

BTO 2015.210(s) | September 2015

BTO rapport

Doorontwikkeling
SIMDEUM: waterverbruik
over de dag, energie
voor warmwater en
volume, temperatuur en
nutriënten in afvalwater

BTO

Doorontwikkeling SIMDEUM: waterverbruik over de dag, energie voor warmwater en volume, temperatuur en nutriënten in afvalwater

BTO 2015.210(s) | September 2015

Opdrachtnummer

A309425, 400695-021

Projectmanager

drs. P.G.G. (Nellie) Slaats

Opdrachtgever

BTO - Verkennend onderzoek

Kwaliteitsborger(s)

dr. ir. J.H.G. (Jan) Vreeburg

Auteur(s)

dr. ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker,
dr. C.A. (Claudia) Agudelo-Vera

Verzonden aan

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

Jaar van publicatie
2015

Meer informatie

T 533
E mirjam.blokker@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



BTO 2015.201(s) | September 2015 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

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

Samenvatting

In 2006 is SIMDEUM (v1.0) voor huishoudelijk waterverbruik opgeleverd. SIMDEUM genereert realistische verbruikspatronen, met meer detail in tijd en ruimte en type verbruiker. De aanpassingen in SIMDEUM v2.0 leiden tot een beter bij de metingen passend patroon over de dag: a) de avondpiek is in de door SIMDEUM v2.0 gesimuleerde patronen veel beter terug te zien; b) het verbruik in de avond gaat ook in de door SIMDEUM v2.0 gesimuleerde patronen op een eerder tijdstip naar het lage nachtverbruik toe en wordt lager dan in de oude SIMDEUM v1.0; c) het verbruikspatroon tussen landelijk en (rand)stedelijke gebieden verschilt in de metingen nog steeds sterker dan in de door SIMDEUM v2.0 gesimuleerde patronen. De patronen van een randstedelijk gebied (week en weekend) worden goed voorspeld en de weekendpatronen van het meer landelijke gebied ook. De bestaande SIMDEUM is omgedoopt tot SIMDEUM-DW (*drinking water*). Daarnaast is SIMDEUM-WW (*waste water*) ontwikkeld waarmee afvalwaterpatronen (volumes, temperatuur en nutriëntenbelasting) kunnen worden gemodelleerd. SIMDEUM-HW (*hot water*) is ontwikkeld waarmee energie gerelateerd aan het verwarmen van drinkwater kan worden gemodelleerd. Hiermee wordt het toepassingsgebied van SIMDEUM verder vergroot.

Belang: vraag naar meer toepassingen van SIMDEUM voor lekverlies, afvoerpatronen en energievraag

In 2006 is SIMDEUM v1.0 voor huishoudelijk waterverbruik opgeleverd. Met een beperkte set aan meetgegevens is het model gevalideerd, met een focus op de maximale volumestromen en voorspellen van verblijftijden in een hydraulisch model. SIMDEUM genereert verbeterde verbruikspatronen, d.w.z. met meer detail in tijd en ruimte en type verbruiker. SIMDEUM-DW biedt mogelijkheden om het leidingnet en de drinkwaterinstallatie beter te ontwerpen, waarbij rekening kan worden gehouden met verschillende scenario's van het waterverbruik. Ook kan SIMDEUM-DW het leidingnetmodel verbeteren, waarbij toepassingen in met name het modelleren en begrijpen van waterkwaliteitsaspecten in het leidingnet zijn gediend.

In de afgelopen jaren zijn verscheidene onderzoeksprojecten uitgevoerd waarbij SIMDEUM-DW is ingezet. Hieruit bleek o.a. dat de patronen over de dag die door SIMDEUM-DW worden gegenereerd op een paar punten afwijken van gemeten patronen: a) De avondpiek is in de metingen veel sterker (en op een eerder tijdstip) terug te zien; b) Het verbruik in de avond gaat in de metingen op een eerder tijdstip naar het lage nachtverbruik toe; c) Het verbruikspatroon tussen landelijk (Franeker bijvoorbeeld) en (rand)stedelijke gebieden (Leidsche Rijn bijvoorbeeld) verschilt in de metingen veel sterker; de metingen van het landelijke gebied laten een bredere (en lagere) ochtendpiek zien en ook vindt meer verbruik rond het middaguur plaats. Deze aspecten waren niet zozeer van belang voor het voorspellen van de maximale drinkwatervraag, noch voor het voorspellen van de gemiddelde en maximale verblijftijd. Voor het inschatten van nachtverbruik, bijvoorbeeld ten bate van het bepalen van lekverlies, is een verbeterd patroon wel wenselijk. Ook voor het vertrouwen van de waterbedrijven in SIMDEUM is het van belang dat de som van alle patronen (huishoudelijk en niet-huishoudelijk) gelijkenis vertoont met de gemeten patronen op het pompstation. Daarnaast komen er ook nieuwe mogelijke toepassingen van SIMDEUM naar voren. Het gaat dan specifiek om vragen naar afvoerpatronen (volumestroom én temperatuur) en patronen voor watergerelateerd energieverbruik. Om deze redenen is een doorontwikkeling van SIMDEUM nodig.

Aanpak: ontwikkeling SIMDEUM v2.0, SIMDEUM-WW en SIMDEUM-HW

In dit rapport is SIMDEUM v2.0 ontwikkeld waarmee de gesimuleerde patronen nog beter passen bij de metingen. Hiervoor zijn extra vragen ingebracht in de enquête naar waterverbruik thuis dat in opdracht van Vewin elke drie jaar wordt uitgevoerd. Ook is op een andere manier gebruik gemaakt van het tijdsbestedingsonderzoek.

Ook is SIMDEUM-WW ontwikkeld waarmee afvalwaterpatronen (volumes, temperatuur en nutriëntenbelasting) kunnen worden gemodelleerd. Er is een pre-processing stap toegevoegd waarmee de drinkwaterpatronen van SIMDEUM omgevormd kunnen worden naar afvoerpatronen waarbij de volumestroom en tijdsduur van de afvoer anders kunnen zijn dan van de drinkwatervraag (denk bijvoorbeeld aan het legen en het vullen van de stortbak van de WC). Ook is een post-processing stap toegevoegd waarmee informatie over temperatuur van de afvoer en de nutriëntenbelasting kunnen worden toegevoegd.

Tevens is SIMDEUM-HW ontwikkeld waarmee energie gerelateerd aan het centraal (HR ketel) en decentraal (bijv. in de wasmachine) verwarmen van drinkwater kan worden gemodelleerd. Er is een post-processing stap toegevoegd waarmee de drinkwaterpatronen van SIMDEUM plus informatie over allerlei warmteverliezen in de drinkwaterinstallatie samen informatie over de energievraag genereren.

Resultaten: doorontwikkelde versies die ook al zijn toegepast

De toepassing van SIMDEUM v2.0 is gelijk aan die van SIMDEUM v1.0, en nog iets breder omdat de patronen nog meer numerieke gevalideerd zijn. De aanpassingen in SIMDEUM v2.0 leiden tot een beter resultaat van de patronen over de dag: a) de avondpiek is in de door SIMDEUM v2.0 gesimuleerde patronen nu veel beter terug te zien; b) het verbruik in de avond gaat nu ook in de door SIMDEUM v2.0 gesimuleerde patronen op een eerder tijdstip naar het lage nachtverbruik toe en wordt ook lager dan in de oude SIMDEUM v1.0; c) het verbruikspatroon tussen landelijk (rand)stedelijke gebieden verschilt in de metingen nog steeds sterker dan in de door SIMDEUM v2.0 gesimuleerde patronen. De patronen van Leidsche Rijn (week en weekend) worden goed voorspeld en de weekendpatronen van Franeker ook. Echter de gesimuleerde weekpatronen van Franeker wijken behoorlijk af van de gemeten patronen. Het gaat dan met name om de ochtendpiek die door SIMDEUM wordt overschat en het verbruik rond het middaguur dat door SIMDEUM wordt onderschat. Omdat het totaal gesimuleerde verbruik goed overeenkomt met de metingen is het waarschijnlijk zo dat een deel van het verbruik dat in de ochtend wordt gesimuleerd eigenlijk later op de dag plaatsvindt.

De toepassing van SIMDEUM-WW is gevalideerd, maar de numerieke uitkomsten nog niet. SIMDEUM-WW is ingezet in de haalbaarheidsstudie voor de wijk de Oude Dokken in Gent. De karakteristieken (volumestroom en de temperatuur) van de afvoerstromen voor vier verschillende wijkscenario's zijn bepaald, zodat de opdrachtgever de haalbaarheid van het nieuwe gescheiden sanitatieconcept kan onderzoeken. De gemiddelde temperatuur van de afvoerstromen bedraagt in de alternatieve concepten ongeveer 32-33°C. De hogere lozingstemperaturen van wasmachine en vaatwasser zijn wel te zien in de instantane temperaturen van de afvoer, maar leiden in de gemiddelde temperatuur van de afvoer tot een relatief kleine temperatuurstijging.

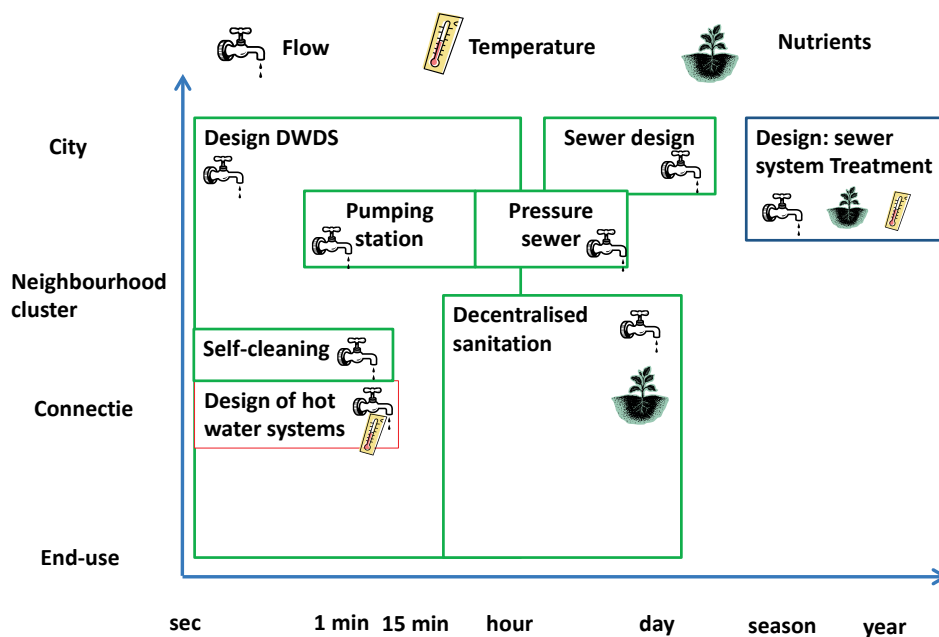
De toepassing van SIMDEUM-HW is gevalideerd, maar de numerieke uitkomsten nog niet. In het BTO-project *Efficiënte bereiding warm tapwater* zijn verschillende scenario's doorgerekend om de energiezuinigste oplossing voor het opwarmen van tapwater te kunnen bepalen. Ecofys ontwikkelde binnen dit project een model waarmee bepaald kan worden

welke warmtapwaterbereider het beste past bij een specifieke warmtapwatervraag. Met het model van Ecofys wordt het rendement van de warmtapwaterbereider berekend bij de door SIMDEUM-HW berekende bruto energievraag waarbij rekening wordt gehouden met a) rendement van warmteoverdracht naar drinkwater; b) opstartverliezen; c) voorraadverliezen; d) waakvlam. In de toekomst kan de combinatie van deze twee modellen gebruikt worden voor een energietool voor consumenten waarmee particulieren op basis van hun verbruik, type woninginstallatie, samenstelling huishouden en andere parameters hun jaarlijkse kosten en CO₂-uitstoot kunnen berekenen. Voor de haalbaarheidsstudie voor de wijk de Oude Dokken in Gent is de warmwater- en energiebehoefte voor een aantal apparaten binnen deze wijkscenario's berekend, namelijk voor de wasmachines, vaatwasmachines en keukenkranen. In dit project is dus niet alleen gekeken naar de centrale verwarming voor douche en keukenkraan, maar ook naar de verwarming in wasmachines en vaatwassers en de mogelijke inzet van hotfill apparaten.

Implementatie: vele toepassingsmogelijkheden voor SIMDEUM-DW, SIMDEUM-WW en SIMDEUM-HW

Met SIMDEUM kunnen verbruikspatronen worden gesimuleerd die realistisch zijn in de variatie (patroon) over de dag, de variatie over de week / het jaar (verschillende patronen op verschillende dagen) en de variatie over het gebied (verschillende patronen voor verschillende huishoudelijke en niet-huishoudelijke aansluitingen). Door het inzicht in de variatie, kan rekening gehouden worden met gemiddelde en maximale situaties in het ontwerp van installaties, leidingnetten en sensornetten.

De toepassing bepaalt welke ruimtelijke en temporele schaal nodig zijn voor het ontwerp van een systeem (zie de figuur). SIMDEUM kan worden ingezet voor het ontwerp van het secundaire distributienet, het tertiaire (zelfreinigende) net en de drinkwaterinstallatie. SIMSEUM kan worden ingezet voor het ontwerp van de riolering, terugwinning van energie en nutriënten. SIMDEUM-HW kan worden ingezet voor het ontwerp van de warmtapwaterbereider. Naast het ontwerp kunnen de patronen van SIMDEUM en SIMDEUM-WW worden toegepast in hydraulische modellen. Scenariostudies waarin veranderend drinkwaterverbruik van belang is, zijn met behulp van deze modellen zeer goed kwantitatief door te rekenen.



SIMDEUM-WW heeft vele toepassingsmogelijkheden: het kan een rol spelen in het ontwerp van rioleringen en grijswatersystemen, in het berekenen van de hoeveelheid warmte en nutriënten die teruggewonnen kunnen worden uit het riool, de hoeveelheid geneesmiddelen in het afvalwater en in een klimaatneutrale procesvoering. Concrete mogelijkheden zijn: koppeling aan ProRiool (een simulatietool van TNO), aan SOBEK inclusief een warmtemodel, ontwikkeling van grijswatersystemen. Daarbij kunnen verschillende scenarioanalyses worden uitgevoerd voor veranderde vrachten of concentratie van nutriënten als gevolg van andere huishoudelijke producten (zeep, wasmiddel, etc.) of door andere watertoestellen, bijvoorbeeld luxe douches of waterbesparende WC's met een andere volume aan water.

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Doel	8
1.3	Aanpak en leeswijzer	8
2	SIMDEUM v2.0	10
2.1	Inleiding	10
2.2	Aanpassingen op basis van WTO'13: invoerdata	11
2.3	Aanpassingen in gebruik van de TBO data: directe trekking	16
2.4	Samenvatting aanpassingen SIMDEUM v2.0	18
2.5	Validatie SIMDEUM v2.0	18
2.6	Voorbeeld van toepassing SIMDEUM v2.0	29
2.7	Conclusies en discussie	30
3	SIMDEUM-WW	31
3.1	Inleiding	31
3.2	Invoergegevens SIMDEUM-WW	32
3.3	Uitvoergegevens SIMDEUM-WW	37
3.4	Aanpassingen voor SIMDEUM-WW	37
3.5	Validatie SIMDEUM-WW	39
3.6	Voorbeeld van toepassing SIMDEUM-WW	39
4	SIMDEUM-HW	41
4.1	Inleiding	41
4.2	Invoergegevens SIMDEUM-HW	43
4.3	Uitvoergegevens SIMDEUM-HW	47
4.4	Aanpassingen voor SIMDEUM-HW	47
4.5	Validatie SIMDEUM-HW	48
4.6	Voorbeelden van toepassing SIMDEUM-HW	50
5	Discussie	52
5.1	Toepassing in ontwerp	52
5.2	Toepassing in hydraulische pakketten	53
5.3	Toepassing in het buitenland	53
5.4	Toepassing voor niet-huishoudelijk verbruik	54
5.5	Verdere doorontwikkeling van SIMDEUM	54
6	Referenties	55
	Bijlage I Achtergrondinfo SIMDEUM-HW	58
	Bijlage II SIMDEUM-WW code	67

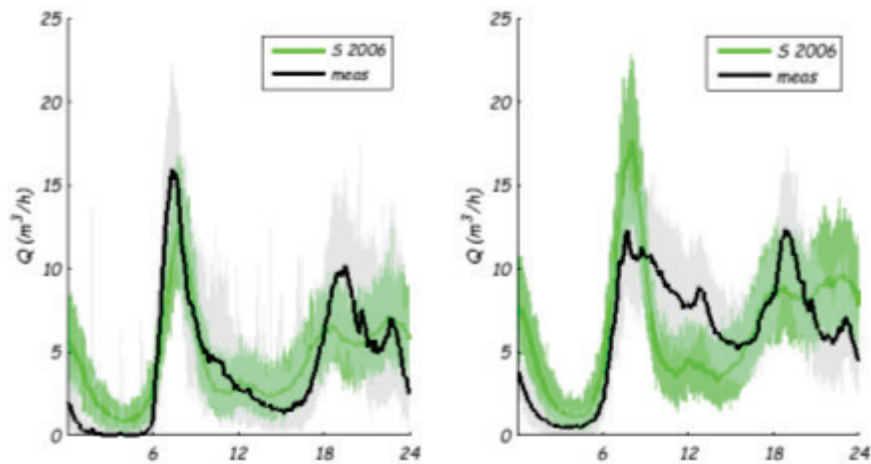
1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2006 is SIMDEUM (v1.0) voor huishoudelijk drinkwaterverbruik opgeleverd (Blokker, 2006a, b). Met een beperkte set aan meetgegevens is het model gevalideerd, met een focus op de maximale volumestromen (Blokker, 2006a, b; Pieterse-Quirijns and Beverloo, 2013) en na toepassing in een hydraulisch model op de verblijftijden (Blokker et al., 2011; Blokker et al., 2010). De verbeterde verbruikspatronen, d.w.z. met meer detail in tijd en ruimte en ook naar type gebruiker, bieden mogelijkheden om het hydraulisch leidingnetmodel te verbeteren. SIMDEUM biedt ook mogelijkheden om naar de drinkwaterinstallatie te kijken. Het gaat dan bijvoorbeeld om de watervraag per tappunt en daarmee verblijftijden of om de maximale volumestromen in de installatie, of om de bijbehorende energievraag en de afvoerpatronen.

In de afgelopen jaren zijn verscheidene onderzoeksprojecten uitgevoerd waarbij SIMDEUM is ingezet (Agudelo-Vera and Blokker, 2013; Pieterse-Quirijns, 2010; Pieterse-Quirijns, 2011; Pieterse-Quirijns, 2012; Pieterse-Quirijns and Beverloo, 2013; Pieterse-Quirijns et al., 2013a, b; Pieterse-Quirijns et al., 2013c; Pieterse-Quirijns and van de Roer, 2013; van Thienen and Pieterse-Quirijns, 2011; van Thienen and Vogelaar, 2012, 2013; van Thienen and Vries, 2013; Vloerbergh et al., 2013). Eén van de zaken waar we tegenaan liepen was dat de patronen over de dag die door SIMDEUM worden gegenereerd afwijken van gemeten patronen (Figuur 1-1) op de volgende punten:

- a. De avondpiek is in de metingen veel sterker (en op een eerder tijdstip) terug te zien dan in de door SIMDEUM v1.0 gesimuleerde patronen.
- b. Het verbruik in de avond gaat in de metingen op een eerder tijdstip naar het lage nachtverbruik toe dan in de door SIMDEUM v1.0 gesimuleerde patronen.
- c. Het verbruikspatroon tussen landelijk (Franeke bijvoorbeeld) en (rand)stedelijke gebieden (Leidsche Rijn bijvoorbeeld) verschilt in de metingen veel sterker dan in de door SIMDEUM v1.0 gesimuleerde patronen. Het gaat dan met name om het verbruik in de ochtend en rond het middaguur. De metingen van het landelijke gebied laten een bredere (en daarmee lagere) ochtendpiek zien en ook dat meer verbruik rond het middaguur plaatsheeft.



FIGUUR 1-1. METINGEN EN SIMULATIES VAN DOORDEWEEKSE DAGEN VOOR LEIDSCHER RIJN (LINKS) EN FRANEKER (RECHTS). DE ZWARTE LIJN EN GRIJS VLAK ZIJN DE METINGEN; DE GROENE LIJN EN GROEN VLAK IS SIMDEUM V1.0 (S 2006). IN HOOFDSTUK 2 WORDEN DE MEETGEBIEDEN VERDER BESCHREVEN.

Daarnaast komen er ook nieuwe mogelijke toepassingen van SIMDEUM naar voren (Bloemendaal et al., 2015; Pieterse-Quirijns et al., 2012). Het gaat dan specifiek om vragen naar patronen voor watergerelateerd energieverbruik en afvoerpatronen (volumestroom én temperatuur). SIMDEUM lijkt geschikt om deze vragen ook te beantwoorden, maar daarvoor is wel een uitbreiding nodig.

SIMDEUM is ook geschikt gemaakt voor niet-huishoudelijke patronen (Pieterse-Quirijns et al., 2009); voor kantoren, hotels en zorginstellingen zijn ook uitgebreide metingen gedaan ter validatie (Pieterse-Quirijns et al., 2013a, b; Pieterse-Quirijns et al., 2013c). De uitbreidingen die in dit rapport worden beschreven zijn (waarschijnlijk) ook toepasbaar op de niet-huishoudelijke patronen, maar deze zijn niet getest, noch beschreven in dit rapport.

1.2 Doel

Het doel van dit rapport is om de verschillende aanpassingen en verbeteringen in SIMDEUM in één document bij elkaar te brengen. We spreken over de eerste versie als SIMDEUM v1.0 en een nieuwe versie (SIMDEUM v2.0). De oorspronkelijke SIMDEUM is omgedoopt tot SIMDEUM-DW (SIMDEUM for drinking water) en de uitbreidingen heten SIMDEUM-WW (SIMDEUM for waste water, afvoerpatronen) en SIMDEUM-HW (SIMDEUM for energy use of hot water, energiepatronen). Waar van allee SIMDEUM wordt gesproken gaat het vaak over SIMDEUM-DW, maar is de tekst ook van toepassing voor SIMDEUM-WW en SIMDEUM-HW. Met SIMDEUM-DW wordt expliciet aangegeven dat het om drinkwater gaat.

1.3 Aanpak en leeswijzer

Binnen het BTO verkennend onderzoek is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor SIMDEUM-DW voor het landelijk gebied (Kwakkel, 2013). Daar is tevens een methode ontwikkeld waarmee SIMDEUM direct gebruik maakt van de data uit het tijdsbestedingsonderzoek (TBO).

Op basis van dit onderzoek is een aantal aanbevelingen geformuleerd om een beter passend patroon over de dag te kunnen modelleren, die in voorliggend rapport zijn opgepakt.

- TBO sampling geeft een betere overeenkomst met metingen (vooral late avond en nacht), er is een avondpiek.
- Het patroon over de dag is sterk afhankelijk van de verhouding tussen momenten met verhoogde kans op waterverbruik en op een normale kans. Een 65/35-verdeling tussen

momenten van hoog verbruik (na opstaan, voor vertrek, na thuiskomst en voor slapen gaan) en momenten van normaal verbruik geeft de beste overeenkomst. Deze verhouding was in SIMDEUM v1.0 reeds aangehouden.

- Stedelijkheid (zoals door CBS gedefinieerd op basis van bevolkingsdichtheid) heeft beperkte invloed (stedelijk gebied hogere ochtendpiek, landelijk gebied hogere middagpiek), dus hoeft niet geïmplementeerd te worden.
- Aangepast douchepatroon geeft betere ratio voor ochtend/avond piek. Het verdient aanbeveling om het douchepatroon niet te fitten op de metingen, maar hier meer informatie over te verzamelen.
- Werkloosheid heeft nagenoeg geen invloed. Hier hoeft niet nader op ingezoomd te worden.
- Op basis van het TBO, de 65/35-verdeling en de beperkte invloed van werkloosheid (meer mensen overdag thuis) is er geen aanwijsbare reden voor verhoogd watergebruik tussen 9:00 en 15:00 in het landelijk gebied. Het dient aanbeveling dit nader te onderzoeken.

Op basis van nieuwe gegevens uit het *Waterverbruik Thuis Onderzoek 2013* (WTO'13) onderzoek (van douchepatroon, en informatie over wasmachine en vaatwasmachine) en een andere implementatie van de gegevens uit de tijdbestedingsonderzoeken is een nieuwe versie van SIMDEUM gerealiseerd, dit is beschreven in hoofdstuk 2. Deze doorontwikkeling van SIMDEUM, inclusief aanscherping van invoerparameters, is puur gericht op het verbeteren van het verbruikspatroon over de dag (middag en vroege avond).

KWR heeft geïnvesteerd in twee uitbreidingen van SIMDEUM. Voor SIMDEUM-WW is extra functionaliteit aan SIMDEUM toegevoegd om afvoerpatronen, inclusief temperatuur en nutriëntenbelasting, te genereren (hoofdstuk 3). Voor SIMDEUM-HW is extra functionaliteit aan SIMDEUM toegevoegd om patronen van primaire energie per tappunt te genereren, zodat dit ook kan vertaald worden naar gas- en elektraverbruik t.b.v. het verwarmen van water (hoofdstuk 4).

De lezer vindt in het rapport een gedetailleerde beschrijving en verantwoording van de aanpak voor de doorontwikkeling van SIMDEUM (onder het kopje aanpassingen). Daarnaast zijn ook de invoerparameters beschreven, met referenties (onder het kopje invoergegevens); in de bijlagen vindt de lezer nog meer achtergronden. In alle hoofdstukken is ook een bespiegeling over de validatie opgenomen, maar echte validatie is binnen de beperkte schaal van de projecten niet altijd mogelijk geweest. Per hoofdstuk is daarnaast een voorbeeld van toepassingen beschreven. De hoofdstukken zijn los van elkaar te lezen; de doorontwikkeling van SIMDEUM versie 2014, SIMDEUM-HW en SIMDEUM-WW zijn onafhankelijk van elkaar te begrijpen en toe te passen. Indien gewenst kan uiteraard ook de combinatie worden toegepast. De lezer die minder geïnteresseerd is in de details, maar meer in de toepassing kan zich tot enkele paragrafen beperken. Zij zouden ook het laatste hoofdstuk met een discussie over de verschillende toepassingen moeten lezen.

2 SIMDEUM v2.0

2.1 Inleiding

Uit verscheidene onderzoeksprojecten bleek dat de patronen over de dag die door SIMDEUM-DW, (in dit hoofdstuk verder aangeduid als SIMDEUM v1.0 of als SIMDEUM) worden gegenereerd afwijken van gemeten patronen (Figuur 1-1) op de volgende punten: a) de avondpiek is in de metingen veel sterker (en op een eerder tijdstip) terug te zien; b) Het verbruik in de avond gaat in de metingen op een eerder tijdstip naar het lage nachtverbruik toe; c) Het verbruikspatroom tussen landelijk en (rand)stedelijke gebieden verschilt in de metingen veel sterker dan in de door SIMDEUM v1.0 gesimuleerde patronen. Het gaat dan met name om het verbruik in de ochtend en rond het middaguur. De metingen van het landelijke gebied laten een bredere (en daarmee lagere) ochtendpiek zien en ook dat meer verbruik rond het middaguur plaatsheeft.

Deze afwijkingen in het huishoudelijk verbruikspatroom kunnen verschillende oorzaken hebben:

1. De algemene kans op drinkwaterverbruik over de dag wordt in SIMDEUM v1.0 bepaald door de aanwezigheid van mensen thuis en veranderingen in slaap/waak (naar bed gaan en opstaan) of thuis zijn / elders zijn (vertrekken en thuis komen). De tijdstippen van opstaan, naar bed gaan, huis verlaten en thuiskomen is in SIMDEUM v1.0 sterk vereenvoudigd opgenomen uit het tijdbestedingsonderzoek (TBO). Er wordt bijvoorbeeld alleen een afwezigheid van minimaal drie uur, en slechts één vertrek (en terugkeer) per dag meegenomen. Ook zijn de genoemde tijdstippen in SIMDEUM v1.0 onafhankelijk (wel met een check dat men niet kan vertrekken voordat men is opgestaan). SIMDEUM v1.0 bepaalt de tijdstippen door random getallen te trekken uit normaalverdelingen die gefit zijn op de TBO-data. Omdat voor verschillende leeftijdsgroepen en met onderscheid tussen doordeweekse dag en weekenddag het aantal data voor een gefitte verdeling niet heel groot is, is destijds gekozen om geen verder onderscheid te maken naar bijvoorbeeld de stedelijkheid van de woonplaats van de respondenten. Het lijkt erop dat het vertrek 's morgens daarmee redelijk goed wordt voorspeld, maar dat het thuis zijn op de dag wordt onderschat. In het BTO verkennend onderzoek is een methode ontwikkeld waarmee SIMDEUM direct gebruik maakt van de TBO-data (Kwakkel, 2013).
2. De specifieke kans op drinkwaterverbruik over de dag is in SIMDEUM v1.0 bepaald voor het gebruik van de keukenkraan, wasmachine en vaatwasser; van de douche waren geen gegevens bekend. Het gebruik van de keukenkraan is bepaald op basis van de activiteit "afwassen" in het TBO uit 1995 (Van der Broek and Breedveld, 1995), en hangt sterk samen met het gebruik van de maaltijden. Het gebruik van de wasmachine en vaatwasser is bepaald op basis van een vraag in het *Waterverbruik Thuis Onderzoek* van 2007 of men 's morgens, 's middags, 's avonds of 's nachts deze apparaten aanzet (Foekema et al., 2008). Deze laatste methode is nogal grof. Omdat het verbruik van de douche een groot aandeel is in het totale waterverbruik (35%) en ook een duidelijke invloed heeft in het patroon over de dag lijkt het ook nuttig om de tijdstippen van douchen beter in beeld te krijgen. Daarom is in het WTO'13 gevraagd om een aantal vragen toe te voegen die specifiek het uur van de dag van verbruik van douche, wasmachine en vaatwasser in beeld brengen. Het gebruik van de keukenkraan is voldoende bekend verondersteld.

