



## **Inzicht in efficiëntie van warmtapwaterbereiding voor diversiteit aan huishoudens**

*Andreas Moerman, Mirjam Blokker (KWR Watercycle Research Institute), Eric van der Blom (UNETO-VNI), Irene van Veelen (ISSO)*

**Aan het einde van de twintigste eeuw werd het energieverbruik van huishoudens voornamelijk bepaald door de verwarming van het huis. Door betere isolatie van (nieuwbouw)woningen neemt het relatieve aandeel van energie voor warm kraanwater (warmtapwaterbereiding) toe. Het belang van efficiënte warmtapwaterbereiding wordt daarom steeds groter. Hiervoor is kennis nodig over het waterverbruik en de wijze van warmtapwaterbereiding. Door uitkomsten van watervraag-simulaties (SIMDEUM®) te gebruiken bij de berekening van de energieprestatiecoëfficiënt ontstaat een reëel beeld van de benodigde energie, voor een grote variatie aan huishoudens. Consumenten krijgen zo inzicht in hun kosten, en er kunnen efficiëntere installaties ontworpen worden.**

Aandacht voor de warmtapwaterbereiding is geen overbodige luxe. Uit eerdere studies blijkt namelijk dat het tegenvallende elektriciteitsverbruik bij energieneutrale woningen voornamelijk veroorzaakt wordt door inefficiënte bereiding van warm tapwater [1]. Door de betere isolatie van woningen neemt het relatieve aandeel van warm tapwater op het totale energieverbruik toe [2]. In zogenaamde passiehuizen (zo min mogelijk warmteverlies, zo veel mogelijk passief verwarmen) is dit effect groot en wordt de energievraag voor warmte zelfs voornamelijk bepaald door de bereiding van warm tapwater. Kennis van de warmtapwatervraag en het bijbehorende energieverbruik is dan ook noodzakelijk om verschillende warmtapwaterbereiders te kunnen evalueren.

Dit artikel laat zien hoe met het simulatiemodel SIMDEUM®, uitgebreid met een energiemodule (hot water, HW), voor verschillende typen huishoudens de meest efficiënte warmtapwaterbereider gekozen (en ontworpen) kan worden.

### **Huishoudens verschillen**

Met SIMDEUM® kan voor elke huishoudelijke situatie (eenpersoons, gezin, met of zonder bad of waterbesparende douche) de verwachte warmtapwatervraag berekend worden. Doordat SIMDEUM® een stochastisch model is, wordt daarbij rekening gehouden met de natuurlijke variatie die aanwezig is in het warmtapwaterverbruik; de één doucht nu eenmaal langer dan de ander.

### **Finale energie per tappunt**

In het project *Efficiënte Bereiding Warm Tapwater* [3] is SIMDEUM® uitgebreid met een energiemodule (HW; HotWater). Deze module stelt SIMDEUM® in staat om niet alleen de warmwatervraag te berekenen, maar ook de benodigde energie hiervoor. Dit is de zogenaamde 'finale energie', de energie die theoretisch nodig is om het tapwater op te warmen tot de gewenste temperatuur en de warmteverliezen tussen warmtapwaterbereider en tappunt te overbruggen. De finale energie wordt per tappunt berekend op basis van

1. de gewenste warmwatertemperatuur aan de kraan,
2. de temperatuur van het water uit het leidingnet (seizoensafhankelijk),
3. de warmteverliezen over de leidingen in huis [4] en
4. de aan- of afwezigheid van een douche-warmteterugwinning (DWTW).

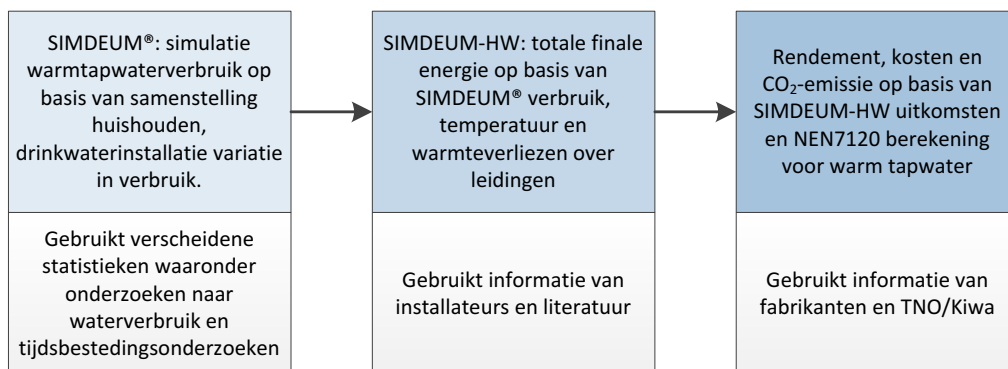
In het onderzoek zijn praktijksituaties gesimuleerd om te onderzoeken in welke mate de verschillende parameters in SIMDEUM(-HW) invloed hebben op de energievraag. De situaties verschillen in:

