



BTO 2015.006 | December 2015

BTO rapport

Efficiënte bereiding
warm tapwater in
woningen

BTO

Efficiënte bereiding warm tapwater in woningen

BTO 2015.006 | December 2015

Opdrachtnummer

400554/086

Projectmanager

dr. ing. C. (Kees) Roest

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Water en energie

Kwaliteitsborgers

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

Auteur(s)

ir. A. (Andreas) Moerman, ir. E. (Ewald) Slingerland (Ecofys), dr.
ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.



ECOFYS

sustainable energy for everyone

Jaar van publicatie
2015

Meer informatie

ir. A. Moerman
T +31 (0)30 6069 605
E andreas.moerman@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

KWR

**Watercycle
Research
Institute**

BTO 2015.006 | December 2015 © KWR

Keywords

Warm tapwater, SIMDEUM,
energiegebruik, rendement,
warmtapwaterbereider

Alle rechten voorbehouden.

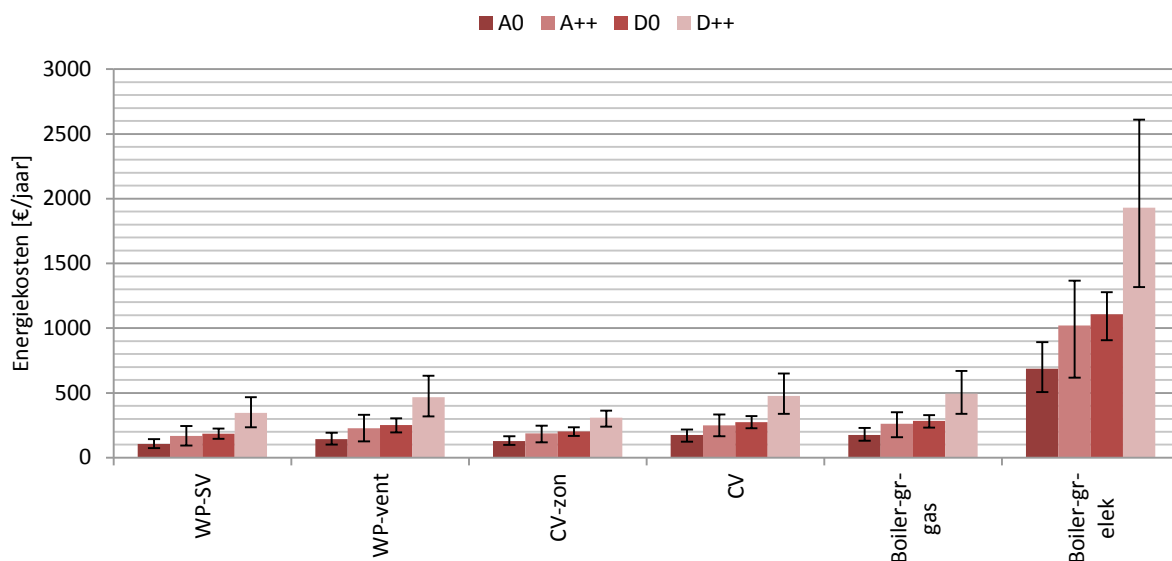
Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

BTO Managementsamenvatting

Energiemodel op basis van SIMDEUM® maakt energiegebruik huishouden voor bereiding warm tapwater inzichtelijk

Auteur(s) ir. A. Moerman (KWR), ir. E. Slingerland (Ecofys), dr. ir. E.J.M. Blokker (KWR)

Met steeds beter geïsoleerde woningen neemt het energieverbruik door ruimteverwarming af. Daarom wordt het steeds belangrijker om een andere bron van energieverbruik goed in beeld te kunnen brengen: de bereiding van warm tapwater. Op basis van verbruikspatronen uit SIMDEUM® is een model ontwikkeld dat laat zien hoe verschillende typen warmtapwaterbereiders (warmtepompen, CV-ketels, boilers) presteren qua (1) ketenrendement, (2) jaarlijkse energiekosten en (3) jaarlijkse CO₂-emissie. Het model berekent het primaire energieverbruik voor standaard woonsituaties (gebaseerd op installatie, apparatuur, en huishoudtype) en gedrag (zuiniger warmwatergebruik of juist minder zuinig). Hierbij wordt rekening gehouden met seizoenverschillen. Daarnaast scheidt het model de mogelijkheden om de effecten van een douche warmteterugwinning (DWTW) of een hogere warmtapwatertemperatuur te evalueren.



Op basis van verbruikspatronen uit SIMDEUM® kunnen voor verschillende standaard woonsituaties de jaarlijkse energiekosten voor de bereiding van warm tapwater berekend worden. A0 staat voor een woning met eenvoudige drinkwaterinstallatie (0) en een huishouden van 1-2 personen (A), D++ staat voor een woning met luxe drinkwaterinstallatie en 3-4 personen.

Belang: correcte dimensionering warmtapwaterbereiders noodzakelijk

Voor het terugdringen van energieverlies bij de bereiding van warm tapwater zijn juiste keuze en dimensionering van de warmtapwaterbereider noodzakelijk. Dit is alleen mogelijk wanneer de energievraag voor bereiding van warm tapwater

voldoende nauwkeurig wordt ingeschat. Bestaande normen zoals NEN7120 houden geen rekening met het daadwerkelijke gebruik omdat dit grotendeels afhankelijk is van het type gebruiker. Een nieuw model moet de bestaande onnauwkeurigheid oplossen.

Aanpak: uitbreiding SIMDEUM® model voor berekening brandbreedte energiegebruik

Voor zes standaard woonsituaties is met SIMDEUM® de dagelijkse netto warmtevraag voor bereiding van warm tapwater vastgesteld voor verschillende situaties (seizoen, warmtapwatertemperatuur, gebruik van een DWTW). In aanvulling hierop is het model uitgebreid tot SIMDEUM-HW (SIMDEUM Hot Water), dat in combinatie met kwaliteitsverklaringen van verschillende typen warmwatertapbereiders en NEN7120 het rendement, jaarlijkse energiekosten en jaarlijkse CO₂-emissie vaststelt. Het nieuwe model houdt tevens rekening met energieverliezen tijdens transport van warm tapwater en daaropvolgende afkoeling van de leiding.

Resultaten: model geeft installateurs en consumenten inzicht.

Het model stelt installateurs en consumenten in staat om voor een specifieke woonsituatie een onderbouwde keuze te maken voor een warmtapwaterbereider. Daarnaast geeft het model inzicht in het effect van energiebesparende maatregelen op het energiegebruik. Uit modelstudies met standaard woonsituaties blijkt

dat warmtepompen en de combinatie van CV-ketel met zonneboiler tot het hoogste rendement leiden. Een DWTW levert meestal een lager rendement op, maar vanwege de absolute besparing resulteert dit toch in lagere energiekosten. Verder blijkt uit het onderzoek dat de context waarin energiebesparende maatregelen worden genomen een rol speelt voor de mate waarin deze maatregelen effect hebben.

Implementatie: modelprincipe relevant voor normering, industrie en consument

Meewegen van het gedrag van de gebruiker in de ontwikkelde methodiek kan bijdragen aan een meer realistische berekening van de energieprestatiecoëfficiënt (EPC). Verder kunnen in geval van variabele tappatronen bestaande rekenmethodieken – zoals NEN7120 – met SIMDEUM® worden gecorrigeerd. Ook is de rekenmethodiek bruikbaar om consumenten meer inzicht te geven bij bijvoorbeeld de keuze voor een nieuwe warmtapwaterbereider.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Efficiënte bereiding warm tapwater* (BTO 2015.006).

Inhoud

Inhoud	2
Begrippenlijst	4
Voorwoord	6
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding en doel	7
1.2 Aanpak en modelopzet	7
2 Scenario's en uitgangspunten	10
2.1 Scenario's voor verbruik en temperatuur	10
2.2 Warmteverliezen over leidingen	12
2.3 Uitgangspunten modellering DWTW	14
2.4 Berekenen van jaarverbruik	15
2.5 Warmtapwaterbereiders	15
2.6 Bepaling systeem- en ketenrendementen volgens NEN7120	17
3 Warmtapwatervraag en netto energievraag	23
3.1 Berekenen warmwatervraag met SIMDEUM-DW	23
3.2 Invloed temperatuurscenario's op netto energievraag	25
3.3 Invloed efficiency van warmtewisselaar op netto energievraag	27
3.4 Invloed korter douchen op netto energievraag	28
3.5 Invloed warmteverliezen op netto energie	29
4 Ketenrendement, energiekosten en CO₂ emissie	31
4.1 Ketenrendement	31
4.2 Energiekosten en CO ₂ -emissie	34
5 Interpretatie en discussie	40
6 Conclusies en aanbevelingen	43
Literatuur	45
Bijlage I Overzicht warm tapwater tappunten per woningklasse	46
Bijlage II Berekening warmteverlies over leiding tijdens tappen	47
Bijlage III Regressie aantal tappingsen met andere parameters	48

Bijlage IV Bronnen voor stilstandsverliezen	50
Bijlage V Ketenrendement, kosten en CO₂-emissie alle warmtapwaterbereiders	51
• Ketenrendement	51
• Kosten	54
• CO₂ emissie	57
Bijlage VI Conversietabel toepassingsklassen, CW- klassen en gelijktijdigheidsklassen	61

Begrippenlijst

CW-klasse	Comfort Warmwater. Label ontwikkeld door Gastec om onderscheid te maken op basis van de maximale momentane capaciteit van een CV-ketel.
Doorstroomtoestel	Warmtapwaterbereider zonder opslag van warm tapwater , bijvoorbeeld een CV-ketel of geiser.
DWTW	Douche warmteterugwinning; warmtewisselaar waar warm afvalwater van de douche gebruikt wordt om koud drinkwater voor te verwarmen dat direct gebruikt wordt voor het douchen.
Gelijktijdigheidsklasse	Mate waarin gelijktijdig verbruik tijdens een SIMDEUM® simulatie wordt toegestaan (zie ook Bijlage VI).
Ketenrendement	Verhouding tussen netto energie en primaire energie. Bij elektrische warmtapwaterbereiders wordt hierbij een opwekkingsrendement van de energiecentrale à 39% in verdisconteerd.
Kwaliteitsverklaring	Een kwaliteitsverklaring is een verklaring dat een product (in dit rapport een warmtapwaterbereider) bepaalde eigenschappen heeft die bepaald zijn conform een algemeen geaccepteerde norm of bijlage van een norm. In het kader van de energielabelmethodiek of EPC-berekening gaat het dan om eigenschappen of productkarakteristieken die gebruikt kunnen worden in de betreffende berekeningsmethodiek.
Netto energie	Energie die benodigd is om het warm tapwater tot de gewenste temperatuur te verwarmen (incl. warmteverliezen over leidingen en door afkoeling na het tappen).
Primaire energie	Totale energiebehoefte na verrekening van opwekkingsrendement, leidingverliezen, voorraadverliezen.
SIMDEUM®	Acroniem voor SIMulation of Demand, an End Use Model. Een binnen KWR ontwikkelde modeltechniek waarbij gebruik gemaakt wordt van verschillende statistieken om – middels een Monte Carlo model – realistische waterverbruikspatronen te simuleren.
SIMDEUM-DW 2.0	SIMDEUM Drinking Water; module van SIMDEUM® waarmee koud- en warmtapwaterpatronen gesimuleerd kunnen worden. SIMDEUM 2.0 is in 2015 opgeleverd en bevat statistische gegevens van het meest recente TNS NIPO onderzoek.

SIMDEUM-HW	SIMDEUM Hot Water; module van SIMDEUM®, deels ontwikkeld binnen het project <i>Efficiënte bereiding warm tapwater</i> waarmee de totale netto energie voor bereiding van warm tapwater berekend kan worden.
Toepassingsklasse	Klasse van energiegebruik waarvoor het opwekkingsrendement uit een kwaliteitsverklaring bepaald is. Een gemeten opwekkingsrendement hoort dus bij een bepaalde toepassingklasse.
Totale netto energie	Netto energie benodigd om het totale warmtapwatervolume van alle tappunten in een woning te verwarmen tot de gewenste temperatuur.
Vorraadtoestel	Warmtapwaterbereider waarbij sprake is van een voorraad warm tapwater die op temperatuur gehouden dient te worden zoals een warmtepompboiler.

Voorwoord

Het project *Efficiënte Bereiding warm tapwater* is tot stand gekomen binnen het gezamenlijke onderzoeksprogramma van de Nederlandse drinkwaterbedrijven; het Bedrijfstakonderzoek (BTO), Thema Energie & Water. Stichting Promotie Installatietechniek (PIT) heeft een belangrijke financiële bijdrage aan het project geleverd. Hier past tevens een woord van dank aan Eric van der Blom die namens de brancheorganisatie van installateurs UNETO-VNI bij dit project betrokken was en hier ook inhoudelijk aan bijgedragen heeft.

Bij dit rapport hoort een Excelsheet.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

In de totale drinkwaterketen wordt de meeste energie gebruikt in het opwarmen van drinkwater (Roest et al., 2011); in huishoudens wordt ca. 60% van het drinkwater opgewarmd voor douchen, (af)wassen, schoonmaken en consumptie (Blokker et al., 2015). Met het bouwen van woningen die steeds beter geïsoleerd worden is de energie die nodig is voor de bereiding van warm tapwater intussen een substantieel aandeel in de totale energievoorziening. Dit aandeel zal in de komende jaren toenemen. In passiefhuizen is de warmtebehoefte zo gering, dat het aandeel warmtapwater groter kan zijn dan de vraag naar ruimteverwarming (Den Dulk, 2012). Een tweede ontwikkeling betreft het feit dat de energievoorziening voor ruimteverwarming in huishoudens steeds meer duurzaam vormgegeven wordt middels bijvoorbeeld warmtepompen. Wanneer warmtepompen voor ruimteverwarming worden ingezet wordt de woning meestal niet aangesloten op het gasnet; het tapwater moet dan met een warmtepomp verwarmd worden en vaak elektrisch bijverwarmd worden om aan de temperatuurseisen uit de NEN1006 te voldoen. Daarnaast blijkt dat in de praktijk warmtebronnen voor warmtepompen niet altijd toereikend zijn om aan de energievraag voor de bereiding van warm tapwater van grotere huishoudens te voldoen. Hierdoor wordt er in praktijk meer elektrisch bijverwarmd dan van te voren berekend is. Elektrische bijverwarming is duur en leidt tot hogere vermogenspieken in het elektriciteitsnet (Den Dulk, 2012). Ook wijzen praktijkmetingen uit dat het rendement van warmtapwaterbereiders negatief af kan wijken van de laboratoriumtesten (Friedel et al., 2014). Oorzaken die hiervoor genoemd worden zijn:

1. suboptimaal ingeregelde installatie;
2. gekozen dimensionering sluit niet aan bij energiegebruik van de consument;
3. suboptimaal gebruik door onjuiste gebruiksinstellingen.

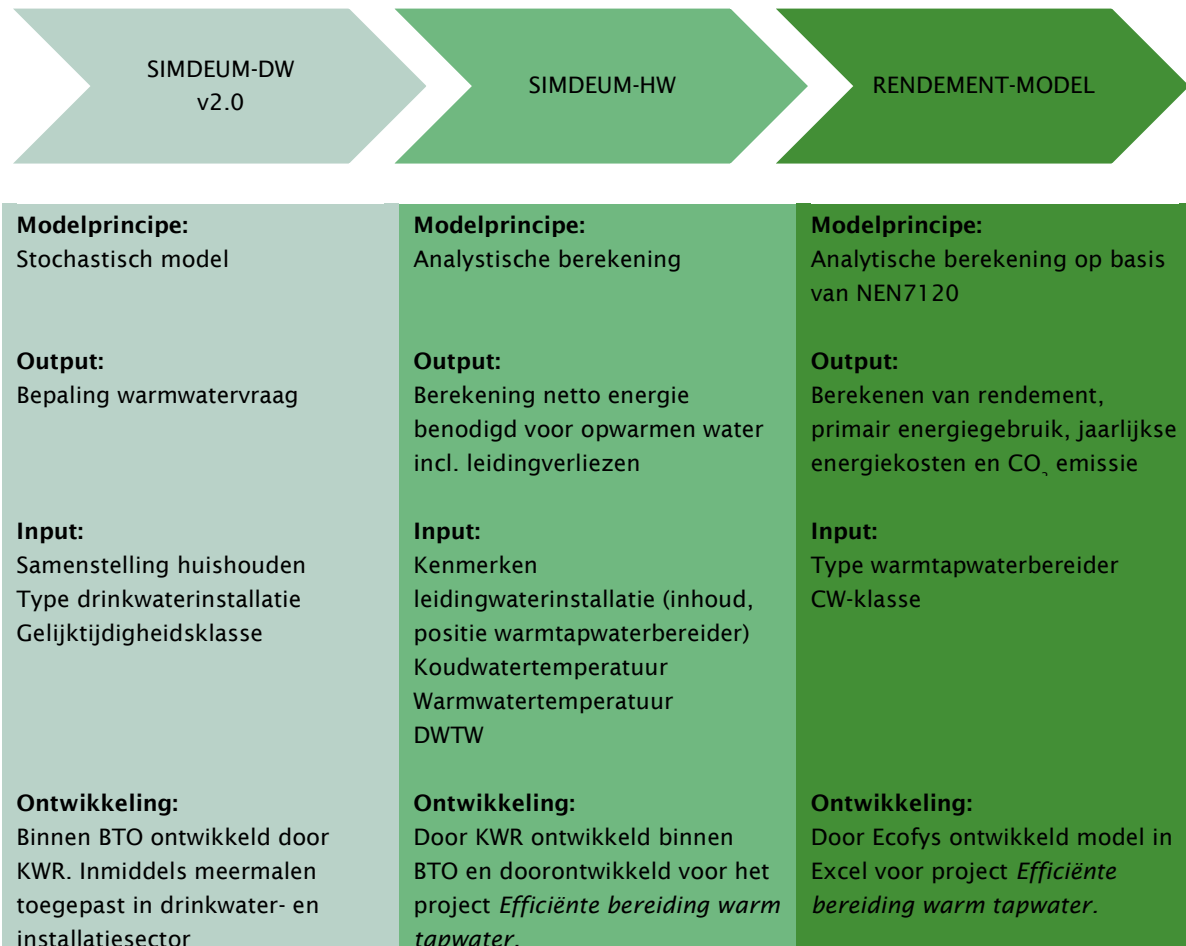
Oplossingen voor (1) en (3) bestaan vooral uit naleven van normen, controle van certificering en juiste voorlichting over het gebruik van de installatie. Een oplossing voor (2) wordt gevonden in het zoveel mogelijk nauwkeurig inschatten van de energiebehoefte van de gebruiker. Dit is het doel van het project *Efficiënte bereiding warm tapwater*. Hiermee worden vraag (verbruikspatronen van consumenten) en aanbod (al dan niet duurzame technieken voor warmtapwaterbereiding) beter op elkaar aansloten. Met deze kennis kunnen duurzame technieken beter toegepast worden. Dit is tevens van belang voor de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) die toegekend wordt aan een woning. Bij het berekenen van de EPC wordt impliciet aangenomen dat de woninginstallatie correct gedimensioneerd is en dat gebruikers een gemiddeld gedrag vertonen. In praktijk zal dit lang niet altijd het geval zijn (Den Dulk, 2012), waardoor de EPC mogelijk niet gehaald wordt. De huidige EPC is daarmee een theoretisch instrument, dat geen recht doet aan de variatie in gebruik zoals dit in praktijk voorkomt bij verschillen in gebruikers. SIMDEUM® maakt het mogelijk om verbruikspatronen van warm tapwater te simuleren waarbij recht gedaan wordt aan de variatie die aanwezig is tussen verschillende gebruikers.

