar.
2. bij afwezigheid van neerslag volgt het seizoensgebruik een karakteristiek patroon over het jaar dat afhankelijk is temperatuurscondities.
3. de aanwezigheid van neerslag veroorzaakt een onmiddellijke terugval in seizoensgebruik dat geleidelijk aan weer verdwijnt over de tijd.

In 1986 is het model door Maidment and Miaou getest in 9 Amerikaanse steden. De betrouwbaarheid van het model scoorde in Texas gemiddeld 96% (Austin 96%, College Station 93% en Dallas 99%), 73% in Florida (Boca Raton 70%, Deerfield Beach 70% en Gainesville 78%) en 61% in Pennsylvania (Allentown 48%, Philadelphia 58% en Pittsburgh 78%).

In dit model wordt alleen gekeken naar de relatie van het drinkwater met de klimaatsvariabelen; neerslag en maximale temperatuur. De relatie tussen veranderingen in de luchttemperatuur en waterverbruik wordt omschreven als een niet-lineaire relatie. In eerste instantie hangt het drinkwaterverbruik af van het feit of er regen valt en daarna pas van het feit hoe groot de neerslaghoeveelheid dan is. De kans op neerslag is dus vele malen belangrijker voor de voorspelling dan de hoeveelheid neerslag die valt.

Zhou et al model

Het watervraagmodel van Zhou et al. (2000) doet zowel 24–uurvoorspellingen als uurvoorspellingen en is gebaseerd op het bovenstaande model van Maidment et al. (zoals geciteerd door Zhou, 2000). In tegenstelling tot Maidment et al. (zoals geciteerd door Zhou, 2000), nemen Zhou et al. (2000) meerdere weersvariabelen mee in het model; dagelijks maximale temperatuur, dagelijks gevallen neerslag, antecedent neerslag index, het aantal dagen dat er minstens 0,2 mm regen is gevallen en de Class A pan evaporation. Door gebruik te maken van deze gedetailleerde relaties tussen het weer en de waterconsumptie kunnen de korte termijn consumptie trends worden voorspeld aan de hand van het huidige weer en weersvoorspellingen. Bij tests in Melbourne, 1996 en 1997 scoorde het model een R^2 van 89.6% en een standaard fout van ongeveer 8%.

Gato et al. model

Dit model (Gato, Jayasuriya & Roberts, 2007) is eveneens gebaseerd op het model van Maidment et al. (zoals geciteerd door Zhou, 2000). Door gebruik te maken van dagelijkse watervraag data uit East Doncaster, Victoria, Australië van de periode 1991 tot 1999 in combinatie met een temperatuurdrempel en regenvaldrempel is een nieuw basis drinkwaterverbruikmodel ontwikkeld. De dagelijkse waterconsumptie wordt beschouwd als de som van het basisverbruik en het seizoensverbruik. De basisgegevens vertonen correlatie met de dagen van de week en klimaatfactoren; maximale temperatuur, neerslag en evaporatie. Door toevoeging van de temperatuur en neerslag stijgt de betrouwbaarheid van het model en daalt de standaard deviatie. De seizoensconsumptie is enerzijds afhankelijk van de normale luchttemperatuur, anderzijds van de snelle beslissingen van mensen na weersveranderingen. Kenmerkend voor het model van Gato et al. (2007) is dat er gebruik wordt gemaakt van drempelwaarden voor temperatuur en neerslag. Dit model haalde voor tests op de dataset van januari 2000 tot april 2001 uit East Doncaster, Victoria, Australië een gecombineerde betrouwbaarheidscoëfficiënt van 82%. Tot nu toe is er in dit model nog geen rekening gehouden met het opdelen van het jaar in seizoenen, temperatuur en neerslagdiepte of het meenemen van verdamping zoals toegepast in eerdere dagelijkse modellen.

6.1.2 Drinkwaterverbruik & weersomstandigheden

De watervraag in een stedelijk gebied is afhankelijk van vele factoren, waarvan de weersomstandigheden slechts een klein deel vormen van het geheel. Hieronder wordt een opsomming gegeven van de belangrijkste weersfactoren die in de literatuur genoemd worden in relatie met het drinkwaterverbruik:

Luchttemperatuur

De luchttemperatuur en de stedelijke watervraag zijn volgens Martins & Fortunato (2005) positief gecorreleerd; dus naar mate de temperatuur hoger wordt, stijgt de vraag naar drinkwater. Maidment & Miaou (zoals geciteerd door Zhou, 2000) hebben dit, zoals eerder genoemd, beschreven als een non-lineair verband.

Gato (2004) gaat er vanuit dat bij afwezigheid van neerslag de maximale temperatuur de dominante variabele is die de stedelijke watervraag bepaald. Zhou, McMahon, Walton & Lewis (2002) verruimen deze relatie tot een lineaire relatie tussen de waterconsumptie en de huidige maximale temperatuur in combinatie met de maximale temperatuur van de twee dagen ervoor.

Gato et al. (2007) meent dat de correlatie tussen temperatuur en drinkwaterverbruik voornamelijk optreedt wanneer de temperatuur de gestelde minimumtemperatuur, ook wel drempelwaarde genoemd, overschrijdt.

Neerslag

Over de invloed van neerslag op het drinkwaterverbruik verschillen de meningen. Martins et al. (2005) beschouwt als enige de neerslag niet als een statistisch belangrijke factor. Maidment en Miaou (zoals geciteerd door Zhou, 2000) relativeren dit en stellen dat de watervraag in de eerste plaats afhangt van de aanwezigheid van neerslag en in de tweede plaats pas van de hoeveelheid neerslag. Zhou et al. (2002) hebben aangenomen dat er voornamelijk in de zomer een regulier patroon optreedt als gevolg

van de luchttemperatuur, dat onderbroken wordt door de aanwezigheid van neerslag. Elke keer dat er regen valt, wordt de waterconsumptie onmiddellijk gereduceerd, waarna het geleidelijk weer terugkeert naar het zomerpatroon. Gato (2004) bevestigt dit dynamische effect tussen neerslag en stedelijke watervraag. Hierbij geldt, hoe hoger het seizoenswaterverbruik voorafgaand aan de neerslag, hoe groter de afname van de watervraag door de neerslag. Deze reductie in het waterverbruik is proportioneel aan het voorgaande seizoensverbruik, en de proportionaliteit neemt toe, wanneer de hoeveelheid regen toeneemt. (Beide uitspraken zijn afkomstig van het onderzoek van Maidment; 1985, aldus geciteerd door Zhou, 2000).

Verdamping

Ondanks het feit dat verdamping tot nu toe weinig aandacht krijgt van onderzoekers, veronderstelt Meza (2005) dat juist de verdamping een grote rol speelt in de watervraag. Zhou et al. (2000) en Gato et al. (2007) benadrukken dit door in hun model de verdamping mee te nemen.

Naast deze op zichzelf staande weersinvloeden, zijn er nog andere belangrijke factoren aan te wijzen die niet onder één variabele samen valt te vatten.

Seizoensvariabelen

Volgens Gutzler (2004) is er weinig correlatie tussen de klimaatsveranderingen binnen een jaar en de watervraag, wel is er een verband als je op jaarbasis kijkt naar de watervraag en de zomerneerslag respectievelijk de gemiddelde maximale temperatuur.

Gato et al. (2007) verdeelt het totale watergebruik op in het basisverbruik en het seizoensverbruik. Ook Howe en Linaweaver (zoals geciteerd in Zhou, 2002) én Carver en Boland (zoals geciteerd in Zhou, 2002) ondersteunen deze theorie van Gato et al. (2007). Over het algemeen geldt dat het buitenshuislijke watergebruik sterk wordt beïnvloed door het klimaat, terwijl het binnenshuislijke gebruik relatief constant blijft gedurende het jaar.

Periode van droogte

Martinez-Espineira (zoals geciteerd in Arbuès, Garcia-Valina & Martinez-Espineira, 2003) neemt aan dat watergebruikers sterker reageren op een gebeurtenis met neerslag dan op de hoeveelheid neerslag die gevallen is; dit effect is daarom hoofdzakelijk psychologisch te noemen. Wanneer er sprake is van droogte, is het effect groter dan wanneer het de dag ervoor geregend heeft. Hierdoor is het aantal neerslagdagen een beter verklarende variabele, dan de hoeveelheid gevallen neerslag in een gegeven periode.

Veel drinkwaterstudies nemen klimaat en weersgegevens mee, om rekening te kunnen houden met de gemiddelde seizoensveranderingen in het watergebruik. De bruikbaarheid van deze variabelen is vaak verbeterd door beter te omschrijven wat hun voorkomen en omvang, meenemen van lag effects en drempels, en door gebruik te maken van non-linear en time-serie methoden. Ondanks dat er geen eenduidige mening is over de mogelijke invloed van klimaatsvariabelen op het waterverbruik is men het in grote lijnen met elkaar eens. Een hoge temperatuur zorgt voor een toename van de watervraag, terwijl veel neerslag de watervraag reduceert.

Als laatste nog een opmerking over het drinkwaterverbruik op het platteland en in de grote stad, iets waarmee in dit onderzoek wel rekening gehouden moet worden aangezien we het plattelandsgebied Beegden en het stedelijke gebied Eindhoven beschouwen. Gato et al. (2007) verwijst in zijn artikel naar Maidment en Miaou (zoals geciteerd in Zhou, 2000) die beweren dat er een duidelijker effect is tussen drinkwaterverbruik en weersomstandigheden in grote steden dan in landelijk gebied. Bij kleine steden is er relatief gezien een grotere willekeur in drinkwaterverbruik te zien dan bij de grotere steden. Om die reden zal moeilijker zijn om de kleine steden te modelleren dan de grote steden.