- samenstelling huishouden: 1-2 personen of 3-4 personen. Hierbij is gebruik gemaakt van standaard huishoudens zoals gedefinieerd in eerder onderzoek [5].
- type drinkwaterinstallatie: standaard, plus, luxe (conform ISSO Publicatie 30; zie ook [5]).
- temperatuur waarmee het water de woning binnenkomt. Hiervoor zijn kentallen gebruikt voor verschillende seizoenen die gedefinieerd zijn op basis van eerder onderzoek [6]: 10 °C in de winter, 20 °C in de zomer, 15 °C in voor- en najaar.
- gewenste temperatuur aan de tap: 55 °C of 65 °C.
- gebruik van een douche-warmterugwinning (DWTW).

Door variatie op de bovengenoemde parameters ontstaan 72 scenario's waarvoor SIMDEUM-HW de finale energie per dag berekend heeft. In werkelijkheid zijn er nog veel meer scenario's denkbaar. Met SIMDEUM-HW kan voor elke denkbare woonsituatie het te verwachten finaal energieverbruik berekend worden.

### Primaire energie, kosten en CO<sub>2</sub>-emissie

Met SIMDEUM-HW kan voor elke type huishouden de hoeveelheid energie bepaald worden die theoretisch nodig is om het drinkwater op te warmen tot de gewenste temperatuur aan de kraan (zogenaamde totale (alle tappunten) finale energie). Om alle energie te berekenen die nodig is voor warmtapwaterbereiding moet ook het rendement van warmtapwaterbereiding en energieopwekking meegenomen worden. Het resultaat hiervan is de primaire energie. Adviesbureau Ecofys heeft de primaire energie berekend op basis van de NEN 7120 [7], de gegevens uit SIMDEUM-HW en kwaliteitsverklaringen van warmtapwaterbereiders (Afbeelding 1).



**Afbeelding 1. Modelopzet voor berekening van ketenrendement, jaarlijkse kosten en jaarlijkse CO<sub>2</sub> emissie**

### Begrippenlijstje

- **finale energie**, ook wel ‘energievraag’: energie die nodig is om het drinkwater op te warmen naar de gewenste temperatuur aan de tap, incl. warmteverlies over de leiding (het rendement van opwarming is hierin niet meegenomen); de totale finale energie is de finale energie van alle tappunten samen.
- **primaire energie**: alle energie die nodig is voor het opwarmen van drinkwater (warmtapwaterbereiding) op basis van de totale finale energie en het ketenrendement.
- **ketenrendement**: rendement van warmtapwaterbereiding met daarin meegenomen het rendement van energieopwekking.
- **warmtapwaterbereider**, ook wel warmtapwatertoestel: toestel of serie van toestellen, waarmee warmtapwater wordt bereid of kan worden bereid door het opwarmen van drinkwater [8].
- **COP (Coefficient Of Performance)**: maat voor prestatie van een warmtepomp: verhouding tussen de afgegeven energie (bruikbare warmte) en de energie (arbeid) die nodig is om deze warmte te verplaatsen.
- **drinkwaterinstallatie**: installatie voor afname van drinkwater uit het drinkwaterleidingnet, bestaande uit leidingen, fittingen, toestel(len) voor warmtapwaterbereiding en tappunten (douche, toilet, etc.).