1.2 Aanpak en modelopzet

Binnen het project hebben KWR en Ecofys samengewerkt op het gebied van water en energie. Verschillende warmtapwaterbereiders worden getoetst middels drie prestatie-indicatoren: (1) Ketenrendement en primair energiegebruik (op basis van NEN7120 methodiek (NEN, 2012)),

(2) Jaarlijkse energiekosten bij primair energiegebruik en (3) Jaarlijkse CO₂ emissie bij primair energiegebruik.

De bepaling van de waarden van deze prestatie-indicatoren voor elke warmtapwaterbereider vindt plaats door gebruik te maken van drie modellen (Figuur 1.1).



Figuur 1.1. Modelopzet waarin resultaten uit SIMDEUM als input dienen voor een rendementsberekening conform NEN7120, netto energiegebruik, jaarlijkse energiekosten en CO₂ emissie.

Deze modelopzet leidt tot een flexibel totaalmodel waarin vrij gevarieerd kan worden met de variabelen die in elk model aanwezig zijn. Op deze manier kan het model toegepast worden op een veelvoud van onderzoeksvragen op het gebied van warmtapwaterbereiding.

Het model is in een aantal stappen tot stand gekomen die achtereenvolgens in de volgende hoofdstukken (en bijlagen) beschreven worden:

- Methodiek, scenario's en uitgangspunten (hoofdstuk 2).
- Resultaten warmtapwatervraag en netto energievraag met SIMDEUM-DW en SIMDEUM-HW (hoofdstuk 3).
- Ketenrendementen, jaarlijkse energiekosten en CO₂-emissie op basis van ingegeven parameters: samenstelling huishouden, type installatie, gebruikersgedrag, aanwezigheid van DWTW en type warmtapwaterbereider (hoofdstuk 4).

In de discussie worden de uitgangspunten van het model geëvalueerd (hoofdstuk 5). Verder volgen uit de resultaten van het model verschillende conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 6).

2 Scenario's en uitgangspunten

2.1 Scenario's voor verbruik en temperatuur

2.1.1 Verbruiksscenario's voor woningklassen

Als uitgangspunt voor de verbruiksscenario's zijn de woningklassen gebruikt die in eerder onderzoek gedefinieerd zijn voor het UNETO-VNI ST-18 onderzoek en die aansluiten op de classificaties uit ISSO Publicatie 30 (Blokker et al. (2007), zie Tabel 2.1). Deze tabel geeft een indeling naar woningklassen (minimum: komt niet voor in Nederland, tot luxe) en bewonerscategorie (A-D).

Tabel 2.1. Verbruiksscenario's ingedeeld naar woningklassen en bewonerscategorie. Deze tabel is een samenstelling van de tabellen 2-2 en 2-6 uit de ISSO publicatie 30.

Bewonerscategorie		woningklassen		
		Standaard	Standaard plus	Luxe
A	tweeverdieners	A 0	A 0+	A ++
B	senioren	B 0	B 0+	B ++
C	gezin met jonge kinderen	C 0	C 0+	C ++
D	meerpersoonshuishouden met oudere kinderen	D 0	D 0+	D ++
	Gelijktijdigheidsklasse voor warmtapwatergebruik	I	II	III

De gelijktijdigheidsklasse geeft aan in hoeverre de gebruiker de mogelijkheid heeft om gelijktijdig warm water te tappen. In de simulaties van SIMDEUM® zijn de gelijktijdigheidsklassen uit ISSO Publicatie 30 als volgt geïmplementeerd:

- Gelijktijdigheidsklasse I: geen gelijktijdig verbruik van warm tapwater. Wanneer in een woning reeds warm water wordt getapt kan bij een volgend tappunt geen warm water worden getapt.
- Gelijktijdigheidsklasse II: beperkt gelijktijdig verbruik van warm tapwater. Wanneer in een woning reeds warm water wordt getapt met een volumestroom van 0,3 l/s kan bij een volgend tappunt geen warm water worden getapt, bij een tapping met lagere volumestroom kan wel gelijktijdig gebruik plaats vinden.
- Gelijktijdigheidsklasse III: onbeperkt gelijktijdig gebruik van warm tapwater.

In Bijlage VI is een conversietabel weergegeven voor gelijktijdigheidsklassen (conform SIMDEUM®), de CW-klassen en toepassingsklassen. De gelijktijdigheidsklasse bepaalt in hoeverre SIMDEUM® gelijktijdig verbruik toestaat. De gelijktijdigheidsklasse heeft dus alleen invloed op de hoogte van het gelijktijdig verbruik (maximaal momentaan volume of MMV) en niet op het totaalverbruik (maximaal warm watergebruik per dag of MMW_{dag}).

De resultaten van Blokker et al. (2007) laten zien dat de verschillen tussen het warmwaterverbruik van de bewonerscategorieën A en B en die van de categorieën C en D klein zijn. Om het totaal aan scenario's te beperken is daarom besloten om de vier

bewoners-categorieën terug te brengen tot twee categorieën A en D. Dit leidt tot zes (2x3) categorieën voor huishoudens (Tabel 2.2). Het warm water verbruik van deze zes verbruiksscenario's wordt berekend met SIMDEUM-DW. In Bijlage I zijn de verschillende woningklassen (standaard, standaard plus en luxe) verder toegelicht.

Tabel 2.2. Typen huishoudens die in het onderzoek beschouwd zijn.

Bewonerscategorie		woningklassen			Gem. aantal bewoners
		Standaard	Standaard plus	Luxe	
A	tweeverdieners	A 0	A 0+	A ++	1.7
D	meerpersoonshuishouden met oudere kinderen	D 0	D 0+	D ++	4
	Gelijktijdigheidsklasse voor warm watergebruik	I	II	III	

2.1.2 Temperatuurscenario's

De temperatuur van het drinkwater uit het distributienet fluctueert gedurende het jaar en volgt daarbij de bodemtemperatuur (Blokker and Pieterse-Quirijns, 2013). Dit betekent dat de temperatuur waarmee het drinkwater de woning binnenkomt grofweg varieert tussen 10 en 20°C. Om recht te doen aan deze temperatuurfluctuatie zijn drie seizoensscenario's gedefinieerd: zomer, winter en voor-/najaar. De temperaturen waarmee het water in deze seizoenen de woninginstallatie binnenkomt zijn weergegeven in Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Temperaturen drinkwater koud water uit distributienet in zomer, winter en voor-najaar.

Seizoen	Koudwatertemperatuur [°C]
Zomer	20
Winter	10
Voor-/najaar	15

2.1.3 Scenario's voor warmtapwatertemperatuur

Volgens de NEN1006 (NEN, 2011) moet de temperatuur van het warme water aan het tappunt minimaal 55°C bedragen. Om de effecten van een hoger ingestelde temperatuur aan de tap te berekenen is ook een scenario gedefinieerd met een warmwatertemperatuur van 65°C aan de tap.

2.1.4 Totaal aantal scenario's voor netto energievraag

Wanneer de zes warmtapwaterverbruiksscenario's gecombineerd worden met alle mogelijke combinaties van temperatuurscenario's (koudwatertemperatuur, warmwatertemperatuur en het al dan niet aanwezig zijn van een DWTW) ontstaan in totaal $6 \times 3 \times 2 \times 2 = 72$ scenario's voor netto energie (6 SIMDEUM-DW scenario's en $3 \times 2 \times 2 = 12$ SIMDEUM-HW scenario's als post-processing op elk SIMDEUM-DW scenario). De berekening door SIMDEUM-HW is toegelicht in Blokker et al. (2015). Voor het project *Efficiënte bereiding warm tapwater* is deze methodiek verder uitgebreid met een aantal aspecten die in Paragraaf 2.2 en Paragraaf 2.3 verder toegelicht worden.

2.2 Warmteverliezen over leidingen

2.2.1 Bepaling van leidinglengten en -diameters tussen warmtapwaterbereider en tappunt

De leidinglengten en diameters tussen warmtapwaterbereider en tappunt zijn bepaald op basis van informatie afkomstig van installateurs (Tabel 2.4; Van Hoften (2014)), zie Deze recente gegevens blijken goed overeen te komen met resultaten van meer gedateerde onderzoeken (Schurink, 1997; Van de Lagemaat, 1990). Uit deze gegevens blijkt ook dat een eventuele tweede badkamer zich meestal op de begane grond bevindt. De leidinglengte tussen warmtapwaterbereider en de verschillende warmwatertappunten is sterk afhankelijk van de locatie van de warmtapwaterbereider. In het model wordt uitgegaan van een standaard situatie waarbij de warmtapwaterbereider zich op de zolderverdieping bevindt (Van Hoften, 2014).

Tabel 2.4. Leidinglengten (in meters), leidingdiameters (tussen haakjes, in millimeters) en leidingvolumes (in liters) tussen warmtapwaterbereider en douche- of keukenkraan gemodelleerd in verschillende woningklassen.

Tappunt locaties	Leidinglengten voor verschillende woningklassen		
	Standaard	Plus	Luxe
Keuken	14 (Ø10)	14 (Ø10)	14 (Ø10)
Douche (1 ^e badkamer)	8 (Ø10)	8 (Ø10)	8 (Ø12) ¹
Douche (2 ^e badkamer, begane grond)	-	14 (Ø10)	14 (Ø10)
	Leidingvolumes verschillende woningklassen		
	Standaard	Plus	Luxe
Keuken	1,1	1,1	1,1
Douche (1 ^e badkamer)	0,6	0,6	0,9
Douche (2 ^e badkamer, begane grond)	-	0,6	0,6

2.2.2 Berekening energieverliezen over leidingen

Bij het berekenen van de netto energievraag met SIMDEUM-HW worden ook de leidingverliezen meegenomen. Dit betreft energie die wel door de warmtapwaterbereider aan het drinkwater wordt toegevoegd, maar die niet ten goede komt aan de warmwatervraag bij de tap. In de winter is het, energetisch gezien, niet geheel correct om over warmteverlies te spreken omdat de leidingverliezen dan bijdragen aan het opwarmen van de woning. In de zomer is deze opwarming echter ongewenst en is er wel sprake van energieverlies. Daarom worden warmteverliezen over leidingen in dit onderzoek daadwerkelijk beschouwd als verliezen, omdat de energie die dit verlies omvat niet ten goede komt aan het doel, nl. het verwarmen van drinkwater voor gebruik aan de tap.

Het totale warmteverlies over een leiding bestaat uit meerdere componenten:

- Het opwarmen van het leidingmateriaal bij het begin van de tapping;
- Het warmteverlies tijdens het tappen door de temperatuurgradiënt over de leidingwand;
- Het afkoelen van het opgewarmde water in de leiding na het tappen.

Van deze drie componenten is (a) op basis van leidingmateriaal, leidinglengte, leidingdiameter en het aantal tappingsen per dag eenvoudig te berekenen. De invloed van deze component op het totale leidingverlies is klein, zeker wanneer geen gebruik gemaakt

¹ Grotere leidingdiameter vanwege douche met grotere volumestroom.

wordt van koperen leidingen. Deze component wordt daarom niet meegenomen in de berekening van het warmteverlies.

Voor (c) wordt de aanname gedaan dat het verwarmde water dat in de leiding achterblijft helemaal afkoelt naar kamertemperatuur. Hoewel deze aanname niet geheel klopt voldoet hij voor het model omdat het grootste deel van het temperatuurverschil tussen het warme water in de leiding en de omgevingstemperatuur in enkele minuten overbrugd wordt. De lichte overschatting van het leidingverlies wat hiermee ontstaat heeft een zeer beperkt effect op de uitkomsten van het model en compenseert de negatie van component (a).

Het warmteverlies tijdens het tappen (b) hangt af van (i) de stromingscondities in de leiding, (ii) de thermische geleidbaarheid van de leidingwand en (iii) de luchtstroming rondom de leiding. Deze situaties zijn doorgerekend met een model voor opwarming van drinkwater in de woninginstallatie (Moerman et al., 2014). De berekening van de bijdrage van de drie bovengenoemde verliescomponenten wordt verder toegelicht in Bijlage II. In het model wordt voor (b), op basis van bovengenoemde modelberekeningen, een conservatieve waarde van 5°C gehanteerd.

2.2.3 Uitgangspunten voor leidingverliezen.

Op basis van de componenten (b) en (c) wordt in het SIMDEUM-HW model de hoeveelheid warmte berekend die tijdens en na het tappen verloren gaat. Hierbij worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De leiding is niet geïsoleerd (dit is ook niet toegestaan vanuit het oogpunt van Legionellapreventie).
- De leidingen zijn vrij gemonteerd en er is geen geïnduceerde luchtstroom, warmtetransport aan de buitenkant van de leiding vindt dus plaats door vrije convectie.
- Op basis van de berekeningen en enquêtes gaat het model uit van de leidinglengtes zoals weergegeven in Tabel 2.4 en een temperatuurdaling tussen warmtapwaterbereider en tappunt van 5°C.
- Na elke tapping koelt achtergebleven water in de leiding af naar de omgevingstemperatuur (20°C).

Om inzicht te krijgen in de bijdrage van warmteverliezen over leidingen op de totale netto energievraag is een gevoeligheidsstudie uitgevoerd. De resultaten van deze studie worden verderop in dit rapport behandeld (Paragraaf 3.5). De gevoeligheidsanalyse laat zien dat het leidingvolume en het leidingverlies tijdens het tappen een significante invloed hebben op de netto energievraag. Dit zorgt ervoor dat ook de locatie van de warmtapwaterbereider een significante invloed heeft op de netto energievraag (zie ook Schurink (1997)).

2.2.4 Verdeling gebruik eerste en tweede badkamer

Voor de woningklassen plus en luxe is er sprake van een tweede badkamer. Zoals eerder aangegeven bevindt deze badkamer zich meestal op de begane grond. De leidingvolumes tussen warmtapwaterbereider en tweede badkamer zijn daarom groter dan die tussen warmtapwaterbereider en eerste badkamer (Tabel 2.4). Er zijn geen gegevens bekend over de verdeling van het gebruik van eerste en tweede badkamer. Om dit op te lossen wordt voor de woningklassen plus en luxe de aanname gedaan dat 50% van de badkamertappings plaats vindt in de 1^e badkamer (1^e verdieping) en 50% van de badkamertappings in de tweede badkamer (begane grond). SIMDEUM-DW gaat ervan uit dat er niet vaker getapt wordt wanneer er meer tappunten zijn.

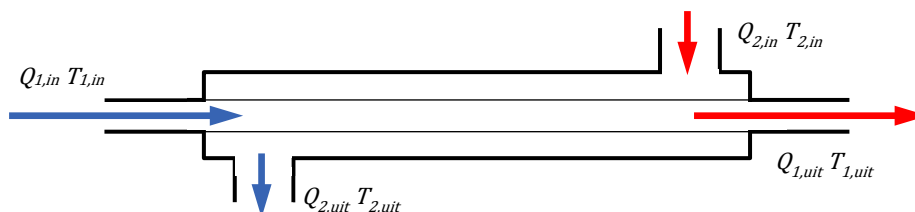
2.3 Uitgangspunten modellering DWTW

In het model is de mogelijkheid opgenomen om een DWTW toe te passen. Een dergelijke terugwinning bestaat uit een verticale of horizontale warmtewisselaar die warmte van het water, dat het doucheputje instroomt, gebruikt om het koude water voor de douchekraan op te warmen. Er bestaan hierbij drie principes:

1. verwarming van koud drinkwater dat naar de douchekraan stroomt;
2. verwarming van koud drinkwater dat naar de centrale warmtapwaterbereider stroomt;
3. verwarming van koud drinkwater dat naar de douchekraan stroomt en verwarming van water dat naar de centrale warmtapwaterbereider stroomt.

De tweede optie geeft een licht hoger rendement op het totale systeem van warmtapwaterbereider en douchekraan in vergelijking met de eerste optie. De eerste optie is echter eenvoudiger te implementeren in bestaande woningen. In het model wordt uitgegaan van de eerste optie waarbij alleen de koudwaterstroom naar de douchekraan verwarmd wordt.

De werking van een warmtewisselaar is schematisch weergegeven in Figuur 2.1. In dit schema zijn voor elke in- en uitgaande stroom de temperatuur (T) en volumestroom (Q) weergegeven.



Figuur 2.1. Schematische weergave warmtewisselaar.

De belangrijkste parameters die de warmteoverdracht tussen beide vloeistofstromen bepalen zijn de fysische eigenschappen van de warmtewisselaar (zoals intern oppervlak en gecombineerde warmteoverdrachtscoëfficiënt) en de fysische eigenschappen van de vloeistofstromen. In het geval van een DWTW zijn de dichtheden en warmtecapaciteiten van beide stromen bij benadering gelijk. Dat betekent dat alleen de verhouding tussen de volumestromen, de temperaturen van de volumestromen en de efficiency van de warmtewisselaar bepalen met welke temperatuur het opgewarmde drinkwater ($T_{1,uit}$) de DWTW verlaat. De koudwatertemperatuur na DWTW ($T_{1,uit}$) wordt door het model iteratief bepaald op basis van de warmwatertemperatuur, koudwatertemperatuur, consumptietemperatuur en de temperatuurdaling die optreedt tussen douchekop en doucheputje onder de aannamen dat $Q_{1,in} = Q_{1,uit}$ en $Q_{2,in} = Q_{2,uit}$. Hiervoor wordt eerst het aandeel koud water in het mengwater berekend middels Vergelijking 1.

$$Q_{ratio,koud} = \frac{T_{warm\ water} - T_{consumptie}}{T_{warm\ water} - T_{koud\ water}} \quad \text{Vergelijking 1}$$

Waarin:

$Q_{ratio,koud}$ = aandeel koud water in mengwaterstroom [-]

$T_{warm\ water}$ = warmwatertemperatuur aan tap [°C]

$T_{koud\ water}$ = koudwatertemperatuur aan tap [°C]

$T_{\text{consumptie}}$ = consumptietemperatuur aan tap (wordt door SIMDEUM-DW bepaald op basis van invoergegevens; in dit geval 38°C).

Daarna wordt de temperatuur van het opgewarmde water ($T_{1,\text{uit}}$) bepaald middels Vergelijking 2:

$$T_{1,\text{uit}} = T_{\text{koud water}} + \frac{(T_{\text{consumptie}} - \Delta T - T_{\text{koud water}})}{(1 + Q_{\text{ratio,koud}})} \quad \text{Vergelijking 2}$$

Waarin:

ΔT = temperatuurdaling tussen douchekop en doucheputje [°C].

Dit proces wordt herhaald (geïtereerd) totdat het verschil tussen T_{koud} en $T_{1,\text{uit}}$ kleiner is dan 0,1°C. Voor ΔT wordt in het model een conservatieve waarde van 5°C gebruikt die gebaseerd is op praktijkmetingen. Wanneer uitgegaan wordt van een niet volkomen ideale warmtewisselaar kan $T_{1,\text{uit}}$ berekend worden middels Vergelijking 3:

$$T_{1,\text{uit}} = T_{\text{koud water}} + \eta \cdot (T_{1,\text{uit}} - T_{\text{koud water}}) \quad \text{Vergelijking 3}$$

Waarin:

η = efficiency van warmtewisselaar (getal tussen 0 en 1) [-].

In de modelberekeningen wordt uitgegaan een efficiency van 0,5 voor DWTW's.