6.2 Interview

Pompstation Bremerberg is het oudste drinkwaterpompstation van Flevoland en beschikt over 16 bronnen. De heer Houthuijzen is daar procescoördinator voor het waterleidingsbedrijf Vitens en houdt overdag het zuiveringsproces op het pompstation in de gaten, maar wanneer hij nachtdienst heeft is hij verantwoordelijk voor de levering van het drinkwater van heel Flevoland.

Sinds begin 2007 is de OPIR in Flevoland uitgebreid met de optie tot kwartiersvoorspellingen, welke draait op het pompstation Bremerberg. Ondanks dat er toch nog wat onduidelijkheden zijn over deze nieuwe versie, is de heer Houthuijzen redelijk tevreden met OPIR. Toch verwacht hij dat weersvoorspellingen cq het toevoegen van actuele weersgegevens een toegevoegde waarde zouden kunnen hebben voor OPIR, althans indien er een duidelijke relatie gevonden wordt.

Verwacht wordt dat er geen duidelijke relatie is tussen de temperatuur en het drinkwaterverbruik te vinden is, maar dat er een relatie is staat vast. In drogere periodes is dit voornamelijk te zien in de avonduren. Zeker wanneer het langer droog is, wordt de structuur duidelijk. Echter bij wisselvalliger weer is er geen duidelijk patroon aan te wijzen. Ook lijkt er een verband te zijn tussen de neerslag en het drinkwaterverbruik, ook deze is onzeker. Wanneer er neerslag valt, verdwijnt de avondbult, omdat mensen als ze 's avonds thuiskomen niet meer de tuin gaan sproeien of hun auto wassen.

Daarnaast is er volgens de heer Houthuijzen een teken dat mensen bij schraal weer en een droge oostenwind, in combinatie met een lage luchtvochtigheid veel meer water gaan verbruiken. Zeker bij een sterke wind, zal er meer gesproeid worden. Kortom de verdamping is op zulke dagen groter.

Bovendien is er een sterk verschil in het winter- en zomerseizoen. In april-mei merkt men de weersinvloeden goed, mensen hebben net hun plantjes gekocht in het tuincentrum en die moeten natuurlijk genoeg water krijgen. Als er dan hoge temperaturen optreden zul je zien dat mensen vaker hun tuin gaan sproeien dan in bijvoorbeeld de nazomer; mei is wat dat betreft echt de topmaand qua waterverbruik! De winter is gelijkmatiger zeker de periode januari – februari.

Op het moment van een veranderende weersverwachting treedt er ook een verandering in de drinkwatervraag op. Neem bijvoorbeeld de maanden april en mei 2007; hierbij is een weersvoorspelling op zondagavond waarin wordt aangekondigd dat het op maandag flink gaat regenen, na 6 weken lang mooi, droog en warm weer al voldoende om de avondbult te laten krimpen.

6.3 Gekozen weersvariabelen

Naar aanleiding van dit literatuuronderzoek wordt er gekozen om de weersvariabelen maximale temperatuur en neerslag te onderzoeken. Deze twee hebben – volgens de gevonden literatuur - samen met verdamping, de grootste invloed op het drinkwaterverbruik. Reden om verdamping niet mee te nemen is dat de verdamping niet voorspeld wordt in bijvoorbeeld het weerbericht en bovendien moet deze berekend worden met behulp van vele ingangswaarden. De maximale temperatuur en neerslag daarentegen hebben als voordeel dat ze op regelmatige basis worden voorspeld en bovendien zijn ze gemakkelijk te meten.

Verwacht wordt dat het drinkwaterverbruik zal stijgen bij toenemende maximale temperatuur en zal dalen bij toenemende neerslaghoeveelheid.

7 Statistisch onderzoek

Er is gekozen om een stedelijk en een landelijk gebied te onderzoeken, wat resulteerde in de twee waterleidingsgebieden Eindhoven en Beegden (Limburg). Door de drinkwatergegevens en de weersgegevens voor maximale temperatuur en neerslag in grafische plots te zetten met de bijbehorende statistische parameters kan de correlatie tussen de datasets worden vastgesteld. Bij een sterke correlatie tussen de datasets liggen de waargenomen punten dicht bij de regressielijn. Een sterke correlatie wordt weergegeven door een $R^2=1$ en wanneer er geen verband is tussen de data zal dit worden weergegeven met $R^2=0$. Er wordt gezocht naar een relatie met een hoge R^2 .

Om de eenvoud van het OPIR-model te kunnen handhaven is er in eerste instantie gezocht naar een lineair verband, deze is in dit rapport aangehouden tenzij bewerking van de regressielijn een aanzienlijk beter resultaat gaf.

Paragraaf 7.1 legt uit waar de datasets vandaan komen. De daarop volgende paragrafen behandelen opeenvolgend een analyse over de tijd, grootste foutenanalyse, de relatie van het drinkwaterverbruik met de maximale temperatuur en de relatie van het drinkwaterverbruik met de neerslag. In paragraaf 7.6 vinden we de conclusie over de relatie van het drinkwater met de onderzochte weersomstandigheden.

7.1 Datasets

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de drinkwatergegevens van DHV en de weersgegevens van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), beiden voor de periode 1 januari 2005 tot december 2006. Voor Beegden tot 28 december 2006 en voor Eindhoven tot 11 december 2006.

De drinkwatergegevens waren al voor handen bij DHV. Deze data is beschikbaar als dagvraag, maar ook als uurvraag van het drinkwater.

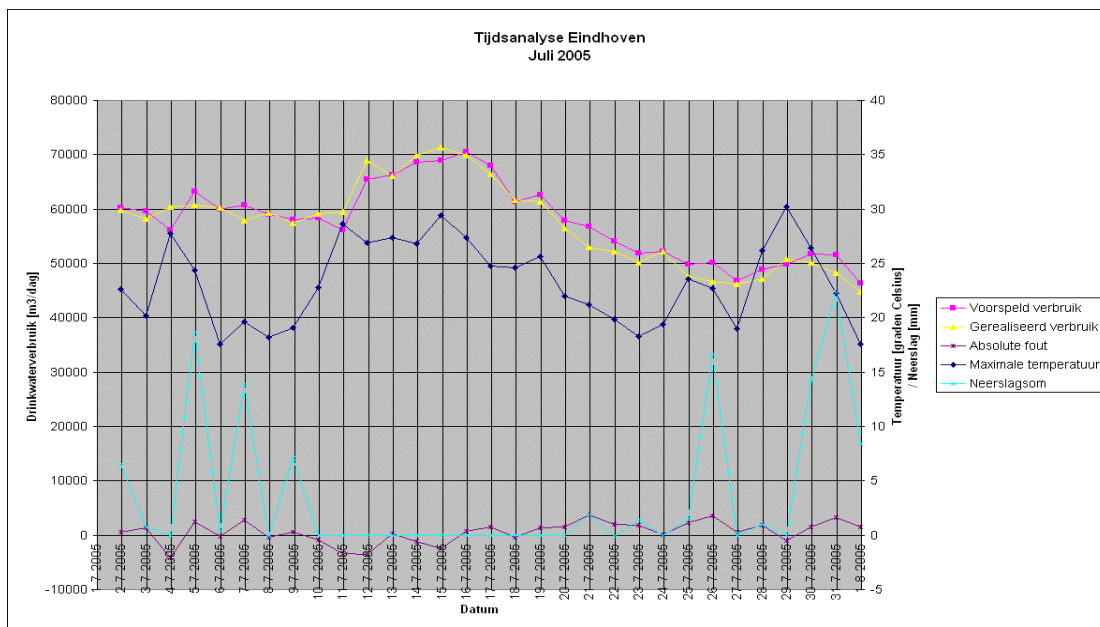
De weerdata is afkomstig van het KNMI. Voor de gebieden Eindhoven en Beegden is gebruik gemaakt van de gegevens van KNMI meetstation Eindhoven respectievelijk KNMI meetstation Maastricht. Naast de dagelijkse gegevens voor de maximale temperatuur en neerslag zijn er geen urengegevens beschikbaar. Wel zijn er op de website van het KNMI² veel gegevens over andere weerscondities te vinden.

Er wordt voor dit onderzoek alleen gekeken naar de maximale temperatuur en neerslag, omdat deze twee weersfactoren, naast verdamping, volgens het literatuuronderzoek de grootste invloed uitoefenen op het drinkwaterverbruik. Bovendien hebben deze twee nog een voordeel: ze worden op regelmatige basis voorspeld in de dagelijkse weersvoorspellingen en zijn gemakkelijk zelf te meten. Verdamping wordt niet voorspeld in de weerberichten en moet berekend worden met hulp van bijvoorbeeld de formule van Makkink. Hiervoor zijn de volgende weersfactoren nodig: zonnestraling, windsnelheid, luchttemperatuur en luchtvochtigheid.

² www.knmi.nl

7.2 Analyse over de tijd

Voor de gebieden Beegden en Eindhoven zijn per maand de maximale temperatuur, neerslag en de daggegevens voor het drinkwaterverbruik tegen elkaar uitgezet in een grafiek. De daggegevens bestaan uit: het voorspelde drinkwaterverbruik, het gerealiseerde drinkwaterverbruik en de fout van OPIR. De fout in OPIR is gelijk aan het gerealiseerde verbruik minus het voorspelde verbruik. Als voorbeeld wordt hieronder de maand juli 2005 getoont; hier heel mooi te zien dat het drinkwaterverbruik de maximale temperatuur volgt en dat OPIR bij neerslag te hoog voorspeld.