3. In verschillende onderzoeken naar toekomstig waterverbruik komt naar voren dat het verbruik aan de buitenkraan zou kunnen toenemen. Omdat nog veel onbekend is over het huidige verbruik zijn in het WTO'13 ook vragen over de buitenkraan toegevoegd. Om niet te veel af te wijken van het onderzoek van eerdere jaren is de extra verzamelde informatie beperkt gehouden.

In § 2.2 wordt de specifieke kans op drinkwaterverbruik over de dag (punt 2) verbeterd en is de informatie over het verbruik van de buitenkraan (punt 3) tegen het licht gehouden. In § 2.3 wordt de algemene verbruikskans van drinkwaterverbruik op een andere manier bepaald (punt 1). In § 2.5 worden de verbeteringen gevalideerd aan de hand van een aantal metingen.

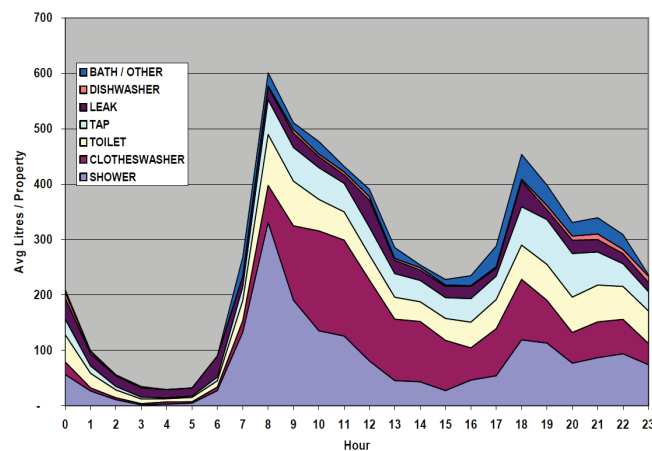
2.2 Aanpassingen op basis van WTO'13: invoerdata

2.2.1 Inleiding

In het WTO'13 heeft KWR een aantal vragen toegevoegd waarmee SIMDEUM v1.0 mogelijk verbeterd kan worden. Het gaat specifiek om informatie over tijdstippen van douchen, aanzetten van wasmachine en afwasmachine (per uur) en de frequentie van verbruik aan de buitenkraan (wel of niet gebruikt die dag, en zo ja het aantal keren gebruikt). Op basis van deze data kan mogelijk ook iets gezegd worden over het verschil tussen week- en weekenddagen.

2.2.2 Verbruik over de dag: algemeen

Een studie van Yarra Valley Water in 2004 (Roberts, 2005) geeft enig zicht op hoe de verschillende tappunten over de dag worden verbruikt (Figuur 2-1). De grootste bijdrage leveren de douche, wasmachine, wc en keukenkraan. Gebruik van de wc en keukenkraan varieert niet sterk over de dag (behalve dat het laag is in de nachtperiode). Opvallend is dat het verbruik van de wc overdag niet veel lager is, men is dus kennelijk overdag ook veel aanwezig. De douche wordt vooral 's morgens en 's avonds gebruikt. Voor de tijden tussen de ochtendpiek en avondpiek is met name de wasmachine actief. De vraag in § 1.3 naar welk verbruik tussen 9.00 en 15.00 uur belangrijk is, is hier deels mee opgelost, hoewel nog niet duidelijk is of en hoe dit samenhangt met het type wijk (verschil tussen Franeker en Leidsche Rijn). Kortom, voor een verbeterde SIMDEUM v2.0 is het belangrijk dat het verbruik over de dag van de wasmachine (§ 2.2.3) en de douche (§ 2.2.4) worden meegenomen.

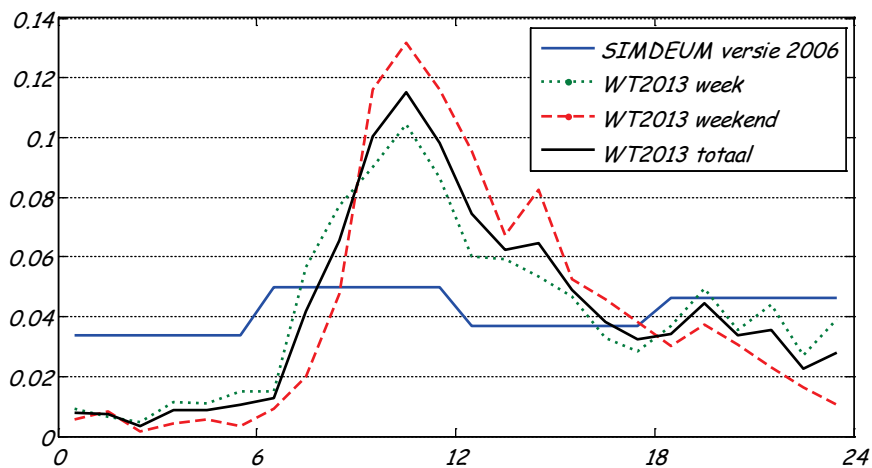


FIGUUR 2-1. GEMETEN GEMIDDELD WATERVERBRUIK PER TAPPUNT PER WONINGAANSLUITING IN DE WINTERPERIODE IN 2004 IN AUSTRALIË (FIGUUR 42, ROBERTS, 2005). ONDUIDELIJK IS OF DIT EEN GEMIDDELD PER WEEK IS, OF ALLEEN VOOR WERKDAGEN.

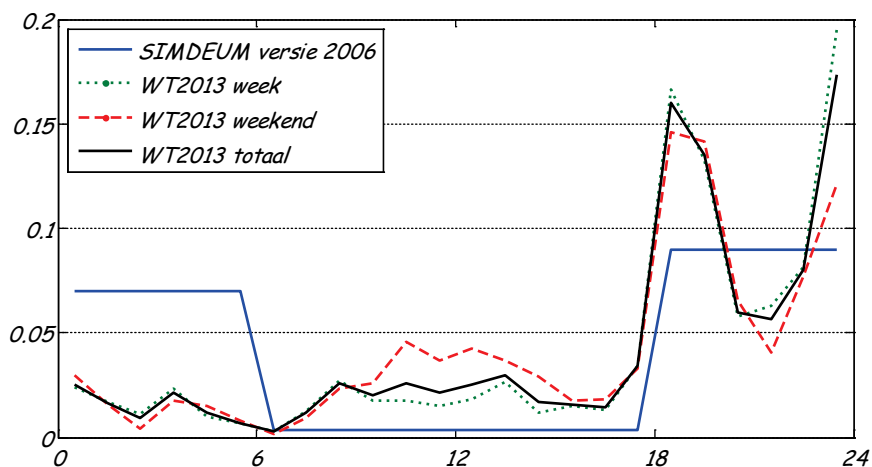
2.2.3 Verbruik over de dag: wasmachine en vaatwasser

Figuur 2-2 laat zien welk gebruik over de dag in SIMDEUM v1.0 is gebruikt en wat de informatie van het WTO'13 heeft opgeleverd voor een week- en weekenddag. Voor de wasmachine is duidelijk dat het verschil in patroon over de dag tussen week en weekend beperkt is. Het verschil met de aanname van 2006 is wel aanzienlijk. De aanname van 2006 was gebaseerd op een eerdere enquête door TNS Nipo waarbij gevraagd werd wanneer mensen meestal de wasmachine aanzetten (dagdeel). De inschatting van mensen komt slecht overeen met de meting van 2013 waar heel specifiek gevraagd is tijdens de dagboekperiode hoe laat de wasmachine is aangezet. In Europa is ook gevraagd hoe vaak men de wasmachine 's nachts, 's ochtends, 's middags, 's namiddags en 's avonds aanzette (Stamminger et al., 2008); dit leidde tot een lage kans 's nachts en over de rest van de dag een verhoogde kans. De wijze van enquêteren kan verschil maken.

Voor de vaatwasser (Figuur 2-3) kan een vergelijkbare conclusie worden getrokken. Het verbruik in de nacht is veel lager dan gedacht; we zien wel een sterke voorkeur voor het aanzetten voor het slapen gaan, dit hangt mogelijk ook nog samen met lagere tarieven voor nachtstroom.



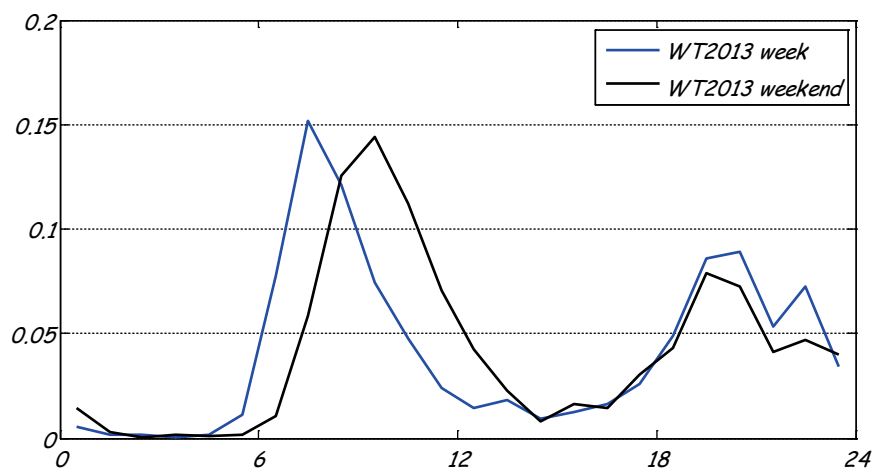
FIGUUR 2-2. GEBRUIK OVER DE DAG (SOM VAN DE UURFACTOREN IS 1) VAN DE WASMACHINE.



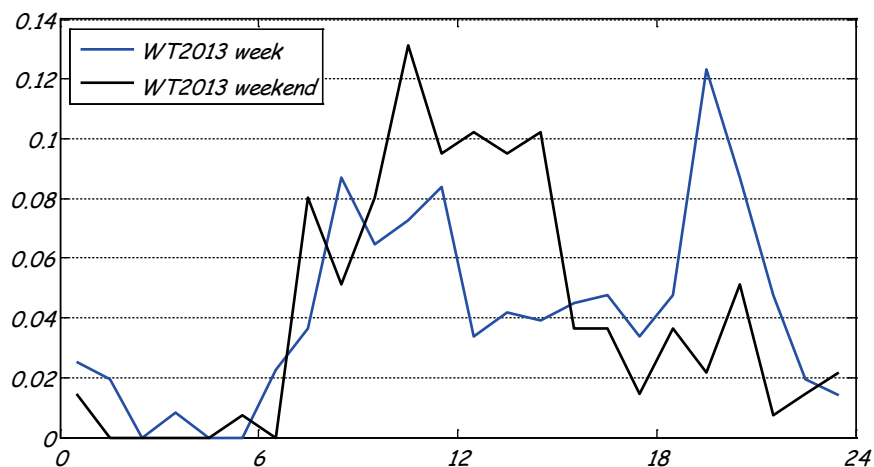
FIGUUR 2-3. GEBRUIK OVER DE DAG (SOM VAN DE UURFACTOREN IS 1) VAN DE VAATWASSER.

2.2.4 Verbruik over de dag: douche

Figuur 2-4 laat zien hoe het douchegebruik thuis over de dag is volgens de informatie van het WTO'13. Figuur 2-5 laat hetzelfde zien voor douchen buitenshuis (bijvoorbeeld na het sporten). In SIMDEUM v1.0 is geen aanname voor de douche gedaan, anders dan dat deze afhankelijk is van de momenten van opstaan, vertrek, thuiskomst en naar bed gaan. Er is in Figuur 2-4 een duidelijk verschil te zien tussen doordeweekse dagen en weekenddagen. Men doucht thuis in het weekend 's morgens wat later dan door de week en 's avonds minder vaak dan 's morgens en na middernacht vrijwel niet. Buitenshuis wordt door de week wel wat vaker 's avonds gedoucht en in het weekend vooral overdag. De frequentie van douchen thuis en buitenshuis verschilt (terwijl dit niet direct blijkt uit de figuren): de douchefrequentie thuis is ca. 0.8 per dag, en de douchefrequentie buitenshuis is ca. 0.05-0.06 per dag (ongeveer een factor 15 lager). Het douchepatroon buitenshuis is interessant voor het modelleren van sportcomplexen en zwembaden.



FIGUUR 2-4. GEBRUIK OVER DE DAG (SOM VAN DE UURFACTOREN IS 1) VAN DE DOUCHE THUIS.



FIGUUR 2-5. GEBRUIK OVER DE DAG (SOM VAN DE UURFACTOREN IS 1) VAN DE DOUCHE BUITENSHUIS.

2.2.5 Verbruik over de dag: aanpassingen voor SIMDEUM v2.0

Voor het specifieke verbruik over de dag kan nu in SIMDEUM v2.0 gebruik worden gemaakt van deze patronen:

- Voor de wasmachine het patroon van Figuur 2-2 (geen onderscheid voor dag van de week).
- Voor de vaatwasser het patroon van Figuur 2-3 (geen onderscheid voor dag van de week).
- Voor de douche de patronen van Figuur 2-4 voor doordeweekse en weekenddagen.

2.2.6 Verschil tussen verbruik door de week en in het weekend

Wanneer de gebruiksfrequentie van een tappunt voor iedere dag gelijk is, dan is de relatieve frequentie $1/7 = 14.3\%$; wanneer de frequentie door de week gelijk is aan de frequentie in het weekend dan is de verhouding ca. $71.4\% - 28.6\% (5/7 - 2/7)$. Voor de vaatwasser en douche (Tabel 2-1) wordt geen significant verschil geconstateerd per dag. Voor de wasmachine (Tabel 2-1) zien we een duidelijke voorkeur voor het weekend. Met de relatieve frequentie uit Tabel 2-1 en een gemiddelde (absolute) frequentie van gebruik van 0.3 kunnen we de absolute frequentie voor doordeweekse dagen en weekenddagen berekenen: door de week 0.25 en in het weekend 0.41. Voor de buitenkraan (Tabel 2-1) geldt dat er weinig verschil is voor de dag van de week; de donderdag lijkt wel een groter verbruik te kennen, maar een verklaring daarvoor ligt niet direct voor de hand.

TABEL 2-1. RELATIEVE GEBRUIKSFREQUENTIE (%) PER DAG VAN DE WEEK EN TOTAAL DOOR DE WEEK EN IN HET WEEKEND (WTO'13).

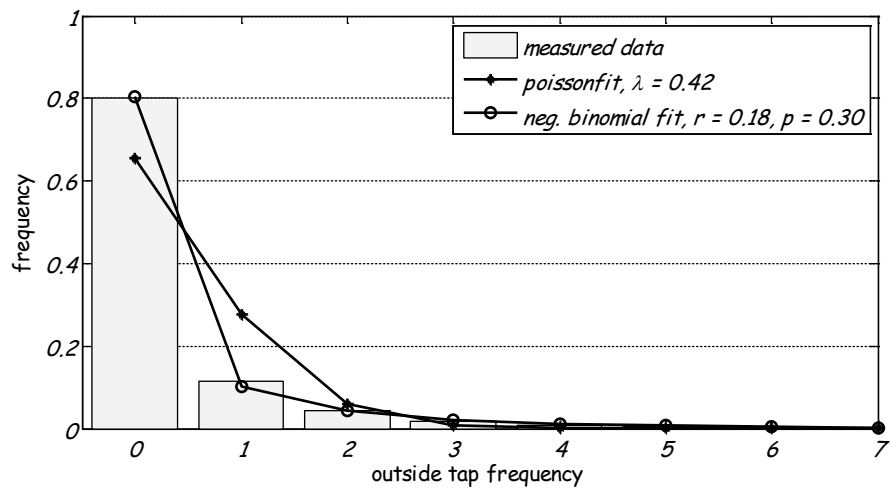
	Door de week						Weekend		
	ma	di	wo	do	vrij	totaal	za	zo	totaal
Wasmachine	11.8	10.6	12.2	10.8	14.9	60.2	22.5	17.2	39.8
Vaatwasser	14.0	14.0	13.5	13.2	16.2	70.9	14.2	14.9	29.1
Douche	13.9	12.7	14.9	13.2	16.7	71.4	15.7	12.9	28.6
Buitenkraan	13.3	13.9	15.3	21.9	12.0	76.3	13.2	10.5	23.7

Voor het verschil tussen het waterverbruik door de week en in het weekend wordt aanbevolen:

- Voor de tijdsbesteding verschillende patronen te gebruiken (ook al in SIMDEUM v1.0).
- Voor de douche ook patronen te gebruiken, en wel verschillend voor doordeweekse dagen en weekenddagen (§ 2.2.4).
- Voor de wasmachine de gebruiksfrequentie aan te passen (§ 2.2.3 en 2.2.6).
- Voor de vaatwasser en buitenkraan geen aanpassingen te doen (§ 2.2.3 en 2.2.6).
- Voor de keukenkraan, wc, wastafel en bad ook geen aanpassingen te doen bij gebrek aan data.

2.2.7 Gebruiksfrequentie buitenkraan

Voor het gebruik van de buitenkraan blijkt uit Tabel 2-2 dat de dag van de week niet zo veel verschil maakt. Daarom zijn alle cijfers uit de tabel op één hoop gegooid en is gekeken welke frequentieverdeling het beste past om de data van de buitenkraan te beschrijven. Bij gebrek aan informatie is eerder de Poissonverdeling aangehouden, maar Figuur 2-6 laat zien dat een negatief binomiale verdeling beter past. Deze verdeling wordt in SIMDEUM al toegepast voor de gebruiksfrequentie van de keukenkraan. Het verschil is echter niet groot en omdat het totaal aandeel van de buitenkraan beperkt is, zal de verdeling niet aangepast worden in SIMDEUM v2.0. De gemiddelde gebruiksfrequentie van 0.42 (λ in Figuur 2-6) wijkt ook niet sterk af van de 0.44 die in SIMDEUM v1.0 is aangehouden.



FIGUUR 2-6. RELatieve GEBRUIKSFREQUENTIE PER DAG VAN DE BUITENKRAAN.

TABEL 2-2. FREQUENTIE VAN GEBRUIK BUITENKRAAN.

Aantal keer buitenkraan gebuikt per dag	ma	di	wo	do	vrij	za	zo	Totaal door de week	Totaal weekend	Totaal week
0	565	572	564	476	590	588	594	2768	1182	3950
1	93	77	77	105	76	68	67	428	135	562
2	21	30	37	55	26	23	23	170	47	216
3	13	10	12	30	9	10	7	74	17	90
4	4	4	3	5	5	6	5	21	11	32
5	3	1	2	3	2	2	5	11	7	18
6	3	2	3	3	1	3	1	12	4	16
7	0	0	0	2	1	1	0	2	1	3
8	1	1	1	0	0	0	1	3	1	4
9	1	2	1	1	1	0	0	5	0	5
10	2	3	3	3	2	5	1	13	6	19
11	0	0	1	0	1	0	0	2	0	2
12	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
15	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
16	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
17	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	1	1	1	0	1	0	2	1	3
totaal	707	704	704	685	714	707	705	3514	1411	4925
Totaal relatief	13.3%	13.9%	15.3%	21.9%	12.0%	13.2%	10.5%	76.3%	23.7%	100%

2.2.8 Aangepaste invoerparameters SIMDEUM v2.0

Ten opzichte van SIMDEUM v1.0, wordt aanbevolen de invoer bij SIMDEUM v2.0 aan te passen volgens Tabel 2-3.

TABEL 2-3. AANPASSINGEN INVOER SIMDEUM V2.0

Type	Aanpassing
tappunt	
Douche	gebruik de patronen van Figuur 2-4 voor doordeweekse en weekenddagen;
Bad	X
Wastafel	X
Keukenkraan	X
Vaatwasser	het patroon van Figuur 2-3 (onderscheid dag van de week kan, is niet nodig)
Wasmachine	het patroon van Figuur 2-2 (onderscheid dag van de week kan, is niet nodig); gebruiksfrequentie voor week en weekend aanpassen (week: 84% van gemiddelde; weekend: 140% van gemiddelde)
Wc	X
Buitenkraan	X

2.3 Aanpassingen in gebruik van de TBO data: directe trekking

2.3.1 Tijdsbestedingsonderzoek

Het SCP doet vijfjaarlijks een tijdsbestedingsonderzoek. Voor SIMDEUM v1.0 is gebruik gemaakt van het onderzoek uit 1995 (Van der Broek and Breedveld, 1995). Intussen zijn ook de onderzoeken uit 2000 en 2005 (Sociaal en Cultureel Planbureau, 2005) beschikbaar. Er wordt naar gerefereerd als TBO'95, TBO'00 en TBO'05. De gegevens komen uit een computerfile, een database met alle gegevens, antwoorden van de enquête en het dagboek.

Het onderzoek bestond uit een enquête en het bijhouden van een dagboekje gedurende een week. Aangezien er van dit onderzoek geen rapport is geschreven zal hier kort worden beschreven hoe het onderzoek is opgezet.

- De steekproef bestond uit mensen van 12 jaar of ouder.
- Activiteiten (er zijn codes voor een groot aantal verschillende activiteiten beschikbaar) die minimaal 8 minuten in een kwartier hebben plaatsgevonden worden geregistreerd in een dagboekje.
- Niet alle denkbare activiteiten hebben een eigen code. Zo is wassen, was ophangen en was binnenhalen één code. Toiletbezoek heeft geen code, douchen ook niet. Er is wel een code voor persoonlijke verzorging. Hieronder valt douchen, aankleden, scheren, opmaken etc. Wanneer de tijdstippen hiervan vergeleken worden met de tijdstippen van opstaan, naar bed gaan en thuis zijn is er een duidelijk verband te zien.
- Het geeft de activiteiten weer van de respondenten, niet van het huishouden (de schoonmaakactiviteiten worden niet altijd door de respondenten gedaan).
- In 1995 waren er minder mensen met een vaatwasmachine dan in 2000, voor het inzicht in het afwassen (de enige activiteit die direct gerelateerd is aan waterverbruik) was het TBO'95 een betere bron.

2.3.2 Tijdbesteding in SIMDEUM v1.0

In SIMDEUM v1.0 is op basis van de TBO data een aantal normaalverdelingen opgesteld die beschrijven hoe lang mensen slapen, hoe laat ze opstaan (en daarmee dus hoe laat ze naar bed gaan; de twee verdelingen zijn onafhankelijk verondersteld), hoe laat ze van huis vertrekken voor tenminste drie uur, hoe lang ze wegblijven (en daarmee dus hoe laat ze thuishkomen; de twee verdelingen zijn onafhankelijk verondersteld). Deze normaalverdelingen zijn verschillend voor de leeftijdsgroepen die SIMDEUM v1.0 onderscheidt. Bij het bepalen van het dagpatroon wordt voor iedere bewoner een tijdstip bepaald van opstaan, vertrek (na opstaan), thuishkomst en naar bed gaan. Vervolgens wordt een kansverdeling van waterverbruik over de dag geconstrueerd:

- Kans = 0 tijdens slaap;

- Kans is verhoogd gedurende $\frac{1}{2}$ uur na opstaan, $\frac{1}{2}$ uur voor vertrek, $\frac{1}{2}$ uur na thuiskomst, $\frac{1}{2}$ uur voor slapen gaan;
- Kans = 0 tussen vertrek van huis en thuiskomst;
- Kans is normaal tijdens overige uren van thuis (en wakker) zijn.

De verhouding tussen verhoogd en normaal verbruik is 65/35%.

Voor tappunten waarvan een voorkeurspatroon over de dag bekend is, zoals bijvoorbeeld de keukenkraan waar een relatie is met tijdstippen van maaltijden, krijgt de kansverdeling van dat tappunt de voorkeur boven het slaap-waakritme; er wordt wel rekening gehouden met wel/niet thuis zijn. Dit wordt gerealiseerd door het voorkeurspatroon van het tappunt te vermenigvuldigen met 0/1 voor aanwezigheid thuis. In § 2.2 zijn voor SIMDEUM v2.0 ook voorkeurstijden voor douche, wasmachine en vaatwasser toegevoegd.

In de versie van SIMDEUM v1.0 zijn dus een aantal vereenvoudigingen doorgevoerd:

- Er wordt alleen een afwezigheid van minimaal drie uur, en slechts één vertrek (en terugkeer) per dag meegenomen.
- De genoemde tijdstippen zijn onafhankelijk van elkaar (wel met een check dat men niet kan vertrekken voordat men is opgestaan).
- De normaalverdelingen passen niet helemaal goed. Er is bijvoorbeeld in the TBO een voorkeur voor opstaan op het hele uur.

Het lijkt erop dat het vertrek 's morgens redelijk goed wordt voorspeld, maar dat het thuiszijn op de dag wordt onderschat.

2.3.3 Tijdbesteding in SIMDEUM v2.0

In het BTO verkennend onderzoek is een methode ontwikkeld waarmee SIMDEUM v2.0 direct tijdbestedingspatronen trekt uit de TBO-data (Kwakkel, 2013). De aanpak is als volgt:

- Er wordt een matrix meegegeven met voor alle dagen en alle respondenten een indicatie van de locatie per kwartier (1 = thuis, andere getallen worden als "niet thuis" geïnterpreteerd).
- Er wordt een matrix meegegeven met voor alle dagen en alle respondenten een indicatie van voor SIMDEUM relevante activiteiten per kwartier (4050/4060/4070: slaap; 400: persoonlijke verzorging; 1011: afwas; 4030: maaltijd; 1022/1023: schoonmaak; andere getallen worden niet relevant geïnterpreteerd).
- Er wordt een matrix meegegeven van het user_type van alle respondenten (kind, tiener, volwassene met werk buitenshuis, volwassene zonder werk buitenshuis, senior).

Het is mogelijk om matrices op te stellen voor zeven dagen of voor slechts één dag, of alle werkdagen of weekenddagen. Zolang de matrix van locatie en activiteiten maar even groot zijn en een geheel aantal dagen bestrijkt. Het is ook mogelijk om de gegevens van slechts een deel van de respondenten mee te nemen in de simulatie. Wanneer bijvoorbeeld van de respondenten ook de stedelijkheid van hun adres bekend is kan deze er (vóór de simulatie) worden uitgefilterd. De TBO-data van 2000 en 2005 zijn gebruikt in dit rapport, omdat hierin de stedelijkheid bekend was (van de TBO-data van 1995 is dat niet zo). De TBO-data van 2010 zijn nog niet vrijelijk beschikbaar.

Bij de simulatie wordt voor een woning bepaald welke user_types (kind, tiener, volwassene met of zonder buitenshuis werk, senior) er aanwezig zijn. Daarna wordt voor iedere "bewoner" uit de matrices van alle dagen van alle respondenten (gefilterd op user_type) een eigen dag geselecteerd met aanwezigheid en activiteiten. Binnen de geselecteerde kwartierwaarden wordt nog een willekeurig moment bepaald voor tijdstippen van opstaan, vertrek, thuiskomst en naar bed gaan en van start en eind van de activiteiten persoonlijke

verzorging, afwas, maaltijd en schoonmaak. Vervolgens wordt een kansverdeling van (de start van) waterverbruik over de dag geconstrueerd:

- Kans = 0 tijdens slaap;
- Kans is verhoogd tijdens de activiteiten persoonlijke verzorging, afwas, maaltijd en schoonmaak ;
- Kans = 0 tussen vertrek van huis en thuiskomst;
- Kans is normaal tijdens overige uren van thuis (en wakker) zijn.

De verhouding tussen verhoogd en normaal verbruik is 65/35%.

Het nadeel van het direct trekken van tijdbestedingspatronen uit de TBO-data is dat deze data aan SIMDEUM meegegeven moet worden (grote databestanden), en dat er uit een beperkte set wordt getrokken (4016 enquêtes in 2000 en 2005 samen, waarvan bijna 2000 werkende volwassenen, maar slechts 541 senioren). De data van 2010 en verder zou ook toegevoegd kunnen worden, of oude data vervangen. Omdat binnen de kwartieren van de TBO-data nog wel willekeurige tijdstippen worden gesimuleerd zijn de patronen niet exact gelijk, maar er is wel minder variatie dan in v1.0 waar uit normaalverdelingen werd getrokken. De rekentijd is niet langer.