In praktijk zal ook de opwarming van de wisselaar zelf een korte tijd duren, deze opwarming is niet meegenomen in het model. Dit effect zal relatief gezien kleiner worden naar mate de doucheduur toeneemt.

2.4 Berekenen van jaarverbruik

De resultaten van SIMDEUM worden gegenereerd op dagbasis. In eerder onderzoek zijn 1 en 99 percentiel aangehouden als minimum en maximum uit de verzameling van het gemodelleerde aantal huishoudens (Blokker et al., 2007). Het is echter niet correct om deze maximum en minimum verbruiken door vermenigvuldiging met het aantal dagen om te rekenen tot jaarlijkse minimum en maximum scenario's omdat het warmtapwaterverbruik op verschillende dagen kan verschillen. Om te corrigeren voor dit effect is de bandbreedte tussen de 25 en 75 percentielen uit het dagverbruik (gegenereerd door SIMDEUM-HW) gebruikt om (vermenigvuldigd met het aantal dagen) een jaarverbruik te berekenen. Het 25-percentiel representeert een zuinige gebruiker, het 50-percentiel een gemiddelde gebruiker en het 75-percentiel een onzuinige gebruiker.

2.5 Warmtapwaterbereiders

In het onderzoek zijn 17 typen warmtapwaterbereiders meegenomen (Tabel 2.5). Een groot voorraadvat houdt in dat de inhoud van het vat gelijk is aan het dagverbruik (MWW_{dag}), voor een klein voorraadvat wordt uitgegaan van de maximale vraag in 10 minuten (MWW_{10}), zie ook Paragraaf 2.6.7.

Tabel 2.5. Overzicht van warmtapwaterbereiders die meegenomen zijn in het onderzoek. In de kolom 'Brandstof' staat 'E' voor elektriciteit en 'G' voor gas. 'WP' staat voor warmtepomp.

Type	Grootte opslagvat	Brandstof	Warmtebron
Combi-WP	Groot	E	Buitenlucht

Combi-WP (of WP boiler)	Groot	E	Ventilatielucht
Combi-WP	Groot	E	Gesloten bron (bodem, verticaal)
Combi-WP	Groot	E	Open bron (grondwater, recirculatie)
Combi-WP	Groot	E	Open bron (grondwater, WKO)
Combi-WP	Groot	E	Stadsverwarming
Combi-WP	Groot	E	Restwarmte
Combi-CV	-	G	N.v.t.
Combi-CV met Zonnecollectoren / energiedaken ²	Groot	G	N.v.t.
Combi-CV met close-in boiler bij keukenkraan	Klein	G	N.v.t.
Geiser	-	G	N.v.t.
Geiser	-	E	N.v.t.
Boiler	Groot	G	N.v.t.
Boiler	Groot	E	N.v.t.
Boiler	Klein	G	N.v.t.
Boiler	Klein	E	N.v.t.
HRe combiketel	Groot	G	N.v.t.

2.5.1 Warmtepompen

De combiwarmtepompen uit Tabel 2.5 zijn allen elektrisch en onderscheiden zich op het type warmtebron. De verschillende warmtebronnen waaruit de warmtepomp zijn warmte haalt kennen andere gemiddelde temperaturen, waardoor het rendement van de warmtepomp verschillend is bij gebruik van deze warmtebronnen. Er bestaan ook warmtepompen die gas als brandstof gebruiken, bijvoorbeeld een gasabsorptiewarmtepomp, waarbij de damp van het koudemiddel wordt gecomprimeerd door een thermisch aangedreven compressor (in plaats van een elektrische compressor). In dit onderzoek zijn deze buiten beschouwing gelaten aangezien deze op individueel woningniveau (nog) niet beschikbaar zijn. Voor alle (combi)warmtepompen is uitgegaan van een groot voorraadvat (inhoud gelijk aan dagverbruik; MWW_{dag} , zie ook Paragraaf 2.6.7), gezien de relatief sterke behoefte aan continue productie van warmte. Voor alle warmtepompen uit Tabel 2.5 geldt dus dat het systeem warmtepomp plus opslagvat beschouwd worden als een voorraadtoestel.

2.5.2 CV-ketels

Voor de combi CV-ketel (doorstroomtoestel) op gas zijn – naast de variant waarbij alleen sprake is van een CV-ketel – twee varianten meegenomen in het model, waarbij enerzijds een deel van de warmtapwatervraag wordt ingevuld door zonnecollectoren of energiedaken (op een duurzame manier) of anderzijds lokaal in huis in een deel van de warmtapwatervraag wordt voorzien.

2.5.3 Geisers en boilers

Voor geisers (doorstroomtoestellen) en boilers (voorraadtoestellen) wordt een onderscheid gemaakt tussen gasgestookte en elektrische apparaten. Vervolgens geldt voor de boilers een onderscheid tussen een klein of een groot voorraadvat. Paragraaf 2.6 bevat meer informatie over de grootte van de voorraadvaten en hoe deze zijn bepaald.

2.5.4 HRe-ketel

Tot slot is de HRe-ketel of micro-WKK meegenomen, waarbij een groot voorraadvat aanwezig is om de vrijkomende warmte bij elektriciteitsproductie op een geschikt moment te kunnen gebruiken. Het voordeel van gelijktijdige opwekking van zowel warmte als elektriciteit komt

² Bij deze optie wordt aangenomen dat de energievraag met 50% gereduceerd wordt door gebruik van zonne-energie.

ten goede aan de ruimteverwarming. Dit aspect van een HRe-ketel valt buiten de scope van dit project.

2.6 Bepaling systeem- en ketenrendementen volgens NEN7120

Om te bepalen welke primaire energie benodigd is voor warmtapwaterbereiding dienen alle rendementen in de keten van opwekking van elektrische energie tot warmteverliezen in de leidingwaterinstallatie meegenomen te worden:

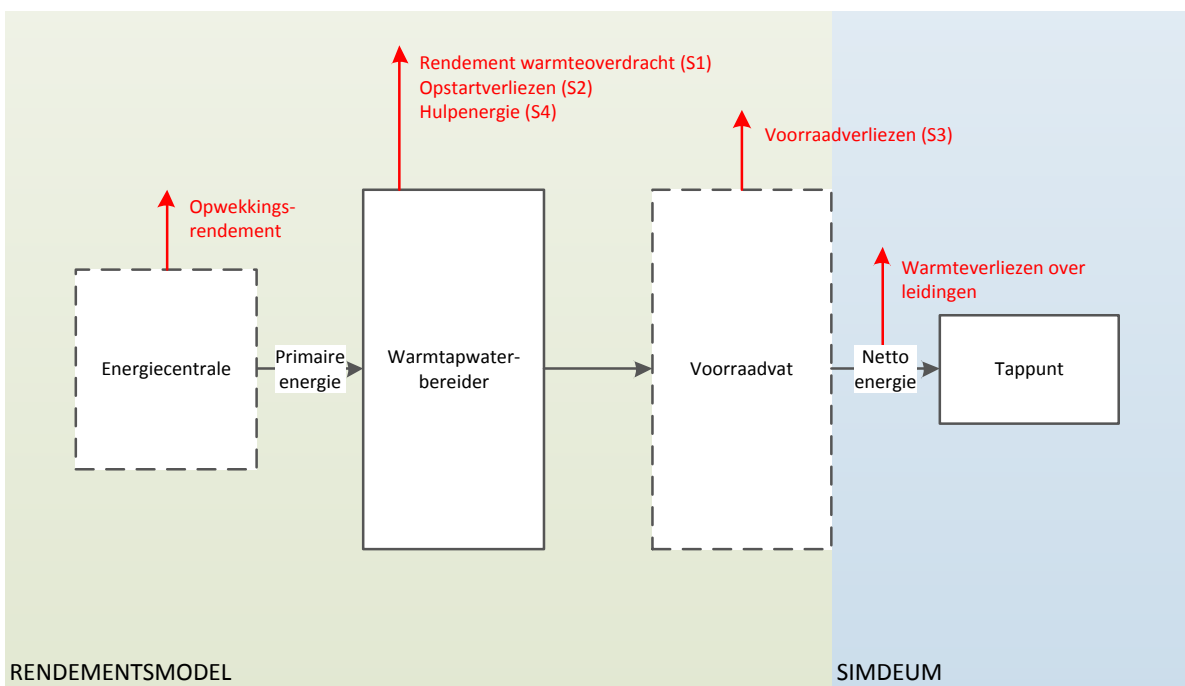
- S1 – rendement warmteoverdracht bij het opwarmen van koud water;
- S2 – opstartverliezen;
- S3 – voorraadverliezen;
- S4 – hulpenergie (pompen, ventilatoren);
- S5 – waakvlam;
- S6 – periodieke opwarming (inzake legionella).

2.6.1 Bepaling parameters voor berekening ketenrendement

De netto verliezen door gebruik van een waakvlam zijn alleen relevant voor oudere warmtapwaterbereiders, en vormen daarbij een significante verliespost. Moderne warmtapwaterbereiders maken gebruik van een piëzo-elektrische ontsteking. Omdat uitgegaan wordt van nieuwe warmtapwaterbereiders is de verliespost 'waakvlam' niet meegenomen in de modelberekening. De periodieke opwarming is niet meegenomen in het model omdat dit in praktijk niet significant bijdraagt aan de primaire energie.

Het ketenrendement van de warmtapwaterbereiding is bepaald op basis van de volgende rendementen (Figuur 2.2):

- S1 – Rendement van de warmteoverdracht
- S2 – Opstartverliezen
- S3 – Voorraadverliezen
- S4 – Elektrische hulpenergie nodig voor functioneren bereider



Figuur 2.2. Flowdiagram energie t.b.v. warmtapwaterbereiding. De rode pijlen betreffen energieverliesposten.

Het ketenrendement is het totaalrendement van alle rendementen inclusief opwekking (Figuur 2.2). Het opwekkingsrendement is alleen relevant voor elektrisch aangedreven boilers en warmtepompen en bedraagt 39% conform de NEN7120. Het rendement van bereiding wordt berekend op basis van de NEN7120. Hierin zijn impliciet de warmteverliezen over de leidingen meegenomen omdat de energie die bij transport naar de omgeving afgestaan wordt berekend wordt door SIMDEUM-HW. Het opwekkingsrendement is niet meegenomen in de berekening van de jaarlijkse energiekosten en CO₂-emissie omdat het opwekkingsrendement niet relevant is voor de prestatie van het systeem van warmtapwaterbereiding op het niveau van de gebruiker.

2.6.2 Rendement van de warmteoverdracht (S1)

Voor het rendement van de warmteoverdracht zijn de waarden uit kwaliteitsverklaringen van warmtapwaterbereiders van de grote merken gebruikt. Hierbij is een groot aantal modellen van de grote merken bekeken en vervolgens een gemiddelde waarde aangenomen. Het resultaat hiervan is weergegeven in Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Rendement van warmteoverdracht van verschillende warmtapwaterbereiders op basis van kwaliteitsverklaringen en forfaitaire waarden uit NEN7120. Waarden met een kwaliteitsverklaring als bron betreffen gemiddelden van bekende merken bij een toepassingsklasse 4 (≥ 14 GJ/jaar). Bron 'A' staat voor 'kwaliteitsverklaringen TNO bekende merken', bron 'B' voor 'Kwaliteitsverklaringen ISSO, gemiddelde van typische modellen NEFIT, Itho Daalderop, etc.', bron 'C' voor Forfaitair NEN7120 en bron 'D' voor 'Kwaliteitsverklaring ISSO, op basis van Remeha Evita'.

Type bereider	Rendement (bovenwaarde)	Bron
Combi-WP (buitenlucht)	205%	A
Combi-WP (of WP boiler) (ventilatielucht)	310%	A
Combi-WP (gesloten bron: bodem/verticaal)	230%	A
Combi-WP (open bron: grondwater/recirculatie)	285%	A
Combi-WP (open bron: grondwater/WKO)	296%	A
Combi-WP (aangesloten op stadsverwarming)	420%	A
Combi-WP (aangesloten op restwarmte)	375%	A
Combi-CV	78%	B
Combi-CV met Zonnecollectoren / energiedaken	78%	B
Combi-CV met close-in boiler bij keukenkraan	78%	B
Geiser	63%	B
Geiser	75%	C
Boiler	63%	B
Boiler	75%	C
Boiler	63%	B
Boiler	75%	C
Combi-WP	70%	D

2.6.2.1 Rendementen van warmtepompen met rest- of stadswarmte als bron

De scope is voor dit project beperkt tot individuele warmtapwaterbereiders. Echter voor de individuele warmtepompen gevoed door externe warmte (restwarmte en stadswarmte) bestaat een koppeling met het collectieve niveau. Dit betekent dat er effectief posten niet worden meegenomen, waarbij warmteverliezen en pompenergie de twee grootste zijn.

Voor restwarmte is alleen pompenergie relevant. Gezien de relatief lage temperatuur kan er vanuit worden gegaan dat deze geen ander doel heeft en niet verder verlaagd kan worden. In dat geval is de primaire energie van de restwarmte gelijk aan nul. Voor stadswarmte geldt dat de warmtepompen worden gevoed vanuit de retourleiding van de stadsverwarming. Hierdoor wordt er weliswaar warmte onttrokken, maar niet op de temperatuur waarmee de warmteleverancier haar klanten warmte levert. Bovendien zijn de verliezen over retourleidingen lager en is het denkbaar dat de warmteleverancier een efficiëntere productie van warmte heeft door een lagere retourtemperatuur.

Voor restwarmte geldt dat het water naar de individuele bereiders gepompt moet worden. De hoeveelheid primaire pompenergie (dus inclusief opwekking elektriciteit) is minder dan 2% van de totale warmwatervraag. De gemaakte fout is dus relatief klein. Voor stadswarmte wordt het water al rondgepompt in de hoofdleiding, waardoor alleen voor de leidingen naar de individuele bereiders nog extra pompenergie nodig is. De gemaakte fout is hier dus nog kleiner dan bij restwarmte.

2.6.2.2 Opwekkingsrendement (centrale) energieproductie

Om het rendement van warmtepompen te kunnen vergelijken met dat van andere warmteopwekkers zoals een HR-ketel wordt het rendement omgerekend naar een 'primaire energieverhouding'. Dit is de verhouding tussen de hoeveelheid geleverde energie en gebruikte primaire energie. Ondanks dat (centrale) elektriciteitsproductie niet binnen de scope van dit project valt, nemen we het opwekkingsrendement van elektriciteit in Nederland mee om een eerlijke vergelijking te kunnen maken.

2.6.2.3 Correctie opstartverliezen

De waarden uit Tabel 2.6 zijn bepaald op basis van een gestandaardiseerde testcyclus waarin 49 tappingsen worden gedaan. Ecofys heeft het rendement gecorrigeerd voor de opstartverliezen, die optreden bij Combi-CV en gasgeisers, omdat het op basis van de data van KWR mogelijk is om voor elke scenario (gebruiker) het aantal tappingsen per dag te bepalen. De werkelijke opstartverliezen op basis van het aantal tappingsen per dag wordt meegenomen in S2.

2.6.2.4 Correctie bij hogere warmtapwatertemperatuur

Zoals aangegeven in Paragraaf 2.1.2 zijn in het model twee opties voor de temperatuur van het warm tapwater meegenomen: 55°C en 65°C. Wanneer uitgegaan wordt van een temperatuurdaling van 5°C gedurende het transport naar de kraan betekent dit dat het water bij de warmtapwaterbereider tot respectievelijk 60°C en 70°C verwarmd moet worden. Wanneer er sprake is van een hogere warmtapwatertemperatuur wordt voor warmtepompen een correctiefactor van 0,82 in rekening gebracht (deze factor is gebaseerd op gegevens uit het productblad van de Itho Daalderop Boosterwarmtepomp (gedownload op 29 september 2015). Deze correctiefactor en de rendementen uit Tabel 2.6 zijn door genoemde bronnen bepaald bij een temperatuur van respectievelijk 58°C en 68°C. Het verschil van 2°C wordt geacht geen significant effect te hebben op de uitkomst van het model.

2.6.2.5 Dimensionering warmtapwaterbereider (toepassingsklasse)

Bij alle scenario's is uitgegaan van een warmtapwaterbereider die qua dimensionering aansluit bij het verbruik van het scenario (tenzij anders aangegeven). Rendementen uit kwaliteitsverklaringen worden gemeten bij een aantal toepassingsklassen (Tabel 2.7, zie ook Bijlage VI). Volgens NEN7120, Paragraaf A.2.2.3 geldt een correctiefactor voor een lagere vraag dan de bijbehorende toepassingsklasse waarvoor het rendement is bepaald. De correctiefactoren uit Tabel 2.7 komen uit de NEN7120 en zijn bepaald ten opzichte van een CW-4 klasse warmwaterbereider (correctiefactor_{CW4} = 1, jaarlijkse warmtevraag ≥ 14 GJ). De

correctiefactoren worden toegepast op het netto energiegebruik dat door SIMDEUM-HW berekend is. De formule waarmee de correctiefactor bepaald wordt heeft de vorm $a + b \cdot X$. a is hierbij de basis correctiefactor op basis van de waarden in de NEN7120, Tabellen 19.17 en 19.18. b is het verschil tussen de werkelijke warmtevraag en de dichtstbijzijnde kleinere warmtevraag uit NEN7120, Tabel 19.14. X is de richtingscoëfficiënt die nodig is voor het lineair interpoleren van de correctiefactoren tussen twee toepassingsklassen. Deze lineaire interpolatie is conform NEN7120 Tabel 19.14 en opmerking 3 onder NEN7120, Paragraaf 19.7.3.2.

Tabel 2.7. Toegepaste correctiefactoren op rendement op basis van NEN7120, Tabellen 19.14, 19.15, 19.17 en 19.18. Correctiefactor A is relevant voor alle warmtapwaterbereiders zijnde geen warmtepompen. Correctiefactor B is relevant voor alle warmtepompen wanneer sprake is van overdimensionering. Correctiefactor C is relevant voor alle warmtepompen wanneer geen sprake is van overdimensionering.

Toepassings-klasse	CW-klasse	Maximale warmtevraag [GJ/jaar]	Correctiefactor A [-]	Correctiefactor B [-]	Correctiefactor C [-]
'Aanrecht'	CW-1	<2,0	0,680	0,450	0,860
Klasse 1	CW-1 ⁺	6,5	0,800	0,450	0,910
Klasse 2	CW-2	9,0	0,867	0,750	0,940
Klasse 3	CW-3	11,5	0,933	0,920	0,970
Klasse 4	CW-4, 5 of 6	≥14,0	1,000	1,000	1,000

2.6.3 Opstartverliezen (S2)

De tappatronen van SIMDEUM-DW bevatten informatie over het aantal warmwatertappingsen per dag. Bij Combi-CV's en geisers is er sprake van een opstartverlies bij iedere tapping, waarbij het even duurt voordat het water op de gewenste temperatuur uit de bereider komt. Het aantal tappingen op een dag is nauwelijks gecorreleerd aan het totale netto verbruik³ (MWW_{dag}). Dit betekent dat iemand een hoog netto energieverbruik kan hebben terwijl er relatief weinig tappingen per dag zijn en vice versa. Het is daarom niet correct om de 25-, 50- en 75-percentielwaarden van het aantal tappingen per dag 1-op-1 te gebruiken in de berekeningen van het totaal primair energiegebruik van respectievelijk het 25-, 50- en 75-percentiel van het dagverbruik. Daarom wordt voor het 25-, 50- en 75-percentiel van het totale netto energiegebruik per dag niet het 25-, 50- en 75-percentiel van het aantal tappingen per dag gebruikt maar gemiddelde aantallen tappingen per dag over bandbreedtes van respectievelijk het 20-30 percentiel, 45-55 percentiel en 70-80 percentiel van het totale netto dagverbruik.