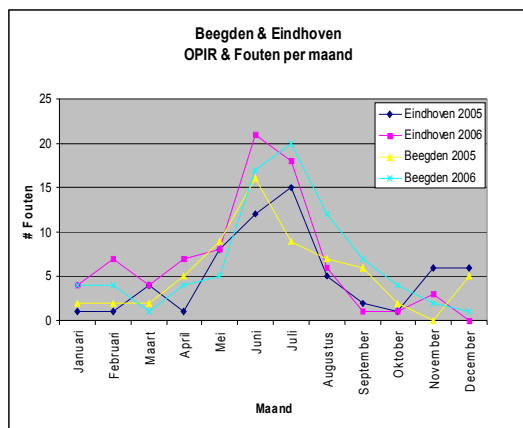
Figuur 5 Tijdsanalyse Eindhoven. De maand juli 2005.

Bij bestudering van de gegevens voor 2005 en 2006 in beide waterleidingsgebieden valt het volgende op:

- de maximale temperatuur heeft zeker in de maand juli grote invloed, tijdens een lange droge periode neemt de drinkwatercurve de vorm aan van de maximale temperatuur. Ook in de maanden april, mei, juni en augustus lijkt de temperatuur van invloed te zijn op de drinkwatervraag.
- OPIR voorspeld vaak te laag bij droog en relatief warm weer in de zomer.
- de neerslag lijkt in de maanden april tot september invloed te hebben op de drinkwatervraag, vooral in juli zorgt deze weersvariabele voor een structurele overschatting van de drinkwatervraag door OPIR.

7.3 Grootste foutenanalyse OPIR

Zoals in hoofdstuk 3 genoemd is deze foutenanalyse gebaseerd op het normale dagverbruik, omdat OPIR geen voorspellingen voor het bultverbruik opslaat en deze daardoor niet in dit onderzoek konden worden meegenomen.

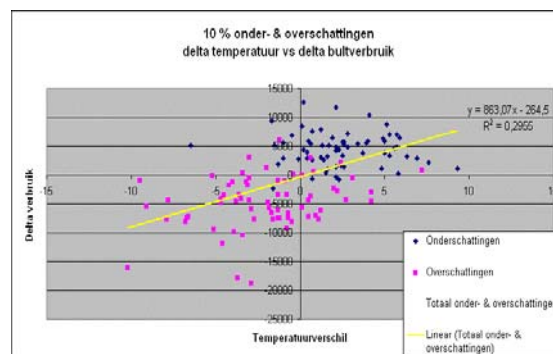


Figuur 6 OPIR & het "grote fouten" per maand.

Het maximale drinkwaterverbruik doet zich voornamelijk voor in de maanden mei, juni en juli. Het is daarom ook niet verwonderlijk dat OPIR juist in deze periode de grootste fouten maakt. De 10 % grootste onderschattingen (=situatie waarin er meer gerealiseerd wordt dan dat er voorspeld is) en 10 % grootste overschattingen worden weergegeven in de figuur 5, op de assen staan de maanden en het aantal dagen waarop OPIR deze grote fouten maakt vermeld. Uit nader onderzoek is gebleken dat er geen specifieke uitspraken gedaan kunnen worden over de verdeling van de overschattingen, die zich op elk willekeurig moment van het jaar blijken voor te doen. De onderschattingen daarentegen vertonen een top in de maanden juni en juli. Dit lijkt verklaard te kunnen worden door de hogere temperaturen in de zomer.

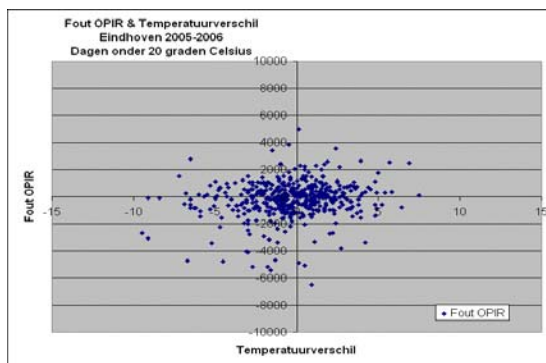
Temperatuur

Delta verbruik en het temperatuurverschil kunnen worden gedefinieerd als het verschil in drinkwaterverbruik per dag respectievelijk de maximale temperatuur ten opzichte van de dag ervoor. De overschattingen doen zich grotendeels voor op het moment van temperatuurdaling, terwijl de onderschattingen zich voornamelijk voordoen bij een temperatuurstijging. Op zich is dit in overeenstemming met de gedachte dat wanneer het regent OPIR te hoog voorspelt en wanneer het een aantal dagen achter elkaar droog is en de temperatuur hoog OPIR te weinig voorspelt.

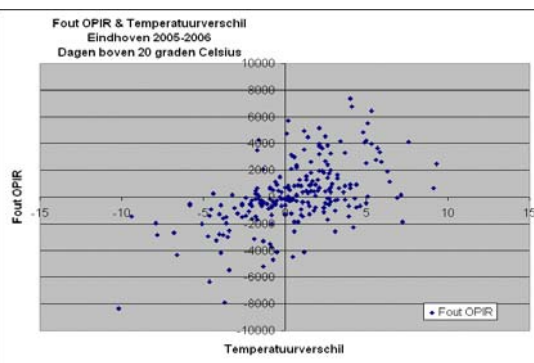


Figuur 7 "Grootste fouten" uit Eindhoven.

Daarnaast is het zinvol om bij temperatuurdaling of temperatuurstijging onderscheid te maken in de daadwerkelijke temperatuur. Het is logisch dat het effect van de absolute temperatuur hierbij een rol zal spelen, bij bijvoorbeeld 30 graden Celsius zal een temperatuurverandering meer effect hebben dan wanneer het slechts 5 graden Celsius is. Om dit toe te lichten wordt er in dit specifieke geval willekeurig een grens getrokken voor de absolute temperatuur, in dit geval bij 20 graden Celsius, en zal er door verder onderzoek geprobeerd worden een relatie te definiëren.



Figuur 8 Onder de 20 graden Celsius.



Figuur 9 Boven de 20 graden Celsius.

Het verschil tussen de twee situaties is duidelijk zichtbaar in de bovenstaande grafieken. De fouten boven de 20 graden Celsius bevinden zich in een bredere range dan bij de situatie onder de 20 graden Celsius. Onder de 20 graden Celsius is de puntenwolk meer geconcentreerd rond een punt en zijn de fouten over het algemeen kleiner, terwijl in de situatie boven de 20 graden de puntenwolk veel opener is en de fouten kunnen behoorlijk oplopen.

In de eerste grafiek, onder de 20 graden Celsius, is er één grote puntenwolk zichtbaar zonder duidelijke richting. In de tweede grafiek, de situatie vanaf 20 graden Celsius, is er een verschil zichtbaar tussen temperatuurdaling en temperatuurstijging. Voor temperatuurdaling voorspelt OPIR te hoog en voor een temperatuurstijging heeft OPIR de neiging om te overschatten.

Neerslag

In de 10 % grootste overschattingsituaties is veelal sprake van neerslag, terwijl bij de 10 % grootste onderschattingen de neerslag incidenteel aanwezig is. Opmerkelijk is daarom ook dat de grootste hoeveelheid neerslag is gevallen in een 10 % grootste onderschattings situatie, omdat het aannemelijker is dat er bij een onderschatting juist een weersverbetering hoort.

Analyse OPIR

De analyse van OPIR die elk jaar wordt uitgevoerd bracht het volgende naar voren:

Uurverbruik	Gemiddelde absolute fout	Gemiddeld uurverbruik	% fout	Maanden grootste fouten
Beegden 2005	19,8 m ³ /h	334,9 m ³ /h	6	mei-augustus
Beegden 2006	19,8 m ³ /h	344,1 m ³ /h	6	juni-augustus
Eindhoven 2005	228 m ³ /h	2.461 m ³ /h	9,3	mei-september
Eindhoven 2006	165 m ³ /h	2.495 m ³ /h	7	juni-juli

Dagverbruik	Gemiddelde absolute fout	Gemiddelde dagverbruik	% fout	Maanden grootste fouten
Beegden 2005	164,5 m ³ /d	8.022,9 m ³ /d	2	juni-juli
Beegden 2006	174,4 m ³ /d	7.454 m ³ /d	2	juni-augustus
Eindhoven 2005	1.440 m ³ /d	59.077 m ³ /d	2,44	mei-september
Eindhoven 2006	1.227 m ³ /d	58.144 m ³ /d	2	maart-september

Opvallend aan deze tabellen is dat de grootste fouten zich voordoen in de zomerperiodes en dat bij het uurverbruik grotere % fouten worden gemaakt, dan tijdens het dagverbruik. Ook is er een bevestiging gevonden voor wat we in paragraaf 7.2 al genoemd hebben; de OPIR-voorspelling is te hoog op het moment dat er neerslag valt en de OPIR-voorspelling is te laag op het moment dat het een langere periode droog is en relatief warm.