2.4 Samenvatting aanpassingen SIMDEUM v2.0

De aanpassingen die gedaan zijn voor SIMDEUM v2.0 zijn:

- Uit het WTO'13 is specifiekere data toegevoegd die beschrijft hoe het verbruik van douche, wasmachine en vaatwasser over de dag verdeeld zijn, voor doordeweekse en weekenddagen. Hiervoor was geen code-aanpassing nodig in SIMDEUM v1.0; de invoerdata is specifiekere. In het vervolg van dit hoofdstuk wordt deze specifiekere invoerdata aangeduid met S 2014 (de oorspronkelijke invoerdata wordt aangeduid met S 2006).
- Uit het TBO is specifiekere informatie toegevoegd die beschrijft hoe het verbruik van drinkwater in het algemeen over de dag verdeeld is, voor doordeweekse en weekenddagen en zelfs afhankelijk van de stedelijkheid van het adres. Hiervoor was wel een code-aanpassing nodig in SIMDEUM v1.0. Het is in SIMDEUM v2.0 mogelijk om kansverdelingen over de dag direct uit de TBO-data op te bouwen; de methodiek van SIMDEUM v1.0 die kansverdelingen over de dag indirect uit de TBO-data opbouwt (uit normaalverdelingen gebaseerd op de TBO-data) is ook nog beschikbaar. In het vervolg van dit hoofdstuk wordt deze specifiekere wijze van verbruik over de dag aangeduid met S 2014+ (met de code-aanpassing voor het gebruik van de TBO-data, maar wel de invoerdata van 2006 wordt in het vervolg deze versie aangeduid met S 2006+).

2.5 Validatie SIMDEUM v2.0

2.5.1 Inleiding

De validatie wordt gedaan op basis van metingen uit het verleden voor Leidsche Rijn en Franeker. Dit zijn voorbeelden van een stedelijk en een meer landelijk gebied.

In de validatie worden de resultaten van de twee aanpassingen apart en gezamenlijk vergeleken met de resultaten van SIMDEUM v1.0. Hoewel de stedelijkheid eerder niet belangrijk leek (Kwakkel, 2013), is de analyse op stedelijkheid hier wel herhaald. Ten eerste omdat een extra verbetering is gedaan met de specifiekere data over douche-, wasmachine- en vaatwasmachineverbruik over de dag, en ten tweede omdat er nog niet een betere verklaring is voor het verschil tussen een stedelijk en landelijk gebied.

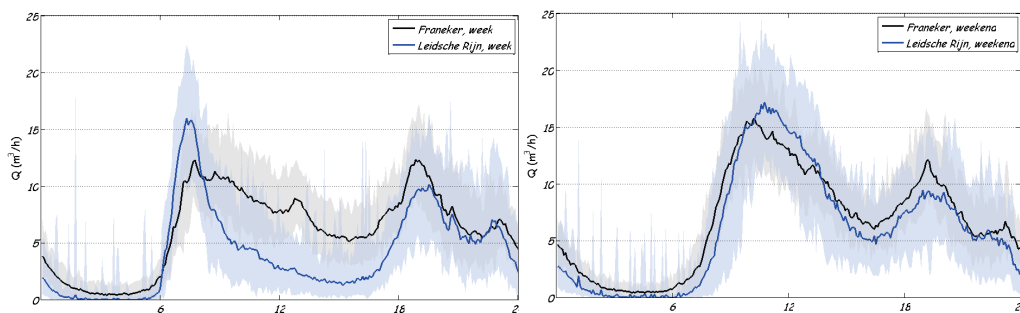
De resultaten van de simulaties worden met de metingen en onderling vergeleken in grafieken waarin het gemiddelde patroon over de dag wordt getoond en grafieken met de

cumulatieve frequentieverdeling van maximum en gemiddeld dagverbruik. In een tabel zijn de gemiddelde dagpatronen van metingen en simulaties beoordeeld op gemiddelde fout (ME, mean error als percentage van het gemiddelde verbruik), gemiddelde van de kwadraten van de verschillen (RMSE, root mean square error als percentage van het gemiddelde verbruik), de correlatie (verklaarde variantie) tussen de patronen (R^2) en de correlatie tussen genormaliseerde patronen (ρ^2). Een ME en RMSE van < 5% is zeer goed en van < 30% is goed; een R^2 en ρ^2 van > 0.7 is goed (Blokker, 2010).

2.5.2 Meetgebieden

De validatie wordt gedaan op basis van metingen uit het verleden voor twee ongeveer even grote gebieden, namelijk Leidsche Rijn en Franeker (Tabel 2-4). Sommige patronen weken sterk af van het gemiddelde; deze zijn verwijderd uit de set voordat de validatie is toegepast. Redenen voor verwijderen waren bijvoorbeeld a) voorkomen van hele hoge en hele lage verbruiken of b) een afwijkend patroon, bijvoorbeeld veel verbruik in de avond ten opzichte van gemiddelde patroon of ontbrekende data (0 midden op de dag) of hele hoge verbruiken in een blokpatroon (is daar gespuid?).

De patronen verschillen van elkaar voor de weekdays, maar nauwelijks voor de weekenddagen (Figuur 2-7). Er is een verschil in totaal verbruik voor week- en weekenddagen (Tabel 2-4).



FIGUUR 2-7. GEMETEN PATRONEN IN FRANEKER EN LEIDSCHER RIJN (DE LIJN GEEFT HET GEMIDDELTE WEER; HET VLAKE GEEFT DE MINIMALE TOT MAXIMALE WAARDE AAN, DUS DE VARIATIE) VOOR (LINKS) DOORDEWEEKSE DAGEN EN (RECHTS) WEEKENDDAGEN. VOOR LEIDSCHER RIJN (BLAUW) ZIJN 56 WEEKDAGEN EN 28 WEEKENDDAGEN GESELECTEERD; VOOR FRANEKER (ZWART) 88 WEEKDAGEN EN 34 WEEKENDDAGEN.

TABEL 2-4. KENMERKEN MEETLOCATIES

Kenmerk	Leidsche Rijn	Franeker
	(Langerak)	(Plan Arkens)
meetperiode	Jun – Okt 2006	Jan – Sep 2006
Aantal weekdays	92	132
Idem, gecorrigeerd	56	88
Aantal weekenddagen	40	54
Idem, gecorrigeerd	28	34
Aantal woningen	512	550
Gemiddelde woningbezetting	2.2	2.6
Gem. dagverbruik (l/persoon) gecor. weekdays	89	104
Gem. dagverbruik (l/persoon) gecor. weekenddagen	130	114
Referentie voor metingen	(Blokker, 2006b)	(Blokker and Vogelaar, 2007)

2.5.3 Simulaties

Voor de beide meetlocaties zijn meerdere simulaties uitgevoerd. Hierbij zijn de aanbevelingen uit dit hoofdstuk meegenomen en de gebiedseigen data (Tabel 2-5).

Daarnaast zijn wat aanpassingen gedaan zodat het totale verwachte waterverbruik voor de simulaties ongeveer gelijk zou zijn aan het gemeten verbruik (Tabel 2-6, Tabel 2-7), dit is specifiek voor de validatie, niet als nieuwe standaardinvoer:

- De voorkeur voor gebruik van de wasmachine in het weekend (§ 2.2.6) is doorgevoerd.
- De verschillen in verbruik door toilet en vaatwasser komen door de verschillen in de type wijken (nieuwbouw in Leidsche Rijn, meer zuinige apparaten). Voor de douche is er ook een invloed van het type wijk.
- Het verbruik aan de keukenkraan is niet aangepast, maar de verschillen tussen het Nederlandse gemiddelde en de waardes voor Leidsche Rijn en Franeker komen voort uit de grootte van de gezinnen.
- De doucheduur voor doordeweekse dagen is naar beneden bijgesteld. Dit is gedaan om het totale verbruik te verlagen als een soort sluitpost, maar er is verder een beperkte onderbouwing voor.
- Het verbruik door het bad is laag. We gaan er vanuit dat er eigenlijk alleen in het weekend tijd is om in bad te gaan; de gebruiksfrequentie door de week is dus op 0 gezet, en in het weekend iets hoger.
- Het verbruik door de buitenkraan is laag. We gaan er vanuit dat er eigenlijk alleen in het weekend tijd is om de buitenkraan wat meer te gebruiken (voor kinderbadjes, auto wassen, tuinieren); in Leidsche Rijn is de gebruiksfrequentie door de week dus op 0 gezet, en in het weekend iets hoger. In Franeker hebben we de buitenkraan ook in het weekend op 0 gezet. Bij het zoeken naar een verklaring voor wat lager waterverbruik is geopperd dat in Franeker mogelijk meer gebruik wordt gemaakt van regentonnen of water uit de sloot.

TABEL 2-5. KENMERKEN SIMULATIELOCATIES, CBS-GEGEVENS VOOR DE BEMETEN WIJKEN IN 2001 EN 2006.

Kenmerk		Leidsche Rijn	Franeker
Gezinsgrootte	Gemiddelde bezetting	2.2	2.6
	1 persoon (%)	28	14
	2 personen (%)	36	37
	Gezinnen met kinderen (%)	36	49
Leeftijden	Kinderen (%)	14	17
	Tieners (%)	10	14
	Volwassenen (%)	70	60
	Senioren (%)	6	9
Stedelijkheid		3	4

TABEL 2-6. GEMIDDELD VERBRUIK PER TAPPUNT IN LEIDSCHERIJN; DE BASIS IS EEN NIEUWBOUWWIJK MET RELATIEF VEEL ZUINIGE APPARATEN GEÏNSTALLEERD.

Tappunt	Basis (l/p.dag)	S 2006		S 2014		Toelichting
		week	weekend	week	weekend	
Douche	49.4	40.5	47.7	40.4	47.7	Doucheduur door de week 85%
Keukenkraan	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	Iets hoger dan gemiddeld door kleinere gezinnen
Bad	3.5	0	9.4	0.0	9.4	Alleen in het weekend (freq * 7/2)
Wastafel	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
Wasmachine	14.2	14.2	14.2	11.9	19.9	verschil weekdays (freq * 0.84) en weekenddagen (freq * 1.4)
Vaatwasser	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	
Wc	21.4	21.7	21.7	21.7	21.7	
Buitenkraan	13.4	0.0	13.4	0.0	13.4	Alleen in het weekend (freq * 1)
Totaal	123.1	97.8	127.7	95.4	133.3	

TABEL 2-7. GEMIDDELD VERBRUIK PER TAPPUNT IN FRANEKER; DE BASIS IS HET GEMIDDELDE VAN NEDERLAND IN 2004 MET RELATIEF WEINIG ZUINIGE APPARATEN GEÏNSTALLEERD.

Tappunt	Basis (l/p.dag)	S 2006		S 2014		Toelichting
		week	weekend	week	weekend	
Douche	45.8	36.7	45.8	36.7	45.8	Doucheduur door de week 80%; minder spaardouches in gebruik (oudere wijk)
Keukenkraan	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	lets lager dan gemiddeld door grotere gezinnen
Bad	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	
Wastafel	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
Wasmachine	14.2	14.2	14.2	11.9	19.9	verschil wekdagen (freq * 0.84) en weekenddagen (freq * 1.4)
Vaatwasser	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	Minder vaatwassers aanwezig (oudere wijk)
Wc	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2	Minder zuinige toiletten geïnstalleerd (oudere wijk)
Buitenkraan	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	Geen buitenkraan verondersteld
Totaal	130.5	97.8	117.2	105.7	122.9	

In de validatie worden de resultaten van de twee aanpassingen die leiden tot SIMDEUM v2.0 apart en gezamenlijk vergeleken met de resultaten van SIMDEUM v1.0. In Tabel 2-8 is :

- S 2006 gebaseerd op de invoerdata van SIMDEUM uit 2006 (SIMDEUM v1.0) en S 2014 op de invoerdata van 2014;
- de "+" achter het jaartal geeft aan dat de directe trekking uit de TBO-data in toegepast (code-uitbreiding in SIMDEUM v2.0), het ontbreken van de "+" geeft aan dat de indirecte trekking uit de TBO-data in toegepast (code van SIMDEUM v1.0).

S 2014 is dus de aanpassing van S 2006 met specifiekere invoerdata uit het WTO'13;

S 2006+ is de aanpassing met specifiekere data uit het TBO (SIMDEUM v2.0 maar met de oude invoerdata van 2006) en S 2014+ heeft beide aanpassingen (SIMDEUM v2.0 met nieuwe invoerdata). De beide stappen worden vergeleken met de oorspronkelijke simulatie van S 2006 (SIMDEUM v1.0).

Ook is gekeken naar de stedelijkheid van wijken. De stedelijkheid wordt uitgedrukt als getal van 1 (zeer stedelijk) tot 5 (niet stedelijk). De definitie die het CBS hanteert hangt onder andere samen met de adressendichtheid. De stedelijkheid van Leidsche Rijn is niet heel hoog (3 – in de simulatie S 2014+, sted3) en niet heel anders dan van Franeker (4 – in de simulatie S 2014+, sted4). Daarom is de simulatie ook gedaan met stedelijkheid gelijk aan 1 (S 2014+, sted1) en onafhankelijk van de stedelijkheid (S 2014+).

Een andere mogelijke verklaring voor het afwijkende doordeweekse patroon van Franeker (Figuur 2-7) is dat er veel meer mensen overdag thuis zijn, meer huisvrouwen en kinderen die tussen de middag thuis eten. Deze gegevens zijn niet gemakkelijk uit het TBO te filteren. Om de invloed te bekijken van meer mensen thuis zijn de simulaties voor doordeweekse dagen herhaald met alle volwassenen als user_type "home_ad" (mensen zonder baan buitenshuis van meer dan 20 uur), maar alleen voor Franeker (S 2014, home_ad en S 2014+, home_ad).

TABEL 2-8. OVERZICHT VAN DE SCENARIO'S DIE GESIMULEERD ZIJN VOOR DE VALIDATIE VAN SIMDEUM.

Simulatie	Verbruiksdata	Door de week	Weekend
1. S 2006	2006	Trekking uit normaalverdelingen, week	Trekking uit normaalverdelingen, weekend
2. S 2014	2014	Trekking uit normaalverdelingen, week	Trekking uit normaalverdelingen, weekend
3. S 2006+	2014	Trekking uit TBO*, ma-vrij	Trekking uit TBO*, za-zo
4. S 2014+	2014	Trekking uit TBO*, ma-vrij	Trekking uit TBO*, za-zo
5. S 2014+, sted1	2014	Trekking uit TBO*, ma-vrij, stedelijkheid = 1	Trekking uit TBO*, za-zo, stedelijkheid = 1
6. S 2014+, sted3/4	2014	Trekking uit TBO*, ma-vrij, stedelijkheid = 3 / 4	Trekking uit TBO*, za-zo, stedelijkheid = 3 / 4
7. S 2014, home_ad	2014	Trekking uit normaalverdelingen, week; volwassenen allen thuis	x
8. S 2014+, home_ad	2014	Trekking uit TBO*, ma-vrij; volwassenen allen thuis	x

* Trekkingen uit TBO'00 en TBO'05.

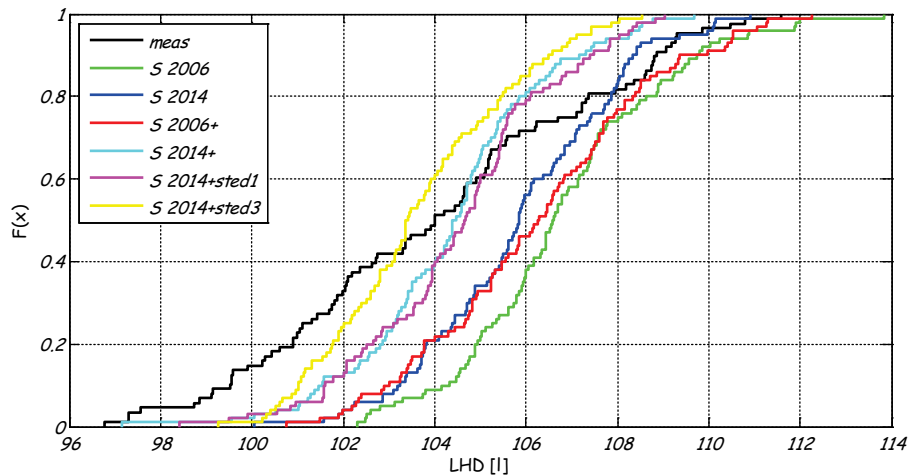
Ieder type woning is 5000 keer gesimuleerd, met elk 20 patronen. Daarvan zijn vervolgens wijken van 512 of 550 woningen samengesteld, met elk 100 patronen. Dat betekent dat er 5000 woningen zijn gesimuleerd, met 2.2 en 2.6 bewoners per woning in respectievelijk Leidsche Rijn en Franeker. Voor iedere bewoner wordt een dagpatroon geconstrueerd op basis van de TBO-data (direct of indirect). Uit Tabel 2-9 blijkt dat voor de directe methode er voor de weekenden minder TBO-patronen zijn waaruit gesampled kan worden dan het aantal patronen dat nodig is. Omdat SIMDEUM nog varieert met start- en eindtijden binnen elk kwartier dat gerapporteerd is in het TBO, is er wel meer variatie dan de in totaal 8032 patronen van het TBO, maar die patronen zijn dan niet helemaal ongecorrleerd. Het kan dus zo zijn dat de correlatie in de SIMDEUM resultaten voor het weekend groter zijn dan in de werkelijkheid. Echter voor SIMDEUM v1.0 hebben we al gezien dat ook het weekendpatroon behoorlijk voorspelbaar is.

TABEL 2-9. AANTAL VERSCHILLENDE DAGPATRONEN IN DE SIMULATIES DIE GEMAAKT ZIJN VOOR LEIDSCHERIJN EN FRANEKER EN DAT BESCHIKBAAR IS VANUIT DE TBO-DATA.

	Verdeling user_type (rel)		Verdeling user_type (#)		Aantal TBO dagpatronen	
	Leidsche Rijn	Franeker	Leidsche Rijn	Franeker	week	weekend
child	0.09	0.13	1016	1637	3280	1312
teen	0.07	0.10	726	1348		
work_ad	0.48	0.41	5327	5379	9980	3992
home_ad	0.27	0.22	3001	2873	4115	1646
senior	0.08	0.14	930	1763	2705	1082
Totaal	1	1	11000	13000	20080	8032

Om een gevoel te krijgen of het aantal gesimuleerde patronen voldoende is, is in Figuur 2-8 voor de simulaties en de metingen de cumulatieve frequentieverdeling van de dagverbruiken geplot. De verwachting is dat de simulaties 1 en 3 (groene en rode lijn in Figuur 2-8) vrijwel gelijk zouden zijn voor wat betreft het dagverbruik en simulaties 2, 4, 5 en 6 (blauwe, lichtblauwe, roze en gele lijn in Figuur 2-8) ook (ze verschillen onderling alleen in de aanwezigheid van de bewoners). We zien echter in Figuur 2-8 toch variatie tussen de

verschillende simulaties, waarschijnlijk door het stochastisch karakter van SIMDEUM. Dit duidt erop dat meer simulaties nodig zijn voor een herhaalbaar patroon. Omdat van de metingen 28 - 88 patronen beschikbaar zijn, is toch besloten om 100 patronen voor de simulaties aan te houden. De statistische variatie in dagverbruik ten opzichte van de meting is vergelijkbaar. Dit geeft wederom vertrouwen in de resultaten van SIMDEUM.

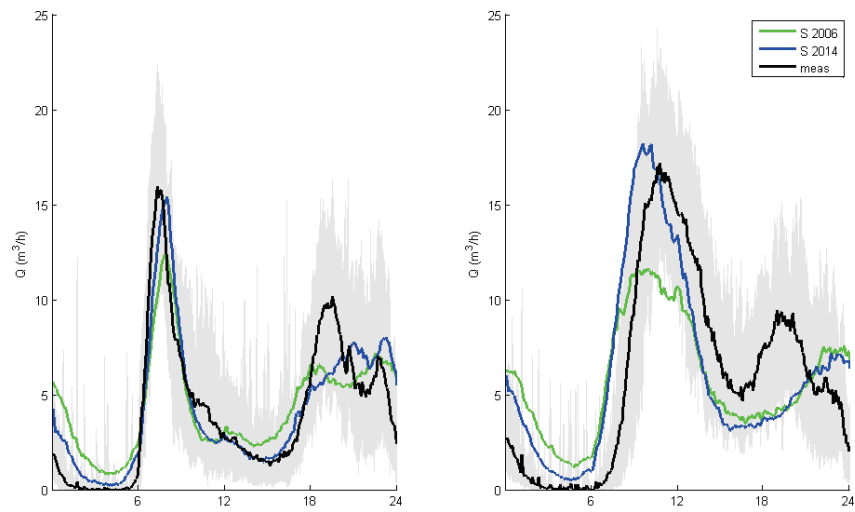


FIGUUR 2-8. LHD (LITER PER HOOFD PER DAG) OP DOORDEWEEKSE DAGEN IN FRANEKER.

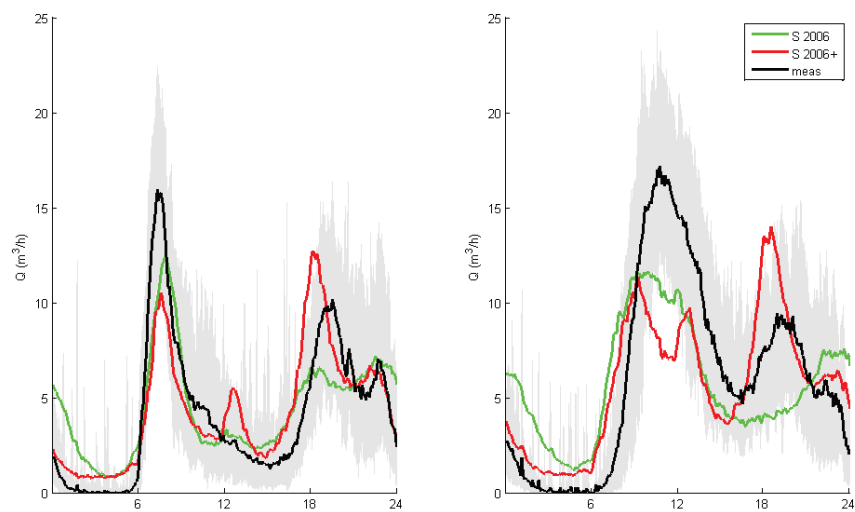
2.5.4 Resultaten Leidsche Rijn (randstad)

Ten opzichte van SIMDEUM v1.0 zien we voor Leidsche Rijn het volgende:

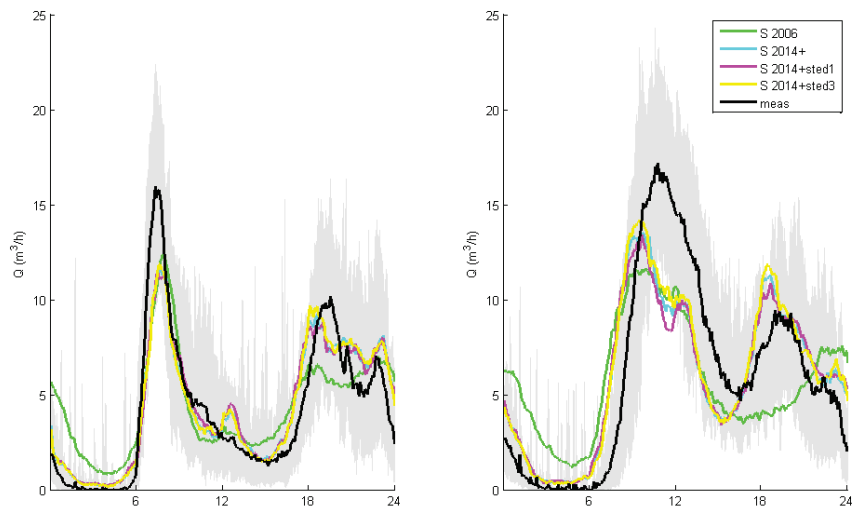
- Alleen de aanpassingen in douche-, wasmachine- en vaatwasserpatronen over de dag (S 2006 vs S 2014) geven een kleine verbetering in het doordeweekse patroon (in de nacht) en een aanzienlijke verbetering in het weekend (nacht en ochtendpiek), zie Tabel 2-10, Figuur 2-9.
- Alleen de aanpassing in het aanwezigheidspatroon en slaap-waakritme (S 2006 vs S 2006+) geeft een duidelijk anders, maar niet een beter patroon in zowel week als weekend, zie Tabel 2-10, Figuur 2-10.
- De beide aanpassingen samen (S 2006 vs S 2014+) geven een verbetering, waarbij de stedelijkheid (S 2014+, S 2014+, sted 1 en S 2014+, sted 3) nauwelijks invloed heeft. Het verbruik in de nacht, middag en avond is verbeterd, iets ten koste van de ochtendpiek, zie Tabel 2-10, Figuur 2-11.
- Het maximale verbruik (per 5 minuten) wordt door de meeste simulaties onderschat, behalve voor S 2014 (Figuur 2-12). Het gemiddelde dagverbruik wordt niet heel goed voorspeld met de verschillende simulaties, zelfs in ogenschouw nemende het commentaar bij Figuur 2-8. In de metingen is de variatie veel groter (Figuur 2-12).



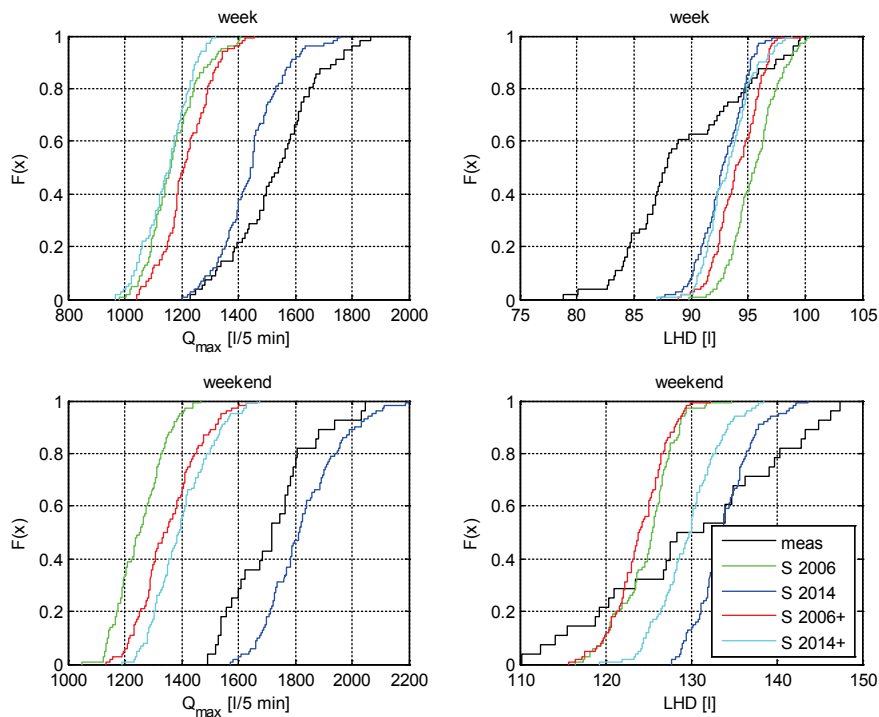
FIGUUR 2-9. METINGEN EN SIMULATIES LEIDSCHER RIJN (LINKS) WEEK (RECHTS) WEEKEND. DE ZWARTE LIJN EN GRIJS VLAK ZIJN DE METINGEN; DE GROENE LIJN IS SIMDEUM V1.0 (S 2006), DE BLAUWE LIJN DE SIMDEUM V2.0 MET VERBETERD DOUCHEPATROON EN AANPASSINGEN VAN VAATWASSER EN WASMACHINE (S 2014).



FIGUUR 2-10. METINGEN EN SIMULATIES LEIDSCHER RIJN (LINKS) WEEK (RECHTS) WEEKEND. DE ZWARTE LIJN EN GRIJS VLAK ZIJN DE METINGEN; DE GROENE LIJN IS SIMDEUM V1.0 (S 2006), DE RODE LIJN SIMDEUM V2.0 MET TREKKINGEN UIT TBO (S 2006+).



FIGUUR 2-11. METINGEN EN SIMULATIES LEIDSCHER RIJN (LINKS) WEEK (RECHTS) WEEKEND. DE ZWARTE LIJN EN GRIJS VLAK ZIJN DE METINGEN; DE GROENE LIJN IS SIMDEUM V1.0 (S 2006), DE LICHTBLAUWE, ROZE EN GELE LIJN SIMDEUM V2.0 MET VERBETERD DOUCHEPATROON EN AANPASSINGEN VAN VAATWASSER EN WASMACHINE EN TREKKINGEN UIT TBO DATA (S2014+), INCLUSIEF STEDELIJKHEID OF NIET.



FIGUUR 2-12. MAXIMALE VOLUMESTROOM EN LHD (GEMIDDELD DAGVERBRUIK) VOOR WEEK- EN WEEKENDDAGEN IN LEIDSCHER RIJN.