### Verschillende warmtapwaterbereiders

In het onderzoek *Efficiënte Bereiding Warm Tapwater* zijn alleen warmtapwaterbereiders voor individuele huishoudens beschouwd (tabel 1). Collectieve systemen zoals collectieve warmtepompen zijn niet meegenomen. Combiwarmtepompen zijn allemaal elektrisch maar gebruiken verschillende typen warmtebron. Elke warmtebron heeft een andere gemiddelde temperatuur, waardoor de combiwarmtepomp een andere COP (Coefficient of Performance) heeft. Hoe kleiner het temperatuurverschil tussen de warmtebron en de gewenste warmtapwatertemperatuur, hoe hoger de COP. Voor alle warmtepompen is uitgegaan van een groot voorraadvat, gezien de behoefte aan continue productie van warmte in verband met een relatief klein vermogen. Voor de combi-cv-ketel op gas zijn twee varianten geschetst; in de ene variant wordt een deel van de warmte geleverd door zonnecollectoren of energiedaken, in de andere variant voorziet een *hotfill close-in* boiler in de keuken in een deel van de warmtapwatervraag. Voor geisers en boilers wordt een onderscheid gemaakt tussen gasgestookte en elektrische toestellen. Vervolgens wordt voor boilers een onderscheid gemaakt tussen apparaten met een klein of een groot voorraadvat. Tot slot is de HR-e-ketel of micro-WKK meegenomen, met een groot voorraadvat om de vrijkomende warmte bij elektriciteitsproductie op een geschikt moment te kunnen gebruiken.

**Tabel 1. Systemen voor warmtapwaterbereiding die in het onderzoek in beschouwing zijn genomen**  
(WP=warmtepomp, gr=groot, kl=klein, E=electriciteit, G=gas)

Type	Grootte opslagvat	Reductie gebruik door duurzame bronnen	Brandstof	Warmtebron
Combi-WP (WP-lucht)	Groot	0%	E	Buitenlucht
Combi-WP (WP-vent)	Groot	0%	E	Ventilatielucht
Combi-WP (WP-bodem)	Groot	0%	E	Gesloten bron (bodem, verticaal)
Combi-WP (WP-bron-re)	Groot	0%	E	Open bron (grondwater, recirculatie)
Combi-WP (WP-grond-WKO)	Groot	0%	E	Open bron (grondwater, WKO)
Combi-WP (WP-SV)	Groot	0%	E	Stadsverwarming
Combi-WP (WP-rest)	Groot	0%	E	Restwarmte
Combi-CV (CV)	-	0%	G	Niet van toepassing
Combi-CV met Zonnecollectoren / energiedaken (CV-zon)	Groot	50%	G	Niet van toepassing
Combi-CV met close-in boiler bij keukenkraan (CV-close-in)	Klein	0%	G	Niet van toepassing
Geiser (Geiser-gas)	-	0%	G	Niet van toepassing
Geiser (Geiser-elek)	-	0%	E	Niet van toepassing
Boiler (Boiler-gr-gas)	Groot	0%	G	Niet van toepassing
Boiler (Boiler-gr-elek)	Groot	0%	E	Niet van toepassing
Boiler (Boiler-kl-gas)	Klein	0%	G	Niet van toepassing
Boiler (Boiler-kl-elek)	Klein	0%	E	Niet van toepassing
HRe combiketel (HRe)	Groot	0%	G	Niet van toepassing

### Bepaling rendement van opwarming

Voor de berekening van het rendement van opwarming is gekeken naar vier stappen in de keten:

- S1 warmteoverdracht (de feitelijke verwarming van het tapwater),
- S2 opstartverliezen,
- S3 voorraadverliezen en
- S4 elektrische hulpenergie; energie die gebruikt wordt voor het functioneren van de warmtapwaterbereider (niet zijnde S1-S3).

In de praktijk hoort hier de eventuele periodieke opwarming voor legionellapreventie bij. In dit onderzoek is aangenomen dat de bijdrage van de periodieke opwarming niet significant is. De energie voor het laten branden van een waakvlam is automatisch buiten beschouwing gelaten doordat voor gasgeisers en gasgestookte cv-ketels recente kwaliteitsverklaringen zijn gebruikt van toestellen die een elektronische ontsteking hebben.

Voor het rendement van de warmteoverdracht (S1) zijn de waarden uit kwaliteitsverklaringen van warmtapwaterbereiders van de grote merken gebruikt. Hierbij is een groot aantal modellen bekeken en vervolgens een gemiddelde waarde aangenomen.

Bij combiketels en geisers is er sprake van een opstartverlies (S2) bij iedere tapping, waarbij het even duurt voordat het water op de gewenste temperatuur uit de bereider komt. Voor het berekenen van de opstartverliezen is het gesimuleerde aantal tappings uit SIMDEUM-HW vermenigvuldigd met een



gemiddeld energieverlies per tapping: 150 kJ/tapping voor combiketels en 340 kJ/tapping voor geisers. Deze waarden zijn vastgesteld op basis van de effectieve wachttijden van gemiddelde modellen van de grote leveranciers. De wachttijd tot het water met de gewenste temperatuur uit de kraan komt is niet expliciet meegenomen.