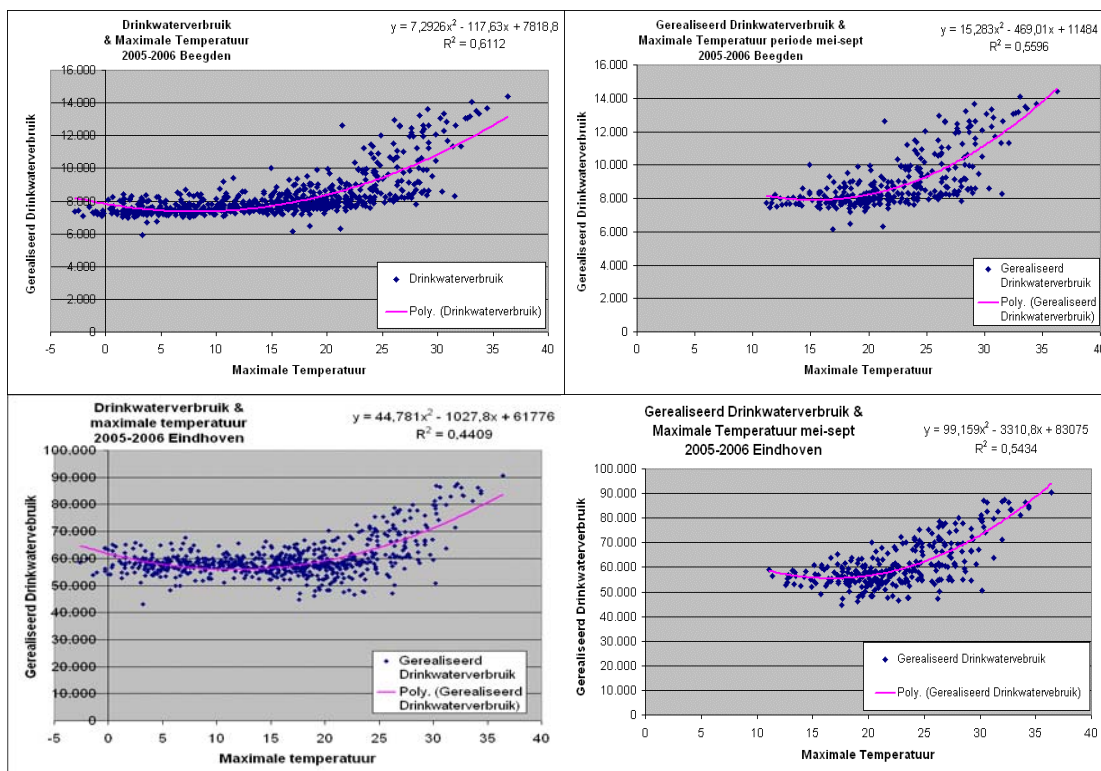
7.4 Maximale temperatuur

Maidment en Miaou (zoals geciteerd in Zhou, 2000), Martins & Fortunato (2005) en Zhou et al. (2002) beschreven al eerder een positieve correlatie tussen de (maximale) luchttemperatuur en de stedelijke watervraag voor negen Amerikaanse steden en Melbourne in Australië, maar geldt deze relatie ook voor Beegden en Eindhoven? In de Amerikaanse steden en Melbourne is het relatief warm en de range van de waargenomen maximale temperaturen relatief klein. Onze twee Nederlandse steden hebben een heel ander klimaat, waarin het over het algemeen toch iets koeler is en de range van de maximale temperatuur groter. De veronderstelde positieve correlatie tussen maximale luchttemperatuur en stedelijke watervraag wordt in deze paragraaf onderzocht.

Allereerst wordt er gekeken naar een mogelijke relatie tussen de maximale temperatuur en het drinkwater dagverbruik voor de waterleidingsgebieden Beegden en Eindhoven voor de periode 1 januari 2005 tot december 2006. Daarna volgen er nog een aantal vergelijkingen tussen de avondbult en temperatuur. Er is gezocht naar een relatie tussen:

a. Het gerealiseerde drinkwaterverbruik & de maximale temperatuur

Voor beide waterleidingsgebieden Beegden en Eindhoven is het dagelijkse waterverbruik uitgezet tegen de maximale temperatuur. Allereerst voor de hele periode 2005-2006, daarna voor de maanden mei-september uit bovenstaande jaren.



Figuur 10 De grafieken van drinkwaterverbruik vs maximale temperatuur voor de jaren 2005 & 2006 beiden in één grafiek en voor de periode mei-september uit de twee jaren, ook in één grafiek, voor beide waterleidingsgebieden.

Wanneer je beide grafieken met elkaar vergelijkt, is te zien dat het drinkwaterverbruik vrij stabiel is tot ongeveer 15-20 graden Celsius, daarna wordt de variatie in de puntenwolk zichtbaar groter. Bij temperaturen boven de 20 graden Celsius is er sprake van een onduidelijkere invloed op het op het gerealiseerde waterverbruik. Er ontstaat immers een grotere variatie aan drinkwaterverbruik, de

spreiding loopt onder andere voor Eindhoven (op basis van de hele periode 2005-2006) bij 30 graden Celsius zelfs van 50.000 m³/dag tot bijna 90.000 m³/dag.

De regressielijnen lijken een vrij goed beeld te geven van de puntenwolk, de betrouwbaarheid van de regressielijn ligt tussen de $R^2=0.43$ en $R^2=0.61$, maar de afwijking tot die lijnen is vrij groot te noemen. Voor Beegden is dit op meerdere plekken zelfs 3.000 m³/dag (op een gemiddeld dagverbruik van 8.000 m³/dag, wat neerkomt op een fout van 37.5% van het gemiddelde dagverbruik) en voor Eindhoven ruim 10.000 m³/dag (16 % van het gemiddelde dagverbruik).

De onderstaande tabel geeft de resultaten weer voor kortere periodes van een maand. Hierbij is te zien dat in Beegden de R^2 vrij hoog is; 50% en 71%. Tijdens het jaar verschilt de betrouwbaarheid R^2 van de regressielijn enorm, de ene keer is deze gelijk aan nul, maar in mei 2006 75%! Al met al is de betrouwbaarheid van de regressielijnen in de maanden mei tot en met september gelijk aan of meer dan 20%. Voor de maanden mei en juni van de afzonderlijke jaren 2005 en 2006 uit Eindhoven lijken de regressielijnen vrij goed te passen, ook de afwijkingen zijn erg klein; slechts 3.000 m³/dag (ruim 3%). De rest van de maanden vertonen een regressielijn die minder goed past.

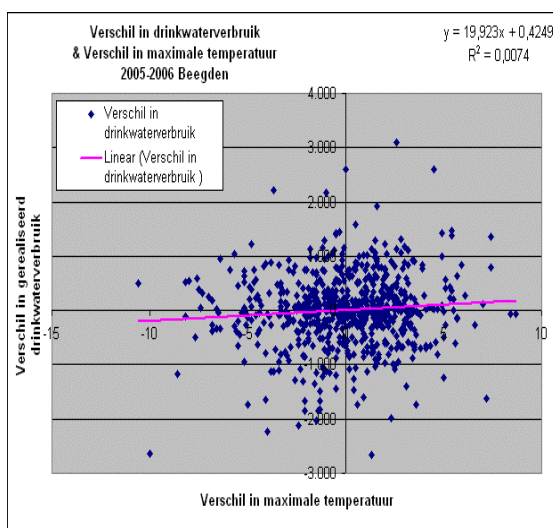
	Beegden		Eindhoven	
	R ² (in%) 2005	R ² (in%) 2006	R ² (in%) 2005	R ² (in%) 2006
Januari	9	1	3	7
Februari	8	4	53	7
Maart	8	8	10	22
April	28	8	14	27
Mei	66	75	72	73
Juni	61	49	80	87
Juli	35	61	21	58
Augustus	20	37	51	1
September	63	21	68	33
Oktober	20	7	43	3
November	0	0	7	7
December	1	16	2	7
Totale jaar	50	71	26	59

Tabel 1. R^2 van de best fittende regressielijnen uit de plots "maximale temperatuur en drinkwaterverbruik". Deze regressielijnen zijn dus allen verschillend van elkaar.

Uit de bij tabel 1 horende grafieken wordt zichtbaar dat er een relatie is tussen drinkwaterverbruik en maximale temperatuur. Afgezonderd van de maanden mei en juni in Eindhoven is de relatie niet goed te definiëren, reden hiervoor is dat de R^2 niet betrouwbaar is of dat de afwijkingen van de regressielijn te groot worden geacht.

b. Verskil gerealiseerd drinkwaterverbruik & het maximale temperatuurverschil

Het anticiperen op veranderingen in maximale temperatuur is erg belangrijk voor OPIR, als je eenmaal weet wat de relatie is tussen het verschil in maximale temperatuur en het verschil in gerealiseerd drinkwaterverbruik dan kun je daar een correctiefactor voor invoeren in OPIR. Door het uitzetten van een scatter-plot wordt er echter een grote datawolk zichtbaar. Voor de periode 2005 & 2006 in de omgeving Beegden resulteert dit in een regressielijn met $R^2=0.01$ en op meerdere plekken een afwijking van tenminste $2.000 \text{ m}^3/\text{dag}$. Door het te onderzoeken tijdsvlak te verkleinen wordt de betrouwbaarheid van de regressielijn groter. In juni 2006 is deze opgelopen tot 37 %, met een afwijkingen van $1.500 \text{ m}^3/\text{dag}$, wat neerkomt op maar liefst een fout van 19 %.



Figuur 11. Beegden 2005 & 2006.