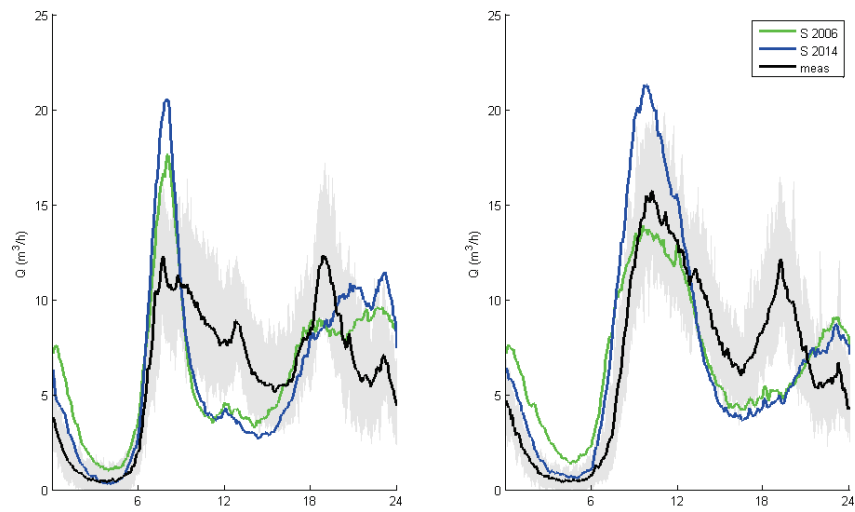
TABEL 2-10. LEIDSCHÉ RIJN. VERSCHIL TUSSEN GEMIDDELDE PATROON VAN METINGEN EN SIMULATIES, MEAN ERROR (GEMIDDELDE VAN DE VERSCHILLEN), ROOT MEAN SQUARE ERROR (GEMIDDELDE VAN DE KWADRATEN VAN DE VERSCHILLEN), R^2 (CORRELATIE TUSSEN PATRONEN), ρ^2 (CORRELATIE TUSSEN GENORMALISEERDE PATRONEN). IN GROEN ZIJN DE BEST SCORENDE ONDERDELEN GEHIGHLIGHT.

Metingen ten opzichte van		ME (%)	RMSE (%)	R^2 (%)	ρ^2 (%)
week	S 2006	7.0	47.8	71.6	75.3
	S 2014	3.9	38.1	82.0	82.2
	S 2006+	5.3	51.2	67.4	67.8
	S 2014+	4.5	35.4	84.4	85.5
weekend	S 2006	-4.0	57.2	52.2	54.6
	S 2014	2.9	53.6	58.1	61.4
	S 2006+	-4.7	57.4	51.7	52.2
	S 2014+	-0.3	46.0	69.1	69.5

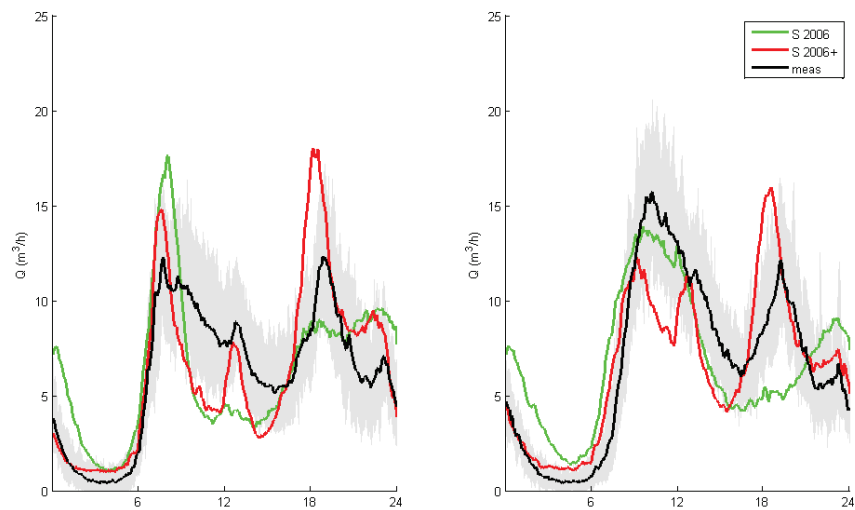
2.5.5 Resultaten Franeker (buiten de randstad)

Ten opzichte van de oude SIMDEUM versie zien we voor Franeker het volgende:

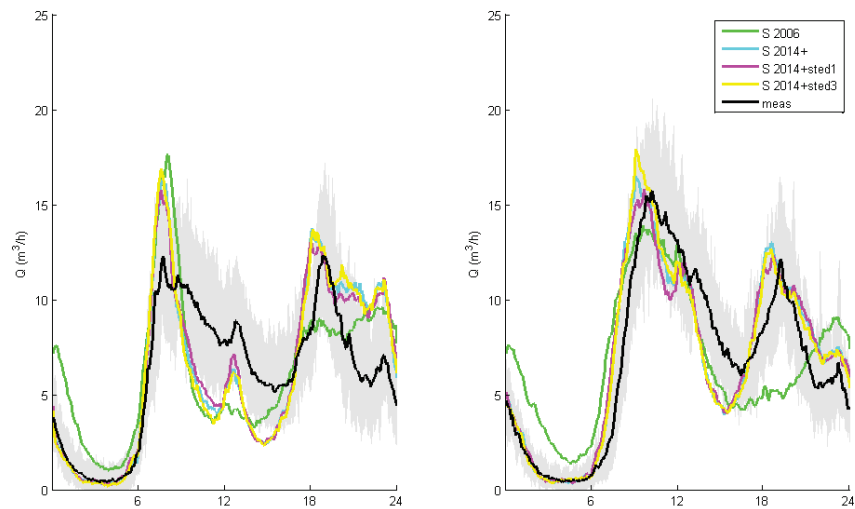
- Alleen de aanpassingen in douche-, wasmachine- en vaatwasserpatronen over de dag geven een kleine verbetering in het doordeweekse patroon (in de nacht) en een verslechtering in het weekend (ochtendpiek), zie Tabel 2-11, Figuur 2-13.
- Alleen de aanpassing in het aanwezigheidspatroon en slaap-waakritme geeft een duidelijk anders, en slechter patroon in zowel week als weekend (te hoge avondpiek), zie Tabel 2-11, Figuur 2-14.
- De beide aanpassingen samen geven een verbetering, waarbij de stedelijkheid nauwelijks invloed heeft. Het verbruik in de nacht, middag en avond is verbeterd, maar de ochtendpiek is niet verbeterd, zie Tabel 2-11, Figuur 2-15.
- Door veel meer mensen thuis te veronderstellen verbetert het patroon doordat meer waterverbruik rond het middaguur plaats vindt. Het blijkt echter dat dat extra verbruik eerder ten koste gaat van het verbruik in de avond dan in de ochtend. De ochtendpiek wordt wel breder, maar nauwelijks lager. Ook in deze situatie geeft SIMDEUM v2.0 met beide aanpassingen de beste resultaten en is het patroon met alleen maar thuisblijvende volwassen ook beter dan met de standaard indeling van werkenden en thuisblijvenden, zie Tabel 2-11, Figuur 2-16.
- Het maximale verbruik (per 5 minuten) wordt door de week sterk overschat door de simulaties; het weekend doet het beter, behalve voor S 2014 (Figuur 2-17). Het gemiddelde dagverbruik wordt redelijk voorspeld met de verschillende simulaties, in ogenschouw nemende het commentaar bij Figuur 2-8, zie Figuur 2-17.



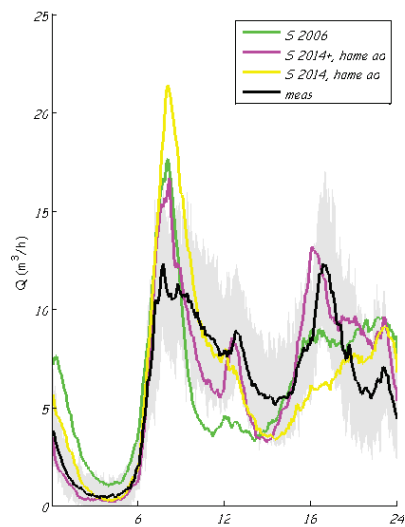
FIGUUR 2-13. METINGEN EN SIMULATIES FRANEKER (LINKS) WEEK (RECHTS) WEEKEND. DE ZWARTE LIJN EN GRIJS VLAK ZIJN DE METINGEN; DE GROENE LIJN IS SIMDEUM V1.0 (S 2006), DE BLAUWE LIJN SIMDEUM V2.0 MET VERBETERD DOUCHEPATROON EN AANPASSINGEN VAN VAATWASSER EN WASMACHINE (S 2014).



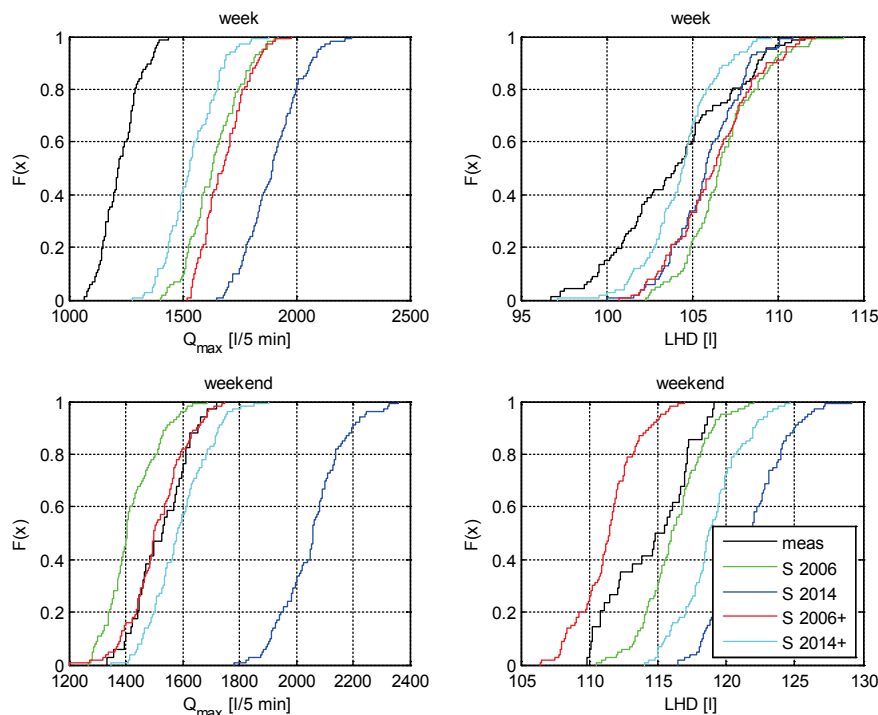
FIGUUR 2-14. METINGEN EN SIMULATIES FRANEKER (LINKS) WEEK (RECHTS) WEEKEND. DE ZWARTE LIJN EN GRIJS VLAK ZIJN DE METINGEN; DE GROENE LIJN IS SIMDEUM V1.0 (S 2006), DE RODE LIJN SIMDEUM V2.0 MET TREKKINGEN UIT TBO (S 2014+).



FIGUUR 2-15. METINGEN EN SIMULATIES FRANEKER (LINKS) WEEK (RECHTS) WEEKEND. DE ZWARTE LIJN EN GRIJS VLAK ZIJN DE METINGEN; DE GROENE LIJN IS SIMDEUM V1.0 (S 2006), DE LICHTBLAUWE, ROZE EN GELE LIJN SIMDEUM V2.0 MET VERBETERD DOUCHEPATROON EN AANPASSINGEN VAN VAATWASSER EN WASMACHINE EN TREKKINGEN UIT TBO DATA (S 2014+), INCLUSIEF STEDELIJKHEID OF NIET.



FIGUUR 2-16. METINGEN EN SIMULATIES FRANEKER WEEK. DE ZWARTE LIJN EN GRIJS VLAK ZIJN DE METINGEN; DE GROENE LIJN IS SIMDEUM V1.0 (S 2006), DE ROZE EN GELE LIJN SIMDEUM V2.0 MET VERBETERD DOUCHEPATROON EN AANPASSINGEN VAN VAATWASSER EN WASMACHINE (S 2014) EN TREKKINGEN UIT HET TBO (S 2014+), MAAR MET ALLE VOLWASSENEN ALS THUISBLIJVERS.



FIGUUR 2-17. MAXIMALE VOLUMESTROOM EN LHD (GEMIDDELD DAGVERBRUIK) VOOR WEEK- EN WEEKENDDAGEN IN FRANEKER.

TABEL 2-11. FRANKER. VERSCHIL TUSSEN GEMIDDELD PATROON VAN METINGEN EN SIMULATIES, MEAN ERROR (GEMIDDELD VAN DE VERSCHILLEN), ROOT MEAN SQUARE ERROR (GEMIDDELD VAN DE KWADRATEN VAN DE VERSCHILLEN), R^2 (CORRELATIE TUSSEN PATRONEN), ρ^2 (CORRELATIE TUSSEN GENORMALISEERDE PATRONEN). IN GROEN ZIJN DE BEST SCORENDE ONDERDELEN GEHIGHLIGHT.

Metingen ten opzichte van		ME (%)	RMSE (%)	R^2 (%)	ρ^2 (%)
week	S 2006	2.7	47.2	30.1	45.0
	S 2014	1.8	54.7	6.0	47.3
	S 2006+	2.2	43.4	40.8	61.8
	S 2014+	0.4	42.9	42.1	63.6
	S2014, home_ad	3.6	47.1	30.3	61.0
	S2014+, home_ad	2.8	30.0	71.7	81.7
weekend	S 2006	1.4	42.3	58.8	58.9
	S 2014	6.3	49.6	43.3	64.7
	S 2006+	-2.8	39.2	64.6	65.1
	S 2014+	3.8	29.5	80.0	81.6

2.6 Voorbeeld van toepassing SIMDEUM v2.0

Er zijn al vele voorbeelden van toepassing van SIMDEUM gegeven. De toepassingen van SIMDEUM v2.0 zijn niet anders. Omdat met name de verbruiken in de nacht, middag en vroege avond verbeterd zijn, en niet zozeer het piekverbruik hoeven ontwerpen of ontwerpregels niet opnieuw te worden bepaald. Met SIMDEUM v2.0 is er wel beter zicht op nachtverbruik (en daarmee beter zicht op mogelijk lekverlies) en kan de loop van het water door een distributienet in de middag en avond anders zijn, waardoor bijvoorbeeld de interpretatie van sensoren in het distributienet beïnvloed wordt.

2.7 Conclusies en discussie

De aanpassingen in SIMDEUM v2.0, namelijk de specifiekere data over het verbruik van douche, wasmachine en vaatwasser over de dag verdeeld uit het WTO'13 (S 2014), én directe trekking uit de TBO-data (S 2014+), leiden samen tot een beter resultaat van de patronen over de dag:

- De avondpiek is in de door SIMDEUM v2.0 gesimuleerde patronen nu veel beter terug te zien.
- Het verbruik in de avond gaat nu ook in de door SIMDEUM v2.0 gesimuleerde patronen op een eerder tijdstip naar het lage nachtverbruik toe en wordt ook lager dan in de oude SIMDEUM v1.0.
- Het verbruikspatroom tussen landelijk en (rand)stedelijke gebieden verschilt in de metingen nog steeds sterker dan in de door SIMDEUM v2.0 gesimuleerde patronen. De patronen van Leidsche Rijn (week en weekend) worden goed voorspeld en de weekendpatronen van Franeker ook. Echter de gesimuleerde weekpatronen van Franeker wijken behoorlijk af van de gemeten patronen. Het gaat dan met name om de ochtendpiek die door SIMDEUM wordt overschat en het verbruik rond het middaguur dat door SIMDEUM wordt onderschat. Omdat het totaal gesimuleerde verbruik goed overeenkomt met de metingen is het waarschijnlijk zo dat een deel van het verbruik dat in de ochtend wordt gesimuleerd eigenlijk later op de dag plaatsvindt.

Het afwijkende patroon van doordeweekse dagen op Franeker (in de metingen van Franeker is de ochtendpiek breder, en daarmee ook lager, dan in de simulaties) is nog niet goed verklaard:

- Het verbeterde inzicht in het verbruik van de wasmachine over de dag heeft wel wat tot verbetering geleid (er is nu een middagpiekje zichtbaar), maar niet voldoende. In de gesimuleerde middagpiek zit vooral toiletspoeling en gebruik van de keukenkraan.
- De stedelijkheid is niet de parameter die hier tot verbetering leidt;
- Door meer mensen overdag thuis te veronderstellen (traditionele huisvrouwen) verbetert het patroon wel, maar alleen rond het middaguur, de ochtendpiek is nog te hoog. Het zou kunnen dat doordat in het TBO relatief weinig respondenten in de categorie traditionele huisvrouw hebben meegedaan, deze aanpak een te beperkt effect had. Het CBS heeft geen cijfers over werkzaamheid per postcodegebied; de verdeling van werkenden en niet-werkenden in SIMDEUM is daardoor ook niet goed te onderbouwen. Figuur 2-1 suggereert een vrij brede douchepiek in de ochtend, breder dan op basis van de Nederlandse enquête (Figuur 2-4)) wordt gesimuleerd. Omdat de douchemomenten (Figuur 2-4) niet gespecificeerd zijn naar type gebruiker (kind, tiener, volwassene met of zonder werk buitenshuis, senioren) heeft het toepassen van meer thuisblijvende personen maar beperkt invloed op het waterverbruik in de ochtendpiek. In SIMDEUM v2.0 kan een voorkeur voor een moment van waterverbruik worden bepaald per persoon of per type gebruik, maar niet voor een combinatie van beiden.
- Een andere mogelijke verklaring kan gezocht worden in de reistijd die forensen hebben. Het zou kunnen dat in Franeker men later van huis kan vertrekken dan in Leidsche Rijn om op tijd op het werk (of de kinderopvang) te kunnen zijn. Ook dit zijn gegevens die niet gemakkelijk uit het TBO zijn te halen.

3 SIMDEUM-WW

3.1 Inleiding

Door stijgende energiekosten en klimaatveranderingen staat de (Nederlandse) waterketen/ waterindustrie voor de uitdaging om duurzaamheid en klimaat neutraal opereren na te streven. In de riolering- en afvalwatersector zijn een aantal initiatieven gestart, zoals het terugwinnen van warmte uit het riool, hergebruik van afvalwater, terugwinnen van nutriënten uit afvalwater en het reduceren van broeikasgasemissies. Tevens wordt ernaar gestreefd om de kwaliteit in de rioleringen te verhogen, zoals het verbeteren van het ontwerp van de riolering en standleidingen in hoogbouw om stank- en gezondheidsproblemen te voorkomen. Daarnaast wordt gewerkt aan het efficiënt beheren van de kwaliteit van het oppervlaktewater en zuivering door het voorspellen van de concentratie geneesmiddelen in het afvalwater. In al deze initiatieven worden modellen gebruikt, waarin een aanname wordt gedaan voor de grootte en kwaliteit van de afvalstroom. Een realistische schatting van de hoeveelheid van het afvalwater dat in het riool terecht komt en de temperatuur ervan zal de uitkomsten van de gebruikte modellen verbeteren.

Simulatie van chemische analyse van rioolwater is een nieuwe en zich heel snel ontwikkelende discipline die trends in het gebruik van verdovende middelen (maar ook andere middelen) op het niveau van de gehele stedelijke bevolking bijna real-time in beeld brengt. Door het bemonsteren van een goed gedefinieerde (punt)bron van afvalwater, zoals het influent van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI), kan de vracht aan verdovende middelen in een gemeente worden berekend aan de hand van concentraties van de drugs of hun omzettingsproducten die na consumptie in het lichaam ontstaan en met urine worden uitgescheiden.

SIMDEUM-DW voorspelt hoeveel koud en warm water in een woning of gebouw op elk tappunt wordt gebruikt. Het model is uitgebreid getoetst aan metingen en geeft realistische voorspellingen van zowel het koud- als warmwaterverbruik. Hiermee heeft SIMDEUM en zijn basis op fysische kennis zich bewezen als model. Wanneer het mogelijk is om met SIMDEUM-DW een dagelijks vraagpatroon te berekenen van het waterverbruik op secondebasis, is het ook mogelijk om een gedetailleerd afvoerpatroon te berekenen: het gevraagde water wordt immers per tappunt ook weer geloosd. De afvoer van het water zal met een andere volumestroom (toilet wordt op een andere manier gevuld, dan dat het water van het toilet afgevoerd wordt) en met een vertraging (een bad loopt op een ander moment leeg dan dat het gevuld wordt) plaatsvinden t.o.v. de aanvoer of watervraag. Dit vergt een aanpassing van SIMDEUM. Het doel is om, op basis van SIMDEUM-DW, een model te ontwikkelen dat berekent hoeveel water per seconde in het riool terecht komt en met welke temperatuur: SIMDEUM-WW (SIMDEUM for waste water). Met bestaande kentallen kan dan ook de vaste last en de concentratie aan geneesmiddelen en nutriënten berekend worden in de afvalstroom.

SIMDEUM-WW handhaaft de structuur en de rekenmethode van SIMDEUM, maar berekent per tappunt niet alleen de vraag naar water, maar de lozing van het water. In eerste instantie wordt SIMDEUM-WW ontwikkeld voor huishoudens. In de toekomst kan SIMDEUM-WW uitgebreid worden voor overige gebouwen.

3.2 Invoergegevens SIMDEUM-WW

3.2.1 Invoergegevens: temperatuur en volumestroom

SIMDEUM maakt gebruik van de eigenschappen van het tappunt (volumestroom, duur en gewenste temperatuur) en van de kennis over het waterverbruikend gedrag van de aanwezige gebruikers. In SIMDEUM-WW zal het gedrag van de gebruikers t.a.v. een tappunt hetzelfde zijn als in SIMDEUM-DW (tijdstip en frequentie van gebruik), alleen zijn de eigenschappen voor de afvoer per tappunt anders dan voor de vraag/aanvoer van water. Om SIMDEUM aan te passen voor afvoer moeten per tappunt de afvoercharacteristieken in kaart gebracht worden:

1. de lozingsvolumestroom en de duur van lozing (Tabel 3-1); het product is het volume van de afvoer dat gelijk moet zijn aan het volume van de aanvoer;
2. de temperatuur van het geloosde water (Tabel 3-2);
3. het tijdstip van lozen: de vertraging tussen vraag (die nu in SIMDEUM is ingebouwd) en afvoer (Tabel 3-1);
4. vertraging in gebouw van tappunt naar centrale afvoer;
5. bij het berekenen van de totale stroom van afvalwater: mengen van volumestromen met verschillende temperaturen.

Voor de vertaling van deze gegevens naar het simulatiemodel geldt het volgende:

1. In SIMDEUM-WW kunnen per tappunt de duur en intensiteit worden aangepast in de invoerbestanden. De verschillen zijn er alleen voor wasmachine, vaatwasser, bad en wc. Voor wasmachine en vaatwasser kan eenvoudig een afvoerpatroon worden ingevoerd. Voor bad en wc kunnen andere tijdsduur en volumestroom worden ingevoerd. Bij een tijdsresolutie van seconden is dit nodig; bij een tijdsresolutie van 5 minuten is de aan- en afvoer van de wc toch gelijk en voor het bad bijna gelijk. Bij een grotere tijdsresolutie kan dus ook gerekend worden met de standaard invoerparameters zonder deze aan te passen voor afvoer.
2. In SIMDEUM-WW kan per tappunt de "gevraagde" (verwachte) temperatuur van het geloosde water worden ingevoerd en de temperatuur van het koude water. Aangenomen wordt dat het koude water wordt opgewarmd tijdens gebruik en transport in het huis, naar gemiddeld bijvoorbeeld 20°C. Deze is afhankelijk van het seizoen en van de verblijftijd in de drinkwaterinstallatie. De verwachte temperatuur van het geloosde water van verwarmd water is afkomstig uit metingen. Bij de wasmachine en vaatwasser is de temperatuur van de verschillende wascycli verschillend en daardoor ook de temperatuur van het geloosde water. In SIMDEUM-DW is verondersteld dat de temperatuur van het (geloosde) water gelijk voor de hele lozing, dus niet anders voor de eerste wascyclus en de 2^e en 3^e van de wasmachine en vaatwasser. Dit kan worden opgelost door post-processing in SIMDEUM-WW: nadat de simulaties gedaan zijn kan voor de patronen van de wasmachine en vaatwasser de temperatuur worden aangepast voor de 2^e en 3^e wascyclus naar die van het koude water.
3. Voor de meeste tappunten geldt dat het water dat uit de kraan loopt vrijwel direct weer afgevoerd wordt. Voor de wasmachine en vaatwasser geldt een specifiek afvoerpatroon, die bekend zijn bij de fabrikant. Voor bad en afwasteiltje geldt een vertraging. Afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid en de gekozen tijdsresolutie is het interessant om deze vertraging mee te nemen. Een mogelijkheid voor een vertraging is er nu niet in SIMDEUM. Omdat beide waterverbruiken (bad en afwas) maar beperkt bijdragen aan het totale verbruik en omdat de tijd van het openen van de kraan stochastisch wordt bepaald, lijkt het niet nodig om de softwarecode aan te passen en de vertraging wel mee te nemen.
4. Omdat voor ieder gebouw de lengtes en diameters van de binnenriolering variëren, en omdat niet precies te modelleren valt hoe snel het afgevoerde water de riolering in de

straat bereikt wordt dit aspect niet meegenomen. We veronderstellen een instantane afvoer. In werkelijkheid zal dit niet zo gelden, maar wanneer een tijdsresolutie van enkele minuten wordt aangehouden is de aanname wel geldig. Voor de afvoer van huishoudelijk afvalwater wordt uitgegaan van 100 - 150 l per persoon per dag. Het lozingspatroon van huishoudelijk afvalwater zal lijken op het vraagpatroon van drinkwater. De te verwachten afvalwaterbelasting is van belang voor het dimensioneren van rioolstelsels. Voor het in rekening brengen van een stationaire belasting wordt veelal uitgegaan van 10 tot 15 l.inw⁻¹.h⁻¹ over een periode van 10 uur (Almeida et al., 1999); ook in de Leidraad riolering wordt 120 liter per persoon over tien uur aangehouden (Rioned, 1997).

- De sommatie van de temperatuur wordt gedaan op basis van een instantane menging van alle volumestromen met hun temperaturen op basis van een energiebalans.

TABEL 3-1. TIJDSDUUR VAN LOZING, INTENSITEIT VAN DE LOZING EN VERTRAGING VAN DE LOZING TEN OPZICHTE VAN DE WATERVRAAG, PER TAPPUNT. GEARCEERD ZIJN DE VERSCHILLEN MET DE AANVOERPATRONEN.

Tappunt / gebruik		Duur		Intensiteit (L/s)		Vertraging (min)
		μ	pdf	μ	pdf	
Bad (120 L)		2 min	N.A. (vast)	1.0	N.A. (vast)	30
Wastafel	Wassen en scheren	40 s	Lognormaal	0.042	Uniform	0
	Tandenpoetsen	15 s				0
Vaatwasser		Specifiek patroon (3 x afvoer, totaal 19 s, 0.75 L/sec = 14 L)				
Keuken- kraan	Consumptie	16 s	Lognormaal	0.083	Uniform	0
	Afwassen	6 s		1.000		15
	Handen wassen	15 s		0.083		0
	Overig	37 s		0.083		0
Buitenkraan		N.A. (Water wordt niet afgevoerd naar riool)				
Douche	Normaal	8.5 min	χ^2	0.142	N.A. (vast)	0
	Waterbesparende douchekop			0.123		
Wasmachine		Specifiek patroon (3 x afvoer, totaal 67 s, 0.75 L/sec = 50 L)				
WC	6 L stortbak	3 s	N.A. (vast)	2	N.A. (vast)	0
	9 L stortbak	9 s				

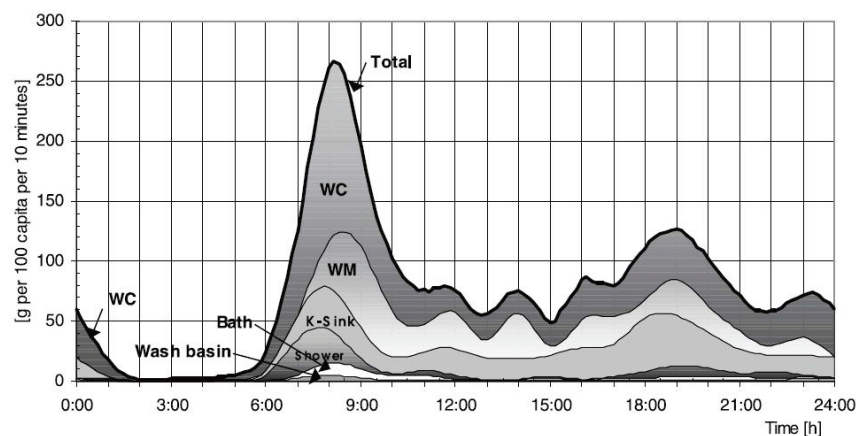
TABEL 3-2. TEMPERATUUR VAN HET GELOOSDE WATER PER TAPPUNT.