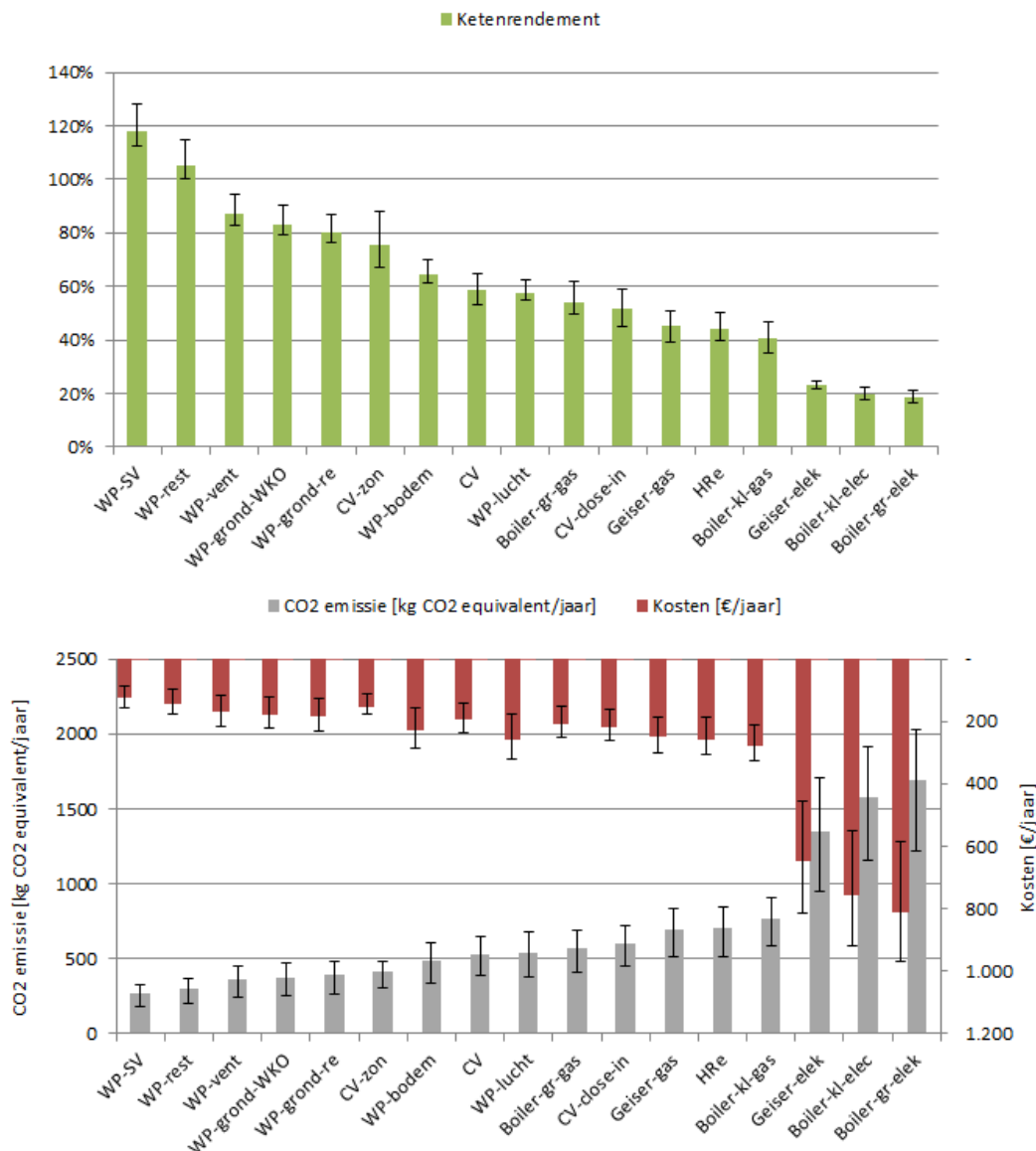
Op basis van de inhoud van de typische voorraadvaten van grote leveranciers is een functie opgesteld voor het bepalen van het voorraadverlies (S3).

De elektrische hulpenergie (S4) maakt in de NEN 7120 deel uit van gerapporteerde waarden voor rendementen van warmteoverdracht (S1). Voor de berekening van het ketenrendement wordt ook het rendement meegenomen waarmee de elektrische energie opgewekt wordt. De NEN 7120 gaat hiervoor uit van een rendement van 39%. Dit is niet doorberekend in kosten en CO<sub>2</sub>-emissie omdat het rendement van electriciteitsopwekking niet voor rekening van de gebruiker komt.