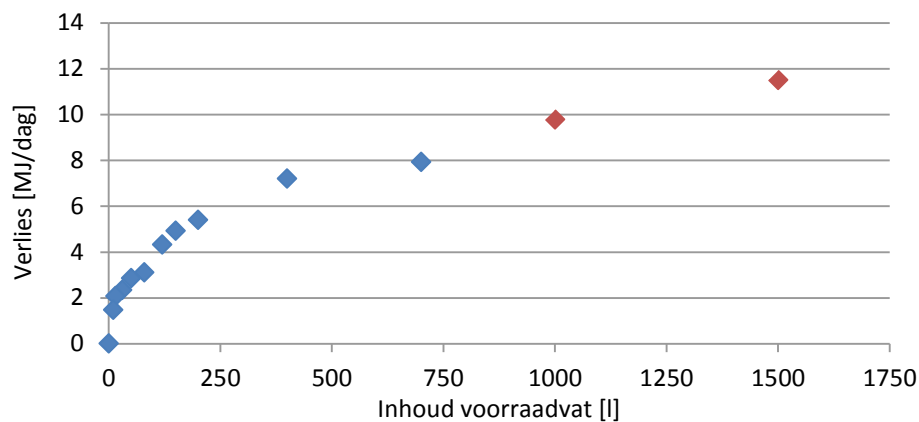
De opstartverliezen zijn in het model meegenomen door het aantal tappingen uit SIMDEUM-HW te verminderen met een gemiddeld energieverlies per tapping à 150 kJ/tapping voor Combi-CVs en 340 kJ/ tapping voor geisers. Deze waarden zijn vastgesteld op basis van de effectieve wachttijden van warmtapwaterbereiders van bekende leveranciers.

2.6.4 Voorraadverliezen (S3)

Voorraadverliezen die warm tapwater bevatten geven thermische energie af aan de omgeving vanwege het potentiaalverschil tussen de temperatuur van het warm tapwater aan de ene kant en de omgevingstemperatuur aan de andere kant van de wand van het vat. Op basis van

³ Deze bewering geldt voor alle correlaties tussen het aantal tappingen en de parameters die een warmtapwatervolume representeren: MWW_{dag} , MWW_{120} , MWW_{60} en MWW_{10} . Er is wel een duidelijke correlatie tussen het aantal tappingen en de maximale momentane volumestroom (MMV). Zie Bijlage III.

de typische voorraadvaten van een grote leveranciers (zie bijlage V) is een verband afgeleid (Figuur 2.3).



Figuur 2.3. Verliescurve geconstrueerd uit data van fabrikanten (zie Bijlage IV). De twee rode punten zijn geëxtrapoleerde waarden.

2.6.5 Elektrische hulpenergie nodig voor functioneren bereider (S4)

Hulpenergie is meegenomen in de testcycli voor de kwaliteitsverklaringen van de warmtapwaterbereiders (Tabel 2.6). Deze energie is daarom al meegenomen in het rendement van warmteoverdracht (S1).

Bij toepassing van een CV-ketel waarbij een deel van de warmtapwatervraag ingevuld wordt door zonnecollectoren wordt een additionele post van 100 kWh/jaar (forfaitaire waarde) meegenomen in verband met de extra pompenergie. Voor deze energie wordt uiteraard geen opwekkingsrendement van de energiecentrale verdisconteerd.

2.6.6 Benodigde primaire energie

De benodigde primaire energie (Q_{primair}) is de resultante van de warmtevraag, het rendement van de bereider en de verliezen. Wanneer elektriciteit wordt gebruikt om het warm tapwater te bereiden is conform NEN7120 een opwekkingsrendement van 39% gebruikt om het ketenrendement te bepalen. Dit opwekkingsrendement is niet meegenomen in de berekening van de jaarlijkse energiekosten en CO₂-emissie omdat het opwekkingsrendement à 39% niet relevant is voor de prestatie van het systeem van warmtapwaterbereiding bij de gebruiker.

2.6.7 Bepaling grootte voorraadvat

De inhoud van een voorraadtoestel kan berekend worden met Vergelijking 4 (ISSO, 2007):

$$V = \frac{\sum Q_{\text{wt}} + Q_{\text{verlies}}}{c\rho\Delta\theta_b\eta_b} \quad \text{Vergelijking 4}$$

Hierin zijn:

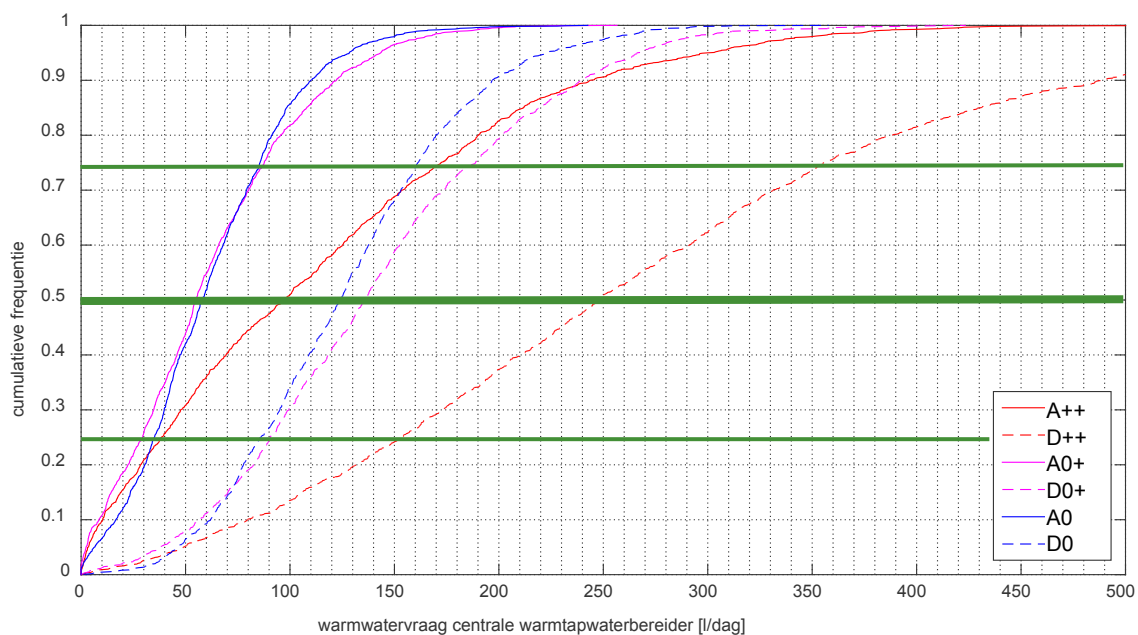
$\sum Q_{\text{wt}}$	warmtehoeveelheid van alle tappunten op piekmoment [J]
Q_{verlies}	verlies over uittapleidingen [J]
c	soortelijke warmte water [J/kg.K]
η_b	nuttige inhoud voorraadtoestel [-]
ρ	dichtheid water [kg/m ³]
$\Delta\theta_b$	temperatuurverschil over boiler [°C]

De teller $\Sigma Q_{wt} + Q_{verlies}$ is gelijk aan het energetisch equivalent van de MWW_{10} (klein voorraadvat bij combi-cv of close-in boiler) en de MWW_{dag} (grote boiler of voorraadvat bij warmtepomp). De waarde van $\Sigma Q_{wt} + Q_{verlies}$ wordt berekend door SIMDEUM-HW (MWW_{dag} of MWW_{10} ; afhankelijk van keuze voor klein of groot voorraadvat). De nuttige inhoud is bij voorraadvaten waar de warmte in het vat wordt geproduceerd een constante parameter en hangt o.a. af van de gelaagdheid (thermische stratificatie) en instroming van koud water. Deze wordt voor dergelijke vaten op 80% gezet. Bij voorraadvaten met externe verwarming ('hotfill-vaten', bijv. een individuele warmtepomp levert warm tapwater aan het vat), zijn de temperatuurverschillen en daardoor gelaagdheid een stuk kleiner, waardoor de nuttige inhoud voor dergelijke vaten hoger zal zijn. Voor 'hotfill-vaten' wordt daarom uitgegaan van een nuttige inhoud van 95% (conform ISSO-Publicatie 55.1). Voor het temperatuurverschil over de boiler wordt 50 °C aangehouden. Dit is het verschil tussen de insteltemperatuur van het vat (60 °C) en de koudwatertemperatuur in de winter (10 °C). De keuze om de grootte van het voorraadvat te koppelen aan de MWW-waarde zorgt ervoor dat elk verbruiksscenario (wanneer relevant; zie Tabel 2.5) een voorraadvat heeft dat precies gedimensioneerd is op de vraag van dat scenario. In praktijk zal dit enigszins meer discontinu zijn omdat voorraadvaten niet in elk volume te krijgen zijn (handelsmaten).

3 Warmtapwatervraag en netto energievraag

3.1 Berekenen warmwatervraag met SIMDEUM-DW

Met SIMDEUM-DW zijn voor alle zes typen huishoudens uit paragraaf 2.1.1 1500 fictieve huishoudens gesimuleerd. Voor al deze huishoudens is de dagelijkse warmwatervraag bij 60°C aan de centrale warmtapwaterbereider berekend (Figuur 3.1).

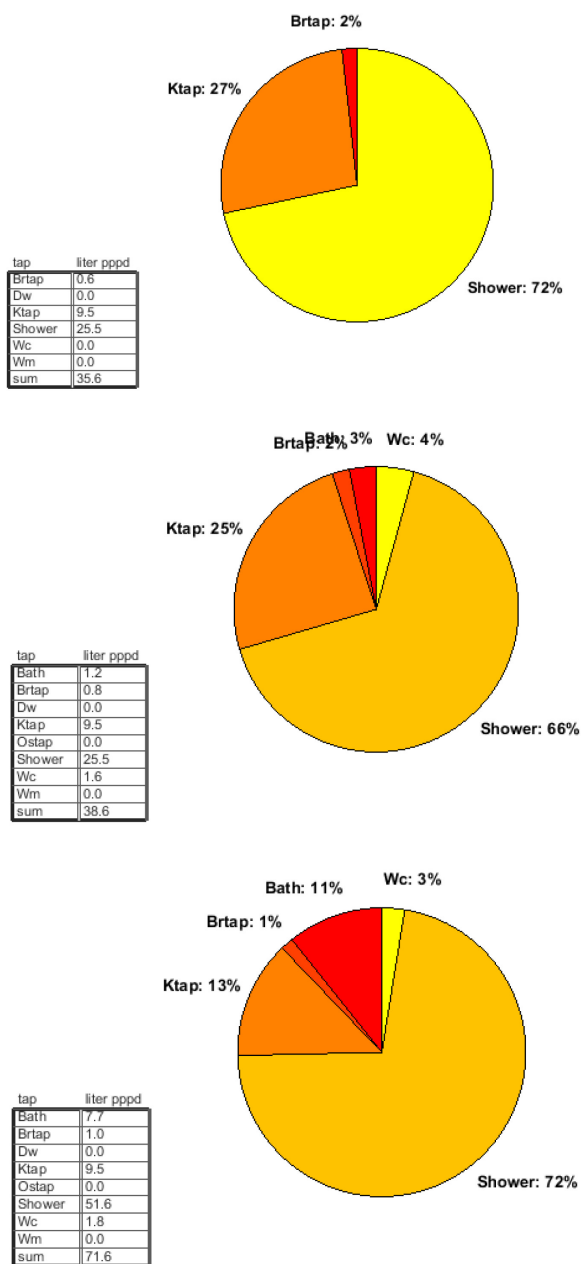


Figuur 3.1. Cumulatieve verdeling (1500 huishoudens) van warmwatervraag aan centrale warmtapwaterbereider (MWW_{dag}) van de zes verbruiksscenario's. De groen gemarkeerde bandbreedte geeft het onderzoeksgebied weer (25^e tot 75^e percentiel; zie ook Paragraaf 2.4).

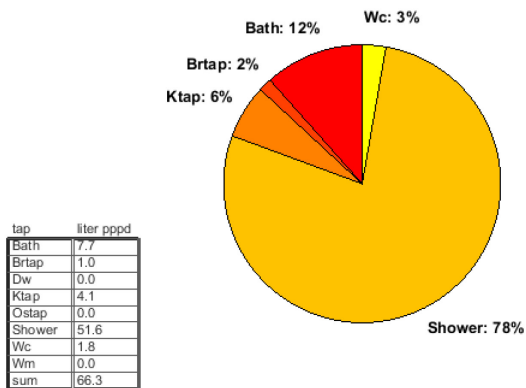
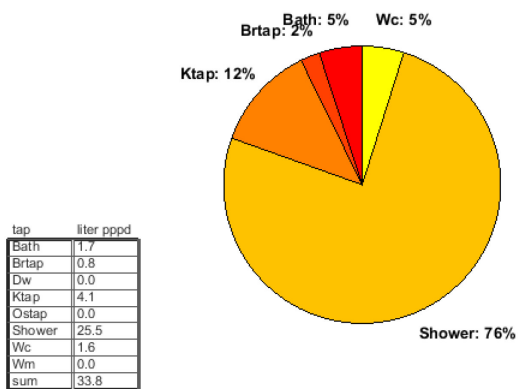
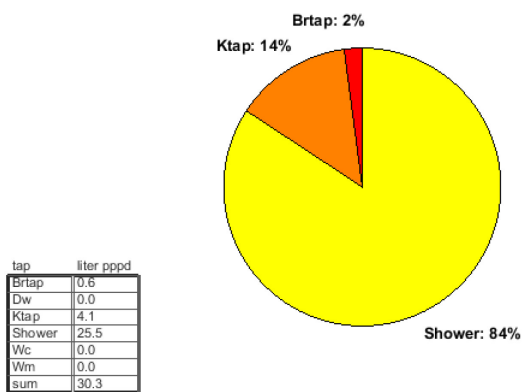
Figuur 3.1 laat zien dat, voor de gegeven bandbreedte van 25^e tot 75^e percentiel de warmwatervraag van een woningklasse standaard met enkele of dubbele bewoning (A0) varieert tussen ongeveer 40 en 90 liter per dag. Voor een woningklasse luxe met enkele of dubbele bewoning (A++) is dit 40 tot 175 liter. Deze grotere variatie komt voornamelijk door de aanwezigheid van een regendouche en bad in de woningklasse luxe (zie ook Bijlage I). Dit is ook te zien in de volgende figuren waarin voor de zes huishoudens uit Tabel 2.2 de verdeling van warm water over de verschillende tappunten bij gemiddeld (50^e percentiel) verbruik weergegeven zijn. Het warmtapwaterverbruik is weergegeven per persoon per dag (pppd). De verklaring van de afkortingen is weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Verklaring van afkortingen uit Figuur 3.2 en Figuur 3.3.

Bath	Bad	Ostap	Buitenkraan
Brtap	Wastafel (badkamer)	Shower	Douche
Dw	Wasmachine	Wc	Bidet
Ktap	Keukenkraan	Wm	Wasmachine



Figuur 3.2. Verdeling van warm water over verschillende tappunten bij gemiddeld (50^e percentiel) en enkele of dubbele bewoning (bewonerscategorie A) voor (van boven naar beneden gezien) de woningklassen standaard, standaard plus en luxe.



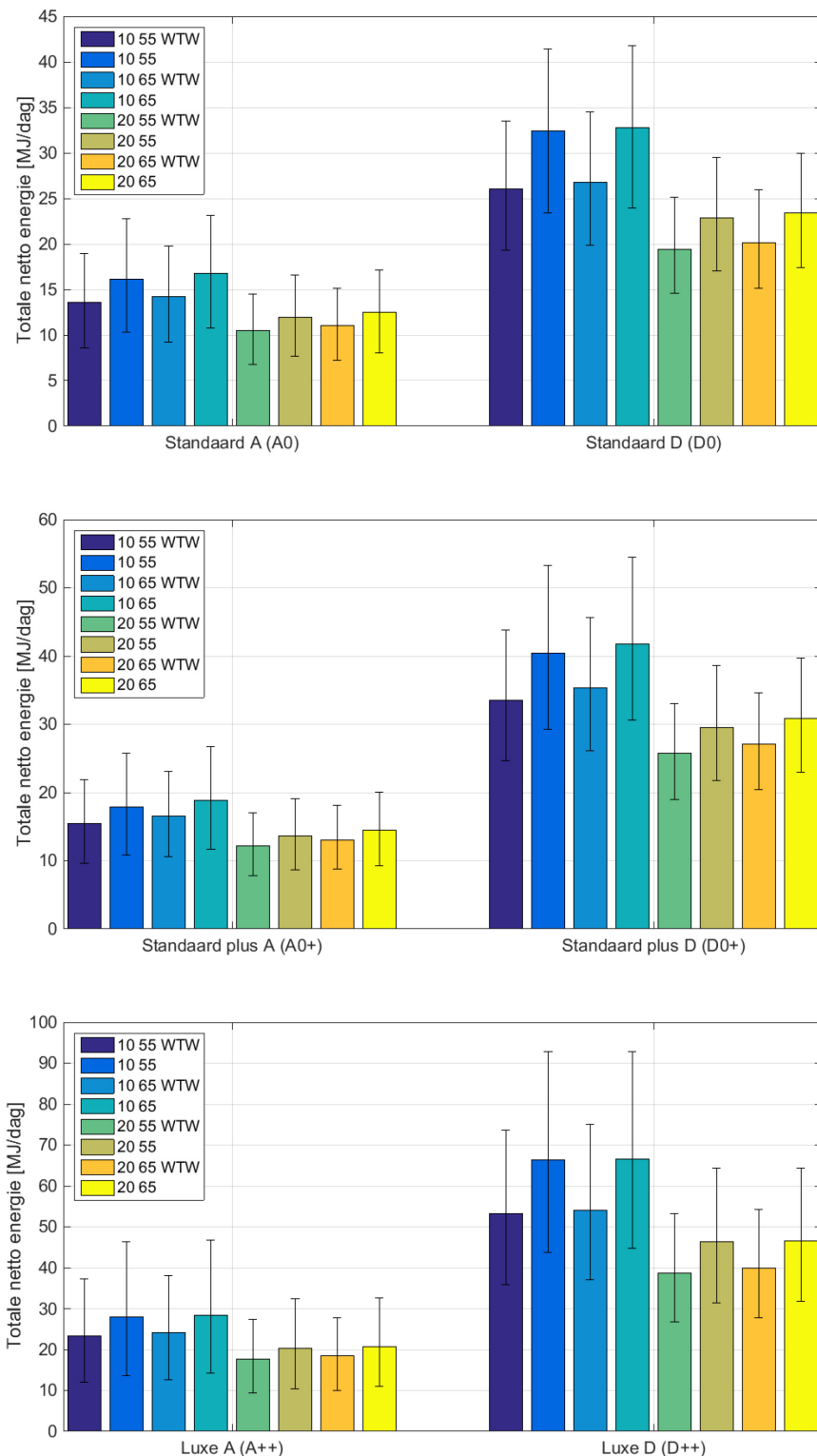
Figuur 3.3. Verdeling van warm water over verschillende tappunten bij gemiddeld (50^e percentiel) van meerpersoonshuishoudens (bewonerscategorie D) voor (van boven naar beneden gezien) de woningklassen standaard, standaard plus en luxe.