Tappunt / gebruik	Temp (°C)	Toelichting
Bad (120 L)	35	Zie douche
Wastafel	35	Zie douche
Wassen en scheren		
Tandenpoetsen	KW*	
Vaatwasser	35	Vergelijkbaar met wasmachine (zie bijlage I)
Keukenkraan	KW	
Consumptie	45	Met de hand afwassen met 55 °C, na afloop van afwas als water wegloopt (we nemen aan dat in een teiltje wordt afgewast) is nog 45 °C over
Afwassen		
Handen wassen	KW	
Overig	KW	
Douche	35	douche gemeten 39.5 °C uit de douchekop, 35 °C bij het afvoerputje
Wasmachine	35 / 45	De wasmachine heeft typisch een wasprogramma op 40 °C en 60 °C. Dit betekent dat in de eerste cyclus het water eenmalig wordt opgewarmd tot de opgegeven temperatuur. De afvoertemperatuur is gemeten als 35 °C en 45 °C respectievelijk voor de eerste afvoer, de 2 ^e en 3 ^e afvoer hebben de temperatuur van het koude water (zie bijlage I).
WC	KW	Temperatuur van het koude water (KW)

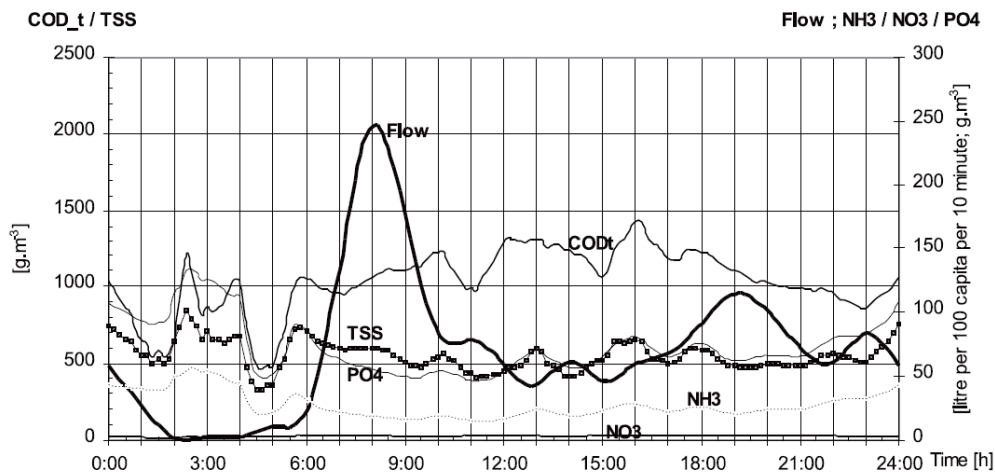
* De temperatuur van het koude water is afhankelijk van de temperatuur van het drinkwater in het distributiesysteem en de opwarming in de installatie, en daarmee van het seizoen.

3.2.2 Invoergegevens: nutriënten

Urine en fecaliën bevatten ca. 90% N, 80% P, 80% K en 70% COD van het huishoudelijk afvalwater (Kujawa-Roeleveld and Zeeman, 2006). Urine bevat ook medicijnresten en resten van recreatieve drugs. Verschillende studies hebben vrachten en concentraties van nutriënten, zouten en andere elementen gerapporteerd, maar deze getallen zijn behoorlijk specifiek voor de locatie (land) en jaar van de metingen. Vaak worden deze gegevens niet opgegeven voor specifiek gebruik, maar enkel als totaal voor grijs- of zwartwaterstromen (Donner et al., 2010; Tervahauta et al., 2013). Figuur 3-1 en Figuur 3-2 laten wat voorbeelden zien van afvoer over de dag.



FIGUUR 3-1. GEMIDDELDE COD PER TAPPUNT PER WONINGAANSLUITING EN VARIATIE OVER DE DAG (ALMEIDA ET AL., 1999).



FIGUUR 3-2. GEMIDDELDE COD EN ANDERE NUTRIËNTEN PER WONINGAANSLUITING EN VARIATIE OVER DE DAG (ALMEIDA ET AL., 1999).

In de literatuur is alleen een overzicht van vrachten en concentraties van nutriënten en andere elementen per tappunt gevonden; waarin een aantal studies wordt samengevat (Eriksson et al., 2002). Opmerkelijk is dat een beperkt aantal studies beschikbaar is vanuit de jaren 1970-1980. De verschillende studies richten zich op diverse doelen en dus variëren de gegevens per referentie. De gerapporteerde categorieën zijn, o.a., fysische, chemische en microbiologische eigenschappen, nutriënten, zware metalen en XOC's (Xenobiotic organic compounds). Dit overzicht laat zien dat de informatie per tappunt zeer beperkt is. Er is dus behoefte aan een betere beschrijving van de samenstelling van de huishoudelijke afvalwaterstromen.

Met SIMDEUM-WW is het mogelijk om alle willekeurige stoffen te simuleren. De belangrijkste parameters worden hier beschreven. In dit rapport focussen wij op vier indicatoren als voorbeelden: Totaal Stikstof (TN), Totaal Fosfor (TP), COD en BOD5. De vrachten en concentraties per tappunten worden berekend, gebaseerd op de overzichten van (Eriksson et al., 2002; Tervahauta et al., 2013), zie onderstaande tabellen. Alles is omgerekend naar g/persoon per dag.

TABEL 3-3. TOTAAL STIKSTOF (TN) IN HET GELOOSDE WATER PER TAPPUNT.

Tappunt / gebruik		Volume	TN		Toelichting
		L/cap/d	mg/L	g/cap/d	
Bad (120 L)		2.8	7.5	0.02	Ca. 5-10 mg/L (Nolde, 2000)
Wastafel	Wassen en scheren Tandenpoetsen	6.1	7.5	0.05	Geen data beschikbaar hier hetzelfde als douche en wasmachine aangenomen
Vaatwasser		3	40	0.12	(Siegrist et al., 1976)
Keuken- kraan	Consumptie	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
	Afwassen		74	1	
	Handen wassen	9.8			(Siegrist et al., 1976)
	Overig				
Douche		48.6	7.5	0.36	Ca. 5-10 mg/L (Nolde, 2000)
Wasmachine		14.3	7.5	0.11	ca. 5-10 mg/L (Nolde, 2000); ca. 0-11 NH ₄ -N mg/L (Friedler, 2004), NH ₄ -N/TN ratio van 0.7 (Wilsenach and Van Loosdrecht, 2003)
WC		36	300	10.8	Ca. 8.5 tot 13 g N per persoon per dag wordt via urine en feces afgescheiden (Kujawa-Roeleveld and Zeeman, 2006). Met een gemiddelde frequentie van 6 toiletbezoeken per dag is dat ca. 1.8 g N per spolbeurt. De urine wordt verdund met 3 L (halve spoeling van een 6L stortbak) tot 9 L (volledige spoeling van een 9L stortbak). Dus ca. 1.8 g/6L = 0.30 g/L = 300mg/L.
			Totaal	12.2	Total N = 12 g/cap/d (Tervahauta et al., 2013)

TABEL 3-4. TOTAAL FOSFOR (TP) IN HET GELOOSDE WATER PER TAPPUNT.

Tappunt / gebruik		Volume	TP		Toelichting
		L/cap/d	mg/L	g/cap/d	
Bad (120 L)		2.8	0.4	0.001	Ca. 0.2-0.6 mg/l (Nolde, 2000)
Wastafel	Wassen en scheren Tandenpoetsen	6.1	14.8	0.09	Geen data beschikbaar hier hetzelfde als keukenkraan aangenomen
Vaatwasser		3	68	0.2	(Siegrist et al., 1976)
Keuken- kraan	Consumptie	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
	Afwassen	9.8	9.2	0.09	
	Handen wassen				0.09 g/p/d (Hargelius et al., 1995) in (Eriksson et al., 2002)
	Overig				
Douche		48.6	1.9	0.09	Geen data beschikbaar hier hetzelfde als keukenkraan aangenomen
Wasmachine		14.3	14.0	0.20	0.2g/cap/d (Hargelius et al., 1995) in (Eriksson et al., 2002); 21 mg/L (Almeida et al., 1999); N.B. In wasmiddelen wordt tegenwoordig geen fosfaat meer gebruikt.
WC		36	36.1	1.3	0.5 g/cap/d in feces en 0.8 g/cap/d in urine (Tervahauta et al., 2013)
			Totaal	2.0	Total P = 1.7 g/cap/d (Tervahauta et al., 2013)

TABEL 3-5. COD IN HET GELOOSDE WATER PER TAPPUNT.

Tappunt / gebruik		Volume L/cap/d	COD		Toelichting
			mg/L	g/cap/d	
Bad (120 L)		2.8	424	1.2	zoals douche
Wastafel	Wassen en scheren Tandenpoetsen	6.1	433	2.6	(Surendran and Wheatley, 1998)
Vaatwasser		3	2675	8.0	Geen data beschikbaar, dit is berekend gebaseerd op wat totaal gerapporteerd is voor NL
Keuken- kraan	Consumptie Afwassen Handen wassen Overig	n.v.t. 9.8	n.v.t. 936	n.v.t. 9.2	(Surendran and Wheatley, 1998)
Douche		48.6	424	20.6	(Surendran and Wheatley, 1998); 100-200mg/L (Nolde, 2000)
Wasmachine		14.3	725	10.4	(Surendran and Wheatley, 1998), (Hargelius et al., 1995) in (Eriksson et al., 2002) 12.8 g/cap/d
WC		36	1694	61	(Tervahauta et al., 2013)
			Totaal	113	Total COD = 113 g/cap/d (Tervahauta et al., 2013)

TABEL 3-6. BOD5 IN HET GELOOSDE WATER PER TAPPUNT.

Tappunt / gebruik		Volume L/cap/ d	BOD5		Toelichting
			mg/L	g/cap/d	
Bad (120 L)		2.8	216	0.6	Zie douche
Wastafel	Wassen en scheren Tandenpoet sen	6.1	138	10.5	ca. 76 -200 mg/L (Christova-Boal et al., 1996)
Vaatwasser		3	414	1.2	Vaatwasser 1040 mg/L en keukenkraan 1460 mg/L (Siegrist et al., 1976). Om aan het totaal 56.5 mg/cap/d te komen, is totaal BOD5 van alle tappunten, behalve vaatwasser en keukenkraan, opgeteld, daarna is de rest verdeeld over de vaatwasser en keukenkraan volgens de ratio gerapporteerd door (Siegrist et al., 1976)
Keuken- kraan	Consumptie Afwassen Handen wassen Overig	n.v.t. 9.8	n.v.t. 178	n.v.t. 1.7	(Surendran and Wheatley, 1998); 100-200mg/L (Nolde, 2000)
Douche		48.6	216	10.5	(Surendran and Wheatley, 1998); 100-200mg/L (Nolde, 2000)
Wasmachine		14.3	169	2.4	ca. 48 -290 mg/L (Christova-Boal et al., 1996), gemiddeld 169 mg/L
WC		36	819	29.5	(Tervahauta et al., 2013)
			Totaal	56.5	Total BOD5 = 56.5 g/cap/d (Tervahauta et al., 2013)

3.3 Uitvoergegevens SIMDEUM-WW

SIMDEUM-WW berekent de volumestromen, temperatuur en nutriëntenconcentratie (N, P, BDO5, COD) van de afvalwaterlozingen.

3.4 Aanpassingen voor SIMDEUM-WW

3.4.1 Pre-processing

SIMDEUM werkt met een .stats bestand als invoer waarin alle statistische gegevens staan over de watervraag per tappunt: penetratiegraad van toestellen, gebruiksfrequentie,

volumestroom, gebruiksduur en gewenste temperatuur. Voor SIMDEUM-WW kunnen een aantal zaken worden aangepast. Afhankelijk van de gewenste tijdstap is dit wel of niet nodig.

Tijdens een pre-processing stap kunnen een aantal zaken in het .stats bestand worden aangepast. Er is voor gekozen om alleen volumestroom en tijdsduur (gezamenlijk leidend tot een gelijk volume als voor de watervraag) aan te passen voor bad, wc, wasmachine en vaatwasser; de buitenkraan wordt verwijderd (zie Tabel 3-1). De vertraging tussen watervraag en afvoer wordt nu niet in de simulatie meegenomen.

De temperatuur wordt niet in deze stap aangepast.

3.4.2 Post-processing van de data

Nadat SIMDEUM-DW op basis van het (aangepaste) .stats bestand verbruikspatronen heeft gesimuleerd, welke zijn opgeslagen in .house bestanden, vindt er post-processing plaats. In deze stap worden de temperaturen aangepast en worden de nutriënten toegevoegd.

In SIMDEUM-DW is de uitvoer een "flowPattern", met daaronder een volumestroom van de totale watervraag en een volumestroom van de warmwatervraag. Voor de afvoer is deze structuur minder geschikt. Daarom is in SIMDEUM-WW aan de structuur een eigenschap "temperature" toegevoegd en "nutrientLoad" waarin voor tot maximaal vier verschillende nutriënten de naam van het nutriënt en een belastingspatroon over de tijd is opgenomen (zie bijlage II).

3.4.3 Post-processing voor temperatuur

Per tappunt kan worden meegegeven (flexibel) wat de temperatuur van het afgevoerde water is. Dit kan een enkel getal zijn, of een reeks van getallen waar random uitgetrokken kan worden. Door bijvoorbeeld de reeks [35 35 35 45] mee te geven wordt in 75% een temperatuur van 35 °C toegepast, en in 25% een temperatuur van 45 °C. Voor de verschillende tappunten worden de volgende bewerkingen toegepast:

- De eerste stap is om de temperatuur van het koude water aan te passen; deze zal 18 tot 20 °C kunnen zijn.
- Bad en douche: de temperatuur wordt aangepast aan de opgegeven afvoertemperatuur.
- wc: idem, dit is meestal wel de temperatuur van het koude water, of eventueel enige opwarming in de stortbak.
- Wastafel en keukenkraan: de temperatuur van het verwarmde water (waar in de SIMDEUM-DW resultaten dus een vraag is naar warm water) wordt aangepast aan de opgegeven afvoertemperatuur.
- Wasmachine: de eerste afvoervolumes (er kunnen meerdere gebruiken per dag zijn) worden geïdentificeerd en voor dat volume wordt de temperatuur aangepast aan de opgegeven afvoertemperatuur; de 2^e en volgende afvoervolumes hebben de temperatuur van het koude water.
- Vaatwasser: de eerste en laatste afvoervolumes (er kunnen meerdere gebruiken per dag zijn) worden geïdentificeerd en voor het eerste volume wordt de temperatuur aangepast aan de opgegeven afvoertemperatuur; de 2^e en volgende afvoervolumes hebben de temperatuur van het koude water, en het laatste afvoervolume is 5 °C hoger dan de opgegeven temperatuur (voor het droogproces).

3.4.4 Post-processing voor nutriënten

Per tappunt kan worden meegegeven (flexibel) wat de belasting is van N, P, COD en BDO5 in het afgevoerde water is. Dit is een enkel getal. Voor alle tappunten worden de volgende bewerkingen toegepast:

- Per water use event worden start en einde opgezocht en wordt de duur van de afvoer bepaald. Voor wasmachine en vaatwasser wordt alleen de duur van waterafvoer meegenomen, niet de tijd ertussen wanneer tijdens het wassen geen water wordt afgevoerd.
- Gedurende deze duur wordt de belasting (in g) over de duur van de afvoer gelijkmatige verdeeld.

3.5 Validatie SIMDEUM-WW

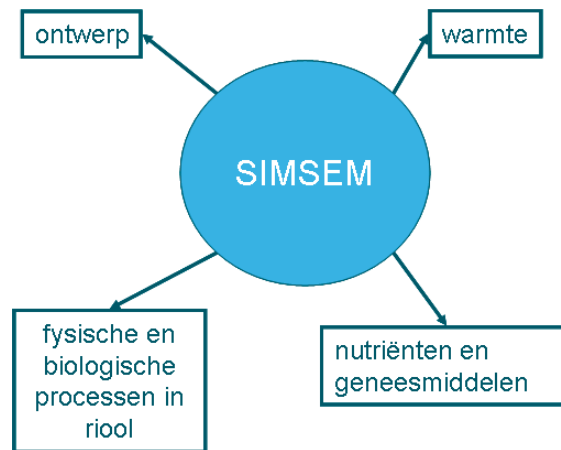
SIMDEUM-DW is gevalideerd voor koud- en warmwaterverbruik, waardoor de fysische basis van het model bewezen is. Omdat SIMDEUM-WW dezelfde basis heeft, is het vertrouwen in de resulterende afvalwaterpatronen groot als ook in de temperatuur ervan, onder de aanname dat de watervraag en de afvalwaterstroom zich één op één verhoudt. Het aantal gevallen dat deze aanname niet geldt, zoals bijvoorbeeld planten water geven of water voor de bereiding van voedsel, zal verwaarloosbaar klein zijn; het gebruik van de buitenkraan wordt niet meegenomen in SIMDEUM-WW.

De temperatuur van het drinkwater dat via de aansluitleiding een woning in gaat is afhankelijk van de bodemtemperatuur en daardoor van het seizoen. Daarnaast zal er nog opwarming van het koude water in de woning plaats kunnen vinden. Daarom worden er bij voorkeur per woning twee patronen berekend: voor een zomer- en een winterdag. Voor de validatie van de aannames voor de temperatuur, zie ook SIMDEUM-HW (hoofdstuk 4).

Voor de nutriënten is het lastig om de validatie van SIMDEUM-WW op dit moment te doen; de aannames zijn zeer globaal en eventuele metingen zijn er alleen op het niveau van de RWZI.

3.6 Voorbeeld van toepassing SIMDEUM-WW

SIMDEUM-WW heeft vele toepassingsmogelijkheden, zoals weergegeven in het schema van Figuur 3-3. Het kan een rol spelen in het ontwerp van rioleringen en grijswatersystemen, in het berekenen van de hoeveelheid warmte en nutriënten die teruggewonnen kunnen worden uit het riool, de hoeveelheid geneesmiddelen in het afvalwater en in een klimaatneutrale procesvoering. Concrete mogelijkheden zijn: koppeling aan ProRiool (een simulatietool van TNO), aan SOBEK inclusief een warmtemodel (dit is gedaan in het project “warmte en koude uit drinkwater en riolering” (Bloemendaal et al., 2015)), ontwikkeling van grijswatersystemen (eventueel in samenwerking met WUR). Daarbij kunnen verschillende scenarioanalyses worden uitgevoerd voor veranderde vrachten of concentratie van nutriënten als gevolg van andere huishoudelijke producten (zeep, wasmiddel, etc.) of door andere watertoestellen, bijvoorbeeld luxe douches of waterbesparende WC's met een andere volume aan water.



FIGUUR 3-3. SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE TOEPASSINGSMOGLIJKHEDEN VAN SIMDEUM-WW.

Voor de haalbaarheidsstudie voor de wijk de Oude Dokken in Gent (Pieterse-Quirijns, 2014a) is SIMDEUM succesvol ingezet. SIMDEUM-WW is ingezet om de karakteristieken (volumestroom en de temperatuur) van de afvoerstromen voor vier verschillende wijkscenario's te bepalen. Met deze gegevens kan de opdrachtgever de haalbaarheid van het nieuwe gescheiden sanitatieconcept voor de Oude Dokken onderzoeken.

De gemiddelde temperatuur van de afvoerstromen bedraagt in de alternatieve concepten ongeveer 32-33°C. De hogere lozingstemperaturen van wasmachine en vaatwasser zijn wel te zien in de instantane temperaturen van de afvoer, maar leiden in de gemiddelde temperatuur van de afvoer tot een relatief kleine temperatuurstijging. Tevens is bekend uit ander onderzoek, dat in het riool de temperatuur snel afneemt (Bloemendaal et al., 2015).

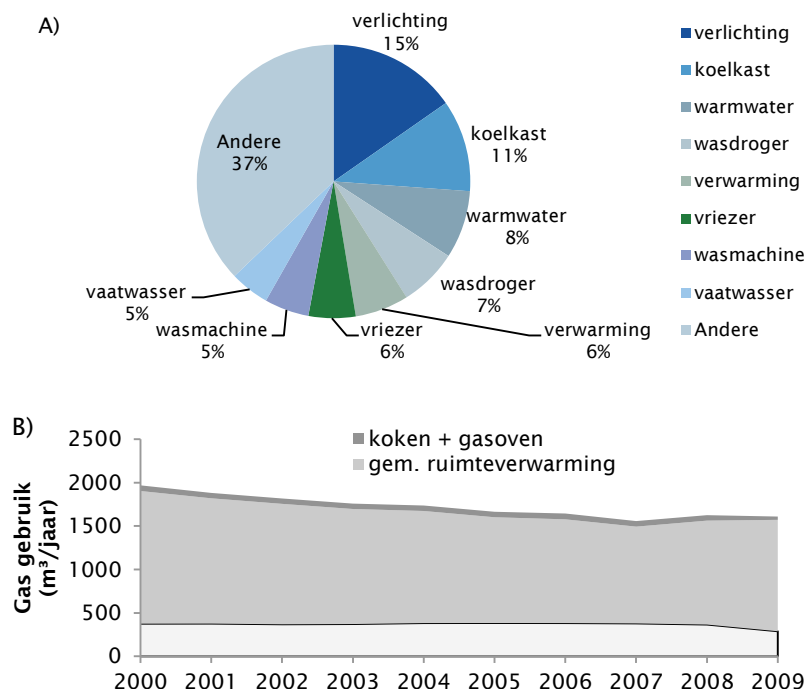
SIMDEUM-WW is nog niet ingezet om de nutriëntenlast van de afvalwaterstroom te bepalen. Aanbevolen wordt om dit wel te doen. Gedacht kan worden aan toepassing in het berekenen van een nutriëntenbelasting van overstorten. Een realistischere belasting van het oppervlaktewater zal tot een betere evaluatie leiden van overstorten dan alleen naar de frequentie van overstorten te kijken. Een andere toepassing is het bepalen van de hoeveelheid koper dat is opgelost in het drinkwater, daarmee in het afvalwater en zich ophoopt in de afvalwaterzuivering. Op huishoudniveau kan ook gedacht worden aan het bepalen van de potentie voor terugwinnen van stoffen (*resource recovery*).

4 SIMDEUM-HW

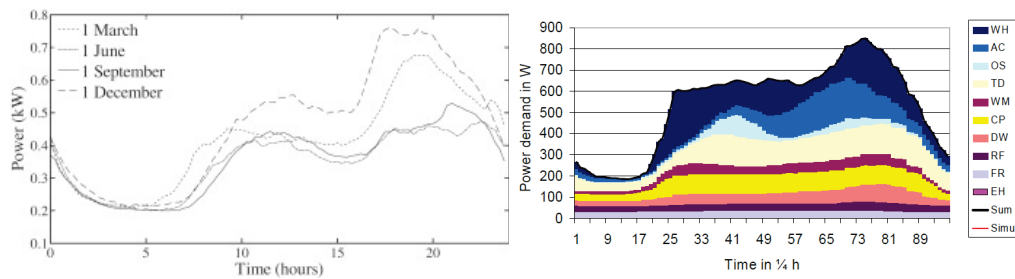
4.1 Inleiding

Binnen het BTO is SIMDEUM-DW ontwikkeld, waarmee huishoudelijk waterverbruik op het niveau van tappunten uitstekend kan worden gemodelleerd. SIMDEUM-DW voorspelt zowel het totale waterverbruik als de verdeling van het verbruik over de dag goed voor verschillende type woningen. Met SIMDEUM-DW worden tap- en afnamepatronen van zowel koud- als warmwater berekend per tappunt, maar ook voor een gebouw of wijk/stad door aggregatie van verschillende type woningen.

In de laatste jaren is er een groeiende interesse om de water en energie nexus te bestuderen. Dit is tot nu toe vaak gedaan op dagbasis en gebaseerd op het gemiddelde jaarlijkse energieverbruik zonder uitsplitsing naar specifieke activiteiten. Met SIMDEUM is het mogelijk om het warmwaterverbruik te modelleren per tappunt. Met een extra stap (verdere ontwikkeling) kan daarmee het primaire energieverbruik gerelateerd aan warmwaterverbruik worden berekend, zoals bij het douchen of het gebruik van wasmachines en vaatwassers. Deze verder ontwikkeling wordt aangeduid met SIMDEUM-HW (SIMDEUM for energy use for hot water). Met SIMDEUM-HW kunnen ook energiegebruikspatronen worden gesimuleerd, waarmee piekgebruik kan worden gekwantificeerd. Omgekeerd kan het effect van een veranderend energie-aanbod (bijvoorbeeld door decentrale opwekking) op het waterverbruikspatroon worden bepaald.



FIGUUR 4-1. A) GEMIDDELD ELEKTRISCITEITSVERBRUIK IN HUISHOUDENS, GERELATEERD AAN WATERVERBRUIK, B) GEMIDDELD GASVERBRUIK IN HUISHOUDENS (BRON: [HTTP://WWW.SENTERNOVEM.DATABANK.NL/](http://www.senternovem.databank.nl/))



FIGUUR 4-2. LINKS: DAGELIJKE VERBRUIKSPATRONEN VOOR NORMAAL HUISHOUDELIJK ELEKTRICITEITSVERBRUIK VAN EEN NEDERLANDS HUISHOUDEN MET EEN ELEKTRICITEITSVERBRUIK VAN 3400 KWH (VELDMAN ET AL., 2013). RECHTS: DAGELIJKE VERBRUIKSPATRONEN VOOR NORMAAL HUISHOUDELIJK ELEKTRICITEITSVERBRUIK VAN EEN EUROPESE HUISHOUDEN PER ACTIVITEIT (STAMMINGER ET AL., 2008). AFKORTINGEN: WM = WASMACHINE; TD = TUMBLE DRYER (WASDROGER); DW = DISHWASHER (VAATWASSER); OS = OVEN & STOVE (OVEN EN KOOKPLATEN); RF = REFRIGERATOR (KOERLKAST), FR = FREEZER (VIREZER), AC = AIR CONDITIONER, WH = ELECTRIC WATER HEATER, EH = ELECTRIC HEATING (STORAGE UNIT), CP = HEATING CIRCULATION PUMP.

Het energieverbruik dat samenhangt met waterverbruik is voor ca. 10% gerelateerd aan de wasmachine en vaatwasser en 8% aan warmwaterbereiding. Warm water vertegenwoordigt bijna 25% van het huishoudelijke gasverbruik (Figuur 4-1 en Figuur 4-2). Dus efficiënte bereiding van warm tapwater is cruciaal voor een duurzaam ontwerp. Met toenemende decentrale mogelijkheden voor energieproductie en verschillende nieuwe technologieën voor warmwaterbereiding is het nodig om het dagelijkse patroon en verbruik per “end-use” in kaart te brengen. Deze informatie is nodig om vraag en aanbod af te kunnen stemmen.

Een aanpassing van het gebruik van warm tapwater komt bijvoorbeeld door het gebruik van de douche WTW (warmteterugwinning) of hotfill wasmachines en vaatwasmachines. Ook kan bijvoorbeeld een boiler in de keuken worden geplaatst, naast een centrale warmtapwaterbereider.

- Bij een douche WTW, wordt de teruggewonnen warmte (warmtewisselaar na het doucheputje) gebruikt om koud water voor te verwarmen. Vervolgens wordt dit voorverwarmde water gevoed aan de mengkraan én het warmtapwatertoestel. Als het aansluiten van het warmtapwatertoestel lastig is door een grote afstand en/of veel breekwerk (bijvoorbeeld in bestaande bouw), kan het ook op alleen de mengkraan worden aangesloten. Het warmtapwatertoestel wordt in dat geval gevoed met (niet voorverwarmd) koud water. Dit leidt tot een lager rendement.
- Voor wasmachines geldt dat afhankelijk van het wasprogramma koud of warm water wordt ingenomen. Alleen de eerste wascyclus in een wasmachine is warm. Wanneer de temperatuur van het wasprogramma lager is dan de warmwatertemperatuur van de inlaat, zal het koud- en warmwater vooraf gemengd worden tot de gewenste temperatuur en dan pas ingenomen worden. Wanneer de temperatuur van het wasprogramma hoger is dan de warmwatertemperatuur, wordt alleen warm water ingenomen en in de wasmachine elektrisch opgewarmd tot de gewenste temperatuur (Pieterse-Quirijns, 2014a). Hotfill wasmachines komen in 2 types: (1) een machine met twee aansluitingen: één voor warm en één voor koud water (bijvoorbeeld Miele en Asko, vrij prijzig) en (2) een machine met voorschakelapparaat tussen de warmwaterkraan en de machine (regelt de toevoer van koud, warm of heet water). Een variant hierop is dat mensen met een emmertje heet water via de voorkant de wasmachine vullen. Variant 2 kan met elke wasmachine worden gecombineerd. Mede daardoor is het marktaandeel lastig te bepalen. Voor beide hotfill-varianten geldt in principe dat (wasprogrammatische) zoveel mogelijk hetzelfde programma wordt gehanteerd als

bij een vulling met koud water. Dat wil over het algemeen zeggen dat bij variant 1 alleen voor het eerste ingenomen water warm water wordt getapt. Voor variant 2 geldt dat bij de eerste keer gebruiken het volledige programma gedraaid wordt. Het voorschakelapparaat onthoudt de verschillende standen en bij de volgende wasbeurt hoeft alleen de temperatuur op de hotfill met een tiptoets ingesteld te worden. Hiermee wordt het aannemelijk dat er ook in geval van variant 2 een eenmalige behoefte aan warm water zal zijn.

- Hotfill vaatwasmachines hebben alleen een warmwatertoevoer. De cycli in een gewone vaatwasser bestaan uit 2 warme en 2 koude cycli. De eerste warme cyclus wordt opgewarmd tot de ingestelde temperatuur. De temperatuur van de laatste warme cyclus is 10°C hoger, voor het droogproces. De koude cycli gebruiken alleen koud water van 10°C. In een hotfill vaatwasser kan alleen warm water worden ingenomen. Dit betekent dat voor de warme cycli warm water wordt ingenomen en eventueel, afhankelijk van het ingestelde programma, elektrisch wordt opgewarmd naar de gewenste temperatuur. Echter ook voor de koude cycli wordt warm water ingenomen (Pieterse-Quirijns, 2014a).
- Een aparte boiler in de keuken levert alleen warm water aan de keukenkraan. Dit levert meer comfort doordat de wachttijden voor warm water aanzienlijk korter kunnen worden. Daarnaast zijn er minder warmteverliezen over de leidingen. Een variant is de "cooker", waarmee direct gekookt water voor koffie of thee getapt kan worden.