Eindhoven vertoont over het algemeen een sterkere relatie tussen het verschil in maximale temperatuur en verschil in gerealiseerd drinkwaterverbruik dan Beegden. De onderstaande tabel laat zien dat in Eindhoven aanzienlijk hogere betrouwbaarheidsresultaten worden behaald dan in Beegden. De betrouwbaarheid van deze regressielijnen laat zien dat er een zwakke relatie bestaat tussen het verschil in maximale temperatuur en het verschil in drinkwaterverbruik. Het sterkste effect treedt over het algemeen op in de maanden mei, juni, juli en augustus. Dit is vele malen hoger dan de relatie over het hele jaar genomen, die niet uitkomt boven de 10 %. Ondanks dat de betrouwbaarheid van de regressielijnen maanden mei, juni, juli en augustus vrij hoog is in vergelijking met de rest van het jaar, zijn de afwijkingen van de regressielijn ook groter. Voor Beegden zijn er meerdere punten te vinden die ruim $1.000 \text{ m}^3/\text{dag}$ afwijken van de regressielijn, wat neer komt op meer dan 12.5 % van het gemiddelde dagelijkse drinkwaterverbruik van Beegden. In Eindhoven is dit slechts 5 % van het gemiddelde dagelijkse drinkwaterverbruik in Eindhoven, ruim twee keer zo groot als de gemiddelde absolute fout van de huidige OPIR voorspelling.

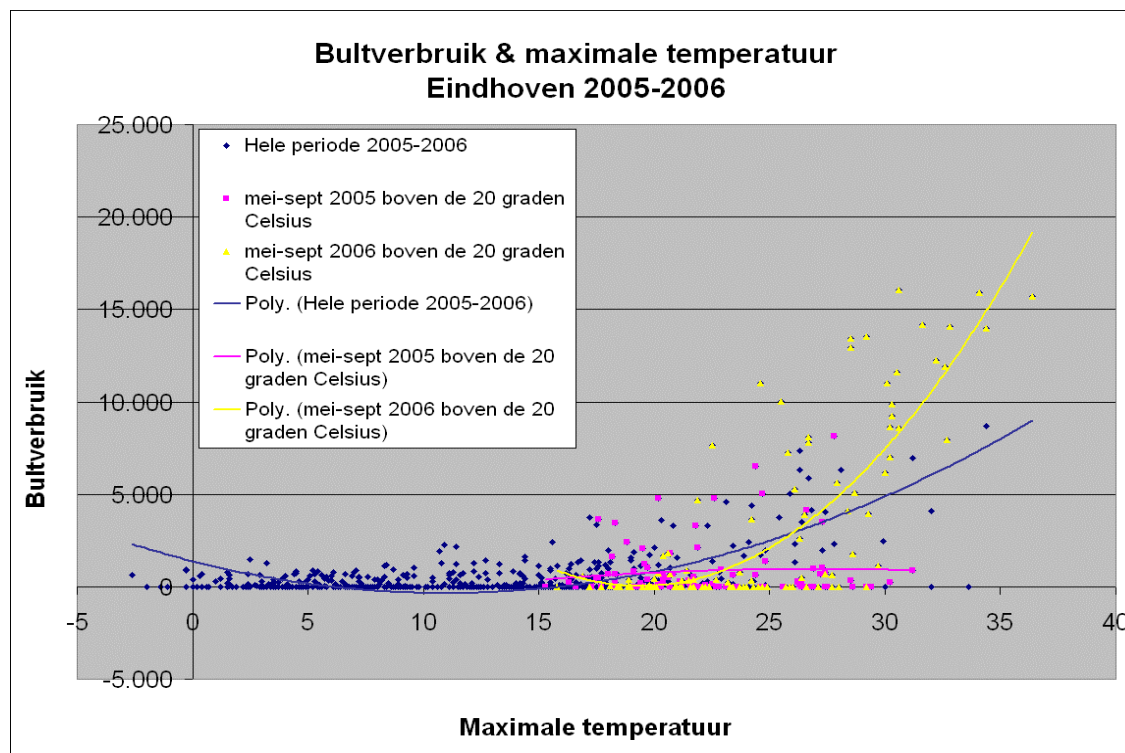
	Beegden		Eindhoven	
	2005	2006	2005	2006
Januari	0,07	0,02	0,00	0,19
Februari	0,04	0,00	0,03	0,04
Maart	0,01	0,05	0,14	0,31
April	0,01	0,00	0,03	0,03
Mei	0,19	0,23	0,12	0,23
Juni	0,10	0,37	0,48	0,76
Juli	0,10	0,29	0,06	0,34
Augustus	0,11	0,25	0,32	0,07
September	0,00	0,08	0,21	0,12
Oktober	0,04	0,01	0,04	0,06
November	0,09	0,02	0,01	0,05
December	0,00	0,12	0,00	0,10
Totale jaar	0,04	0,10	0,08	0,10

Tabel 2. R^2 van de best fittende regressielijnen uit de plots "verschil in maximale temperatuur en het verschil in drinkwaterverbruik".

c. Bultverbruik & maximale temperatuur

Voor het bultverbruik is alleen gebruik gemaakt van de avondgegevens van Eindhoven.

Door het avondbultverbruik tegen de maximale temperatuur uit te zetten, wordt onderzocht of de maximale temperatuur veroorzaker is van de avondbult. Het bultverbruik blijkt bij elke temperatuur voor te komen, zelfs als het vriest, doen zich bultverbruiken voor. Bij toename van de maximale temperatuur stijgt het bultverbruik langzaam. Bij maximale temperaturen boven de 20 graden Celsius (bultverbruik 2.500 m³/avond) divergeert de datawolk snel en er wordt er een grote variatie aan bultverbruiken zichtbaar. Met als gevolg dat er bij 30 graden Celsius sprake van een bultverbruik van 0, maar ook een bultverbruik van ongeveer 16.000 m³/avond.



Figuur 12 Bultverbruik & maximale temperatuur. Eindhoven 2005-2006.

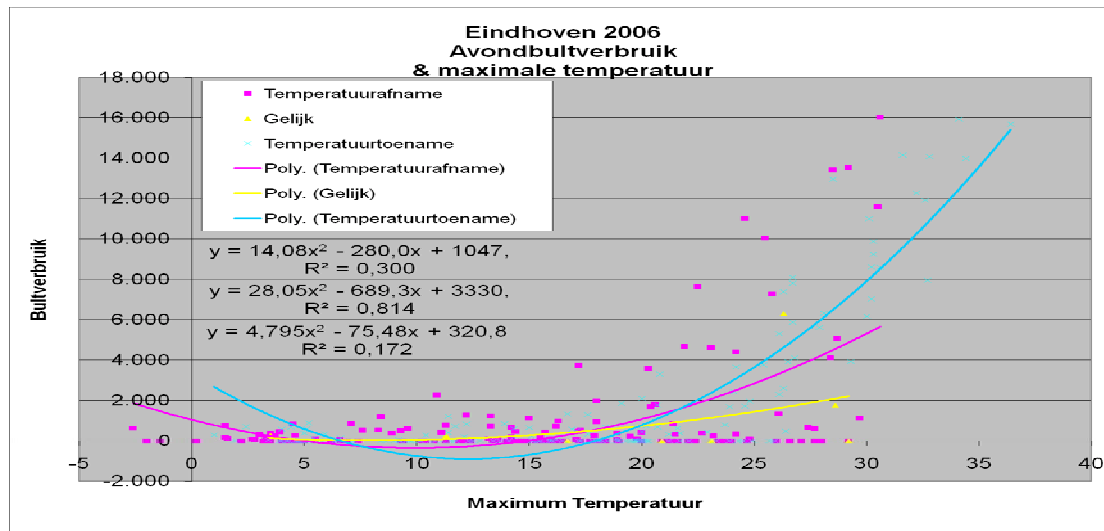
	Eindhoven	
	2005	2006
Januari	0,05	0,04
Februari	0,02	0,26
Maart	0,04	0,26
April	0,16	0,09
Mei	0,50	0,43
Juni	0,25	0,67
Juli	0,00	0,43
Augustus	0,03	0,01
September	0,07	0,25
Oktober	0,08	0,07
November	0,08	0,09
December	0,04	0,13
Totale jaar	0,14	0,60

Figuur 12 geeft een groot verschil in jaren aan. Het jaar 2006 was gemiddeld 2 graden warmer dan het jaar 2005, wat wordt benadrukt door het grote neerslagtekort in 2006. Dit blijkt ook uit het feit dat het bultverbruik bij 30 graden Celsius loskomt van de x-as, terwijl er in 2005 bij 32 en 33 graden Celsius nog steeds bultverbruiken met waarde nul voorkomen.

De tabel hiernaast laat de betrouwbaarheid van de regressielijnen zien en hieruit blijkt dat er sprake is van een zwakke relatie tussen de avondbult en de maximale temperatuur. In 2006 is in de maanden mei, juni en juli de betrouwbaarheid weliswaar minimaal 43 %, maar er zijn genoeg afwijkingen te vinden ten opzichte van de regressielijn die meer dan 2.000 m³/avond bedragen.

Tabel 3. R² van de best fittende regressielijnen uit de plots "maximale temperatuur en bultverbruik".

Ook is er onderscheidt gemaakt tussen punten met een temperatuurdaling, gelijkblijvende temperatuur en temperatuurstijging. Voor stijgende temperatuur is de regressielijn (in dit geval de blauwe trendlijn met $R^2=0.814$) in dit geval de roze trendlijn met $R^2=0.300$) het betrouwbaarste, echter doen er zich hier nog steeds afwijkingen van de regressielijn voor van ruim 4.000 m³/avond. Bij stijgende temperatuur is de regressielijn (in dit geval de roze trendlijn) minder betrouwbaar, dit vanwege de $R^2=0.30$ maar ook door de grote afwijking van de regressielijn die ruim 9.000 m³/avond bedraagt. Voor gelijkblijvende temperatuur is de R^2 slechts 0.1722, wat veroorzaakt kan worden door de relatief kleine hoeveelheid data die beschikbaar is voor de regressielijn; slechts 6 punten.