Figuur 3.2 en Figuur 3.3 laten zien dat de douche het grootste aandeel in warmtapwaterverbruik heeft. Bij bewonerscategorie A varieert dit aandeel tussen 66 en 72%. Bij bewonerscategorie D is dit 76 tot 84%. Voor de meeste typen huishoudens is de keukenkraan de grootste tweede verbruikspost voor warm tapwater.

3.2 Invloed temperatuurscenario's op netto energievraag

In Figuur 3.4 is de netto energie weergegeven voor de zes huishoudens uit Tabel 2.2. Om de resultaten overzichtelijk te houden zijn hier de resultaten die betrekking hebben op het voor- en najaar achterwege gelaten. De legenda geeft respectievelijk de waarden van (1) de ingaande temperatuur (10 of 20), (2) de temperatuur aan de tap (55 of 65) en (3) het

wel/niet gebruik van een DWTW.

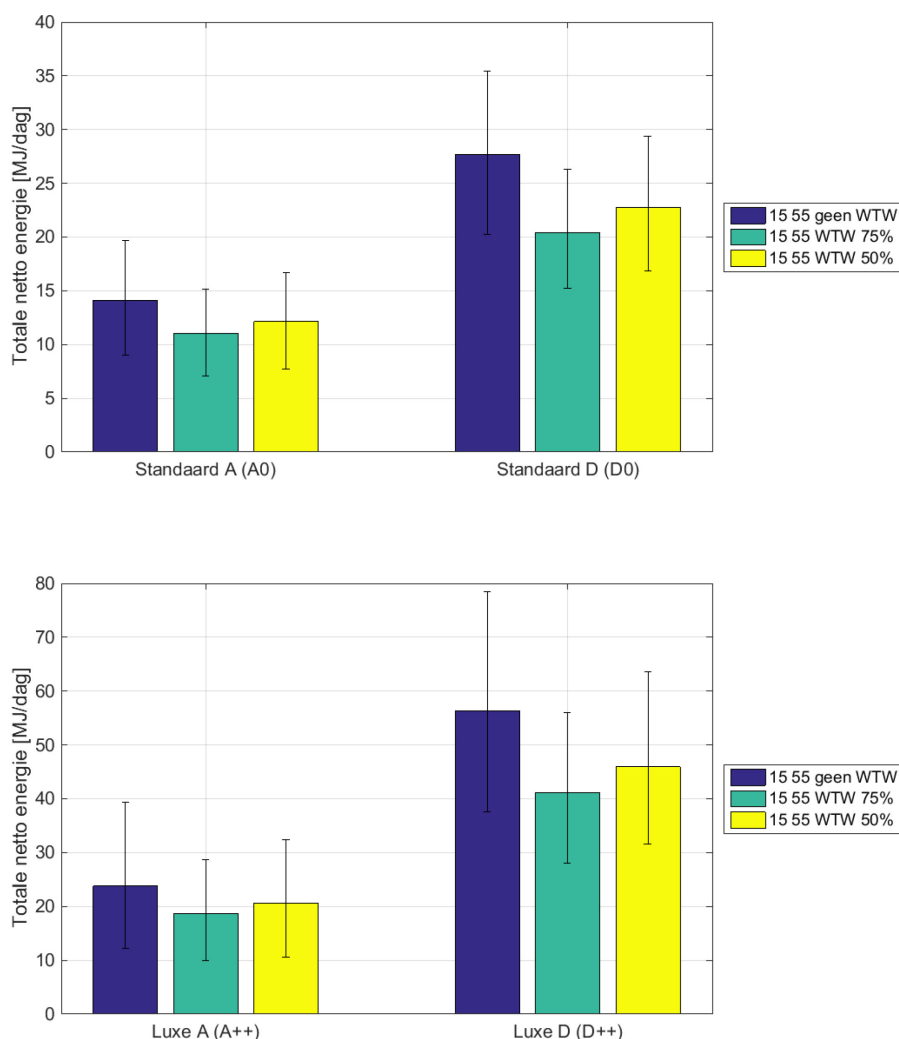


Figuur 3.4. Totale netto energie [MJ/dag] voor 6 woningklassen/bewonerscategorieën. De legenda geeft respectievelijk de waarden van (1) de ingaande temperatuur (10 of 20°C), (2) de temperatuur aan de tap (55 of 65°C) en (3) het wel/niet gebruik van een DWTW. De bandbreedten geven de marges tussen het 25 tot 75 percentiel aan.

De verschillen in koudwatertemperatuur in winter en zomer leiden tot een verschil van 20 tot 30%. Doordat de DWTW in de winter meer effect heeft dan in de zomer (het verschil tussen koudwatertemperatuur en afvalwatertemperatuur is dan groter) is deze variatie bij gebruik van een DWTW kleiner. De DWTW zelf kan een forse besparing op de netto energie opleveren van gemiddeld ongeveer 20% in de winter. In de zomer is deze besparing lager, namelijk ongeveer 10 tot 15%.

3.3 Invloed efficiency van warmtewisselaar op netto energievraag

In het huidige model wordt – wanneer DWTW van toepassing – uitgegaan van een DWTW met een efficiency van 50%. De resultaten van dit scenario zijn – voor vier typen huishoudens – vergeleken met twee andere SIMDEUM-HW scenario's: zonder DWTW en een 75% efficiënte DWTW (Figuur 3.5).



Figuur 3.5. Vergelijking resultaten totale netto energie [MJ/dag] bij (1) geen DWTW, (2) DWTW met efficiency van 75% en (3) DWTW met efficiency van 50% voor vier typen huishoudens (standaard A, standaard D, luxe A, luxe D). De legenda geeft respectievelijk de waarden van (1) de ingaande temperatuur (15°C; voor-/najaar), (2) de temperatuur aan de tap (55°C) en (3) het gebruik van een DWTW (geen, 75% efficiënt, 50% efficiënt). De bandbreedten geven de marges tussen het 25 tot 75 percentiel aan.

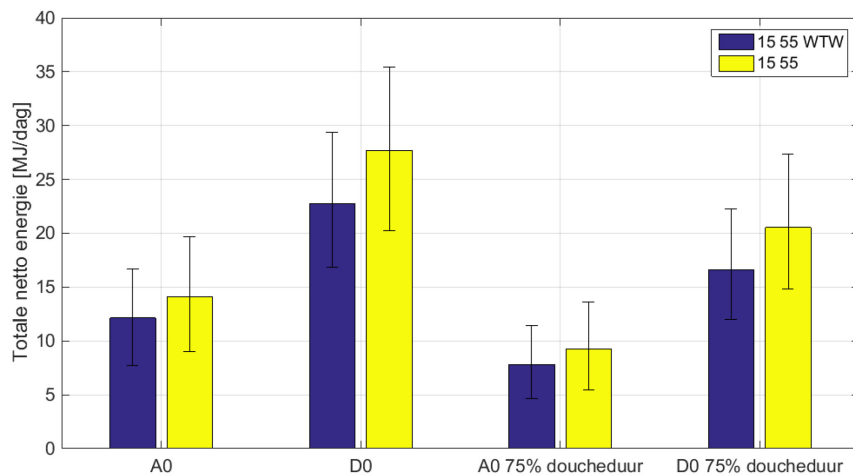
Figuur 3.5 laat zien dat, ook met een 50% efficiënte DWTW een significante besparing op het netto energiegebruik optreedt. Een 75% efficiënte DWTW geeft een grotere besparing, maar het gat tussen beide scenario's (50 en 75%) is veel kleiner (ongeveer 10%) dan het totale verschil tussen geen DWTW en een 75% efficiënte DWTW (ongeveer 30%).

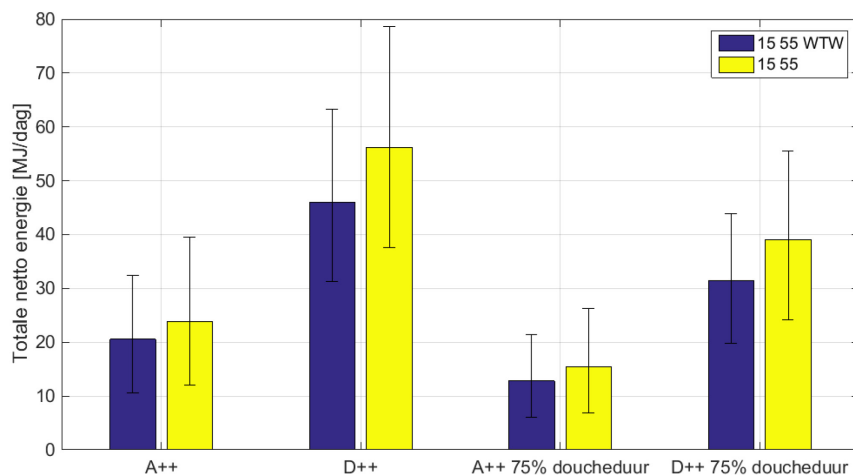
3.4 Invloed korter douchen op netto energievraag

Doordat het model gebruik maakt van SIMDEUM-DW kunnen de gevolgen van gebruiksgedrag voor het warm water en energiegebruik inzichtelijk gemaakt worden. Met het model is onderzocht wat het effect op het netto energiegebruik is wanneer bewoners gemiddeld 25% korter douchen. In Tabel 3.2 is te zien tot welke gemiddelde doucheduren dit leidt voor verschillende categorieën van personen in SIMDEUM-DW.

Tabel 3.2. Gemiddelde doucheduur in het standaard model en bij 25% korter douchen voor SIMDEUM-DW persoonscategorieën.

SIMDEUM-DW persoonscategorie	Gemiddelde doucheduur	Gemiddelde doucheduur 75%
	[min]	[min]
Kind	8,6	6,5
Tiener	11,3	8,5
Volwassene	9,3	7,0
Senior	6,5	4,9





Figuur 3.6. Totale netto energie [MJ/dag] bij woningklasse standaard (boven) en luxe (onder). De legenda geeft respectievelijk de waarden van (1) de ingaande temperatuur (15°C), (2) de temperatuur aan de tap (55°C) en (3) het gebruik van een DWTW (wel/niet). De bandbreedten geven de marges tussen het 25 tot 75 percentiel aan.

In Figuur 3.6 is te zien welk effect de verkorting van de doucheduur heeft op het totale dagverbruik bij een warm water temperatuur van 55°C en een koudwatertemperatuur van 15°C. De relatieve besparing die optreedt bedraagt minimaal zo'n 22% (onzuinige gebruiker; 75 percentiel) en maximaal 43% (zuinige gebruiker; 25 percentiel). Bij het gebruik van een DWTW zijn de besparingen door korter douchen enkele procentpunten lager.

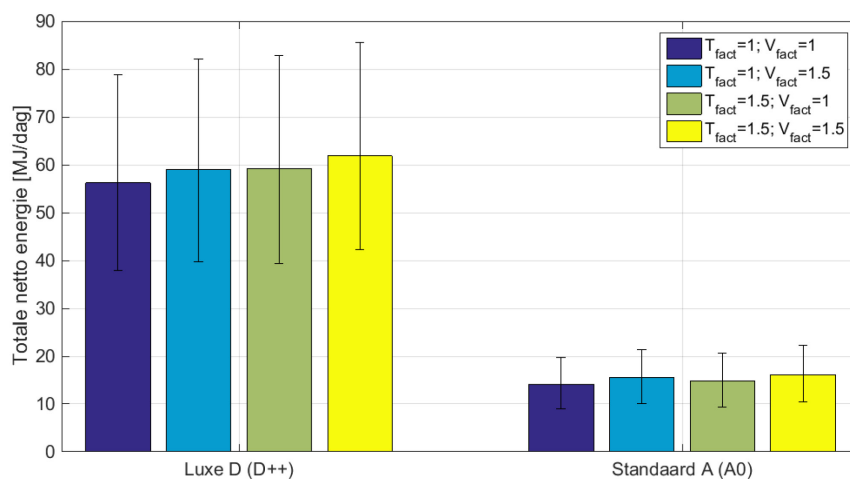
Interpretatie van Figuur 3.6 laat zien de relatieve besparing gelijk is voor woningklassen standaard (0) en luxe (++). Dit is logisch omdat de maatregel zuiver betrekking heeft op de doucheduur en als zodanig in SIMDEUM-DW geprogrammeerd wordt.

3.5 Invloed warmteverliezen op netto energie

Verlies van warmte uit bereid warm tapwater naar de omgeving is een energiebijdrage die opgeteld wordt bij de netto energie die nodig is om het water te verwarmen (Paragraaf 2.2). Met SIMDEUM-HW is getest hoe gevoelig deze bijdrage is voor wijzingen in (A) het warmteverlies tijdens het tappen (temperatuurverlies: ΔT) en (B) het warmteverlies na het tappen (bepaald door warmwatervolume in de leiding) (Tabel 3.3 en Figuur 3.7).

Tabel 3.3. Scenario's voor warmteverlies tijdens en na het tappen.

Scenario	Legenda in Figuur 3.7	Temperatuurverlies [$\Delta^\circ\text{C}$]	Volume leiding naar douche [l]
0	$T_{\text{fact}} = 1; V_{\text{fact}} = 1$	5 (+0%)	1,1 (+0%)
A	$T_{\text{fact}} = 1; V_{\text{fact}} = 1,5$	5 (+0%)	1,65 (+50%)
B	$T_{\text{fact}} = 1,5; V_{\text{fact}} = 1$	7,5 (+50%)	1,1 (+0%)
A en B	$T_{\text{fact}} = 1,5; V_{\text{fact}} = 1,5$	7,5 (+50%)	1,65 (+50%)



Figuur 3.7. Totale netto energie [MJ/dag] voor vier energieverlies-scenario's bij twee typen woninginstallaties.

Een toename van alleen het leidingvolume met 50% leidt tot een totale toename in netto energie van ongeveer 5%. Bij een toename van zowel het leidingvolume als het temperatuurverlies over de leiding is er gemiddeld sprake van een totale toename in netto energie van 10%. Voor zuinige gebruikers (25 percentiel) is dit percentage hoger (12%), voor onzuinige gebruikers lager (8%).

4 Ketenrendement, energiekosten en CO₂ emissie

Met de methode uit Paragraaf 2.6 kan voor elke warmtapwaterbereider uit paragraaf 2.5 voor elk SIMDEUM-HW scenario de primaire energie berekend worden. Omdat dit tot zeer veel resultaten leidt worden in dit hoofdstuk alleen de belangrijkste gegevens getoond. In totaal zijn 17 typen warmtapwaterbereiders meegenomen in het onderzoek. De resultaten van alle warmtapwaterbereiders zijn weergegeven in Bijlage V. In dit hoofdstuk worden alleen de resultaten getoond van de warmtapwaterbereiders uit Tabel 4.1. Dit zijn de meest onderscheidende typen typen uit het overzicht in paragraaf 2.5. Wanneer de lezer uitputtend gebruik wenst te maken van alle mogelijke uitkomsten wordt deze verwezen naar het model in het bij dit rapport horende Excel werkboek.

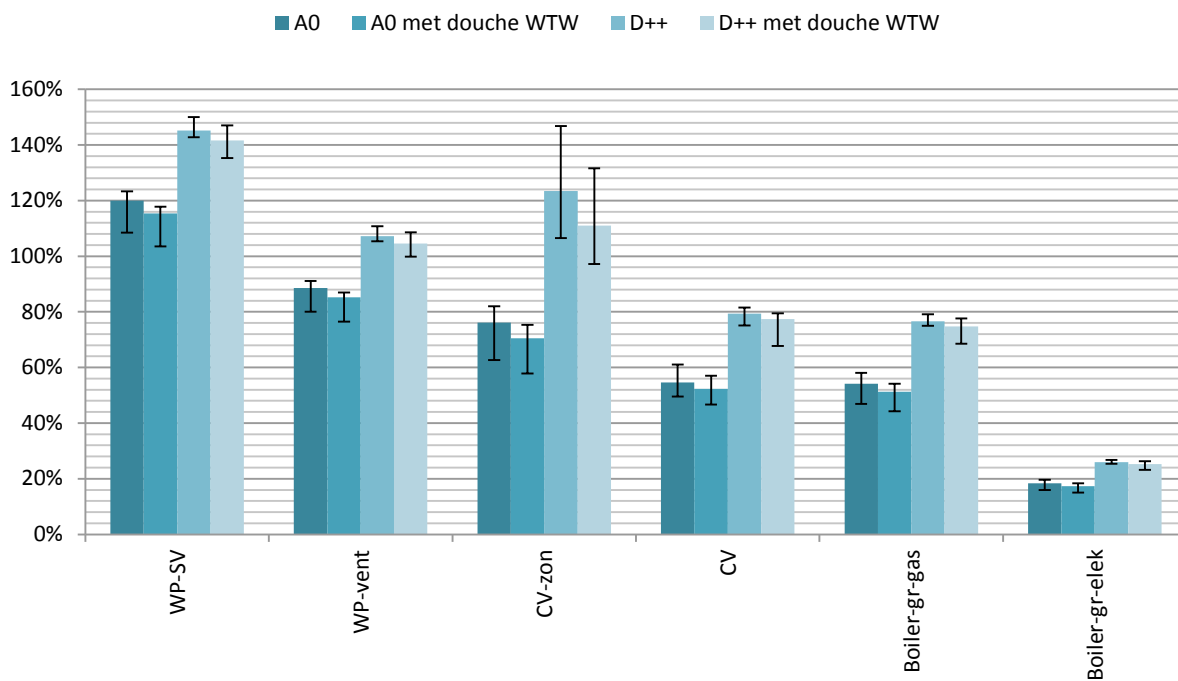
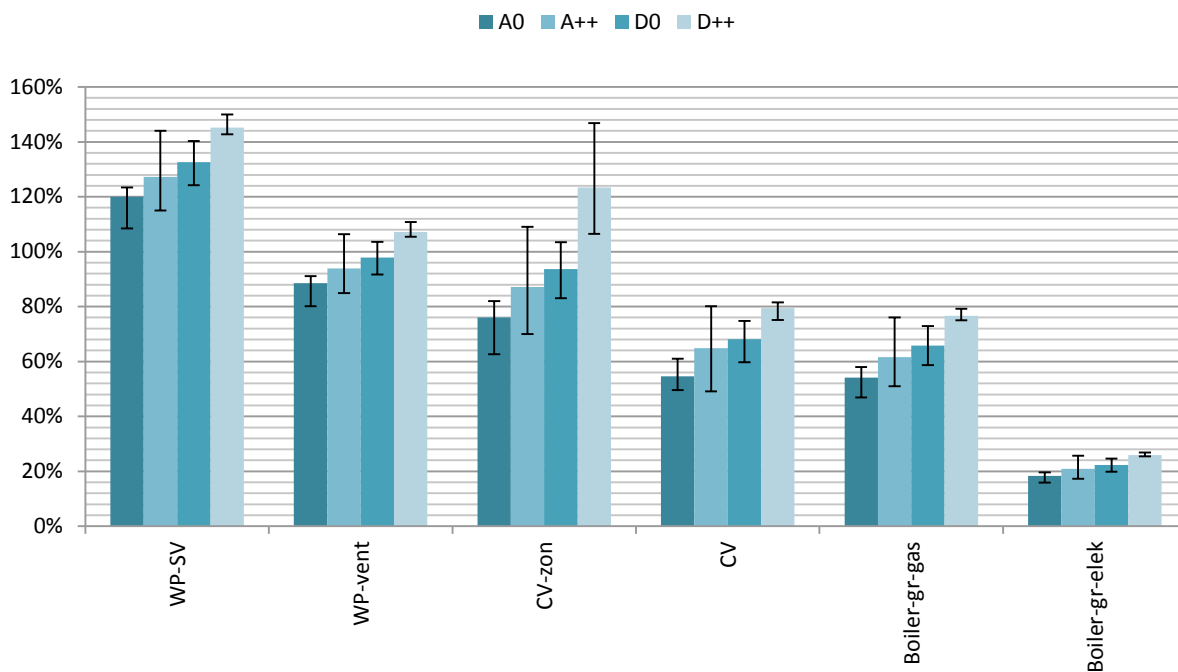
Tabel 4.1. Typen warmtapwaterbereiders waarvoor in hoofdstuk 4 resultaten getoond worden.