#### **Voorbeeld modelresultaat klein huishouden**

Uit het berekende ketenrendement kan de primaire energie berekend worden. Op basis hiervan kunnen jaarlijkse kosten en CO<sub>2</sub>-emissie bepaald worden. Hiervoor wordt uitgegaan van gemiddelde consumenten prijzen: 0,23 €/kWh voor elektriciteit en 0,65 €/m<sup>3</sup> voor gas (prijspeil 2014/2015). Voor de CO<sub>2</sub>-emissie is uitgegaan van 131 g CO<sub>2</sub>/MJ voor elektriciteit en 51 g CO<sub>2</sub>/MJ voor gas. Voor een huishouden van 1-2 personen met een standaard drinkwaterinstallatie leidt dit tot de resultaten zoals weergegeven in afbeelding 2. De bandbreedte geeft de variatie aan tussen zuinige en niet-zuinige gebruikers. Een zuinige verbruiker maakt bijvoorbeeld gebruik van een waterbesparende douchekop en doucht niet lang. Vergelijkbare plaatjes zijn gemaakt voor huishoudens van 3-4 personen met een standaard, plus of luxe drinkwaterinstallatie met en zonder douchwarmteterugwinning.

In de afbeelding (afbeelding 2) is te zien dat voor een huishouden van 1-2 personen met een standaard drinkwaterinstallatie een combiwarmtepomp met stadsverwarming of restwarmte als bron het hoogste ketenrendement levert. Afbeelding 2 laat ook zien dat de jaarlijkse (financiële) besparing van een dergelijke warmtepomp ten opzichte van een reguliere combi-cv relatief klein is, namelijk maximaal ongeveer 70 euro. Wanneer, door toenemende decentrale opwekking, de elektriciteitsprijzen dalen zal deze besparing hoger worden, omdat uitgegaan wordt van elektrisch aangedreven combiwarmtepompen. Dat elektrisch gestookte boilers en geisers het qua ketenrendement relatief slecht doen ten opzichte van de gasgestookte boilers en geisers wordt voornamelijk veroorzaakt doordat voor elektrisch aangedreven warmtapwaterbereiders een opwekkingsrendement van 39% meegenomen is. Dit heeft ook gevolgen voor het ketenrendement van de elektrisch aangedreven warmtepompen. Bij opwekking van elektriciteit door bijvoorbeeld zonnepanelen wordt het ketenrendement van alle elektrisch aangedreven warmtapwaterbereiders dan ook beduidend beter.



**Afbeelding 2. Totaal ketenrendement (groen), jaarlijkse kosten (rood) en jaarlijkse CO<sub>2</sub>-emissie (grijs) voor een huishouden van 1-2 personen met een standaard drinkwaterinstallatie. De warmtapwaterbereiders hebben een comfortklasse (CW, capaciteit/minuut) die zoveel mogelijk aansluit bij de gemiddelde warmtapwatervraag. Voor doorstroomtoestellen (geisers) is overal uitgegaan van CW-4. De bandbreedte geeft het 25-75 percentiel weer.**

WP=warmtepomp; SV=stadsverwarming; rest=restwarmte; vent=ventilatielucht; re=recirculatie; gr=groot; kl=klein; e/elec/elek=elektrisch

### Effect tapwatertemperatuur

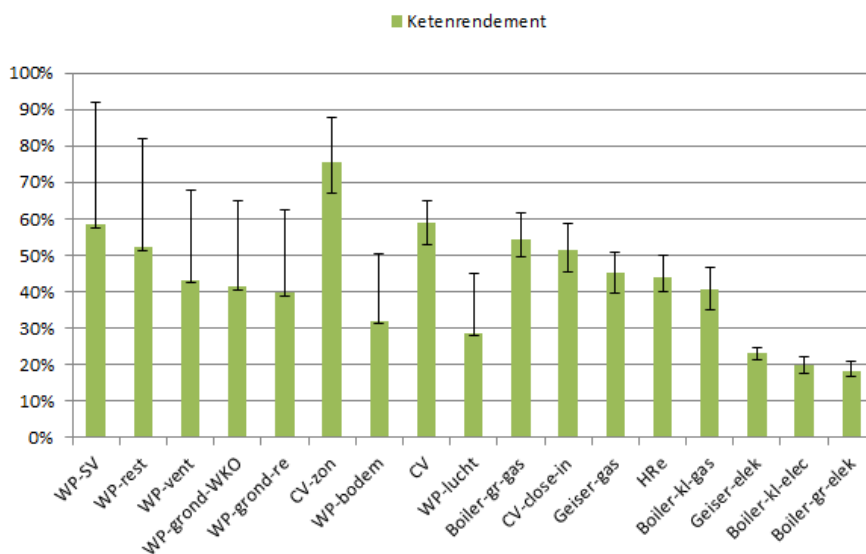
Uit scenarioberekeningen met een warmtapwatertemperatuur van 65 °C aan de tap in plaats van 55 °C, blijkt dat dit vooral gevolgen heeft voor het ketenrendement van warmtepompen. Doordat de COP lager wordt neemt ook het ketenrendement af waardoor gebruikers enkele tientallen euro's per jaar meer kwijt zijn.