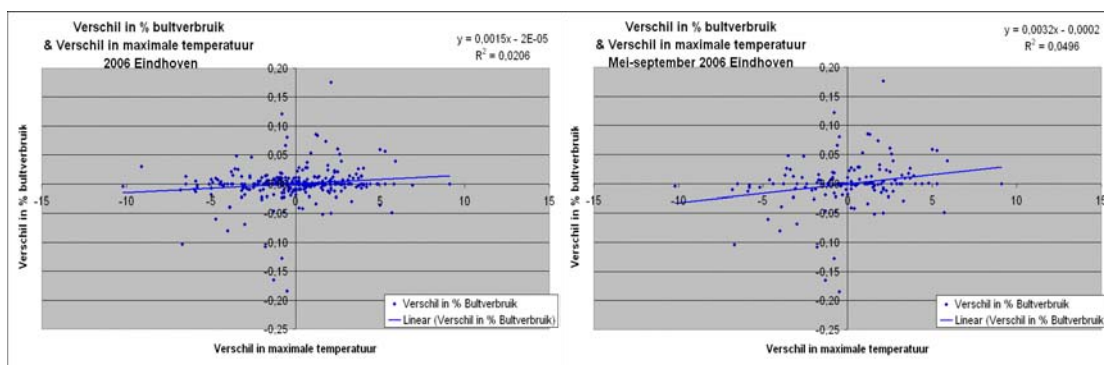


Figuur 13 Bultverbruik & maximale temperatuur. Voor temperatuurstijging en temperatuurdaling.

d. Verskil in bultverbruik & verschil in maximale temperatuur

Het verschil in bultverbruik en het verschil in maximale temperatuur kan een belangrijk hulpmiddel zijn voor OPIR om betere voorspellingen te kunnen maken. Daarom wordt deze mogelijke relatie voor de situatie Eindhoven onder de loep gehouden. In de eerste onderstaande grafiek worden alle dagen van 2006 getoond, in de tweede grafiek alleen de dagen uit de maanden mei tot en met september.

Het verschil in bultverbruik wordt ditmaal het verschil in % bultverbruik uitgezet. Het % bultverbruik geeft de verhouding aan van de grote van de bult ten opzichte van het normale verbruik op die desbetreffende dag.



Figuur 14 Eindhoven 2006.

Figuur 15 Mei-september 2006.

Het zwakke verband tussen het verschil in maximale temperatuur en het verschil in avondbultverbruik is goed te zien in de bovenstaande grafieken en de onderstaande tabel. Veel data in de wolk blijft rond de x-as hangen, wat betekend dat er ondanks de temperatuurverschillen regelmatig weinig verschil in bultverbruik optreedt onafhankelijk van het temperatuursverschil. Het feit dat er de ene keer een enorme

toename is van het bultverbruik en de volgende keer een enorme afname, maakt deze relatie zeer instabiel.

	Eindhoven	
	2005	2006
Januari	0,01	0,05
Februari	0,01	0,00
Maart	0,01	0,03
April	0,03	0,11
Mei	0,00	0,00
Juni	0,01	0,20
Juli	0,08	0,09
Augustus	0,00	0,05
September	0,01	0,04
Oktober	0,03	0,01
November	0,12	0,14
December	0,04	0,02
Totale jaar	0,01	0,02

Tabel 4. R^2 van de best fittende regressielijnen uit de plots "verschil in maximale temperatuur en het verschil in drinkwaterverbruik".

e. Conclusie maximale temperatuur & OPIR

Op basis van de maximale temperatuur en het gerealiseerde drinkwaterverbruik kan er worden gesteld dat er een relatie is. Dit geldt voornamelijk voor de maanden mei en juni in Eindhoven goed af te leiden.

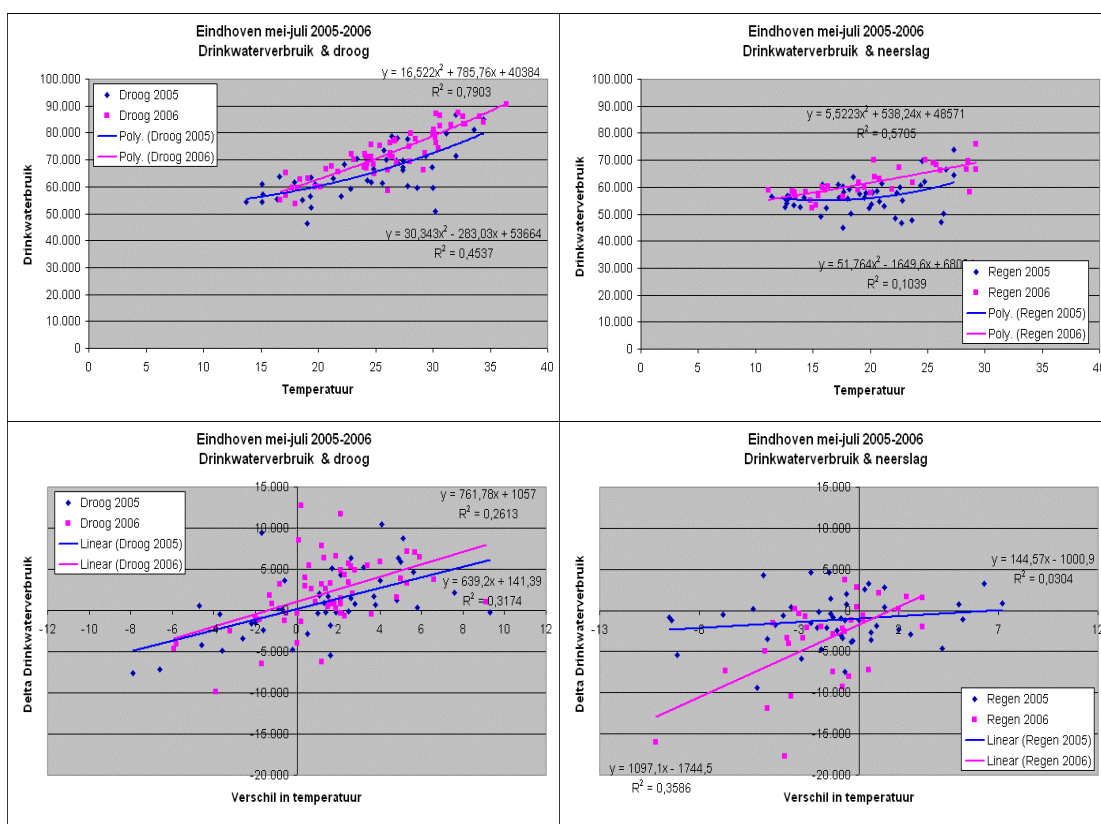
Voor OPIR is het belangrijk om te weten wat er gebeurt met de drinkwatervraag bij een temperatuurverandering. Voor zowel de totale drinkwatervraag op een dag als de avondbult is de relatie tussen verandering in de drinkwatervraag en de verandering in maximale temperatuur erg zwak.

7.5 Neerslag

Als het regent neemt volgens Maidment et al. (zoals geciteerd in Zhou, 2000) het drinkwaterverbruik af, om vervolgens langzaam weer terug te komen tot de trendlijn van de temperatuur. Klopt deze bewering van Maidment (zoals geciteerd in Zhou, 2000) of gaat deze niet op voor Nederland? Dit hoofdstuk gaat over de invloed van de neerslag op de drinkwatervraag. Allereerst wordt er gekeken naar de invloed van regen op het drinkwaterverbruik, de neerslaghoeveelheid en neerslagduur, het neerslagtekort en het aantal dagen dat het droog is voordat er regen valt.

a. Drinkwaterverbruik & maximale temperatuur met neerslaginvloeden

Door (verschil in) drinkwaterverbruik en (verschil in) maximale temperatuur met elkaar te vergelijken voor dagen met neerslag en dagen zonder neerslag krijgt men meer inzicht in de invloed van neerslag op het drinkwaterverbruik.

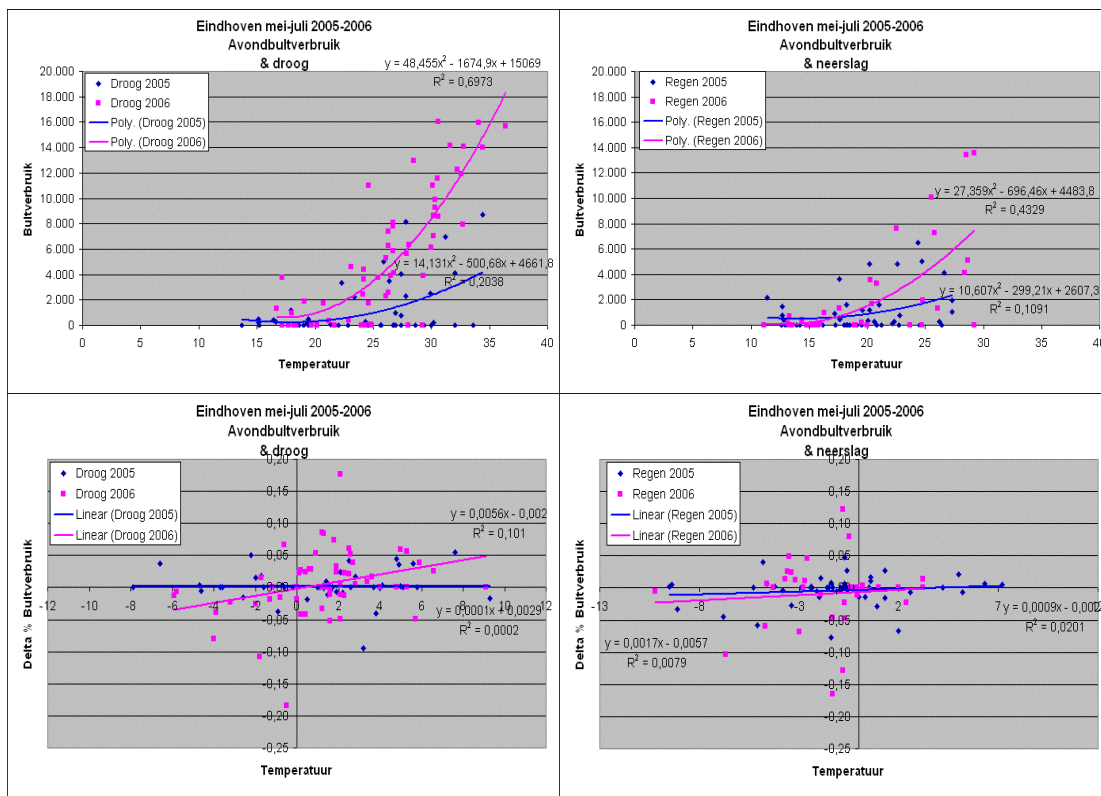


Figuur 16 Gerealiseerd drinkwaterverbruik bij droog weer en neerslag. Met de bijbehorende verschil in maximale temperatuur vs verschil in gerealiseerd drinkwaterverbruik.