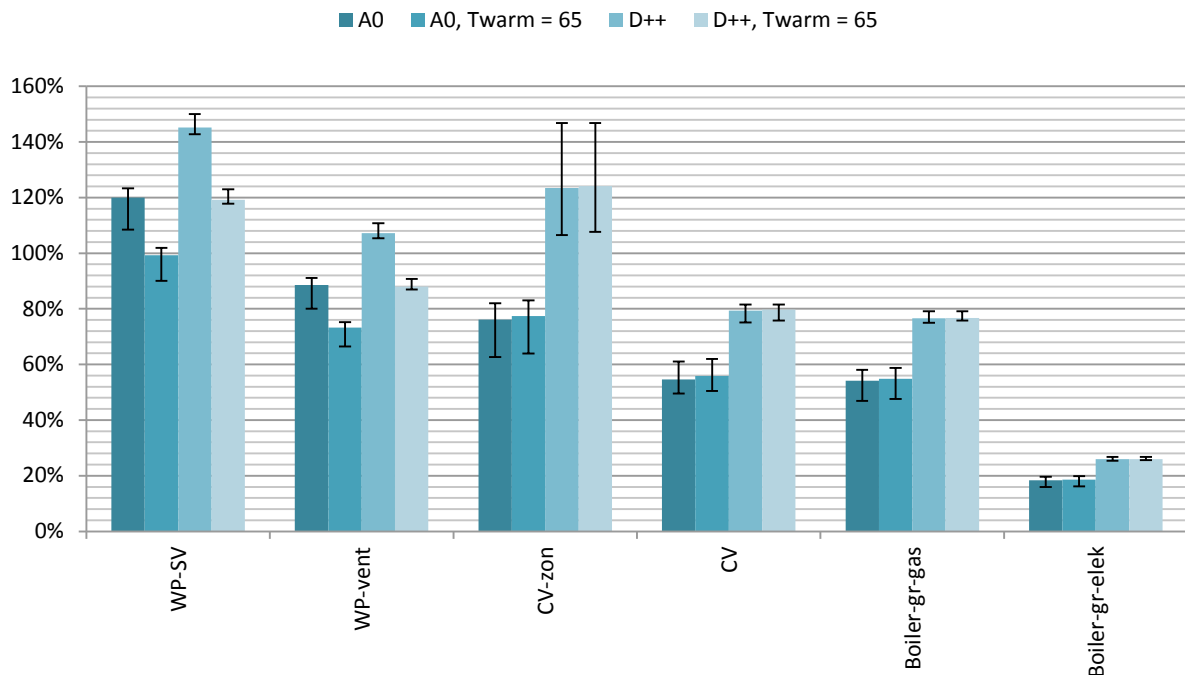
Warmtapwaterbereider	Afkorting in figuren
Combi warmtepomp, aangesloten op collectief warmtenet	WP-SV
Combi warmtepomp, bron: ventilatielucht, individuele woning	WP-vent
Combi-CV met zonnecollector / energiedak	CV-zon
Combi-CV	CV
Grote boiler gasgestookt	Boiler-gr-gas
Grote boiler elektrisch verwarmd	Boiler-gr-elek

4.1 Ketenrendement

Het ketenrendement is het totaalrendement van alle rendementen inclusief opwekking. Het opwekkingsrendement is alleen relevant voor elektrisch aangedreven boilers en warmtepompen en bedraagt 39% conform de EPC berekening uit de NEN7120 (zie Paragraaf 2.6). Het rendement van bereiding wordt berekend op basis van de EPC berekening uit de NEN7120 (zie Paragraaf 2.6). Hierin is impliciet het rendement van transport (energieverlies over de warmtapwaterleiding) meegenomen omdat de energie die bij transport naar de omgeving afgestaan wordt berekend wordt door SIMDEUM-HW.

In Figuur 4.1 zijn de ketenrendementen weergegeven voor de verbruiksscenario's met 1-2 personen (standaard en luxe woninginstallatie; respectievelijk A0 en A++) en 3-4 personen (standaard en luxe woninginstallatie; respectievelijk D0 en D++). Verder zijn de ketenrendementen weergegeven bij gebruik van een DWTW en hogere warmwatertemperatuur voor de verbruiksscenario's A0 en D++ (respectievelijk minimum en maximum verbruiksscenario).





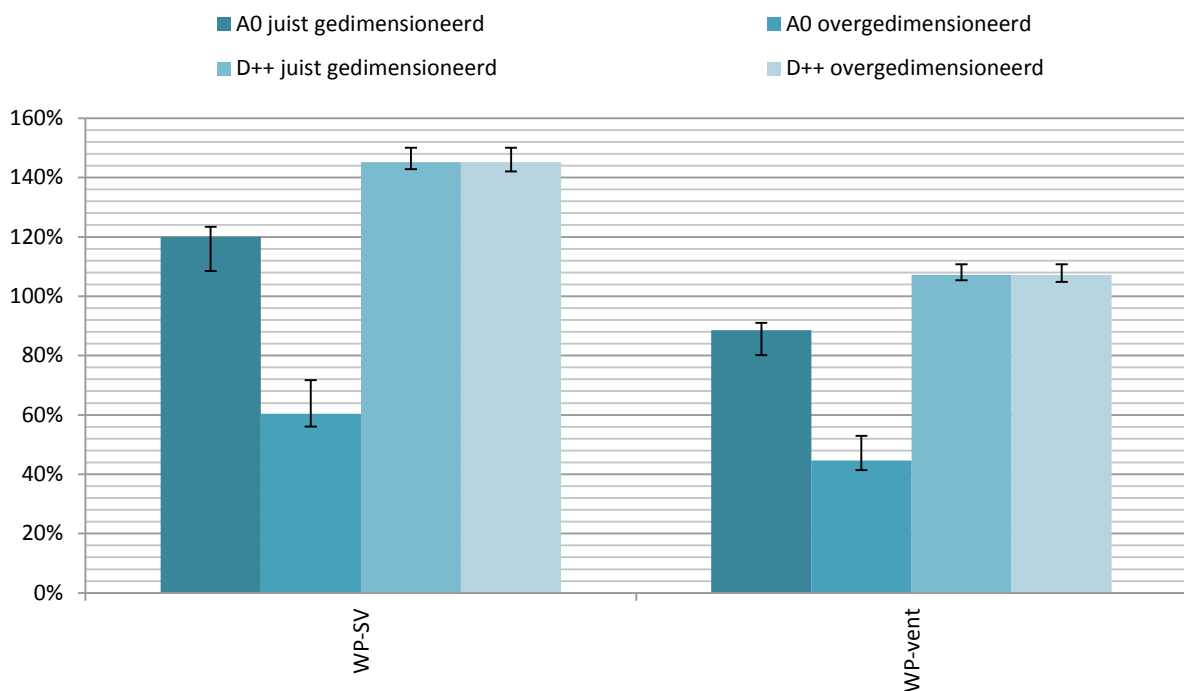
Figuur 4.1. Ketensrendement voor vier typen woningen (boven), effect gebruik DWTW op ketensrendement (midden) voor minimum (A0) en maximum verbruiksscenario (D++) en effect van warmwatertemperatuur op ketensrendement (onder) voor minimum (A0) en maximum verbruiksscenario (D++).

De warmtepomp die aangesloten is op een collectief systeem (WP-SV) resulteert in het hoogste ketensrendement voor alle verbruiksscenario's. De individuele warmtepomp met als warmtebron ventilatielucht (WP-vent) komt in de meeste gevallen als tweede. Dit is echter afhankelijk van de woonsituatie en de warmwatertemperatuur. Bij een hogere warmtapwatertemperatuur (65°C in plaats van 55°C) daalt bij de warmtepompen het ketensrendement met bijna 20%. Dit komt door de toegepaste correctie van de COP (zie Paragraaf 2.6). Bij de CV ketels heeft de een hogere temperatuur nauwelijks gevolgen voor het ketensrendement. Het ketensrendement van de CV ketels is wel afhankelijk van het verbruik. Dit komt doordat bij een hoger verbruik het effect van de opstartverliezen naar verhouding kleiner wordt. Bij een CV ketel in combinatie met zonnedak is deze afhankelijkheid groter. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van een voorraadvat bij de zonnecollector; de voorraadverliezen zijn bij een hoger verbruik naar verhouding kleiner, wat tot een hoger ketensrendement leidt. Het feit dat een gasgestookte boiler een veel hoger ketensrendement heeft dan de elektrisch gestookte variant komt vooral door het opwekkingsrendement van 39%. Dit aspect is wel relevant voor de elektrische boiler, maar niet voor de gasgestookte boiler.

Het gebruik van een DWTW leidt bij alle warmtapwaterbereiders tot een lager ketensrendement. De mate waarin dit gebeurt hangt af van de woonsituatie en het type bereider. Bij de combinatie van een luxe woning/meerpersoons huishouden met een CV ketel plus zonnedak geeft het model bij gebruik van een DWTW een daling van ongeveer 20%. Deze daling zal ook afhankelijk zijn van de mate waarin de zonneboiler bijdraagt aan het ketensrendement.

Om tot een zo hoog mogelijk ketensrendement te komen is het van belang dat de capaciteit van een warmtapwaterbereider past bij het warmtapwaterverbruik. Een te groot

gedimensioneerde warmtapwaterbereider leidt tot een daling van het rendement. Dit is vooral het geval bij warmtepompen (Figuur 4.2). Hierbij is de overdimensionering modelmatig geïmplementeerd als een keuze voor een warmtepomp met CW-klasse 4 (jaarverbruik > 14 GJ, zie ook Paragraaf 2.6). Bij een klein huishouden (1-2 personen) en een standaard woninginstallatie leidt dit tot een daling van het rendement van 50%. Bij een scenario met veel verbruik (3-4 personen en luxe woninginstallatie) leidt dit niet tot een daling van het rendement. Dit komt omdat het verbruik in dit scenario (voor de gehele bandbreedte tussen 25 en 75 percentiel), hoger is dan 14 GJ/jaar. Het model kent daarmee, conform NEN7120, bij zowel een juist gedimensioneerde als bij een overgedimensioneerde situatie een correctiefactor van '1' toe (zie Tabel 2.7 in Paragraaf 2.6).

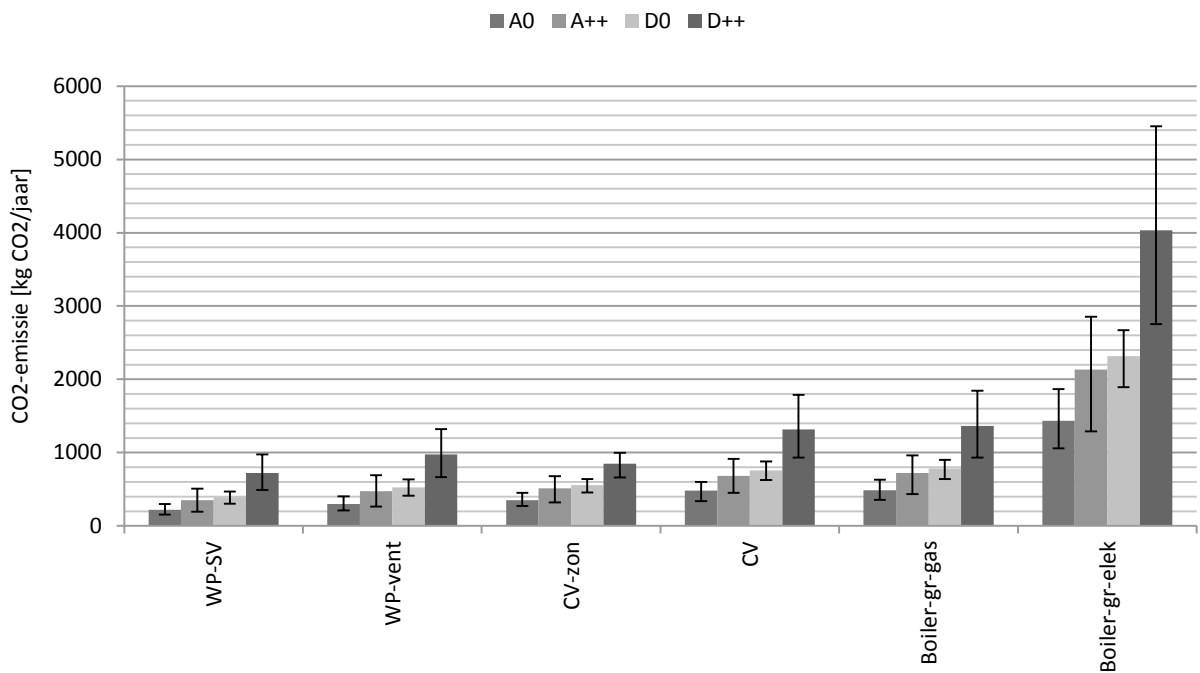
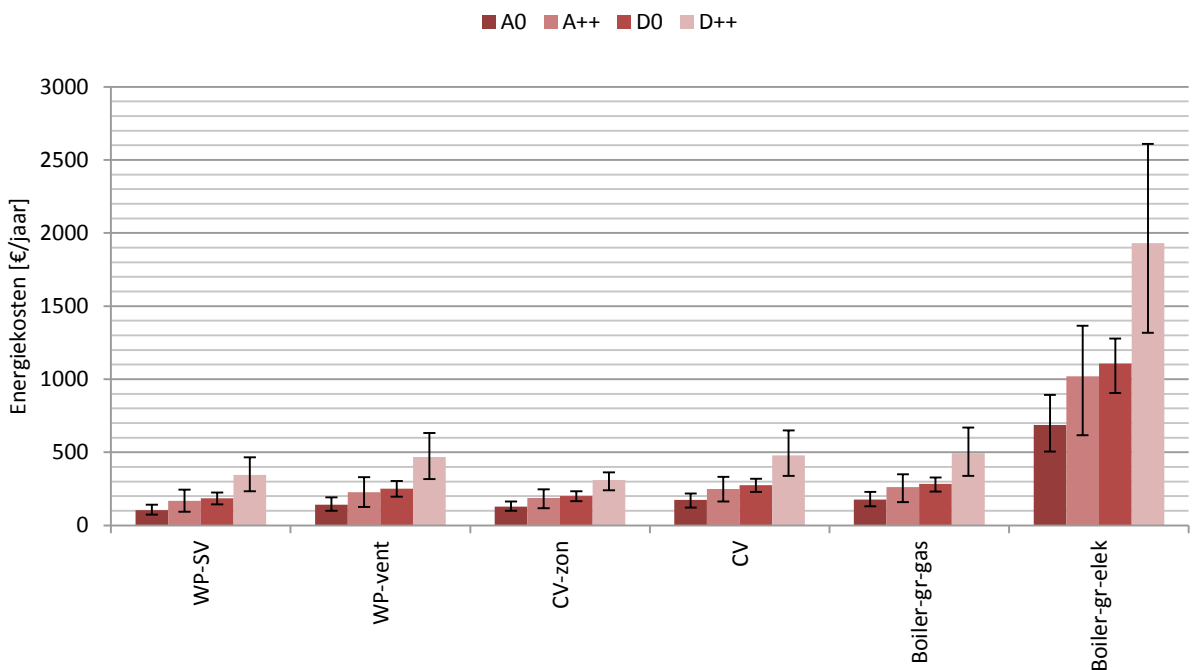


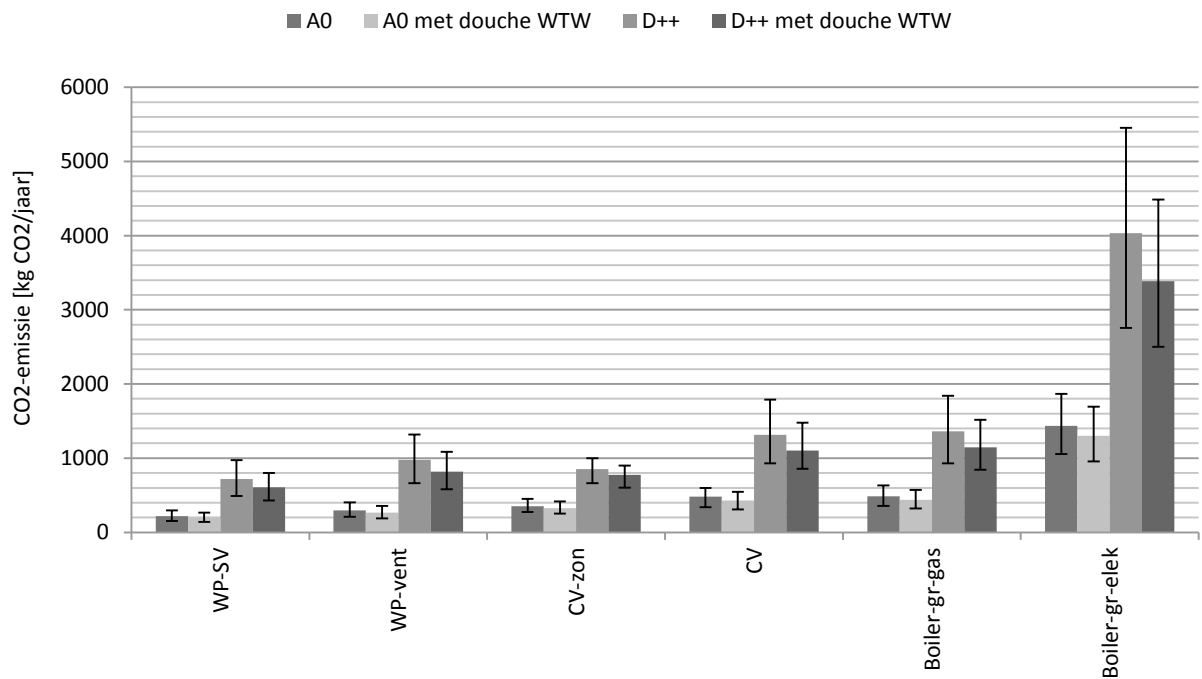
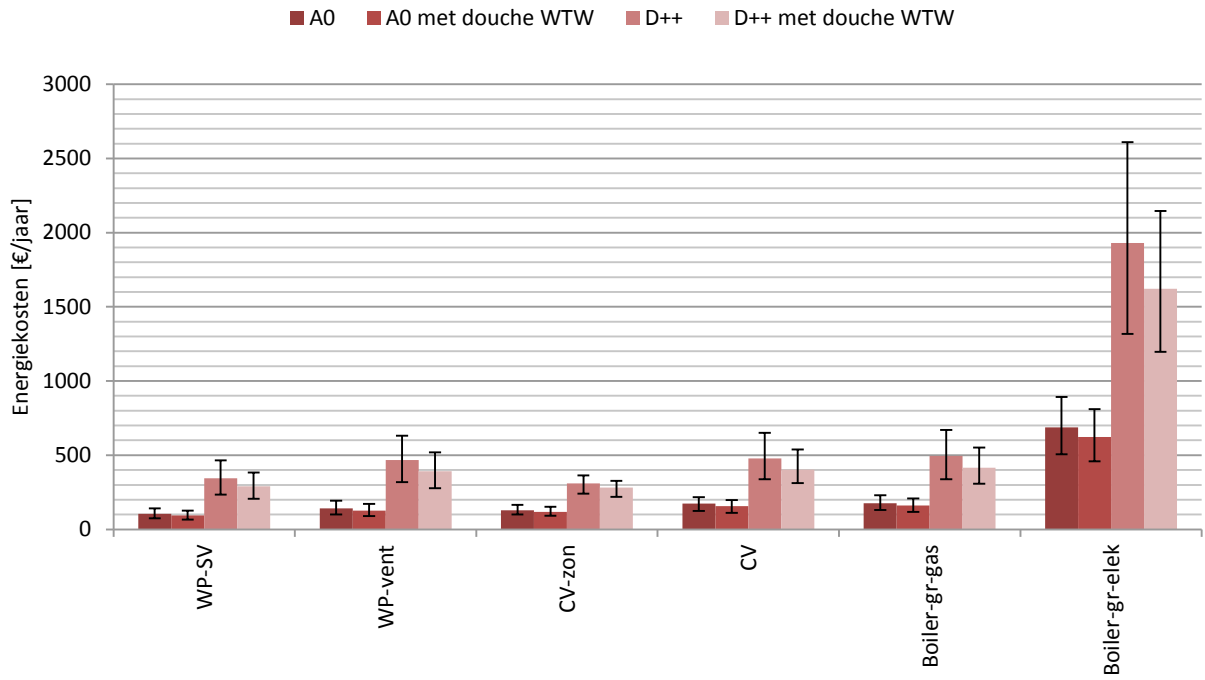
Figuur 4.2. Effect van overdimensionering van warmtepompen op ketenrendement.