4.2 Invoergegevens SIMDEUM-HW

4.2.1 Algemene toelichting

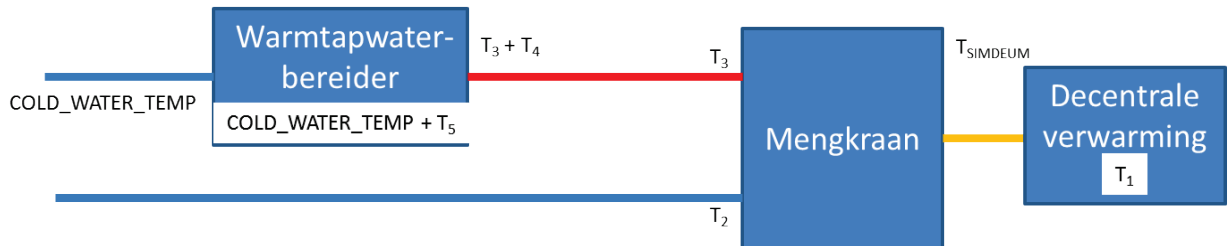
SIMDEUM-HW is ontwikkeld om het primaire energieverbruik gerelateerd aan warmwaterverbruik te kunnen simuleren. Hierbij kunnen temperaturen van koud en warm water worden aangepast (SIMDEUM-DW, Figuur 4-3) en worden warmteverliezen meegenomen en de lokale (decentrale) verwarming in wasmachine en vaatwasser (SIMDEUM-HW, Figuur 4-4).

De benodigde energie voor het opwarmen van het tapwater (zie ook Figuur 4-3 en Figuur 4-4) hangt af van

1. De gewenste watertemperatuur na het tappunt (T_1); dit kan de temperatuur zijn die de gebruiker instelt op douche of keukenkraan of de temperatuur die de wasmachine moet bereiken, dus na decentrale verwarming.
2. De temperatuur van het koude water bij het tappunt ($T_{2, \text{tappunt}}$); dit is meestal de temperatuur zoals deze ook bij de watermeter binnenkomt, maar kan ook warmer zijn door bijvoorbeeld de douche WTW. In SIMDEUM-DW is deze temperatuur COLD_WATER_TEMP genoemd. In SIMDEUM-HW kan deze temperatuur opnieuw worden bepaald voor de douche WTW.
3. De temperatuur van het warme water bij het tappunt ($T_{3, \text{tappunt}}$), dus na transport door de leidingen; deze temperatuur is meestal lager dan de temperatuur waarop de warmwaterbereider is ingesteld door het warmteverlies over de leiding. In SIMDEUM-DW is deze temperatuur HOT_WATER_TEMP genoemd.
4. Het temperatuurverlies tussen warmwaterbereider en tappunt (T_4), zie het vorige punt. N.B. in het kader van Legionellapreventie is het niet toegestaan om warmwaterleidingen te isoleren.
5. Het verschil tussen aanvoertemperatuur naar de warmwaterbereider (COLD_WATER_TEMP) en de uitgaande temperatuur ($T_3 + T_4$) wordt apart benoemd (T_5), hoewel deze volgt uit bovenstaande (verschil)temperaturen. Uiteindelijk is ten slotte dit het temperatuurverschil dat overbrugd moet worden en dat de energie van de centrale warmtapwaterbereider bepaalt.

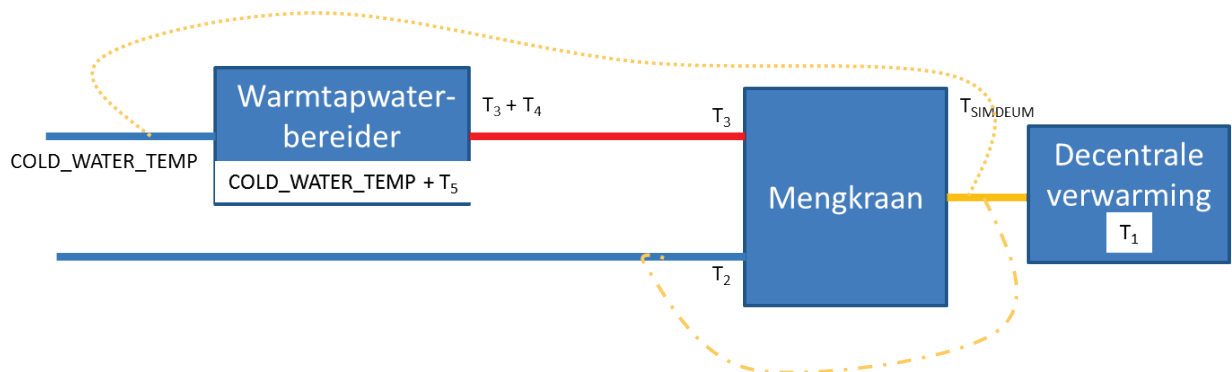


FIGUUR 4-3. TEMPERATUREN BIJ SIMDEUM-DW



FIGUUR 4-4. TEMPERATUREN IN SIMDEUM-HW. N.B. NIET IEDER TAPPUNT HEEFT EEN WARMWATERTOEOVOER (BIJV. WASTAFEL TIJDENS TANDENPOETSEN, OF FONTEINTJE IN WC), NIET IEDER TAPPUNT HEEFT EEN DECENTRALE VERWARMING (IN HET ALGEMEEN ALLEEN DE WASMACHINE EN VAATWASSER) SIMDEUM-HW IS FELXIBEL OPGEZET, EN KAN ALLE OPTIES AAN.

SIMDEUM-DW houdt rekening met punten 1, 2 en 3, maar houdt voor punten 2 en 3 generieke waarden aan (COLD_WATER_TEMP en HOT_WATER_TEMP) en voor punt 1 alleen de mengwatertemperatuur aan het tappunt ($T_{SIMDEUM}$). SIMDEUM-DW houdt geen rekening met opwarming na het tappunt (in de wasmachine bijvoorbeeld, of voor het koken van thee water). In SIMDEUM is geen gebruik gemaakt van informatie van punt 4 en 5.



FIGUUR 4-5. TEMPERATUREN IN SIMDEUM-HW; GESTIPPELDE LIJNEN GEVEN MOGELIJKHEID AAN VAN DOUCHE WTW. N.B. NIET IEDER TAPPUNT HEEFT EEN WARMWATERTOEOVOER OF EEN DECENTRALE VERWARMING (ZIE FIGUUR 4-4).

In SIMDEUM-HW is om verschillende redenen behoefte aan een uitbreiding van de temperaturen van SIMDEUM:

- De toepassing van een douche WTW kan op de volgende manieren (stippellijnen in Figuur 4-5):
 - de aangevoerde koudwaterstroom wordt opgewarmd door het afgevoerde douchewater (onderste stippellijn). Dit levert energiewinst op, maar alleen voor de douche. Hierdoor wordt de koud water temperatuur hoger en wordt T_2 alleen voor de douche aangepast.

- de toevoer naar de warmwaterbereider wordt voorverwarmd met het afgevoerde douchewater (bovenste stippellijn). Dit levert energiewinst op, maar alleen tijdens het douchen. COLD_WATER_TEMP of T_5 moet dan worden aangepast.
 - Een combinatie van beiden is ook mogelijk.
- De volumestromen van koud en warm water moeten worden aangepast wanneer T_3 niet gelijk is aan HOT_WATER_TEMP of T_2 niet gelijk aan COLD_WATER_TEMP, d.w.z. het koude water voorverwarmd wordt. Om de volumestromen te bepalen (SIMDEUM) is het voldoende om te weten wat de temperatuur van het water voor het tappunt is (T_2, T_3). Om de benodigde energie te bepalen, moet ook rekening worden gehouden met energieverlies (T_4).
- Water wordt in de wasmachine en vaatwasser opgewarmd; dit is een significante bijdrage aan de watergerelateerde energievraag. De wasmachine kan ook als hotfill wasmachine worden uitgevoerd.
- In de wasmachine en vaatwasser wordt over het algemeen alleen het water in de eerste wascyclus verwarmd. Hier kan SIMDEUM-DW geen rekening mee houden, maar dit is voor SIMDEUM-HW wel belangrijk. Dit is ook een belangrijk aspect in SIMDEUM-WW.

Om het niet al te ingewikkeld te maken, wordt er voor gekozen om de temperatuur van het koude water naar de warmtapwaterbereider vast te houden. Daarnaast geldt dat $T_3 = \text{COLD_WATER_TEMP} + T_5 - T_4$. Per tappunt kunnen aparte waarden gelden. Dit betekent dat voor SIMDEUM-HW de volgende extra invoergegevens nodig zijn (zie ook Figuur 4-4, Figuur 4-5):

- T_1 , na het mengwater (typisch voor wasmachine en vaatwasser), zie ook SIMDEUM-WW; SIMDEUM-DW wordt gebruikt om de mengwatertemperatuur (T_{SIMDEUM}) te bepalen.
- T_2 per tappunt (typisch hoger bij douche WTW).
- T_3 per tappunt (typisch anders bij keukenboiler).
- T_4 (per tappunt).

De waarde van T_2 wordt als default gelijk verondersteld aan de aan SIMDEUM-DW meegegeven koudwatertemperatuur (COLD_WATER_TEMP). De waarde van T_3 wordt als default gelijk verondersteld aan de aan SIMDEUM meegegeven warmwatertemperatuur (HOT_WATER_TEMP). De waarde van T_5 wordt berekend met $T_5 = T_3 + T_4 - \text{COLD_WATER_TEMP}$.

Er is een verschil tussen model en werkelijkheid, waardoor soms trucs in het model moeten worden uitgehaald:

- Wanneer bij een douche WTW ook het koude water voor de warmtapwaterbereider wordt voorverwarmd kan middels een truc toch de juiste energie worden berekend; pas T_4 aan zodanig dat $T_3 + T_4 - T_2 = T_3 + T_4^* - \text{COLD_WATER_TEMP}$ (waarbij rekening wordt gehouden met de juiste volumestromen). Dit betekent dat T_4 kleiner dan 0 kan zijn! Omdat het rendementsverschil tussen het voorverwarmen van de koudwaterstroom en/of de warmwaterstroom klein is, is deze truc niet nodig; de eenvoudige wijze van slechts T_2 aanpassen in SIMDEUM-HW volstaat in dat geval.
- In SIMDEUM-DW is HOT_WATER_TEMP voor alle tappunten gelijk; in de werkelijkheid zal de temperatuur na de warmtapwaterbereider voor de tappunten gelijk zijn en kan T_4 verschillen waardoor T_3 ook verschilt. Wanneer de waarden van T_3 bekend zijn per tappunt, zou in SIMDEUM-HW zowel T_3 als T_4 tappuntspecifiek moeten worden gemaakt.

4.2.2 Temperatuur aan het tappunt (T_1)

Tabel 4-1 geeft de typische temperaturen aan de tappunten. In SIMDEUM-HW kunnen andere temperaturen worden opgegeven; de tabel geeft de waarden zoals die in de meeste standaard situaties voorkomen.

TABEL 4-1. TEMPERATUUR VAN HET WATER PER TAPPUNT.

Tappunt / gebruik	T_1 (°C)	Toelichting
Bad (120 L)	39.5	Zie douche
Wastafel		
Wassen en scheren		
Tandenpoetsen	n.v.t	Geen warmwater gebruikt
Vaatwasser		Vergelijkbaar met wasmachine (zie bijlage I)
Keuken- kraan		
Consumptie		
Afwassen	55	Met de hand afwassen met 55 °C
Handen wassen		
Overig		
Douche	39.5	douche gemeten 39.5 °C uit de douchekop
Wasmachine	40-60	De wasmachine heeft typisch een wasprogramma op 40 °C en 60 °C. Dit betekent dat in de eerste cyclus het water eenmalig wordt opgewarmd tot de opgegeven temperatuur. (zie bijlage I).
WC	n.v.t	Geen warmwater gebruikt

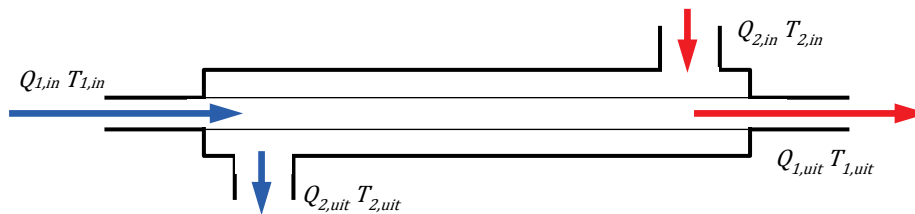
4.2.3 Koudwatertemperatuur (T_2)

De temperatuur van het koude water is afhankelijk van de temperatuur van het drinkwater in het distributiesysteem en de opwarming in de installatie, en daarmee van het seizoen. Het kan variëren tussen 10 en 20°C.

Het koude toevoerwater voor de douche kan met een douche WTW worden voorverwarmd (Figuur 4-5) middels een warmtewisselaar (Figuur 4-6; de waterstromen blijven gescheiden). De temperatuur van het voorverwarmde koude water ($T_{1,uit}$ in Figuur 4-6, T_2 in Figuur 4-5) is afhankelijk van een aantal factoren:

- De temperatuur van het op te warmen koude water, afhankelijk van het seizoen 10 tot 20 °C ($T_{1,in}$ in Figuur 4-6, COLD_WATER_TEMP in Figuur 4-5).
- De temperatuur van het afgevoerde warme water ($T_{2,in}$ in Figuur 4-6, $T_{SIMDEUM}$ of T_1 minus een warmteverlies in Figuur 4-5), typisch 35 °C (zie Tabel 3-2, § 3.2.1).
- De verhouding van de volumestroom van het voor te verwarmen koude water (Q_1 in Figuur 4-6) en het afgevoerde warme water (Q_2 in Figuur 4-6) hangt af van de configuratie:
 - A. Wanneer het koude water dat voorverwarmd wordt, wordt teruggevoerd naar én de koudwaterkraan én de warmwaterbereider is de verhouding gelijk aan 1 ($Q_2 = Q_1$).
 - B. Wanneer het koude water dat voorverwarmd wordt, wordt teruggevoerd naar alleen de warmwaterbereider ($Q_2 > Q_1$, Q_1 is de warmwaterstroom) is de verhouding gelijk aan $\frac{T_{boiler}-T_{douche}}{T_{boiler}-T_{koud}}$, met $T_{boiler} = 60$ °C, $T_{douche} = 40$ °C en $T_{koud} = 10$ °C is de verhouding bijvoorbeeld gelijk aan 0.4.
 - C. Wanneer het koude water dat voorverwarmd wordt, wordt teruggevoerd naar alleen de koudwaterkraan ($Q_2 > Q_1$, Q_1 is de koudwaterstroom) is de verhouding ook weer gelijk aan $\frac{T_{boiler}-T_{douche}}{T_{boiler}-T_{koud}}$, maar nu is de temperatuur van het koude water hoger. Met $T_{boiler} = 60$ °C, $T_{douche} = 40$ °C en $T_{koud} = 25$ °C is de verhouding bijvoorbeeld gelijk aan 0.57.
- De efficiency van de warmtewisselaar.

In situatie C (voorverwarmen van het koude water) en een 100% efficiënte warmtewisselaar kan bij een koudwatertemperatuur van 10 °C, een warmwatertemperatuur aan de tap van 55 °C, een gewenste temperatuur aan de tap van 40 °C en een temperatuur in het doucheputje van 35 °C, het koude water maximaal worden voorverwarmd tot 26.4 °C.



FIGUUR 4-6. SCHEMATISCHE WEERGAVE WARMTEWISSELAAR; $Q_{1,IN} = Q_{1,UIT} = Q_1$; $Q_{2,IN} = Q_{2,UIT} = Q_2$.

4.2.4 Warmwatertemperatuur (T_3)

De uitgaande temperatuur van de warmtapwaterbereider kan, afhankelijk van het type, worden ingesteld tussen 55 en 95 °C. In de meeste woningen zal de ingestelde temperatuur tussen de 60 en 65 °C zijn. De temperatuur na de temperatuurverliezen in de leidingen moet voldoende hoog zijn om aan de tap de gewenste temperatuur te kunnen leveren; d.w.z. ook een temperatuur van 50-55 °C voor schoonmaakdoeleinden. In circulatieleidingen geldt bovendien dat de temperatuur aan het eind nog minstens 55 °C is.

4.2.5 Temperatuurverliezen warmwaterleidingen (T_4)

Afhankelijk van de lengte van de leidingen, leidingmateriaal, leidingdiameter en omgevingstemperatuur is er een warmteverlies wat leidt tot een temperatuurdaling van 6 tot 16 °C (zie Bijlage I) op respectievelijk een leiding van 15 m naar douche en 40 m naar keukenkraan. Uit enquêtes die op een later tijdstip gehouden zijn blijkt dat deze lengten groot zijn in vergelijking met een standaard tussenwoning. De genoemde temperatuurdalingen moeten daarom beschouwd worden als maximumwaarden.

4.3 Uitvoergegevens SIMDEUM-HW

SIMDEUM-HW berekent de primaire energie die nodig is voor het opwarmen van tapwater, over de dag, per tappunt. Dat is het verschil tussen het koude water (COLD_WATER_TEMP) en de benodigde temperatuur aan de tap (T_1). Er wordt dus geen rekening gehouden met de rendementen van de verschillende methodes voor verwarmen van het water.

De primaire energie wordt uitgedrukt in kJ:

$$E = 4.186 \cdot Q \cdot \Delta t \cdot \Delta T$$

Met Q de volumestroom in [l/s], Δt de tijdsduur in [s], ΔT het temperatuurverschil tussen koud en warm water. ΔT is voor verwarming met een centrale warmtapwaterbereider gelijk aan T_5 uit de vorige paragraaf; voor lokale opwarming (in wasmachine bijvoorbeeld) is deze gelijk aan $T_1 - T_{\text{SIMDEUM}}$.

4.4 Aanpassingen voor SIMDEUM-HW

4.4.1 Pre-processing

Er is geen pre-processing nodig. In principe levert SIMDEUM-DW de informatie over de volumestromen en mengwatertemperaturen al op de juiste manier aan. Wel is het zo dat in de standaard simulaties alleen een standaard wasmachine en vaatwasser worden meegenomen. Omdat in het totale waterverbruik en warmwaterverbruik, en ook in het patroon over de dag, het aandeel van deze twee beperkt is, is er niet veel aandacht besteed aan het in beeld brengen van de variatie. Voor het energieverbruik (labels A, A+, A++) is het wel nodig om hier betere gegevens te gebruiken.

Wanneer de wasmachine voorzien wordt met warm water, en dus niet een echte hot-fill wasmachine die alleen tijdens de eerste wascyclus warm tapwater inneemt, kan dit al aan SIMDEUM worden meegegeven. Of het kan in SIMDEUM-HW in de post-processing stap worden doorgerekend.

4.4.2 Post-processing

Nadat SIMDEUM-DW op basis van het .stats bestand verbruikspatronen heeft gesimuleerd, welke zijn opgeslagen in .house bestanden, vindt er post-processing plaats. In deze stap worden de watertemperaturen aangepast en wordt de primaire energie berekend. In de .house bestanden zijn ook de door SIMDEUM-DW gebruikte COLD_WATER_TEMP en HOT_WATER_TEMP opgeslagen.

Per tappunt kan worden meegegeven (flexibel) wat de temperatuur van het "geconsumeerde" water is (T_1). Dit kan een enkel getal zijn, of een reeks van getallen waar random uitgetrokken kan worden. Door bijvoorbeeld de reeks [35 35 35 45] mee te geven wordt in 75% een temperatuur van 35 °C toegepast, en in 25% een temperatuur van 45 °C. Wanneer T_1 niet afwijkt van $T_{SIMDEUM}$ (de mengtemperatuur die aan SIMDEUM-DW is meegegeven) is hier geen waarde nodig. Per tappunt kan worden meegegeven wat de temperatuur van het aangevoerde koude water is (T_2). Een generieke waarde voor T_4 wordt meegegeven.

Voor de verschillende tappunten worden de volgende bewerkingen toegepast:

- Wasmachine: de eerste aanvoervolumes (er kunnen meerdere gebruiken per dag zijn) worden geïdentificeerd en voor dat volume wordt T_1 toegepast; de 2^e en volgende volumes hebben de temperatuur vanuit SIMDEUM ($T_{SIMDEUM}$, vaak de temperatuur van het koude water).
- Vaatwasser: de eerste en laatste aanvoervolumes (er kunnen meerdere gebruiken per dag zijn) worden geïdentificeerd en voor het eerste volume wordt T_1 toegepast; de 2^e en volgende volumes hebben de temperatuur vanuit SIMDEUM-DW ($T_{SIMDEUM}$, vaak de temperatuur van het koude water) en voor het laatste volume wordt $T_1 + 10$ °C toegepast (droogproces, zie bijlage I).
- Wanneer voor een tappunt $T_2 \neq COLD_WATER_TEMP$, wordt de volumestroom van koud en warm water opnieuw bepaald op basis van de nieuwe T_2 , rekening houdend met de volumestromen.
- Per tappunt worden Q en ΔT bepaald:
 - Voor wc en buitenkraan: geen opwarming en dus $\Delta T = 0$;
 - Voor douche, bad, keukenkraan, wastafel: $Q =$ de volumestroom van het warme tapwater; $\Delta T = T_5 = HOT_WATER_TEMP + T_4 - COLD_WATER_TEMP$.
 - Voor wasmachine en vaatwasser: Q is gelijk aan de totale volumestroom van het koude en (eventuele) warme water; $\Delta T = T_1 - T_{SIMDEUM}$.
- Δt is gelijk aan de tijdstap waarmee gerekend wordt.
- $E = 4.186 \cdot Q \cdot \Delta t \cdot \Delta T$

4.5 Validatie SIMDEUM-HW

In de literatuur zijn zeer beperkt gegevens te vinden van energieverbruik voor het opwarmen van het tapwater. Idealiter is de uitkomst van de berekening met SIMDEUM-HW in dezelfde orde van grootte als deze eerdere inschattingen. Dit staat of valt wel met de uitgangspunten van de verschillende methoden. De validatie zal zich in eerste instantie dan ook richten op het valideren van de uitgangspunten van SIMDEUM-HW. Om een beetje gevoel te krijgen voor het effect van verschillende type drinkwaterinstallatie en woningbezetting zal SIMDEUM-HW toegepast worden voor verschillende type woningen, zie § 4.6.

Tabel 4-2 geeft een overzicht van gemiddeld energieverbruik voor warm tapwater en verwarming. Hierbij is ook het rendement van gas en elektra inbegrepen. Een simpel rekenvoorbeeldje zonder energieverliezen:

- In Nederland geldt een gemiddelde waterverbruik van 125 liter per persoon per dag, daarvan wordt met name het douchewater met gas verwarmd (en een deel water aan de keukenkraan). De gemiddelde douchefrequentie is 0,7 per persoon per dag met een doucheduur van 8 minuten en een volumestroom van 8 liter per minuut, de gewenste temperatuur is ca. 40 °C (en de koudwatertemperatuur is ca. 15 °C).
 - Dat betekent $0,7 \times 8 \text{ l/min} \times 8 \text{ min} \times (40-15)\text{K} \times 4.186 \text{ kJ/l.K} = 4.7 \text{ MJ}$ per persoon per dag.
 - Bij 1 maal douchen per dag en een koudwatertemperatuur van 10 °C wordt het $1,0 \times 8 \text{ l/min} \times 8 \text{ min} \times (40-10)\text{K} \times 4.186 \text{ kJ/l.K} = 8.0 \text{ MJ}$ per persoon per dag.
- Met 375 m³ gas per jaar kan (met een calorische waarde van 31,65 MJ/m³) ca. 32.5 MJ per dag in warm tapwater worden gestopt.
 - Met een gemiddelde woningbezetting van 2,3 persoon betekent dat 14.1 MJ per persoon per dag.
 - Wanneer in Tabel 4-2 wordt uitgegaan van een gemiddeld gezin (4 personen) zou het 8.1 MJ per persoon per dag zijn.

De ordegrrootte klopt dus wel ongeveer, maar onduidelijk is hoe in Tabel 4-2 een gemiddelde woning precies is gedefinieerd en hoe de hoeveelheid gas voor warmwaterbereiding is bepaald. Mogelijk is dit een schatting op basis van 1 maal 8 minuten douchen met 4 personen, en is het niet direct gemeten.

TABEL 4-2. TOTAAL JAARLIJKS ENERGIEVERBRUIK VOOR EEN GEMIDDELTE WONING IN NEDERLAND ([HTTP://WWW.SENTERNOVEM.DATABANK.NL/](http://www.senternovem.databank.nl/), DEC 2014). HIERBIJ IS UITGEGAAN VAN ELEKTRICITEIT: 1 KWH = 9 MJ, EN GAS 1 M³ = 31,65 MJ.

	m ³	kWh	Energy (MJ)
Warmwaterbereiding (gas)	375		11869
Ruimteverwarming (gas)	1125		35606
Warmwaterbereiding (E)		293	2637
Ruimteverwarming (E)		232	2088
wasmachine (E)		192	1728
vaatwasser (E)		170	1530
Overig (E)		2767	24903
Totaal	1500	3654	80361

Daarnaast geeft Essent¹ informatie over het energieverbruik over het jaar: in de winter verbruiken huishoudens ruim een derde meer elektriciteit (gebaseerd op een jaarverbruik van 3.500 kWh stroom in een standaard jaar), en acht keer meer gas (gebaseerd op een jaarverbruik 1.440 m³ in een standaard jaar) dan in de zomer. Voor het gasverbruik betekent dat (wanneer we herfst en lente niet expliciet meenemen) dus dat van de 1500 m³ uit Tabel 4-2, 1333 m³ in de winter wordt gebruikt (hiervan is 1125 m³ voor ruimteverwarming en de rest, dus 208 m³, voor warmwaterbereiding). Voor warm tapwater (douche en keukenkraan, niet wasmachine en vaatwasser) is er dan grofweg 208 m³ in de winter nodig en 167 m³ in de zomer (375 - 208 = 167). Dit kan vergeleken worden met de uitkomsten van SIMDEUM-HW voor verschillende seizoenen. Omdat hier voor- en najaar niet zijn meegenomen en omdat onduidelijk is waarop de 375 m³ gas is gebaseerd, wordt de vergelijking nu niet gemaakt. Dat betekent dat de resultaten van SIMDEUM-HW hier niet gevalideerd zijn, in het BTO-project *Efficiënte bereiding warm tapwater* (§ 4.6) wordt hier meer aandacht aan besteed.

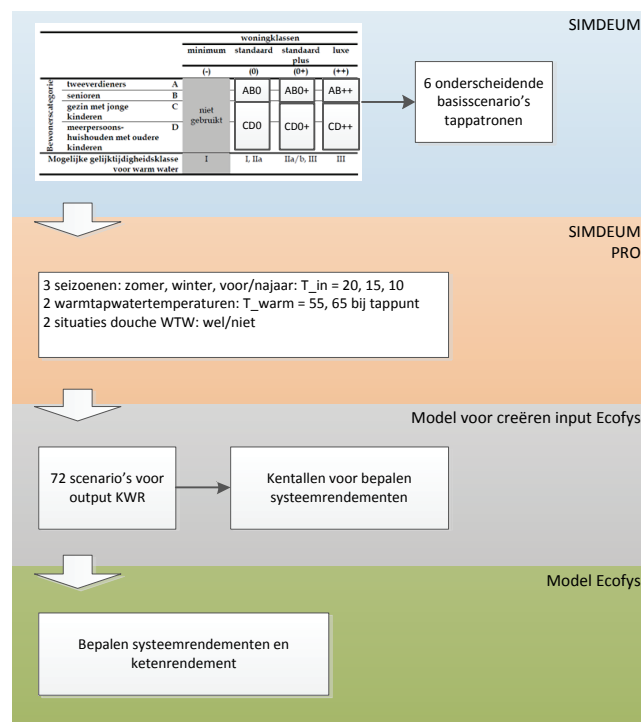
¹ https://www.essent.nl/content/overessent/actueel/archief/2013/gasverbruik_huishoudens_in_winter_acht_keer_hoger.html#.

4.6 Voorbeelden van toepassing SIMDEUM-HW

In het BTO-project *Efficiënte bereiding warm tapwater* (Moerman and Blokker, 2015 (in concept)) worden verschillende scenario's doorgerkend om de energiezuinigste oplossing voor het opwarmen van tapwater te kunnen bepalen, zie het schema in Figuur 4-7. Ecofys ontwikkelt binnen dit project een model waarmee bepaald kan worden welke warmtapwaterbereider het beste past bij een specifieke warmtapwatervraag. Met SIMDEUM-HW wordt de bruto energie berekend die nodig is voor de bereiding van warm water. Met het model van Ecofys wordt volgens de NEN 7120 het rendement van de warmtapwaterbereider berekend bij de door SIMDEUM-HW berekende bruto energievraag aan de hand van de volgende (deel)rendementen:

- rendement van warmteoverdracht naar drinkwater;
- opstartverliezen;
- voorraadverliezen;
- waakvlam.