Op de bovenste twee grafieken is te zien dat de neerslag zorgt voor een vlakkere regressielijn. Dit houdt in dat er op dagen met regen een gematigdere stijging is tussen de temperatuurstijging en de stijging in het drinkwaterverbruik. De grafieken tussen verschil in temperatuur en verschil in drinkwaterverbruik laten één grote puntenwolk zien voor de verschillende waarnemingen en bovendien zijn de afwijkingen zeer groot.

In tegenstelling tot de invloed op het normale verbruik oefent de neerslag weinig invloed uit op de hoogte van de avondbult. Uit het verschil in bultverbruik bij temperatuurverschil is echter wel goed te zien dat het van belang is of het droog is of dat er neerslag valt op die dag. Tijdens droog weer is te zien dat er vooral veel uitschieters naar boven of naar beneden zijn op het moment er sprake is van droog

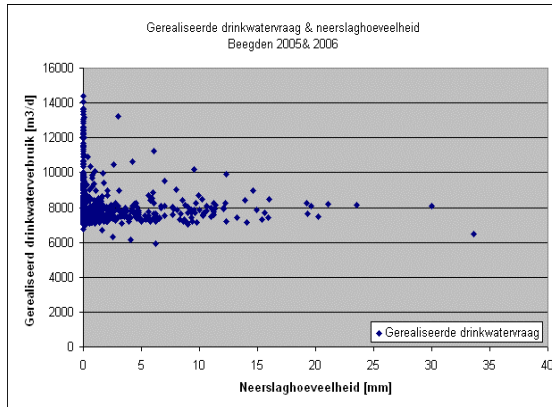
weer, bij neerslag worden de uitschieters gedempt wanneer het wordt vergeleken met de situatie zonder neerslag.



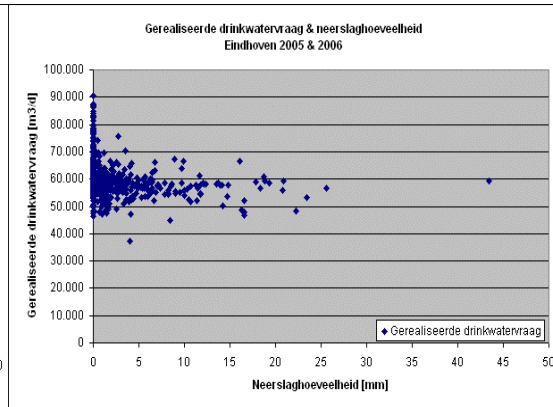
Figuur 17. Bultverbruik bij droog weer en neerslag. Met de bijbehorende verschil in maximale temperatuur vs verschil in bultverbruik.

b. Neerslaghoeveelheid & neerslagduur

Voor OPIR is het zeer interessant om te weten hoeveel neerslag zorgt voor welke afname of toename van het drinkwaterverbruik. Voor beide waterleidingsgebieden is de neerslaghoeveelheid uitgezet tegen de gerealiseerde drinkwatervraag en uit beide grafieken valt af te lezen dat wanneer de neerslag toeneemt, de drinkwatervraag naar een bepaald niveau convergeert. Voor de situatie Beegden convergeert de watervraag zeer snel en ligt dit niveau rond de 8.000 m³/d, mogelijk zelfs lager indien het punt bij 35 mm gevallen neerslag niet wordt beschouwd als uitschieter. In Eindhoven convergeert de drinkwatervraag langzamer bij stijgende neerslaghoeveelheid en het niveau ligt rond de 59.000 m³/d.

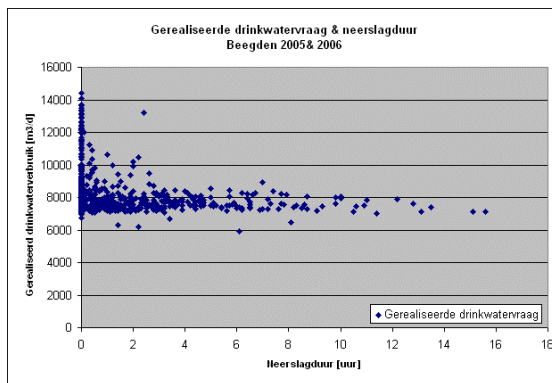


Figuur 18. Beegden & neerslaghoeveelheid

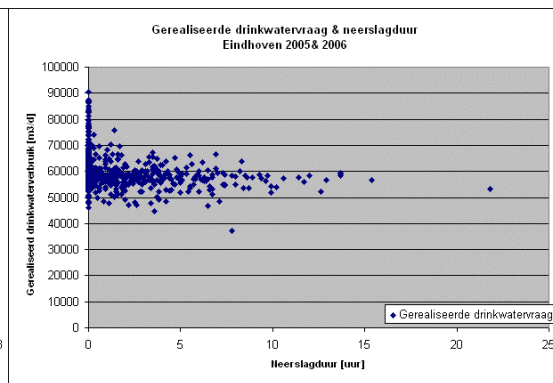


Figuur 19. Eindhoven & neerslaghoeveelheid

Voor de neerslagduur ontstaat er net zo'n grafiek als voor de neerslaghoeveelheid. Ook hier wordt de drinkwatervraag naar een bepaald niveau gedreven op het moment dat de neerslagduur langer wordt. Voor Beegden gaat de drinkwatervraag naar 7.000 m³/d en voor Eindhoven lijkt het naar de 58.000 m³/d te liggen.



Figuur 20. Beegden & neerslagduur



Figuur 21. Eindhoven & neerslagduur

De gevonden niveaus voor neerslaghoeveelheid en neerslagduur in combinatie met de gerealiseerde drinkwatervraag is voor Eindhoven nagenoeg gelijk, de gevonden niveaus voor neerslaghoeveelheid en neerslagduur in combinatie met de gerealiseerde drinkwatervraag gaan naar het gemiddelde drinkwaterverbruik op jaarbasis toe. Voor Eindhoven is dit 58.500 m³/d en voor Beegden is dit 7.750 m³/d.

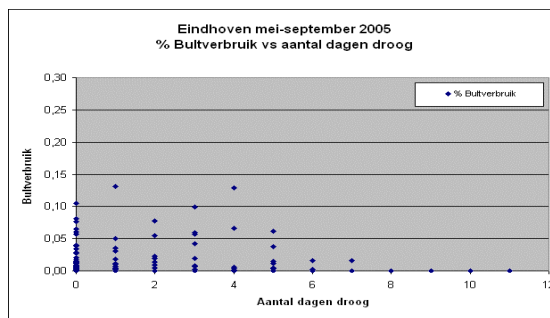
Uiteraard moet hierbij wel worden gezegd dat deze waarden in verloop van tijd kunnen veranderen door de veranderingen in het bevolkingsaantal in het waterleidingsgebied of door waterbesparende campagnes van de overheid. Bij veranderingen in het bevolkingsaantal kan er gedacht worden aan de bouw van een nieuwe woonwijk, één persoon meer of minder heeft natuurlijk weinig invloed maar de komst van een hele woonwijk zorgen voor een stijging van dit niveau. Een bekend voorbeeld van zo'n waterbesparende campagne is de spoelstop op de wc.

c. Neerslagtekort & aantal droge dagen

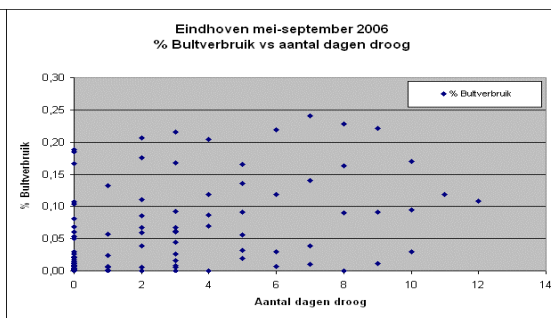
Het neerslagtekort wordt gedefinieerd als de gevallen neerslag minus de verdamping. De gebruikte grafieken voor het neerslagtekort in 2005 en 2006 zijn te vinden op www.knmi.nl³ en gelden voor heel Nederland. Helaas bleken ze niet reproduceerbaar voor dit rapport, bovendien kunnen hierover geen exacte uitspraken gedaan worden, omdat er geen beschikking was over de exacte data voor het neerslagtekort. De enige beschikbare data was in grafiekvorm met grote intervallen op de assen. De grafiek uit 2006 liet een neerslagtekort zien dat twee keer zo groot was als in 2005, wat wordt versterkt door het feit dat 2006 gemiddeld 2 graden Celsius warmer was dan 2005.