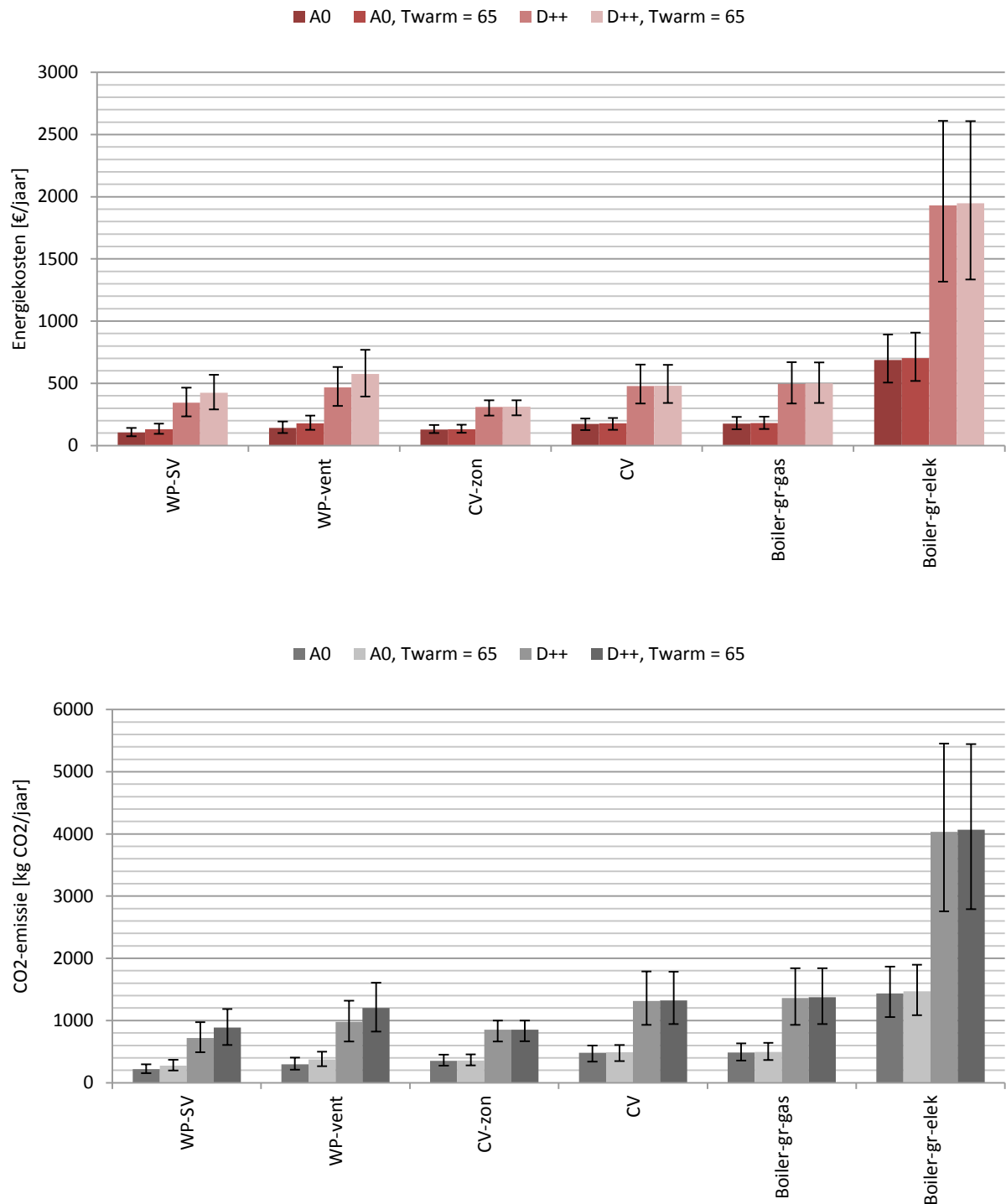
4.2 Energiekosten en CO₂-emissie

De jaarlijkse energiekosten worden berekend op basis van de gebruikte primaire energie per dag. Het rendement van opwekking is hierin niet meegenomen omdat dit voor het verbruik van de consument niet relevant is (zie ook Paragraaf 2.6). Energiekosten zijn berekend op basis van een gemiddelde consumentenprijs van € 0,23 per kWh en gasprijs van € 0,65 per m³ (prijsspeil begin 2015). De CO₂-emissie van elektriciteit is berekend op basis van een emissiefactor gelijk aan 130 gCO₂/MJ (wanneer geen gebruik gemaakt wordt van groene energie), voor gas is de emissiefactor gelijk aan 50,8 gCO₂/MJ (Staatscourant, 2013).

In Figuur 4.3 zijn de jaarlijkse energiekosten en CO₂-emissies weergegeven voor de verbruiksscenario's met 1-2 personen (standaard en luxe woninginstallatie; respectievelijk A0 en A++) en 3-4 personen (standaard en luxe woninginstallatie; respectievelijk D0 en D++). Verder zijn de energiekosten weergegeven bij gebruik van een DWTW en hogere warmwatertemperatuur voor de verbruiksscenario's A0 en D++ (respectievelijk minimum en maximum verbruiksscenario).







Figuur 4.3. Jaarlijkse energiekosten en CO₂-emissie voor vier typen woningen (boven), effect gebruik DWTW op ketenrendement (midden) voor minimum (A0) en maximum verbruiksscenario (D++) en effect van warmwatertemperatuur op ketenrendement (onder) voor minimum (A0) en maximum verbruiksscenario (D++).

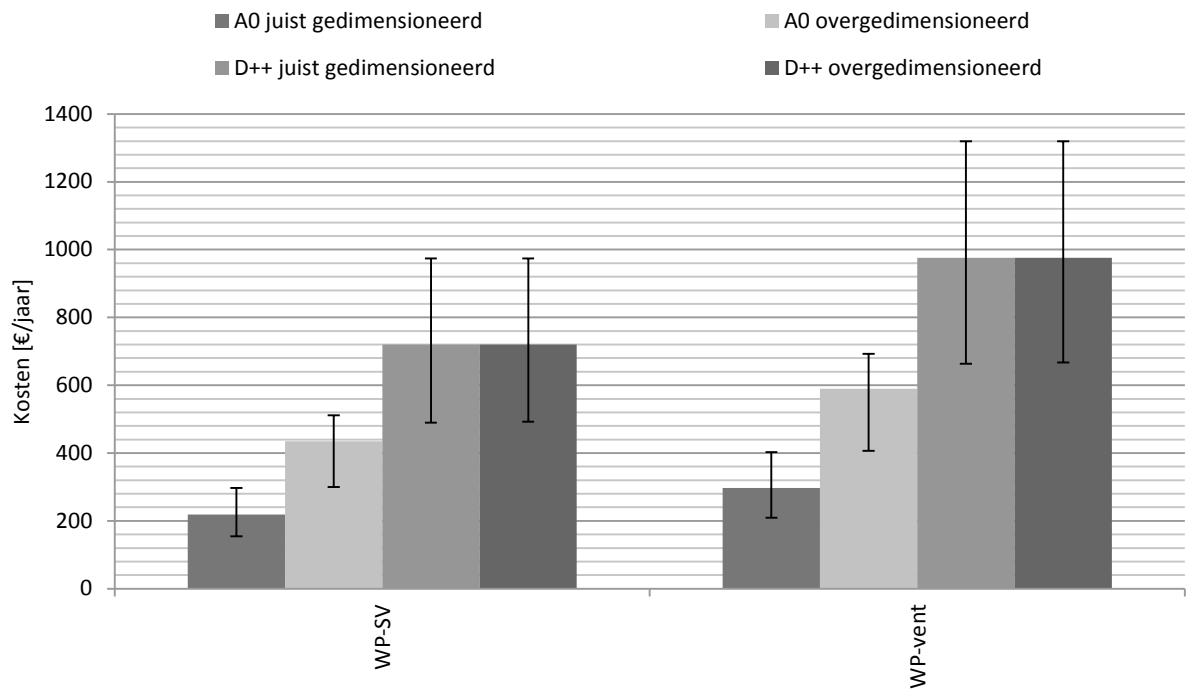
Het gebruik van een DWTW leidt in alle scenario's tot lagere energiekosten en lagere CO₂-emissie. De mate waarin dit gebeurt verschilt. Hoewel het gebruik van een DWTW voor

sommige warmtapwaterbereiders leidt tot een lager rendement (Figuur 4.1) is de absolute besparing toch dermate dat er een besparing optreedt en er minder CO₂ uitgestoten wordt. Dit is vooral het geval bij een combinatie van een groot verbruik (D++) en verwarming door een elektrisch aangedreven boiler. In dit scenario's zijn besparingen van 50 tot 600 euro/jaar mogelijk (afhankelijk van het type gebruiker) en wordt er fors minder CO₂ uitgestoten.

Een hogere warmwatertemperatuur leidt vooral bij het gebruik van warmtepompen tot hogere energiekosten (ongeveer 50 tot 150 €/jaar). Dit komt omdat de warmtepompen bij een hogere temperatuur van het te bereiden warm tapwater een lagere COP (coefficient of performance) hebben. Het model corrigeert hiervoor conform de NEN7120 (zie ook Paragraaf 2.6 en Paragraaf 4.1). Bij het gebruik van een CV ketel zijn er nauwelijks meerkosten verbonden aan een hogere warmwater temperatuur. De meerkosten die hier optreden zijn het gevolg van de grotere leidingverliezen (lager transportrendement). Er zijn geen kosten verbonden aan het feit dat er meer energie nodig is om een hogere temperatuur te bereiken omdat hiermee ook minder warm tapwater nodig is om tot de juiste mengtemperatuur te komen. Deze effecten vallen tegen elkaar weg. In praktijk zullen de voorraadverliezen bij een hogere temperatuur ook hoger zijn omdat het potentiaal (binnentemperatuur - buitentemperatuur) over de wand van het voorraad vat groter is. In het huidige model wordt hier geen rekening mee gehouden.

Zoals aangegeven in Paragraaf 4.1 kan het overdimensioneren van warmtapwaterbereider in bepaalde gevallen leiden tot een fors lager rendement. Dit heeft effect op de jaarlijkse energiekosten en CO₂-emissie (Figuur 4.4). Door de lagere rendementen bij overdimensionering ontstaat een situatie waarin een hoger verbruik tot lagere energiekosten en een lagere CO₂-uitstoot kan leiden.





Figuur 4.4. Effect van overdimensionering van warmtepompen op jaarlijkse kosten en CO₂-emissie.

5 Interpretatie en discussie

Het ontwikkelde model op basis van SIMDEUM patronen kan gebruikt worden door consumenten en installateurs om keuzes op het niveau van een individuele woning te maken en te onderbouwen. Als achtergrond bij het gebruik van de ontwikkelde methode zijn een aantal punten van belang. Deze punten worden in dit hoofdstuk toegelicht.

De prestaties van de verschillende scenario's zijn weergegeven in (1) ketenrendement, (2) jaarlijkse kosten en (3) jaarlijkse CO₂-emissie. Om te bepalen welke warmtapwater bereider het best bij een specifieke woonsituatie past dient allereerst duidelijk te zijn aan de hand van welke prestatie indicator dit gemeten wordt. Een focus alleen op het ketenrendement geeft een vertekend beeld omdat een besparing door bijvoorbeeld een DWTW kan leiden tot een lager rendement, terwijl er tegelijkertijd in absolute zin primaire energie bespaard wordt zodat de investering toch de moeite waard is. Aan de andere kant is een focus op alleen kosten ook misleidend omdat deze afhankelijk zijn van een – aan verandering onderhevig zijnde – energiemarkt. Het is kortom van belang om de verschillende prestatie indicatoren te beschouwen om te bepalen of een investering al dan niet zinvol is. SIMDEUM vormt hierbij een goede aanvulling op de bestaande methoden uit de EPC berekening (NEN 7120).

De uitkomsten van het model betreffen operationele energiekosten van verschillende warmtapwaterbereiders voor een specifieke situatie. De investeringskosten, afschrijving en onderhoud zijn dus niet meegenomen. Dit is van belang bij het vergelijken van bijvoorbeeld individuele warmtepompen met CV-ketels. De laatstgenoemden zijn op dit moment fors goedkoper in aanschaf. De besparing op jaarlijkse kosten bij inzet van een warmtepomp ten opzichte van een CV-ketel bedragen 100 tot 200 €/jaar (afhankelijk van de woonsituatie). Dit betekent echter alsnog een relatief lange terugverdientijd van meer dan 15 jaar. Wanneer een beslissing genomen wordt op basis van jaarlijkse kosten ligt een CV-ketel dus voor de hand. Wanneer echter de CO₂-emissie meegenomen wordt in de afweging verschuift dit beeld omdat er bij inzet van een warmtepomp (afhankelijk van de woonsituatie) tot 50% minder CO₂ uitgestoten wordt. Wanneer een warmtepomp ingezet wordt in plaats van een grote elektrische boiler kan zelfs tot 80% minder CO₂ uitgestoten worden terwijl men tegelijkertijd 500 tot 2000 €/jaar bespaart (afhankelijk van de woonsituatie). Het hangt dus erg van de bestaande situatie af in hoeverre het interessant is om te investeren in nieuwe en rendabelere technologie. Verder is het de verwachting dat duurzame technologieën nog niet uitontwikkeld zijn, zodat besparingen in de toekomst groter kunnen worden dan de resultaten die nu uit het model komen.

De jaarlijkse kosten zijn bepaald op basis van gemiddelde consumentenprijzen uit 2015. Het verloop van de energiemarkt heeft veel invloed op deze prijzen en dus ook op de uitkomsten van het model. Wanneer elektrische energie in de toekomst goedkoper wordt – vanwege groter aanbod door lokale opwekking (absoluut) of door een hogere gasprijs (relatief) – zullen gasgestookte toestellen duurder worden ten opzichte van de elektrische gestookte toestellen.

De uitkomsten van de modelberekeningen laten zien dat overdimensionering van warmtepompen in huishoudens met een kleine warmtapwatervraag kan leiden tot lagere rendementen. Op dit moment is het niet mogelijk om dergelijke berekeningen uit te voeren voor warmtapwaterbereiders anders dan warmtepompen. Wanneer deze mogelijkheid

geïmplementeerd wordt is het van belang dat bij doorstroomtoestellen (CV-ketels en geisers) naast het dagverbruik (dat omgerekend wordt naar een jaarverbruik) ook gecontroleerd wordt of het toestel in staat is om te voldoen aan de piekvraag over de dag. Deze piekvraag is beschikbaar in de resultaten van SIMDEUM (maximaal momentane volumestroom (MMV) voor warm tapwater [l/s] of maximaal momentaan vermogen [W] na omrekening met SIMDEUM-HW).

Bij het doorrekenen van de SIMDEUM-HW scenario's is voor de standaard woninginstallaties alleen gebruik gemaakt van gelijktijdigheidsklasse I (Tabel 2.1). Dit heeft tot gevolg dat SIMDEUM voor deze verbruiksscenario's geen gelijktijdig verbruik toelaat. Het totale verbruik over de dag verandert hierdoor niet; verbruiken vinden op verschillende momenten plaats. Tijdens het project zijn ook verbruiksscenario's van standaard woninginstallaties gesimuleerd waarbij sprake was van een gelijktijdigheidsklasse II of III. Deze scenario's bleken, qua gelijktijdigheid, niet af te wijken van de gemodelleerde scenario's met gelijktijdigheidsklasse I.

Energieverliezen die optreden tijdens en na het tappen worden door SIMDEUM-HW opgeteld bij de energie die fysisch nodig is voor het opwarmen van het drinkwater. Het model houdt geen rekening met het feit dat deze verliezen in de winter bijdragen aan de ruimteverwarming.

Het model is beperkt tot het rendement van de warmtapwatervraag. In praktijk zullen warmtepompen en CV-ketels vaak ingezet worden voor zowel ruimteverwarming als warmtapwaterbereiding (combi). Een continu verbruik ten bate van ruimteverwarming naast het warmtapwaterverbruik kan voor deze combisystemen mogelijk leiden tot een efficiënter gebruik. Dit geldt in het bijzonder voor warmtepompen omdat deze normaliter ingezet worden voor continu bedrijf.

Het model voorziet alleen in een rendementsberekening voor huishoudens. Het combineren van een bestaande rekenmethodiek zoals de NEN7120 en de uitkomsten van SIMDEUM kunnen tevens zinvol zijn om op basis van nauwkeurige vraagvoorspelling met SIMDEUM rendementsberekeningen uit te voeren voor niet-huishoudelijke situaties of specifieke projecten.

Uit de resultaten voor netto energie (Paragraaf 3.4) blijkt dat de doucheduur veel invloed heeft op de totale netto energievraag. Dit is logisch vanwege het grote aandeel douchewater in het totaal warmtapwaterverbruik (Figuur 3.2 en Figuur 3.3). Uit een Amerikaanse studie blijkt dat in veel huishoudens uit de betreffende studie de warmwaterkraan enige tijd liep voordat gebruikers daadwerkelijk begonnen met douchen (Sherman, 2015). Dit gedrag ontstaat voornamelijk vanwege de wachttijd voor warm tapwater. Het is echter zeer goed mogelijk dat door dit gedrag ook voor enige tijd warm tapwater ongebruikt weggespoeld wordt. Het is lastig om de resultaten van deze studie direct te vertalen naar Nederlandse huishoudens vanwege mogelijke verschillen in dimensionering van leidingwaterinstallaties (en daarmee verschillen in warm tapwater wachttijden). Het kan zinvol zijn om dit gedragsaspect expliciet aan de orde te stellen in nationale enquête zoals het driejaarlijkse TNS NIPO onderzoek in opdracht van VEWIN. In de huidige situatie worden thermostaatkranen veelvuldig toegepast. Wanneer de drinkwaterinstallatie echter nog mengkranen bevat zonder thermostaat kan het warmtapwatergebruik in praktijk iets hoger liggen omdat er sprake is van een inregelperiode waarbij de gebruiker de volumestromen moet inregelen totdat de juiste temperatuur is bereikt.