### Effect douchewarmteterugwinning

Het gebruik van douchewarmteterugwinnig (DWTW) heeft, wat betreft het ketenrendement, geen gevolgen voor een gemiddelde gebruiker, maar wel voor niet-zuinige gebruikers. Dit komt doordat het warmwaterverbruik voornamelijk bepaald wordt door de doucheduur. Door gebruik van een DWTW neemt de energievraag aan de warmtapwaterbereider af, wat bij warmtepompen tot lagere ketenrendementen leidt. Praktijkmetingen door adviesbureau DWA laten dit ook zien [9]. Hoewel het ketenrendement bij gebruik van een DWTW in een aantal gevallen lager is, leidt het gebruik van een DWTW over het algemeen wel tot kostenbesparing en vermindering van de CO<sub>2</sub>-emissie doordat de finale energievraag lager is. De combinatie van het type gebruiker en het type warmtapwaterbereider lijkt bepalend te zijn voor de mate waarin het installeren van een DWTW besparing oplevert.

### Effect comfortklasse

Voor warmtepompen speelt ook de keuze voor een comfortklasse (CW) een belangrijke rol. Er zijn zes comfortklassen, waarbij CW-1 de kleinste capaciteit heeft en CW-6 de grootste. Een warmtepomp met CW-4 kan bij huishoudens van 1-2 personen leiden tot een relatief laag ketenrendement en dus relatief hoge kosten en CO<sub>2</sub>-emissie (afbeelding 3). Dit heeft ook als consequentie dat het bij een CW-4-warmtepomp in een klein huishouden weinig lonend is om zuinig te zijn met warm tapwater, omdat de kosten in dat geval zelfs hoger kunnen zijn dan bij gemiddeld warmtapwaterverbruik. Of het installeren van een lagere CW-klasse zinvol is, hangt af van de gebruiker en van de mate van gelijktijdig gebruik van warmtapwater voor bijvoorbeeld keukenkraan en douche. Dit kan gecontroleerd worden met het door SIMDEUM berekende maximaal momentane volume (MMV), dat door SIMDEUM-HW omgezet wordt naar een maximaal vermogen. Ook wat betreft gelijktijdigheid (op meerdere tappunten tegelijk warm water tappen) biedt SIMDEUM®, middels het gesimuleerde MMV, een realistischer beeld dan de conventionele methodieken zoals de qVn-methode.



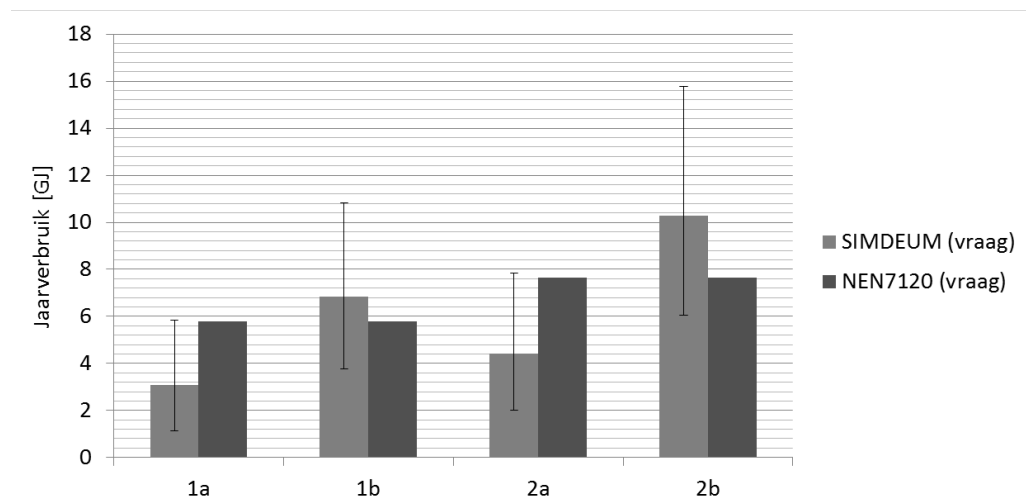
Afbeelding 3. Totaal ketenredement voor een huishouden van 1-2 personen met een standaard drinkwaterinstallatie. De warmtapwaterbereiders zijn niet aangepast aan de warmwatervraag, maar hebben een comfortklasse CW-4. De bandbreedte geeft het 25-75 percentiel weer.