Wanneer er een vergelijking van de neerslagtekort grafieken plaatsvindt met de grafieken van de drinkwatervraag, zie je dat een stijging in het neerslagtekort zorgt voor een stijging in de drinkwatervraag. Op momenten dat het neerslagtekort langer aanhoudt, vlakkt het drinkwaterverbruik af. Als het dan weer gaat regenen zie je een daling in het drinkwaterverbruik en in het neerslagtekort.

In 2005 en 2006 is er geen duidelijke relatie te vinden tussen het bultverbruik en het aantal dagen droog, ook niet wanneer er specifiek wordt gekeken naar de maanden mei tot en met september. In 2005 lijkt er een lichte afname zichtbaar van het % bultverbruik, terwijl in 2006 er één grote puntenwolk zichtbaar wordt.



Figuur 22. Eindhoven 2005



Figuur 23. Eindhoven 2006

3

www.knmi.nl/klimatologie/geografische_overzichten/neerslagoverschot_tijdgrafiek_historisch.html

d. Conclusie neerslag & betekenis voor OPIR

Neerslag zorgt voor een demping in de uitschieters en een afvlakking van het drinkwaterverbruik als dit wordt vergeleken met de situaties waarop er geen neerslag valt. Echter blijkt de neerslag geen invloed te hebben op de hoogte van de avondbult, deze is voor elke temperatuur gelijk aan de situatie met droog weer. Het verschil in temperatuur en verschil in drinkwaterverbruik laten een grote variatie in waarnemingen zien met een grote spreiding, wat duidt op een zwakke relatie tussen deze twee variabelen.

Voor zowel de neerslaghoeveelheid als de neerslagduur lijkt het gerealiseerde drinkwaterverbruik bij toenemende neerslaghoeveelheid respectievelijk toenemende neerslagduur een bepaalde waarde aan te nemen. Voor lage waarden is de spreiding in drinkwaterverbruik groot, maar bij toenemende waarde convergeert deze range zich snel en gaat het drinkwaterverbruik naar een bepaald niveau toe. De gevonden niveaus voor neerslaghoeveelheid en neerslagduur in combinatie met de gerealiseerde drinkwatervraag gaan naar het gemiddelde drinkwaterverbruik op jaarbasis toe. Voor Eindhoven is dit 58.500 m³/d en voor Beegden is dit 7.750 m³/d.

Het neerslagtekort lijkt invloed te hebben op het drinkwaterverbruik, hierover kunnen geen exacte uitspraken gedaan worden.

De neerslag alleen zal niet voor een verbetering van OPIR zorgen, aangezien de dempende werking van neerslag een zeer zwakke relatie vertoont met het drinkwaterverbruik. De gevonden "convergentie waarden" treden alleen op bij zeer lange regenduur en zeer grote hoeveelheden neerslag. Het is daarom niet wenselijk om deze convergentie waarden in een programma als OPIR te implementeren, aangezien het programma ook wordt gebruikt om voorspellingen mee te doen over alle dagen van het jaar.

8 Discussie

Dit onderzoek is uitgevoerd met de “actuele” weersgegevens en drinkwatergegevens, doordat de voorspellingen voor zowel maximale temperatuur en neerslag niet voor handen waren. Dit is erg jammer, omdat de verwachting was dat mensen hun drinkwaterbehoefte afstemmen op de (verwachte) weersomstandigheden. Hierdoor kan niet inzichtelijk worden gemaakt wat voor effect bijvoorbeeld het weerbericht speelt in de keuze van mensen om water te gebruiken. Dit geldt in het bijzonder voor het zogenaamde seizoensverbruik, waarbij het buitenhuiselijke gebruik van water een grote rol speelt. Zo is het bijvoorbeeld aannemelijk dat men er voor kiest om morgen de tuin te gaan sproeien als er een hittegolf plaatsvindt en er nog enkele dagen zonder neerslag zijn voorspelt. Daarentegen is het aannemelijk dat wanneer er een regenbui voorspelt wordt, de kans dat de tuin gespreeid wordt zal afnemen.

Door het onderzoek volledig te laten rusten op de daadwerkelijk gemeten weersomstandigheden en drinkwaterverbruik, en de voorspellingen compleet links te laten liggen kan het zijn dat zulke psychologische overwegingen volledig over het hoofd worden gezien.

Bovendien is in het hoofdstuk over de watervraag aangegeven dat de watervraag berust op vele factoren, waarvan de weersomstandigheden er slechts eentje is. Blijkbaar wegen de andere factoren zwaarder mee in de keuze voor meer of minder waterverbruik, dan de weersomstandigheden.

9 Conclusie

Op basis van het literatuuronderzoek en uit het oogpunt van eenvoud is gekozen om voor de weersfactoren, de maximale temperatuur en neerslag te hanteren. Naar aanleiding van een statistisch onderzoek op basis van de beschikbare drinkwaterdata en de bijbehorende weersgegevens voor de waterleidingsgebieden Beegden en Eindhoven voor de periode 2005-2006 komen de volgende conclusies naar voren:

- Er bestaat een relatie tussen de maximale temperatuur en het gerealiseerde drinkwaterverbruik. Bij stijgende temperatuur wordt er meer water verbruikt. Echter wordt er ook een grotere spreiding in het drinkwaterverbruik zichtbaar bij temperaturen boven de 20 graden Celsius. Hierdoor is het niet mogelijk een betrouwbare lineaire relatie voor de maximale temperatuur en het drinkwaterverbruik af te leiden.
- Wanneer het verschil in maximale temperatuur en het verschil in gerealiseerd drinkwaterverbruik tegen elkaar worden uitgezet ontstaat er een enorme puntenwolk waarin een zeer zwakke lineaire relatie valt te bekennen.
- Neerslag heeft geen invloed op de hoogte van de avondbult, wel zorgt het voor demping van het gerealiseerde drinkwaterverbruik. Bij vergelijking met situaties zonder neerslag, zijn de avondbulten – indien aanwezig – beduidend kleiner in de neerslagsituaties.
- Zowel bij de neerslaghoeveelheid als de neerslagduur lijkt het gerealiseerde drinkwaterverbruik, bij toenemende neerslaghoeveelheid cq toenemende neerslagduur, een “convergentie waarde” aan te nemen.
- Het neerslagtekort lijkt invloed te hebben op het drinkwaterverbruik. Hierover kunnen geen exacte uitspraken worden gedaan, omdat er geen beschikking was over de exacte data voor het neerslagtekort. De enige beschikbare data was in grafiekvorm met weinig data op de assen.
- Het aantal dagen droog heeft geen invloed op het drinkwaterverbruik.
- De invloed van de grootte van de weersveranderingen heeft weinig invloed op de grootte van de fout in de OPIR-voorspelling.

Op basis van dit onderzoek wordt aangeraden de OPIR voorspelling niet uit te breiden met de weersvariabelen maximale temperatuur en/of neerslag. Weliswaar kunnen de relatie tussen maximale temperatuur en gerealiseerd drinkwaterverbruik én de niveau's voor neerslaghoeveelheid en neerslagduur worden aangetoond. Maar om OPIR te kunnen verbeteren is het van essentieel belang om te weten wat de uitwerking is van een weersvariabele op het drinkwaterverbruik is. Dit kan – mogelijk door het ontbreken van de weersvoorspellingen en drinkwatervoorspellingen - niet (voldoende) worden aangetoond.

Literatuurlijst

Artikelen

S.L. Zhou, T.A. McMahon, A. Walton, J. Lewis (2000). Forecasting daily urban water demand: a case study of Melbourne. *Journal of Hydrology*, 236, 153-164

S.L. Zhou, T.A. McMahon, A. Walton, J. Lewis (2002). Forecasting operational demand for an urban water supply zone. *Journal of Hydrology*, 259, 189-202.

Martijn Bakker, Kim van Schagen & Jan Timmer (2003). Flow control by prediction of water demand. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*, 52.6, 417-424.

Fernando Arbués, Maria Angeles Garcia-Valinas, Roberto Martinez-Espineira (2003). Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *The Journal of Socio-Economics*, 32, 81-102.

Stuart Whit, Jim Robinson, Dana Cordell, Meenakshi Jha & Geoff Milne (2003). *Water services association of Australia, occasional paper no. 9.*

Shirley Gato, Gerardo Trinidad, Niranjali Jayasuriya (2004). A GIS based water end-use demand modeling.

David S. Gutzler (2004). Interannual Variability of water demand and summer climate in Albuquerque, New Mexico. *Journal of applied meteorology*, 44, 1777-1787.

Francisco J. Meza (2005). Variability of reference evapotranspiration and water demands. Association to ENSO in the Maipo river basin, Chile. *Global and Planetary Change*, 47, 212-220.

Rita Martins, Adelino Fortunato (2005). Residential water demand under block rates – A Portuguese case study. *Water Policy*, 9.2, 217–230.

Shirley Gato, Niranjali Jayasuriya, Peter Roberts (February 2007). Temperature and rainfall thresholds for base use urban water demand modeling. *Journal of hydrology*, 337, 364-376

Datasets

Drinkwaterverbruik Beegden 2005 & 2006
Bron: DHV BV

Drinkwaterverbruik Eindhoven 2005 & 2006
Bron: DHV BV

Weersgegevens Maastricht 2005 & 2006
Bron: www.knmi.nl

Weersgegevens Eindhoven 2005 & 2006
Bron: www.knmi.nl

Websites

www.wikipedia.nl
www.knmi.nl