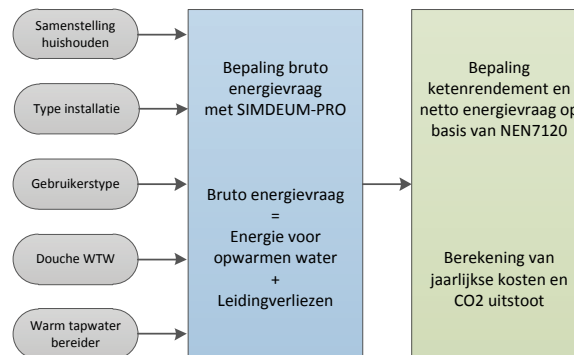
Om de warmwatervraag te bepalen met SIMDEUM-HW wordt gebruik gemaakt van 12 standaardhuishoudens die eerder in het ST18 onderzoek van UNETO-VNI bepaald zijn op basis van ISSO Publicatie 30 (Blokker et al., 2007). Uit hetzelfde onderzoek blijkt dat deze 12 huishoudens teruggebracht kunnen worden naar 6 standaard huishoudens omdat verschillende typen bewonercategorieën een sterk overeenkomend warmwaterverbruik (per dag) hebben. Voor verschillende temperatuur- en WTW-scenario's (zie Figuur 4-7) wordt vervolgens de bruto energie bepaald met SIMDEUM-HW. De 25-, 50- en 75-percentiel waarden van verschillende kentallen worden gebruikt als input voor het rendementsmodel van Ecofys.



FIGUUR 4-7. SCHEMA ONDERZOEK NAAR EFFICIËNTE BEREIDING WARM TAPWATER.

In de toekomst kan de combinatie van deze twee modellen gebruikt worden voor een energietool voor consumenten waarmee particulieren op basis van hun verbruik, type

woninginstallatie, samenstelling huishouden en andere parameters hun jaarlijkse kosten en CO₂-uitstoot kunnen berekenen (zie Figuur 4-8).



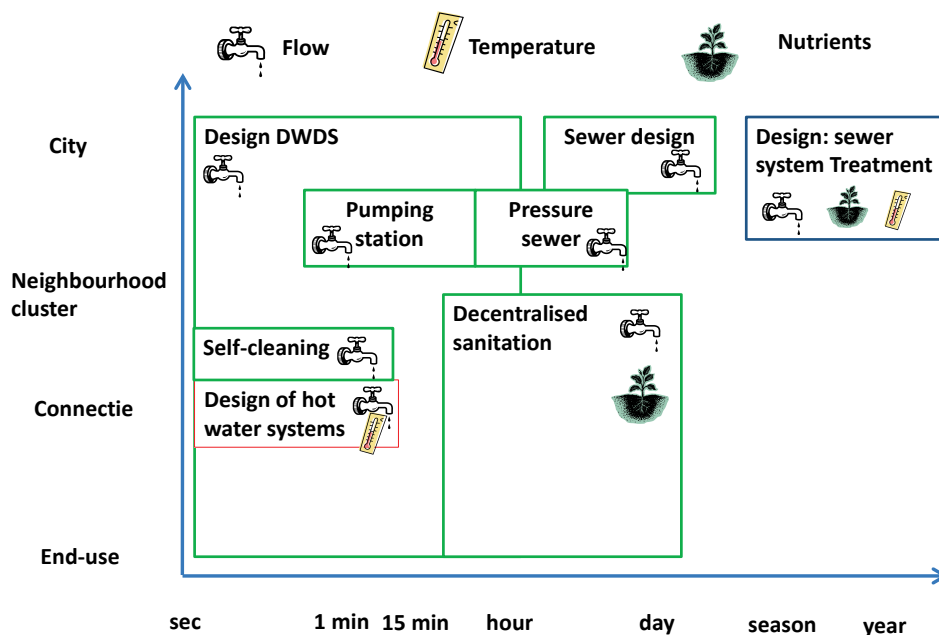
FIGUUR 4-8. SCHEMATISCHE WEERGAVE MODELOPZET EN GEBRUIKERSINPUT.

Voor de haalbaarheidsstudie voor de wijk de Oude Dokken in Gent (Pieterse-Quirijns, 2014a) is SIMDEUM succesvol ingezet. Met SIMDEUM-HW is het warmwaterverbruik en de energiebehoefte berekend voor vier verschillende wijkscenario's en drie schaalgroottes. Tevens is de warmwater- en energiebehoefte voor een aantal apparaten binnen deze wijkscenario's berekend, namelijk voor de wasmachines, vaatwasmachines en keukenkranen. In dit project is dus niet alleen gekeken naar de centrale verwarming voor douche en keukenkraan, maar ook naar close-in boilers in de keuken en de verwarming in wasmachines en vaatwassers en de mogelijke inzet van hotfill apparaten. De gemiddelde energievraag (gas én elektra) voor warm water voor anders dan douchen is verdeeld over ca. 30% voor de wasmachine, 10% voor de vaatwasser en 60% voor de keukenkraan. Voor woningen met een relatief hoog waterverbruik is een close-in boiler in de keuken een goed alternatief, voor woningen met een normaal verbruik betekent een close-in boiler een licht verhoogd (+7%) energieverbruik. Een hotfill vaatwasser betekent een sterk verhoogd energieverbruik (factor 2), doordat ook tijdens de spoelcyclus waarin gewoonlijk met koud water wordt gespoeld, warm water wordt ingenomen. Een hotfill wasmachine kan 3-4% meer of minder energie verbruiken dan een normale wasmachine.

5 Discussie

5.1 Toepassing in ontwerp

Afhankelijk van het doel van een model is een bepaalde ruimtelijke schaal en temporele schaal nodig voor waterverbruikspatronen of afvoerpatronen (Figuur 5-1), en is informatie over volumestroom, temperatuur of nutriëntenlast relevant. Voor ontwerp van zuivering (drinkwater, afvalwater) is informatie over een groot aantal huishoudens (niveau stad) en relatief grote tijdschaal (uur, dag) voldoende. Voor het ontwerp van zelfreinigende netten is de maximale vraag per seconde van belang van een beperkt (tot 100) aantal woningen relevant. Voor het ontwerp van warmtapwaterinstallaties is het verbruik per tappunt op korte tijdschaal van belang; idem voor de afstemming tussen vraag en aanbod van verschillende waterkwaliteiten (drinkwater, grijs water, regenwater). Naast het ontwerp van systemen met de huidige watervraag (en -afvoer) kunnen ook toekomstige ontwikkelingen in waterverbruik worden beschouwd (Agudelo-Vera et al., 2013; Blokker and Vloerbergh, 2011).



FIGUUR 5-1. AFHANKELIJK VAN HET DOEL IS EEN BEPAALDE RUIMTELIJKE SCHAAL (VERTICAAL) EN TEMPORELE SCHAAL (HORIZONTAAL) NODIG OM WATERVERBRUIK OF AFVOERPATRONEN TE BEPALEN.

SIMDEUM simuleert patronen op de schaal van het tappunt en op een tijdschaal van 1 seconde. Patronen kunnen eenvoudig worden geaggregeerd naar grotere ruimtelijke schaal (watermeter / aansluiting, woongebouw / straat, wijk, stad, voorzieningsgebied) en temporele schaal (minuut, kwartier, dag). SIMDEUM-DW is ook op verscheidene van deze schalen gevalideerd. Om SIMDEUM-DW in de tijd verder te kunnen opschalen en bijvoorbeeld ook seizoensinvloeden mee te nemen is een verdere ontwikkeling nodig, waarbij de invoergegevens afhankelijk worden gemaakt seizoensfactoren. De dag van de week (doordeweeks of weekend) zit er nu al in, maar verbruik afhankelijk van bijvoorbeeld de buitentemperatuur en neerslagtekort is voor Nederland nog niet goed onderzocht. In 2015

loopt een speerpuntonderzoek voor Evides waarin naar dit aspect gekeken wordt *seizoensafhankelijkheid van drinkwaterverbruik*.

Met SIMDEUM-HW kan nu ook op deze verschillende schalen het (warm)watergerelateerde energieverbruik worden beschouwd; met SIMDEUM-WW kan op de verschillende schalen de kwantiteit en kwaliteit van het afvalwater worden beschouwd. Omdat de afvoer in vrijvervalsystemen ook bepaald wordt door de bergingscapaciteit is het sommeren van SIMSEUM-patronen niet een recht-toe-recht-aan exercitie, maar is het nodig om een hydraulisch model te gebruiken.

Het ontwerpen van distributiesystemen of installaties wordt in principe gedaan op basis van kentallen, en niet zozeer op basis van het gehele verbruikspatroom uit SIMDEUM-DW. Voor het ontwerpen van het zelfreinigende drinkwaternet (Blokker et al., 2008) wordt bijvoorbeeld met name gekeken naar de maximale momentane volumestroom (MMV); voor de warmwaterinstallatie naar de MMV van warm water en het warmwaterverbruik in bepaalde tijdseenheden, zoals per dag of per uur (Pieterse-Quirijns, 2008). Extra kentallen voor energieverbruik uit SIMDEUM-HW zijn bijvoorbeeld het aantal tappingen en de totale tapduur per dag. Extra kentallen uit SIMDEUM-WW zijn nog niet zo strak gedefinieerd. Het is mogelijk om naast een SIMDEUM-DW patronengenerator (Pieterse-Quirijns, 2014b) ook een generator voor kentallen te ontwikkelen waarmee ontwerpen van standaard en mogelijk ook niet standaard niet-huishoudelijke installaties ontworpen kunnen worden. De grafische interface voor een patronengenerator is voor drinkwater ontwikkeld en heet binnen WaterShare® Water Use Info®.

5.2 Toepassing in hydraulische pakketten

De patronen (drinkwatervraag en afvalwater) kunnen worden toegepast in hydraulische modellen waarmee de invloed op de waterkwaliteit (temperatuur, concentratie opgeloste stoffen, deeltjes, microbiologie) als gevolg van de stroomsnelheid, verblijftijd en menging in het distributiesysteem (drinkwater of riolering) kan worden gemodelleerd. SIMDEUM-DW patronen (Pieterse-Quirijns, 2014b) kunnen direct in InfoWorks of EPANET worden ingeladen. De huidige versie van de SIMDEUM-DW patronengenerator kan wel worden uitgebreid met de nieuwe invoergegevens (§ 2.2), maar werkt nog niet met de nieuwe aanpak van directe trekkingen uit het TBO (§ 2.3). SIMDEUM-WW patronen kunnen direct worden toegepast in SOBEK, waarbij volumestroom en temperatuur worden meegenomen (Bloemendaal et al., 2015), toepassen van nutriëntenconcentraties in SOBEK is nog niet getest. Voor het toepassen van SIMDEUM-WW op het vlak van nutriënten (of bijvoorbeeld medicijnresten) zijn mogelijk nog wel wat ontwikkelkosten te verwachten, omdat dit in de huidige versie wel al is ingebouwd maar nog niet is toegepast, en dus nog maar heel beperkt getest. Een toepassing van SIMDEUM-WW patronen is bijvoorbeeld in een gebouw waarbij slechts met 1 liter het toilet wordt doorgespoeld waar dan modelmatig kan worden bestudeerd hoe goed de overige waterafvoer (van de douche bijvoorbeeld) in staat is de binnenriolering schoon te spoelen. Toepassing van energiepatronen uit SIMDEUM-HW is nog niet ontwikkeld; voor de afstemming van vraag een aanbod van warm water zou het nuttig kunnen zijn om naar de patronen te kijken, maar dat hoeft niet in een hydraulisch pakket.

5.3 Toepassing in het buitenland

SIMDEUM-DW is met name gevalideerd voor de Nederlandse situatie. De methodiek is zeker toepasbaar in het buitenland, maar de uitdaging is om aan geschikte invoerdata te komen. Veel invoerdata uit Nederland is her te gebruiken, maar sommige zaken zijn sterk cultureel bepaald en moeten toch uit het land zelf komen. Voor het verbeteren van het patroon over de dag zou directe trekking uit tijdsbestedingsonderzoeken (§ 2.3) aan te raden zijn, maar dit is niet altijd voorhanden. Ook is dit nog niet getest.

Toepassing van SIMDEUM-WW en SIMDEUM-HW in het buitenland zou analoog aan toepassing van SIMDEUM-DW moeten kunnen, maar is nog niet getest.

5.4 Toepassing voor niet-huishoudelijk verbruik

De aanscherpingen in SIMDEUM v2.0 is specifiek gericht op huishoudelijk verbruik. Voor niet-huishoudelijke verbruiken is dit beperkt van belang. Mogelijk dat het douchegegedrag in hotels kan worden aangescherpt met de aanpak van SIMDEUM v2.0.

De toepassing van SIMDEUM-WW voor niet-huishoudelijk verbruik zou zonder enige moeite mogelijk moeten zijn. Het is nog niet getest. Nagedacht moet worden of de post-processing stap gedaan wordt op de kleinste functionele eenheid (hotelkamer, (bedrijfs)restaurant, etc.) of voor het totaal van kantoor, hotel of zorginstelling.

De toepassing van SIMDEUM-HW voor niet-huishoudelijk verbruik zou zonder enige moeite mogelijk moeten zijn wanneer de post-processing stap gedaan wordt op de kleinste functionele eenheid (hotelkamer, (bedrijfs)restaurant, etc.). Per tappunt moet namelijk worden aangegeven wat de leidingverliezen zijn en er gaat mogelijk iets mis wanneer met gemiddelde getallen wordt gerekend. Het is nog niet getest. In de utiliteitsbouw worden voor warm water vaak recirculatiesystemen aangelegd. Om ook voor deze systemen de energieverliezen goed mee te nemen in SIMDEUM-HW is mogelijk nog wel enige ontwikkeling van de software nodig.

5.5 Verdere doorontwikkeling van SIMDEUM

De aanpak van SIMDEUM (modelleren van vraag op basis van gedrag een aanwezigheid van consumenten en technische specificaties van toestellen) zou niet alleen voor water toegepast kunnen worden, maar bijvoorbeeld ook voor de vraag naar ruimteverwarming (bijvoorbeeld SIMDEUM-RH, SIMDEUM for room heating) en elektriciteit (SIMDEUM-EE, SIMDEUM for electric energy). De aanwezigheid van consumenten op basis van CBS-data en tijdsbestedingsonderzoek ligt hiervoor klaar; technische specificaties zouden moeten worden toegevoegd. Ook de externe factoren die de vraag naar ruimteverwarming beïnvloeden (temperatuur buiten, isolatie van de woning, grootte van de ruimte) of de vraag naar elektriciteit beïnvloeden (verlichting wordt beïnvloed door hoe laat het donker / licht wordt bijvoorbeeld) moeten in beeld worden gebracht in en in het model worden gestopt. Het toevoegen van de vraag naar ruimteverwarming zou goed aansluiten bij SIMDEUM-HW, zodat niet alleen het aandeel voor warm tapwater, maar de gehele gasbehoefte kan worden gemodelleerd. Dan kan ook de efficiëntie van een warmwatertoestel voor zowel warm water als voor ruimteverwarming worden beoordeeld. Het toevoegen van de vraag naar elektriciteit op het niveau van enkele huishoudens zou interessant kunnen zijn voor de afstemming van lokaal opgewekte duurzame energie en de vraag naar energie, waarbij een tijdelijke opslag onontbeerlijk is. Die opslag van energie zou bijvoorbeeld in de vorm van warmte in water of in waterstof kunnen worden opgeslagen. Het model zou gebruikt kunnen worden om te bepalen wanneer energie opgewekt wordt, opgeslagen wordt, gebruikt wordt.

6 Referenties

- Agudelo-Vera, C., and Blokker, E. J. M., 2013, Demand forecasting with SIMDEUM® for Hamburg Wasser KWR, Nieuwegein, pp. 50.
- Agudelo-Vera, C. M., Keesman, K. J., Mels, A. R., and Rijnaarts, H. H. M., 2013, Evaluating the potential of improving residential water balance at building scale, *Water Research* 47(December):7287-7299.
- Almeida, M., Butler, D., and Friedler, E., 1999, At-source domestic wastewater quality, *Urban water* 1(1):49-55.
- Bloemendaal, M., Moerman, A., Hofman, J., Blokker, E. J. M., and Agudelo-Vera, C., 2015, Terugwinnen energie uit leidingen, KWR, Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M., 2006a, Bijlage bij rapport BTO 2006.010; invoervariabelen voor het model SIMDEUM, Kiwa N.V., Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M., 2006b, Modelleren van afnamepatronen; beschrijving en evaluatie van simulatiemodel SIMDEUM, Kiwa N.V., Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M., 2010, Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks, Delft University of Technology, pp. 212.
- Blokker, E. J. M., Beverloo, H., Vogelaar, A. J., Vreeburg, J. H. G., and van Dijk, J. C., 2011, A bottom-up approach of stochastic demand allocation in a hydraulic network model; a sensitivity study of model parameters, *Journal of Hydroinformatics* 13(4):714-728.
- Blokker, E. J. M., Doldersum, R., Lansbergen, A., van der Schee, W., and Scheffer, W., 2007, Rekenregels voor dimensionering van leidingwaterinstallaties, Kiwa Water Research, Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M., and Vloerbergh, I. N., 2011, Kwantitatieve toekomstscenario's waterverbruik, KWR, Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M., and Vogelaar, A. J., 2007, Toepassing van SIMDEUM in het leidingnetmodel van Franeker, Kiwa Water Research B.V., Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M., Vreeburg, J. H. G., Beverloo, H., Klein Arfman, M., and van Dijk, J. C., 2010, A bottom-up approach of stochastic demand allocation in water quality modelling, *Drink. Water Eng. Sci.* 3(1):43-51.
- Blokker, M., Donocik, A., Smits, F., and Vreeburg, J., 2008, De beoogde stroomsnelheid voor zelfreinigende netten vastgesteld, in: *H2O*, pp. 59-62.
- Christova-Boal, D., Eden, R. E., and McFarlane, S., 1996, An investigation into greywater reuse for urban residential properties, *Desalination* 106(1):391-397.
- Donner, E., Eriksson, E., Revitt, D. M., Scholes, L., Lützhøft, H. H., and Ledin, A., 2010, Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems, *Science of the Total Environment* 408(12):2444-2451.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., and Ledin, A., 2002, Characteristics of grey wastewater, *Urban water* 4(1):85-104.
- Foekema, H., van Thiel, L., and Lettinga, B., 2008, Watergebruik thuis 2007, TNS NIPO, Amsterdam.
- Friedler, E., 2004, Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities, *Environmental technology* 25(9):997-1008.
- Hargelius, K., Holmstrand, O., and Karlsson, L., 1995, Hushällsspillvatten Framtagande av nya schablonvärden för BDT-vatten, *Vad innehåller avlopp från hushåll*.
- Kujawa-Roeleveld, K., and Zeeman, G., 2006, Anaerobic treatment in decentralised and source-separation-based sanitation concepts, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 5(1):115-139.
- Kwakkel, M., 2013, Gevoeligheidsanalyse van SIMDEUM voor landelijk gebied, KWR, Nieuwegein, pp. 28.

- Moerman, A., and Blokker, E. J. M., 2015 (in concept), Efficiënte bereiding warm tapwater, KWR, Nieuwegein.
- Moerman, A., Blokker, E. J. M., Vreeburg, J., and van der Hoek, J. P., 2014, Drinking water temperature modelling in domestic systems, in: *16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA*, Procedia Engineering.
- Nolde, E., 2000, Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings—over ten years experience in Berlin, *Urban water* 1(4):275-284.
- Pieterse-Quirijns, E. J., 2008, Rekenregels voor waterverbruik in woontorens, KWR, Nieuwegein.
- Pieterse-Quirijns, E. J., 2010, Rekenregels voor waterverbruik in utiliteitsbouw; Bepalen van maximum volumestroom en warmwaterverbruik met SIMDEUM, KWR, Nieuwegein, pp. 61.
- Pieterse-Quirijns, E. J., 2011, Rekenregels voor waterverbruik in hotels, uitgebreid met douchetypes; Bepalen van maximum volumestroom en warmwaterverbruik met SIMDEUM, KWR, Nieuwegein, pp. 23.
- Pieterse-Quirijns, E. J., 2012, Gewenste tijdstap voor meting volumestroom, KWR, Nieuwegein, pp. 31.
- Pieterse-Quirijns, E. J., 2014a, Haalbaarheidsstudie gescheiden sanitatie Oude Dokken: fase 1, KWR, Nieuwegein, pp. 59.
- Pieterse-Quirijns, E. J., 2014b, Manual SIMDEUM Pattern Generator: Tool for water demand and discharge patterns for residential and non-residential buildings, KWR, Nieuwegein, pp. 99.
- Pieterse-Quirijns, E. J., Agudelo-Vera, C. M., and Blokker, E. J. M., 2012, Modelling sustainability in water supply and drainage with SIMDEUM®, in: *CIB W062 Water supply and drainage for buildings*, Edinburgh, GB.
- Pieterse-Quirijns, E. J., and Beverloo, H., 2013, Validatie rekenregels voor waterverbruik woontorens, KWR, Nieuwegein, pp. 56.
- Pieterse-Quirijns, E. J., Beverloo, H., and van Loon, A., 2013a, Validatie rekenregels voor waterverbruik hotels, KWR, Nieuwegein, pp. 84.
- Pieterse-Quirijns, E. J., Beverloo, H., and van Loon, A., 2013b, Validatie rekenregels voor waterverbruik kantoren, KWR, Nieuwegein, pp. 66.
- Pieterse-Quirijns, E. J., Beverloo, H., van Loon, A., and Kwakkel, M., 2013c, Validatie rekenregels voor waterverbruik zorginstellingen, KWR, Nieuwegein, pp. 88.
- Pieterse-Quirijns, E. J., Blokker, E. J. M., and Vogelaar, A. J., 2009, Modelleren van niet-huishoudelijk waterverbruik; waterverbruik van kantoren, hotels, zorginstellingen en veehouderij, KWR, Nieuwegein.
- Pieterse-Quirijns, E. J., and van de Roer, M., 2013, Verbruikspatronenbibliotheek, KWR, Nieuwegein, pp. 106.
- Rioned, S., 1997, Leidraad riolering, *Module C2100. Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren (Guideline sewer systems. Module C2100. Calculations: hydraulic performance)*.
- Roberts, P., 2005, Yarra Valley Water: 2004 residential end use measurement study, Yarra Valley Water Melbourne, Australia.
- Siegrist, R. L., Witt, M. D., and Boyle, W. C., 1976, The characteristics of rural household wastewater, Small Scale Waste Management Project, University of Wisconsin--Madison and University of Wisconsin--Extension.
- Sociaal en Cultureel Planbureau, 2005, Tijdsbestedingsonderzoek 2005 - TBO 2005 [computer file], Data Archiving and Network Services - DANS, Den Haag.
- Stamminger, R., Broil, G., Pakula, C., Jungbecker, H., Braun, M., Rüdener, I., and Wendker, C., 2008, Synergy potential of smart appliances, *Report of the Smart-A project*.
- Surendran, S., and Wheatley, A., 1998, Grey - water reclamation for non - potable re - use, *Water and Environment Journal* 12(6):406-413.
- Tervahauta, T., Hoang, T., Hernández, L., Zeeman, G., and Buisman, C., 2013, Prospects of Source-Separation-Based sanitation concepts: A model-based study, *Water* 5(3):1006-1035.
- Van der Broek, A., and Breedveld, K., 1995, Tijdsbestedingsonderzoek 1995 - TBO'95 [computer file], Sociaal en Cultureel planbureau, SCP, Den Haag.
- van Thienen, P., and Pieterse-Quirijns, E. J., 2011, Nieuwe lekverliesbepalingsmethoden - Inventarisatie van benaderingen, toepassing van SIMDEUM en uitwerking van een nieuwe

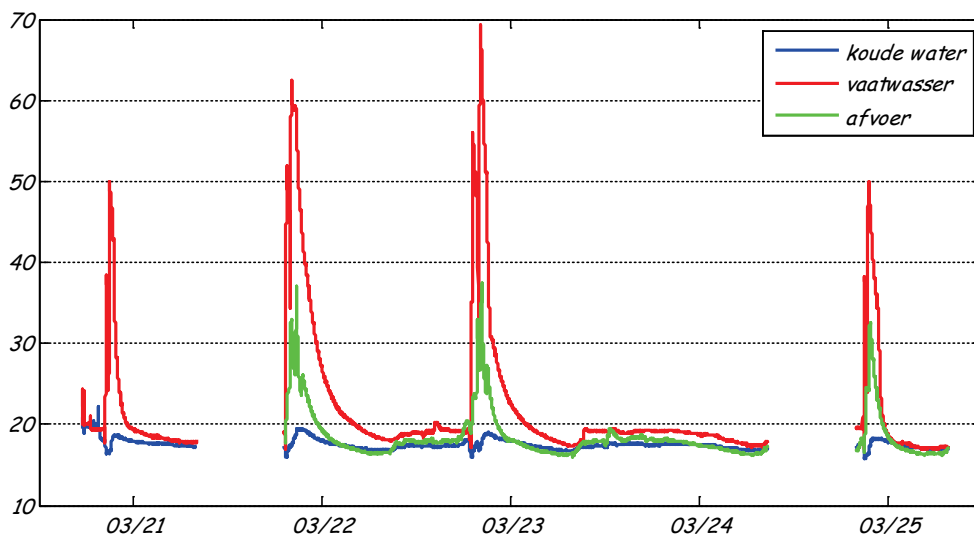
- methode voor het vaststellen van lekverliezen in het distributienet, KWR, Nieuwegein, pp. 119.
- van Thienen, P., and Vogelaar, A., 2012, Optimalisatie en gevoeligheid van sensorplaatsing in het leidingnet KWR, Nieuwegein, pp. 58.
- van Thienen, P., and Vogelaar, A., 2013, Optimale sensorplaatsing in deelgebied Leeuwardenberg van de Proeftuin Noordbergum, KWR, Nieuwegein, pp. 47.
- van Thienen, P., and Vries, D., 2013, Backtracing van verontreinigingen in het distributienet - Methoden en bronbepaling met stochastische watervraag, KWR, Nieuwegein.
- Veldman, E., Gibescu, M., Slootweg, H. J., and Kling, W. L., 2013, Scenario-based modelling of future residential electricity demands and assessing their impact on distribution grids, *Energy Policy* 56:233-247.
- Vloerbergh, I., Blokker, E. J. M., and Pieterse-Quirijns, E. J., 2013, Haalbaarheidstudie concept tertiair net van de toekomst Brabant Water, KWR, Nieuwegein.
- Wilsenach, J., and Van Loosdrecht, M., 2003, Impact of separate urine collection on wastewater treatment systems, *Water Science & Technology* 48(1):103-110.

Bijlage I Achtergrondinfo SIMDEUM- HW

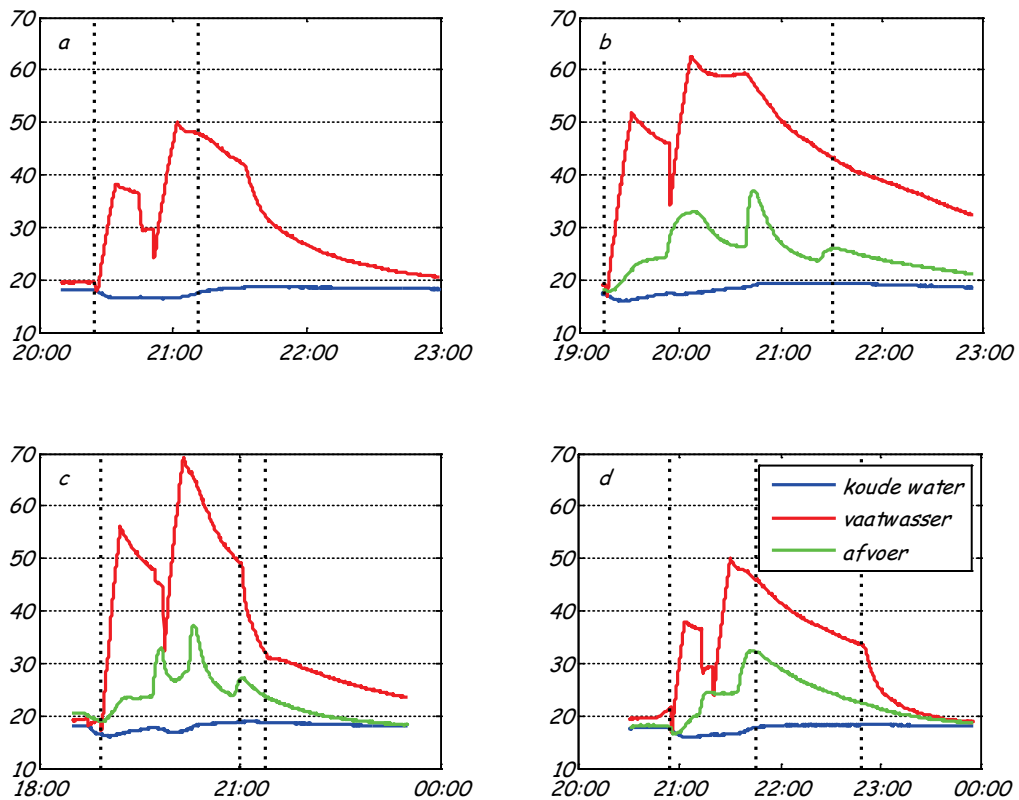
Metingen vaatwasser

In maart 2013 zijn enkele metingen gedaan in een woning aan de temperatuur van het aangevoerde water naar de vaatwasser, de temperatuur in de vaatwasser en de temperatuur van het afgevoerde water. Verschillende programma's met verschillende temperaturen zijn gekozen.