### Vergelijking uitkomsten SIMDEUM® en NEN 7120-berekening

Op 30 september 2016 heeft de TVVL expertgroep Sanitaire Techniek haar jaarlijkse Innovatiegroep bijeenkomst gehouden. Tijdens deze bijeenkomst zijn uitkomsten van de NEN 7120-berekening (ook wel 'EPC-berekening') en SIMDEUM-HW vergeleken voor een aantal scenario's (afbeelding 4):

- 1a: éénpersoonshuishouden, appartement, senior, installatie met bad (standaard plus);
- 1b: tweepersoonshuishouden, appartement, tweeverdieners (25 jaar), installatie met bad (standaard plus);
- 2a: tweepersoonshuishouden, tussenwoning, senioren, installatie zonder bad (standaard);
- 2b: meerpersoonshuishouden, tussenwoning, gezin met drie oudere kinderen, installatie zonder bad (standaard).

De vergelijking is gemaakt op basis van de totale finale energievraag en niet op basis van de primaire energie. Hierdoor kunnen verschillen in uitkomsten niet veroorzaakt worden door verschillende aannames voor het rendement van warmtapwaterbereiding.



**Afbeelding 4. Uitkomsten berekening (totale finale) energievraag voor vier typen huishoudens, met SIMDEUM-HW en volgens NEN 7120 ('EPC')**

*De bandbreedte geeft het 10-90 percentiel weer.*

Afbeelding 4 laat zien dat de berekening met de NEN 7120 niets zegt over de variatie in daadwerkelijk energieverbruik. De uitkomsten van de berekening met NEN 7120 zijn voor kleine huishoudens van senioren (1a) en tweepersoonshuishoudens van senioren (2a) met een installatie zonder bad ongeveer gelijk aan de 90-percentielwaarde die met SIMDEUM berekend is. Bij huishoudens met tweeverdieners (1b) en meerpersoonshuishoudens (2b) leidt de berekening met de NEN 7120 voor bepaalde huishoudens tot een onderschatting van het energieverbruik.

### Toegenomen gevoeligheid van systemen is belangrijk punt

Eerder is al opgemerkt dat uit eerdere studies blijkt dat het tegenvallende elektriciteitsverbruik bij energieneutrale woningen voornamelijk veroorzaakt wordt door inefficiënte bereiding van warm tapwater [1]. Mogelijk is dit te verklaren doordat er in de praktijk nauwelijks aandacht wordt besteed





aan het ontwerp van de warmtapwaterbereiding [10]. Ook wordt niet of nauwelijks gekeken naar de gevoeligheid van het ontwerp voor gebruikersgedrag en samenstelling van huishoudens. Hierdoor kan een in principe goede installatie toch onverwachte resultaten opleveren bij 'afwijkend' gedrag. Dit risico is vooral aanwezig bij warmtepompen.

Het volgende voorbeeld illustreert dit. Een huishouden heeft een combiwarmtepomp met een bepaalde COP. Het warme tapwater wordt opgeslagen in een buffervat. Neemt nu het gebruik toe, door bijvoorbeeld gezinsuitbreiding of onzuinig gedrag, dan kan de warmtepomp de energievraag mogelijk niet meer aan en wordt er een elektrisch element ingeschakeld. Hierdoor kan de energierekening veel hoger uitvallen dan de consument verwacht op basis van het concept 'nul-op-de-meter'.

Een installatie-ontwerper zou daarom moeten kijken naar de gevoeligheid van het ontwerp voor gebruikersgedrag op de aspecten comfort (gelijktijdigheid, wachttijd) en energieverbruik. In voorspellingen van het energieverbruik kan met een bandbreedte worden gewerkt, waardoor verwachtingen realistischer worden. Ten aanzien van comfort kan bijvoorbeeld duidelijk aangegeven worden hoeveel of hoelang men kan douchen.

### **Conclusies**

Het project *Efficiënte bereiding warm tapwater* laat zien dat het gebruik van SIMDEUM® als input voor een NEN 7120-berekening genuanceerdere resultaten geeft dan de huidige methode, die gebaseerd is op het gebouwoppervlak. Het gebruik van SIMDEUM® is van belang om consumenten, projectontwikkelaars en woningcorporaties een beeld te kunnen geven welke kosten te verwachten zijn bij welk soort gebruik. Dit is van belang om juiste voorspellingen te kunnen doen bij het energiezuinig bouwen of renoveren van woningen. Hierbij spelen de samenstelling van het huishouden, de drinkwaterinstallatie (het al dan niet gebruik van bijvoorbeeld regendouches) en het gedrag van de consument een rol.

Zo blijkt dat een lager warmtapwaterverbruik bij warmtepompen niet altijd zal leiden tot een lager gebruik van primaire energie, omdat het rendement van warmtapwaterbereiding dan kan afnemen. Daardoor kunnen verwachte besparingen tegenvallen. Andersom kan een hoger energieverbruik bij warmtepompen leiden tot een onevenredige afname van de COP doordat de warmtepomp overschakelt naar een programma waarbij elektrisch bijverwarmd wordt. Beide situaties houden verband met het feit dat de COP van warmtepompen sterk afhankelijk is van de warmtapwatervraag. Om deze reden is het vooral bij warmtepompen van belang om een realistisch beeld te hebben van de vraag.

Het uitsluitend focussen op gemiddelde of maximale verbruiken (zoals nu in de NEN 7120 gebeurt) zal in de toekomst vaker leiden tot niet ingeloste verwachtingen over energieverbruik. Dit is in het bijzonder een probleem voor warmtapwaterbereiding vanwege het nog steeds toenemende aandeel in het totale energieverbruik. Kennis van de warmtapwatervraag en het bijbehorende energieverbruik is dan ook noodzakelijk om verschillende warmtapwaterbereiders te kunnen evalueren. De uitkomsten van het project *Efficiënte Bereiding Warm Tapwater* bieden hiervoor een eerste aanzet.



Op basis van eerder onderzoek [11, 12] kan overigens gesteld worden dat SIMDEUM-HW ook toegepast kan worden voor niet-huishoudelijke systemen, zoals bijvoorbeeld in zorginstellingen of hotels.

### Financiering

Het project *Efficiënte Bereiding Warm Tapwater* werd gefinancierd door het gezamenlijke onderzoeksprogramma van de Nederlandse drinkwaterbedrijven (BTO) en de Stichting Promotie Installatietechniek (PIT). Het rapport BTO 2015.006 is vanaf 2017 openbaar en te downloaden van de website [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl).

### Literatuur

1. Dulk, F.W. den (2012). Op weg naar minimum energie woningen met EPC  $\leq 0$ , Piode, Amersfoort.
2. Vollebregt, R. (2013). Energiezuinige warmtepompwoningen; het kan wel maar het gebeurt nauwelijks, VV+ december 2013.
3. Moerman, A., Slingerland, E. en Blokker, E. J. M. (2015). Efficiënte bereiding warm tapwater in woningen, Rapport nr. BTO 2015.006, KWR, Nieuwegein.
4. Moerman, A. (2013), Temperature modelling in domestic drinking water systems. MSc-Thesis, Delft, TU-Delft.
5. Blokker, E.J.M., Doldersum, R., Landsbergen, A., van der Schee, W., Scheffer, W. (2007). Rekenregels voor dimensionering van leidingwaterinstallaties, Rapport nr. KWR 06.104, KWR, Nieuwegein.
6. Blokker, E. J. M. en Pieterse-Quirijns, I. (2010). Model voor de berekening van de watertemperatuur in het leidingnet, H2O Magazine.
7. NEN (2015). NEN 7120+C2:2012, hoofdstuk 19: Warmtapwater.
8. NEN (2015). NEN 1006:2015.
9. Altena (2014), De warmtepompboiler; gewikt en gewogen, K&S maart 2014.
10. Veelen, I. van, Moerman, A. (2016). Warmtapwaterbereiding in energiezuinige woningen: meer waarde aan ontwerp levert meerwaarde, TVVL magazine december 2016.
11. Pieterse-Quirijns, E. J. (2010). Rekenregels voor waterverbruik in utiliteitsbouw; Bepalen van maximum volumestroom en warmwaterverbruik met SIMDEUM, Rapport nr. KWR 2010.072, KWR, Nieuwegein.
12. Pieterse-Quirijns, E. J., Blokker, E. J. M. (2012). Nieuwe rekenregels voor waterverbruik, H2O Magazine.