In Figuur I-1 en Figuur I-2 is te zien dat de temperatuur in de afvoer lager is dan de temperatuur in de vaatwasser en redelijk snel ook gelijk is aan de temperatuur van het aangevoerde water; zowel de aan- als afvoerleiding staat onder invloed van de temperatuur van de woning. De temperatuur van de vaatwasser daalt snel na het openen van de deur, en daalt langzamer als de deur gesloten is. De temperatuur van de afvoer daalt even snel als de temperatuur van de vaatwasser. De afvoertemperatuur is maximaal 35 °C en gemiddeld tijdens de afvoer ongeveer 25 °C. Het blijkt dat de temperatuur in de vaatwasser twee maal omhoog gaat; de eerste keer bij het verwarmen van het afwaswater; en de tweede keer voor het drogen van de vaat middels het opwarmen van de vaat met heet water. Tussendoor koelt het af, er wordt mogelijk nog koud water ingenomen. Interessant is dat alleen in figuur Figuur I-2b de ingestelde temperatuur (50 °C) daadwerkelijk gehaald lijkt te worden tijdens de eerste verwarming. Mogelijk kan dit verklaard worden doordat het apparaat zelf ook een warmtecapaciteit heeft en er verliezen optreden naar de omgeving.



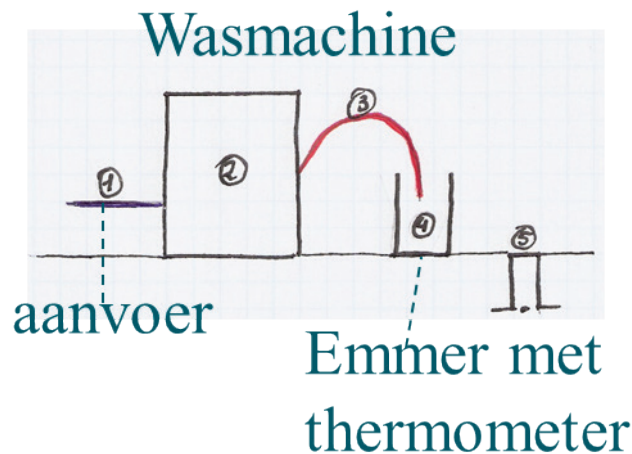
FIGUUR I-1. TEMPERAATUUR VAN HET AANVOERWATER (KOUD), IN DE VAATWASSER EN VAN HET AFGEVOERDE WARME WATER.



FIGUUR I-2. TEMPERATUUR VAN HET AANVOERWATER (KOUD), IN DE VAATWASSER EN VAN HET AFGEVOERDE WARME WATER. A) 20 MAART, 40 °C PROGRAMMA, START EN EINDE PROGRAMMA ZIJN WEERGEGEVEN MET GESTIPPELDE LIJN; B) 21 MAART, 50 °C PROGRAMMA, START EN EINDE PROGRAMMA ZIJN WEERGEGEVEN MET GESTIPPELDE LIJN; C) 22 MAART, 70 °C PROGRAMMA, START, DEUR OPEN EN DEUR DICHT ZIJN WEERGEGEVEN MET GESTIPPELDE LIJN; D) 24 MAART, 40 °C PROGRAMMA, START, EINDE PROGRAMMA EN DEUR OPEN ZIJN WEERGEGEVEN MET GESTIPPELDE LIJN.

Metingen wasmachine

In 2010 heeft Wouter Bosch die destijds een bachelorstage deed bij KWR in zijn studentenhuus de afvoer van de wasmachine gemeten (Figuur I-3, Tabel I-1, Tabel I-2, Figuur I-4). De eerste spoeling (bij het 60 °C programma zijn de eerste en tweede wellicht eigenlijk één spoeling) is te zien dat het water warm opgewarmd is, maar bij de afvoer al kouder dan de verwachte 40 °C en 60 °C; de temperatuur van het water in de overige spoelingen is gelijk aan de drinkwatertemperatuur.



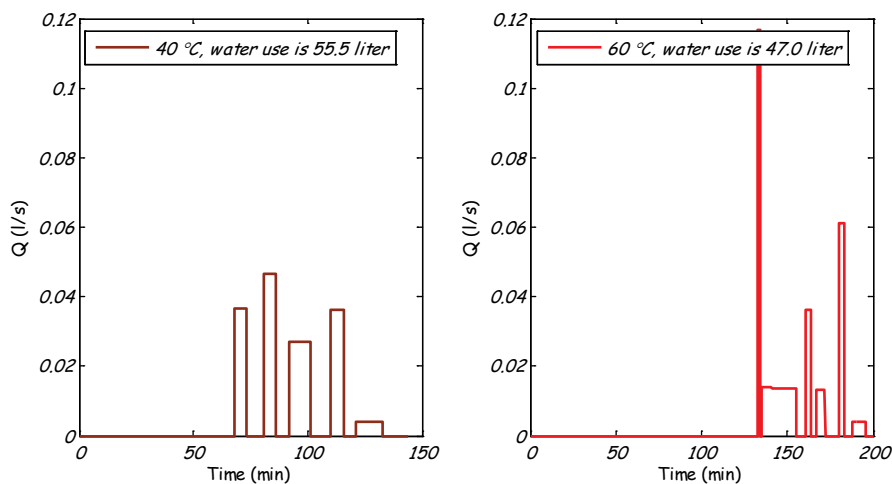
FIGUUR I-3. MEETOPSTELLING TEMPERATUURMETING VAN WASMACHINE.

TABEL I-1. WASMACHINE OP 40 °C PROGRAMMA, TEMPERATUUR GEMETEN BIJ AFVOER.

Start	Verstreken tijd (min)	Duur (min)	Volume (L)	T (°C)
1 ^{ste} spoeling	68	5	11	35.0
2 ^{de} spoeling	81	5	14	23.5
3 ^{de} spoeling	92	9	14.5	20.0
4 ^{de} spoeling	110	6	13	18.0
centrifugeren	121	12	3	18.0
Totaal			55.5	23.3

TABEL I-2. WASMACHINE OP 60 °C PROGRAMMA, TEMPERATUUR GEMETEN BIJ AFVOER.

Start	Verstreken tijd (min)	Duur (min)	Volume (L)	T (°C)
1 ^{ste} spoeling	133	1	7	44.0
2 ^{de} spoeling	135	6	5	44.0
3 ^{de} spoeling	140	14	11.5	27.5
4 ^{de} spoeling	161	3	6.5	22.0
5 ^{de} spoeling	167	5	4	21.5
6 ^{de} spoeling	180	3	11	20.0
centrifugeren	188	8	2	20.0
Totaal			47	28.4



FIGUUR I-4. AFVOERPATROON WASMACHINE.

Literatuur over wasmachine en vaatwasser - temperatuur

Gemiddeld in Europa (op basis van enquêtes in 10 landen, Tabel I-6) wordt de was vooral op 40 en 60 °C gewassen, in Spanje nog vrij veel met koud (onverwarmd) water. Voor Nederland kunnen we wellicht beter kijken naar de Duitse (DU) gewoontes. In SIMDEUM-HW kan dan bijvoorbeeld worden opgegeven dat de gewenste temperatuur aan de tap [40 40 40 60 60] is, zodat in 60% 40 °C wordt gebruikt en in 40% 60 °C.

De vaatwasser wordt niet zozeer op een temperatuur ingesteld, maar op een programma waarbij 22% niet weet welke temperatuur gebruikt wordt; meestal wordt op 50-65 °C gewassen (Tabel I-6). In SIMDEUM-HW kan dan bijvoorbeeld worden opgegeven dat de gewenste temperatuur aan de tap [40 50 50 50 65 65 65 70] is, zodat in 12.5% 40 °C wordt gebruikt, in 37.5% 50 °C, in 37.5% 65 °C en in 12.5% 70 °C.

TABEL I-6. GERAPPORTEERDE INGESTELDE TEMPERATUREN VOOR WASPROGRAMMA'S IN EUROPA (UK, DUITSLAND, ITALIË, FRANKRIJK, SPANJE, POLEN, ZWEDEN, FINLAND, HONGARIJE, TSJECHIË), (STAMMINGER ET AL., 2008)

Temperatuur	Wasmachine (EU)	Wasmachine (DU)	Temperatuur	vaatwasser
Koud	6.6 %	2 %		
30 °C	17.6 %	24 %		
40 °C	36.7 %	32 %	35/45 °C	14.0 %
50 °C	9.5 %	4 %	50/55 °C	36.0 %
60 °C	22.8 %	31 %	65 °C	35.5 %
90 °C	6.8 %	7 %	70 °C	14.5 %
			onbekend	22.2 %

Literatuur over wasmachine en vaatwasser - energieverbruik

In SIMDEUM hebben we over het algemeen een standaardtype wasmachine en vaatwasser gemodelleerd. Voor het waterverbruik was dat voldoende nauwkeurig, maar voor het energieverbruik is dat mogelijk niet zo. In het TNS-Nipo onderzoek naar waterverbruik thuis (in opdracht van Vewin sinds 1992 driejaarlijks herhaald), is men vanwege de enorme hoeveelheid aan types gestrand bij het vinden van verschillende hoeveelheden water- en energieverbruik. Op internet worden wat getallen gegeven van energieverbruik (Tabel I-3, Tabel I-4, Tabel I-5), afhankelijk van leeftijd en energielabel; niet alleen de energie voor opwarmen water (primaire energie + energieverliezen), ook de energie voor het draaien van de trommel (incl. centrifuge) van de wasmachine en het sluipverbruik (stroomverbruik tijdens

stand-by en in uitstand) is in het jaarverbruik opgenomen. Figuur I-5 laat ook zien hoe het energieverbruik tijdens de wascyclus plaatsvindt. Een wasmachine verwarmt 1/3 tot 1/4 van het totale water (Stamminger et al., 2008), een vaatwasser warmt het water op tot de ingestelde temperatuur voor het wasproces en aan het eind tot een hoge temperatuur voor het droogproces (Stamminger et al., 2008).

In SIMDEUM wordt standaard een wasmachine gemodelleerd met 4 momenten van watertoevoer en een totaal van 50 liter waterverbruik. Tabel I-3 laat zien dat de huidige wasmachines met labels A++ en A+++ ietsje minder water verbruiken. In SIMDEUM wordt standaard een vaatwasser gemodelleerd met 4 momenten van watertoevoer en een totaal van 14 liter waterverbruik. Tabel I-3 laat zien dat de huidige vaatwassers met labels A++ en A+++ veel minder water verbruiken.

Om erachter te komen hoeveel energieverbruik van de wasmachine wordt gebruikt voor het opwarmen van het water worden wat berekeningen gedaan. De uitgangspunten bij het energieverbruik van Tabel I-3 zijn niet helemaal helder; op basis van een ander deel van de website lijkt het erop dat ze voor de wasmachine ervan uitgaan dat er 3 wasbeurten per week zijn, met 70% wassen op 60 °C. Als we er vervolgens vanuit gaan dat de overige 30% op 40 °C wordt gewassen en de temperatuur van het koude water 10 °C is en slechts 45/4 liter (de eerste inname van 4 maal, bij een A+ label wasmachine) verwarmd wordt, dan laat een berekening zien dat $3 * 52 * 45/4 * 4.186 \text{ kJ} * 1/3600 \text{ kWh/kJ} * (70\% * (60-10) + 30\% * (40-10)) = 90 \text{ kWh/jaar}$ (primaire energie) nodig is voor het verwarmen van het waswater. Voor het drogen van de was en de elektronica in de wasmachine en de omzetting naar elektrische energie is dus nog 50% (A+++), tot 70% (A++) extra energie nodig. In Tabel I-4 is een vergelijkbare berekening gedaan voor verschillende wasprogramma's - in de eco-stand en voor hand-, wol- en fijnwas wordt minder gecentrifugeerd en dus wordt minder extra energie verbruikt. Het energieverbruik van de wasmachine wordt dan vooral nog bepaald door de energie voor het opwarmen van het water. Voor de andere wasprogramma's komt er 25% tot 90% extra energie bij voor het drogen van de was e.d. We kunnen er wel vanuit gaan dat het eerste water inderdaad wordt opgewarmd tot de ingestelde temperatuur.

Om erachter te komen hoeveel energieverbruik van de vaatwasser wordt gebruikt voor het opwarmen van het water worden wat berekeningen gedaan. De uitgangspunten bij het energieverbruik van Tabel I-3 zijn niet helemaal helder; op basis van een ander deel van de website lijkt het erop dat ze voor de vaatwasser ervan uitgaan dat er 6 wasbeurten per week zijn, met 70% wassen in de eco-stand. Als we er vanuit gaan dat dit betekent dat er dan 6 L (label A++) water wordt verwarmd tot 50 °C en in de overige 30% 10 L (label A++) water wordt verwarmd tot 60 °C en de temperatuur van het koude water 10 °C is en al het water wordt verwarmd (niet alleen de eerste inname), dan laat een berekening zien dat $6 * 52 * 4.186 \text{ kJ} * 1/3600 \text{ kWh/kJ} * (70\% * 6 * (50-10) + 30\% * 10 * (60-10)) = 115 \text{ kWh/jaar}$ nodig is voor het verwarmen van het waswater. Voor de elektronica van de vaatwasser is dus nog 125% (A+++), tot 100% (A++) extra energie nodig. Wanneer niet al het water wordt verwarmd, dan is de verhouding tussen energie voor het verwarmen van het water en het mechanische proces én het droogproces nog ongunstiger. In Tabel I-5 is een vergelijkbare berekening gedaan voor verschillende wasprogramma's. Wanneer we er vanuit gaan dat al het water wordt opgewarmd voor het wassen en 9 liter voor het drogen (gelijk het minimum in Tabel I-5) tot 70 °C (Stamminger et al., 2008) dan zien we dat vrijwel alle energie in het opwarmen van het water zit. Dit lijkt logischer; mogelijk dat de aannames voor Tabel I-3 toch anders zijn.

TABEL I-3. LABEL INFORMATIE VOOR WASMACHINE EN AFWASMACHINE (BRON 1)

[HTTP://AOM.ENERGIEWETER.NL/CATEGORYPAGE.ASPX?CAT=WASHINGMACHINE](http://AOM.ENERGIEWETER.NL/CATEGORYPAGE.ASPX?CAT=WASHINGMACHINE), 2)

[HTTP://WWW.IKKIESDUURZAAM.BE/NL/WASMACHINES](http://WWW.IKKIESDUURZAAM.BE/NL/WASMACHINES), [HTTP://WWW.IKKIESDUURZAAM.BE/NL/VAATWASSERS1](http://WWW.IKKIESDUURZAAM.BE/NL/VAATWASSERS1)).

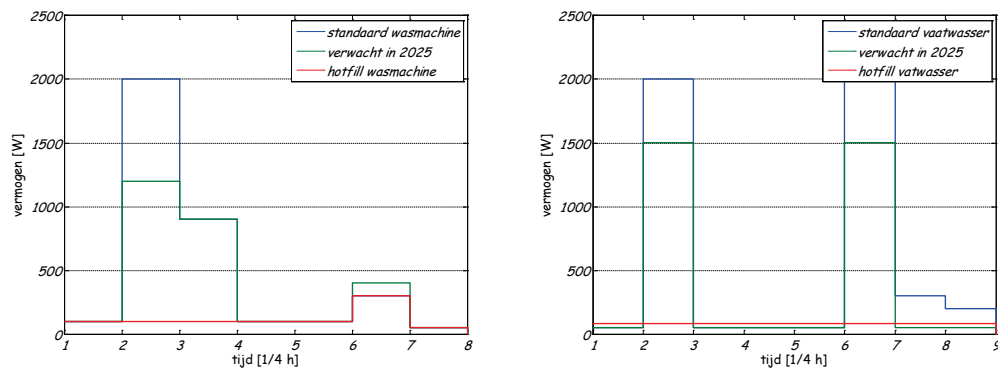
Label	Wasmachine		Afwasmachine	
	KWh/jaar	L/wasbeurt	KWh/jaar	L/afwasbeurt
A+++	132		231	
A++	149	45	259	6 - 10
A+	169		291	
A	195		328	
10-15 jaar oud	216	66.8	448	19.14
15-20	239		543	
>20 jaar	546		658	

TABEL I-4. VOORBEELD ENERGIE- EN WATERVERBRUIK VAN EEN WASMACHINE VOOR VERSCHILLENDE PROGRAMMA'S (ZANUSSI ZWG 3142 - LABEL A - CA. 10 JAAR OUD). DE DRIE RECHTSE KOLOMMEN ZIJN AANNAMES - Δ TEMP BETEKENT OPWARMEN VANAF 15 °C EN Δ V BETEKENT DAT ¼ VAN HET WATER WORDT OPGEWARMD.

Programma	Temp	Belading	Energie	Water	tijd	Δ Temp	Δ V	Energie warm water
	°C	Kg	KWh	l	min	°C	l	kWh
Katoen	95	5	2	53	145	80	13.25	1.23
	60 - Eco	5	0.85	49	135	45	12.25	0.64
	60	5	1.2	49	120	45	12.25	0.64
	40	5	0.55	49	115	25	12.25	0.35
	30	5	0.37	49	110	15	12.25	0.21
Synthetisch	60	2	0.85	52	90	45	13.00	0.68
	40	2	0.4	52	75	25	13.00	0.38
	30	2	0.2	52	65	15	13.00	0.23
Fijnwas	40	2	0.5	52	60	25	13.00	0.38
Handwas	30	1	0.23	53	50	15	13.25	0.23
Wol	30	1	0.23	53	50	15	13.25	0.23
Spoelen	koud	1	0.02	53	40	0	0	0
		5	0.05	52	30			

TABEL I-5. VOORBEELD ENERGIE- EN WATERVERBRUIK VAN EEN VAATWASSER VOOR VERSCHILLENDE PROGRAMMA'S (VA6311LT MERK ATAG - LABEL A+). DE VIJF RECHTSE KOLOMMEN ZIJN AANNAMES - Δ TEMP-1 BETEKENT OPWARMEN VANAF 15 °C EN Δ V-1 BETEKENT DAT AL HET WATER WORDT OPGEWARMD TOT DE GEWENSTE TEMPERATUUR VOOR HET AFWASSEN; Δ TEMP-2 BETEKENT OPWARMEN VANAF 15 °C TOT 70 °C EN Δ V-2 BETEKENT DAT 9 LITER WATER WORDT OPGEWARMD VOOR HET DROGEN.

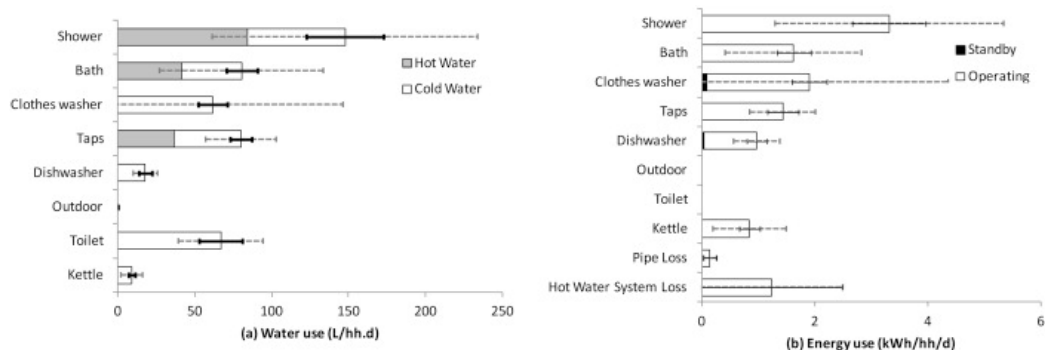
Temp	Tijd	Energie	Water	Δ Temp-1	Δ V-1	Δ Temp-2	Δ V-2	Energie warm water
°C	min	KWh	l	°C	l	°C	l	kWh
70	125	1.85	20	55	20	55	9	1.85
65	110	1.7	20	50	20	55	9	1.73
60	30	1.8	9	45	9	55	9	1.04
50	135	1.05	13.5	35	13.5	55	9	1.12
koud	12	0.01	4	0	0			0



FIGUUR I-5. ENERGIEVERBRUIKSPATRONEN VOOR WASMACHINE (LINKS) EN AFWASMACHINE (RECHTS) (STAMMINGER ET AL., 2008). TOTALE VERBRUIK VOOR DE WASMACHINE IS 0.89 KWH VOOR HUIDIGE STANDAARD, 0.71 KWH VERWACHTING IN 2025 EN 0.12 KWH VOOR HOTFILL WASMACHINE. TOTALE VERBRUIK VOOR DE VAATWASSER IS 1.19 KWH VOOR HUIDIGE STANDAARD, 0.83 KWH VERWACHTING IN 2025 EN 0.16 KWH VOOR HOTFILL VAATWASSER.

Literatuur over totaal watergerelateerd energieverbruik

Figuur I-6 laat zien wat het energieverbruik in Australië is voor het verwarmen van water voor douche, bad, wasmachine, kranen, vaatwasser, maar ook voor koken van thee water en energieverlies in warmwatersysteem en leidingen. Omdat ook het waterverbruik erbij staat, zijn deze getallen wel naar Nederland te vertalen. Te zien is dat het grootste energieverbruik voor douche en wasmachine is. Volgens Tabel I-3 is in Nederland echter het jaarverbruik voor de vaatwasser hoger dan voor de wasmachine.



FIGUUR I-6. TOTAAL ENERGIEVERBRUIK, RESULTATEN VOOR AUSTRALIË (AGUDELO-VERA AND BLOKKER, 2013)

Warmteverliezen

In 2010 heeft Wouter Bosch ook enkele metingen gedaan aan warmteverliezen (Tabel I-7). Alle temperaturen zijn (waarschijnlijk) gemeten na doorstroming. Er is behoorlijk wat warmteverlies over de leiding van de ketel naar de douchekop. Dit betekent dat er relatief veel meer warm water bijgemengd moet worden om tot de gewenste 39,5 °C te komen. De temperatuur van het water dat het doucheputje instroomt is 4 °C afgekoeld.

TABEL I-7. TEMPERATUURMETINGEN IN EEN STUDENTENWONING.

Meetpunt	Opmerking	T (°C)	Q (L/s)
Kamertemperatuur		21,0	
Koud water	Ø 15 mm koperen buis, niet geïsoleerd	16,0	
Warm water uit de ketel		61,0	
Warm water in de douchekop	3,4 m Ø 12 mm koperen buis, niet geïsoleerd	50,0	
Gemengde temperatuur douchekop		39,5	0,1047
Temperatuur in de afvoer	ca. 2 m hoogteverschil	35,5	

Temperatuurverliezen kunnen ook worden gemodelleerd. Het temperatuurverschil T_4 dat optreedt over de leiding tussen warmtapwaterbereider en tappunt wordt veroorzaakt door energieverliezen als gevolg van het temperatuurverschil over de leidingwand. Deze energieverliezen worden voornamelijk bepaald door:

- het temperatuurverschil met de omgeving van de leiding;
- de diameter van de leiding;
- de stromingscondities in de leiding;
- de mogelijke aanwezigheid van isolatie;
- de thermische weerstand aan de buitenkant van de buis; deze wordt bepaald door de stromingscondities (vrije of gedwongen convectie) van de lucht rondom de buis en de geometrie van de buis.

Met een vereenvoudigd model zijn vervolgens enkele berekeningen gedaan om het temperatuurverlies bij de douchekraan te bepalen. In deze berekeningen zijn de aannamen gedaan uit onderstaande tabel.

TABEL I-8. AANNAMES VOOR TEMPERATUURMODEL IN EEN STANDAARDWONING.

Parameter	Waarde
Omgevingstemperatuur	20 °C
Uitgaande temperatuur warmtapwaterbereider	65 °C
Lengte tot tappunt (douche)	15 m (4 m verticaal, 11 m horizontaal)
Lengte tot tappunt (keuken)	40 m (8 m verticaal, 32 m horizontaal)
Buisdiameter	20 mm (verticaal), 10 mm (horizontaal)
Stroomsnelheid	0,25 m/s (verticaal), 0,5 (horizontaal)
Wanddikte buis	10% diameter
Thermische geleidbaarheid buis (koper)	403 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Thermische geleidbaarheid buis (PE)	0.43 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Buisisolatie	Geen isolatie rondom de buis

De omgeving van de buis kan op meerdere manieren worden gemodelleerd. Er kan sprake zijn van (vrije) convectie waardoor lucht langs de leiding stroomt of er kan zich stilstaande lucht rond de leiding bevinden (bijv. wanneer leidingen in de wand gemonteerd zijn). Voor beide situaties is het verlies langs de leiding berekend voor de standaard situatie zoals beschreven in Tabel I-9. Bij convectie is aangenomen dat de luchtstroom zich maximaal over een lengte van 1 m kan ontwikkelen. Bij de berekening met stilstaande lucht is uitgegaan van een luchtlaagje met een dikte van 2 mm. Deze berekening resulteert in de volgende temperaturen en verliezen bij de douchekraan:

TABEL I-9. TEMPERATUURBEREKENINGEN IN EEN STANDAARDWONING.

Omstandigheid	Parameter	Waarde bij vrije convectie	Waarde bij stilstaande lucht
Douche, koperen leidingen	Temperatuur bij tappunt (T)	57 °C	63 °C
	Temperatuurverlies (ΔT)	8 °C	2 °C
Douche, PE leidingen	Temperatuur bij tappunt (T)	59 °C	63 °C
	Temperatuurverlies (ΔT)	6 °C	2 °C
Keuken, koperen leidingen	Temperatuur bij tappunt (T)	49 °C	61 °C
	Temperatuurverlies (ΔT)	16 °C	4 °C
Keuken, PE leidingen	Temperatuur bij tappunt (T)	55 °C	61 °C
	Temperatuurverlies (ΔT)	10 °C	4 °C

Deze vereenvoudigde berekeningen zijn vergeleken met geavanceerdere berekeningen uitgevoerd met een hydraulisch model van een woninginstallatie (Moerman et al., 2014). Deze berekeningen geven vergelijkbare verliezen (resp. 9 en 2°C). Voor de keukenkraan lijken verliezen op te treden die ongeveer twee keer zo groot zijn als de verliezen bij de douchekraan (Tabel I-9). Op basis van vergelijking tussen Tabel I-9 en de praktijkmetingen uit Tabel I-7 blijkt de aanname van vrije convectie rondom de leiding de temperatuur beter te voorspellen dan onder aanname van stilstaande lucht rondom de leiding.

Rendement

SIMDEUM-HW houdt geen rekening met het rendement van warmtapwaterbereiders (centraal en decentraal), maar berekent alleen de primaire energiebehoefte (in kJ). De reden is dat anders teveel informatie mee moet worden gegeven, en afhankelijk is van bijvoorbeeld het type boiler en wijze van opwekken van elektrische energie. Met de uitkomsten van SIMDEUM-HW kan wel een analyse worden gedaan waarbij wel rekening wordt gehouden met de rendementen. Als referentie is Tabel I-10 opgenomen met enkele typische waardes. Voor tapwater is het rendement vrij laag.

TABEL I-10. RENDEMENTEN VOOR VERSCHILLENDE WARMWATER TOESTELLEN

([HTTP://WWW.RIGO.NL/PORTALS/0/BESPARINGSGETALLEN-02-05-2012.PDF](http://www.rigo.nl/portals/0/besparingsgetallen-02-05-2012.pdf)).

Rendementen op bovenwaarde uit ISO 82.3

	Tapwater*	Ruimteverwarming
CR-combitap	42%	75%
VR-combitap	54%	85%
HR-combiketel	59%	95%
HR-combiketel met HR-WW-label	67,5%	95%
CR-solo	n.v.t.	75%
VR-solo	n.v.t.	85%
HR-solo	n.v.t.	95%
VR met keukengeiser	53%	85%
VR met badgeiser	56%	85%
VR met gasboiler	44%	85%
HR met badgeiser	56%	95%
HR met gasboiler	44%	95%

* Overall rendement tapwater inclusief waakvlam en stilstandsverliezen

Bijlage II SIMDEUM-WW code

Afvoerpatronen worden in een aparte *class* opgeslagen. Deze bestaat uit een naam, drie kentallen voor de tijd (namelijk *time_first*, *time_step*, *time_last* in seconden na middernacht) waarmee een tijdreeks kan worden opgebouwd. De bijbehorende volumestroom van het water (koud en warm) en van het warme water worden als *sparse matrices* (matrices waaruit de nullen zijn verwijderd) opgeslagen. Daaraan wordt de temperatuur nog toegevoegd als een *sparse matrix* en ook de nutriënten.

TABEL II-1 STRUCTUUR VAN EEN FLOWPATTERN_SIMDEUM-WW OBJECT.

fieldname		class of fields	beschrijving
flowPattern	name	char	naam
	time_first	double	starttijd (sec)
	time_step	double	tijdbasis [1 sec]
	time_last	double	eindtijd (sec)
	flowArray	double (sparse)	volumestroom over de tijd [time_first:time_step:time_last] in l/s
	hotFlowArray	double (sparse)	volumestroom warm water over de tijd [time_first:time_step:time_last] in l/s
temperatureArray		double (sparse)	temperatuur over de tijd [time_first:time_step:time_last] in °C
nutrients	Name	char	naam
	Type	Char	N / P/ COD/ BOD5
	nutrientLoad	double (sparse)	concentratie over de tijd [time_first:time_step:time_last] in mg/l

Zie verder §1.6.7 in BTO 2006.011 (Blokker, 2006a).