In het model worden de totale warmtevraag over de dag (MWW_{dag}) en de maximale totale warmtevraag in 10 minuten (MWW_{10}) gebruikt voor de bepaling van inhoud van respectievelijk grote en kleine voorraadvaten (wanneer relevant). Voor bijvoorbeeld keukenboilers blijkt deze aanpak niet goed te werken omdat in de maximale MWW_{10} altijd de douchetappings meegenomen zijn (eventueel in combinatie met een andere tapping). De inhoud die op deze manier door het model bepaald worden blijken te groot in vergelijking met de werkelijke inhoud van een keukenboiler. Voor een correcte bepaling van de inhoud van de keukenboiler kan een aanvullende analyse gedaan worden waarbij specifiek de keukenkraan in SIMDEUM beschouwd wordt.

De modelresultaten zijn bepaald op basis van kwaliteitsverklaringen en correctiefactoren uit de NEN7120. De kwaliteitsverklaringen zijn gebaseerd op testen waarbij gebruik gemaakt wordt van standaard tappatronen (zie bijlage A uit NEN7120). In werkelijkheid zullen tappatronen zeer verschillend zijn; een eigenschap die met SIMDEUM in kaart gebracht kan worden. SIMDEUM heeft daarmee de potentie om een bijdrage te leveren de rekenmethodiek uit de NEN7120. Een concreet voorbeeld hiervan bestaat uit de implementatie van correctiefactoren op basis van een gekozen type huishouden en type woninginstallatie.

Leidingverliezen dragen significant bij aan de warmtevraag ten behoeve van de bereiding van warm tapwater. Dit betekent dat er een besparing van 4 tot 10% gerealiseerd kan worden wanneer de afstand tussen warmtapwaterbereider en tappunt met 50% verkort wordt. Van de lengtes en diameters van leidingen zijn alleen kentallen beschikbaar. Het is dus niet geheel duidelijk wat het reële besparingspotentieel is wanneer de afstand tussen warmtapwaterbereider en tappunt afneemt. Het isoleren van warmtapwaterleidingen is vanuit het oogpunt van Legionellapreventie niet toegestaan.

6 Conclusies en aanbevelingen

De uitkomst van het project bestaat uit dit rapport en een rekenmodel op basis van SIMDEUM patronen waarmee voor een individuele woonsituatie bepaald kan worden welk type warmtapwaterbereider het meest efficiënt is. Het model berekent hiervoor (1) het ketenrendement, (2) jaarlijkse kosten voor bereiding van warm tapwater en (3) jaarlijkse CO₂-uitstoot bij de bereiding van warm tapwater. Het project *Efficiënte bereiding warm tapwater* laat zien dat het gebruik van SIMDEUM als input voor een EPC berekening (NEN7120) meerwaarde geeft boven de huidige methode die gebaseerd is op standaard tappatronen. Uitkomsten van SIMDEUM leiden voor kleine huishoudens tot een warmtapwatervraag die kleiner is dan uit het standaard tappatroon. Dit leidt mogelijk tot lagere rendementen en daarmee meer CO₂-emissie. In praktijk worden veel ketels toegepast met een toepassingsklasse 4. Dit houdt in dat er sprake is van een jaarlijkse energievraag van meer dan 14 GJ ten bate van de bereiding van warm tapwater. Uit berekeningen met SIMDEUM-HW blijkt dat een dergelijke energievraag alleen voorkomt wanneer sprake is van een luxe woonsituatie met bad en regendouche, of bij huishoudens met meer dan 2 personen.

De mate waarin een warmtapwaterbereider past bij een specifieke situatie (huishouden) is mede afhankelijk van het feit naar welke prestatie indicatoren gekeken wordt. In dit onderzoek zijn de prestaties ketenrendement, jaarlijkse kosten en jaarlijkse CO₂-emissie beschouwd. Een focus op één van deze prestatie indicatoren leidt niet per definitie tot de beste oplossing. Zo leidt het gebruik van een DWTW, vooral bij warmtepompen, tot een lager rendement. De absolute besparing van primaire energie is echter dermate dat het gebruik van een DWTW alsnog besparingen op levert. Voor een goede afweging moeten dus zowel ketenrendement, kosten als CO₂-emissie beschouwd worden.

Het onderzoek laat zien dat het zinvol is om de woninginstallatie integraal te beschouwen. Wanneer er reeds sprake is van de toepassing van een overgedimensioneerde warmtepomp is het weinig lonend om energie te gaan besparen. In specifieke gevallen kan een dergelijke situatie zelfs leiden tot meerkosten en een hogere CO₂-emissie.

De warmtapwaterbehoefte als gevolg van het douchen vormt het grootste deel van de totale warmtapwatervraag: gemiddeld wordt 66 tot 88% van het warm tapwater gebruikt voor het douchen. De exacte hoeveelheid hangt hierbij af van het type huishouden en gebruiker (zuinig/onzuinig). Dit betekent dat – wat betreft de energie voor warmtapwaterbereiding – de grootste energiebesparingen hier te halen zijn. Het hangt van de specifieke situatie af of een besparing (door korter douchen en/of het gebruik van een DWTW) daadwerkelijk zin heeft.

Op basis van de methode die ontwikkeld is binnen het project *Efficiënte bereiding warm tapwater* kunnen softwareproducten ontwikkeld worden voor bedrijven en consumenten om inzicht te geven in het primaire energiegebruik en de kosten en CO₂-emissie die hieraan verbonden zijn. Dergelijke tools kunnen het bewustzijn onder gebruikers van warmtapwaterbereiders vergroten en helpen om overdimensionering te voorkomen. Dergelijke producten kunnen ook bijdragen aan kennis van terugverdiëntijden van energiebesparende maatregelen in specifieke woonsituaties. Daarvoor moet het model wel uitgebreid worden van alleen de berekening van operationele kosten naar de berekening van zowel operationele kosten, investeringskosten en afschrijving.

Aanbevolen wordt om met SIMDEUM-HW een risicomodel te ontwikkelen voor doorstroomtoestellen waarmee onderzocht kan worden in hoeverre de keuze voor een lagere comfortklasse (CW-klasse) dan gebruikelijk daadwerkelijk leidt tot een tekort aan vermogen. Een dergelijk model kan voor elk type huishouden inzicht geven in hoeverre daadwerkelijk piekmomenten ontstaan waarin een (relatief) klein doorstroomtoestel niet in staat is om aan de piekvraag te voldoen.

Met SIMDEUM kan nauwkeurig een verbruikspatroon opgesteld worden voor een bepaald type huishouden. Aanbevolen wordt om op basis van SIMDEUM uitkomsten rekenregels op te stellen als aanvulling op bestaande methoden in normen waarbij sprake is van vraagbepaling van huishoudelijk of niet huishoudelijk warmtapwaterverbruik.

Literatuur

- Blokker, E. J. M., Agudelo-Vera, C. A., Pieterse-Quirijns, E. J., and Moerman, A., 2015, SIMDEUM versie 2014, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 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 Pieterse-Quirijns, E. J., 2013, Modeling temperature in the drinking water distribution system, *JAWWA* **105**(1):E19-E28.
- Cengel, Y. A., 2003, Heat transfer: a practical approach, McGraw Hill Higher Education, New York.
- Den Dulk, F. W., 2012, Op weg naar minimum energie woningen met EPC ≤ 0 , adviesbureau BNA in opdracht van Agentschap NL, Amersfoort.
- Friedel, P., De Jong, A., and Horstink, M., 2014, Eindrapportage veldtesten; energieprestaties van 5 warmtetechnieken bij woningen in de praktijk, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Utrecht.
- ISSO, 2007, ISSO-publicatie 30 Leidingwaterinstallaties in woningen.
- 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.
- NEN, 2011, NEN 1006+A3:2011 - Algemene voorschriften voor leidingwaterinstallaties (AVWI-2002), Delft.
- NEN, 2012, NEN 7120+C2:2012 - Energieprestatie van gebouwen - bepalingsmethode, Delft.
- Roest, K., Hofman, J., and van Loosdrecht, M. C. M., 2011, De Nederlandse waterketen kan energie opleveren; Overzicht en potentieel van energie in de Nederlandse waterketen, in: *WT-Afvalwater*, pp. 55-61.
- Schurink, H. B., 1997, Invloed plaats warmtapwaterbereiders, Gastec, Apeldoorn.
- Sherman, T., 2015, Understanding Behavioral Waste In The Shower & It's Impact On Water & Energy Efficiency, Evolve Technologies, ACEEE Hot Water Forum 2015.
- Staatscourant, 2013, Technische informatie over de publicatie Kennisgeving standaard CO₂-emissiefactor aardgas voor emissiehandel 2013, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijksoverheid.
- Van de Lagemaat, J. K. A. A., 1990, Technische aspecten van warmwatervoorzieningen, mededeling nr. 110, KIWA, Nieuwegein.
- Van Hoften, C., 2014, Resultaten enquête leidinglengten.

Bijlage I Overzicht warm tapwater tappen per woningklasse

Frequentie en gebruik wordt door SIMDEUM-DW bepaald volgens gemiddelde Nederlandse waarden. Alle tappen hebben een penetratiegraad van 100%. Wanneer meerdere gebruikstemperaturen vermeld staan zijn deze afhankelijk van het type gebruik.

Tabel I.0.1. Leidingwaterinstallatie standaardwoning.

Ruimte	Tappunt	Volumestroom [l/s]	Gebruikstemperatuur [°C]
Keuken	Mengkraan aanrecht	0,25	55
Badkamer	Badkamer mengkraan	0,083	38
	Douche	0,12	38

Tabel I.0.2. Leidingwaterinstallatie standaard-pluswoning.

Ruimte	Tappunt	Volumestroom [l/s]	Gebruikstemperatuur [°C]
Keuken	Mengkraan aanrecht	0,25	55
Badkamer I	Badkamer mengkraan (2x)	0,083	38
	Douche	0,12	38
	Bad	0,5	40
	Bidet	0,083	38
Badkamer II	Badkamer mengkraan	0,083	38
	Douche	0,12	38

Tabel I.0.3. Leidingwaterinstallatie luxe woning.

Ruimte	Tappunt	Volumestroom [l/s]	Gebruikstemperatuur [°C]
Keuken	Mengkraan aanrecht	0,25	55
Badkamer I	Badkamer mengkraan (2x)	0,083	38
	Douche	0,365	38
	Bad	0,5	40
	Bidet	0,083	38
Badkamer II	Badkamer mengkraan (2x)	0,083	38
	Douche	0,12	38
	Bad	0,267	40
	Bidet	0,083	38
Toilet I	Mengkraan toiletfontein	0,083	30/40
Toilet II	Mengkraan toiletfontein	0,083	30/40

Bijlage II Berekening warmteverlies over leiding tijdens tappen

Wanneer water in een leiding warmer is dan de omgevingstemperatuur rondom die leiding zal warmteuitwisseling plaats vinden tussen de warm water uittapleiding en de omgeving. Voor het berekenen van het warmteverlies uit de leiding kan gebruik gemaakt worden van het thermische weerstanden concept waarbij leiding en omgeving geschematiseerd worden als drie thermische weerstanden (Çengel, 2003):

1. de stromingscondities in de leiding (bij kleine leidingen vrijwel altijd turbulent);
2. de wanddikte en thermische geleidbaarheid van de leidingwand;
3. de mate waarmee de lucht rondom de leiding de warmte op kan nemen.

Deze drie weerstanden staan in serie. Dit betekent dat de warmteuitwisseling met de omgeving voornamelijk bepaald wordt door de 'zwakste schakel'. Uit berekeningen blijkt dat vooral de laatste weerstand bepaald in hoeverre de temperatuur van het water daalt tijdens het transport naar de tap (Moerman et al., 2014). Dit komt omdat de diameters van de leidingen in huishoudens klein zijn. Hierdoor is er vrijwel altijd sprake van turbulente stroming waardoor de warmte-uitwisseling in het water zelf snel verloopt. Door de kleine diameter is de volume-oppervlakteverhouding van de buis relatief klein. Dit gecombineerd met een wanddikte van slechts enkele millimeters zorgt ervoor dat vooral de omgeving van de buis bepaalt hoe snel het water in de buis opwarmt of afkoelt.

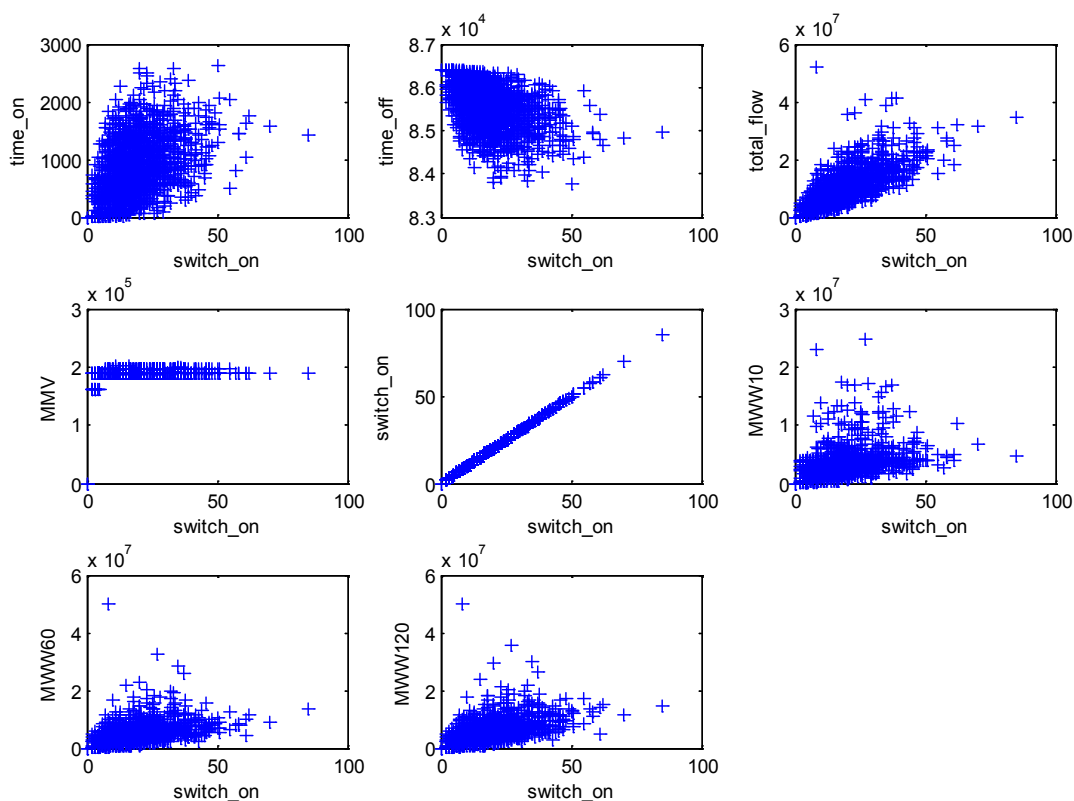
Om een beeld te krijgen van het warmteverlies (en dus: temperatuurdaling) van het water tijdens transport van warmtapwaterbereider naar tappunt zijn drie situaties gemodelleerd:

- leiding zonder externe weerstand;
- leiding met vrije convectie om de leiding als externe weerstand;
- leiding met stilstaande luchtlaag rondom de leiding als externe weerstand.

Bijlage III Regressie aantal tappingen met andere parameters

In onderstaande figuren is steeds het aantal tappingen ('switch_on', op x-as) uitgezet tegen elk van de andere parameters (y-as):

- time_on = totale taptijd
- time_off = totale tijd geen tappingen
- total_flow = totaalgebruik over dag (=MWW_{dag})
- MMV = maximale momentane volumestroom
- MWW10 = maximaal warm water volume in 10 minuten
- MWW60 = maximaal warm water volume in 60 minuten
- MWW120 = maximaal warm water volume in 120 minuten



De bovenstaande figuren laten zien dat het aantal tappingen op een dag ('switch_on') nauwelijks gecorreleerd is aan het totale netto verbruik (MWW_{dag}). Deze bewering geldt voor alle correlaties tussen het aantal tappingen ('switch_on') en de parameters die een warmtapwatervolume representeren: MWW_{dag}, MWW₁₂₀, MWW₆₀ en MWW₁₀. Er is wel een duidelijke correlatie tussen het aantal tappingen en de maximale momentane volumestroom (MMV).

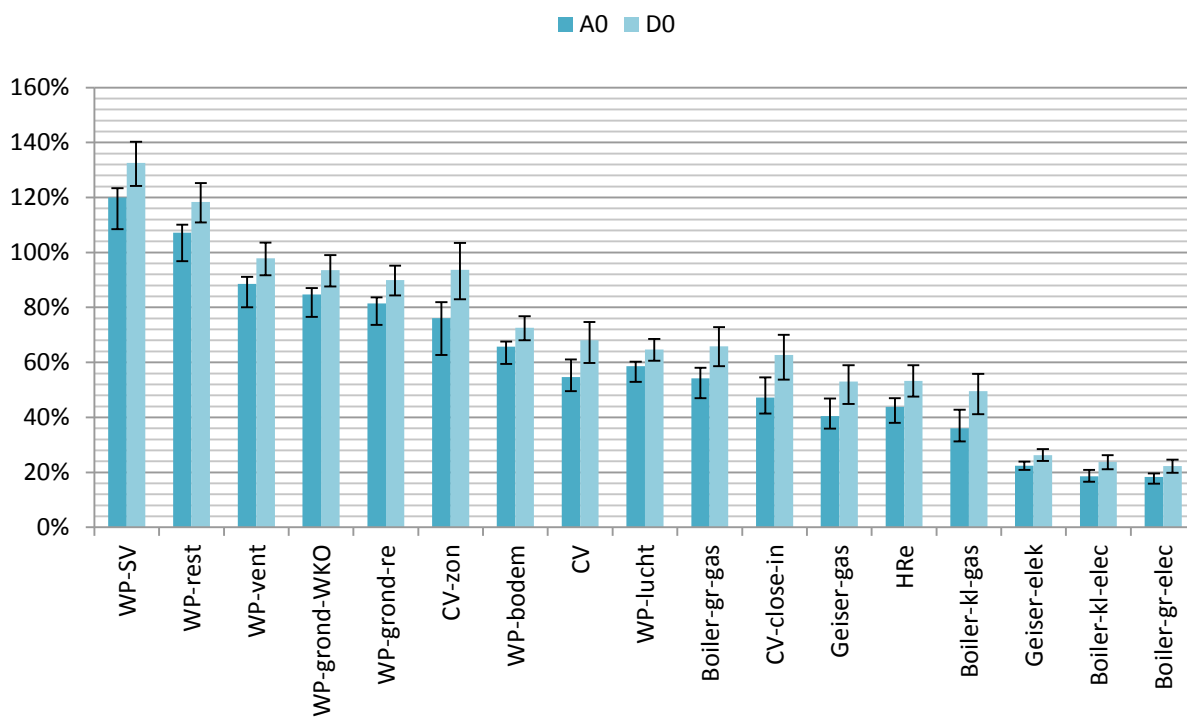
Bijlage IV Bronnen voor stilstandsverliezen

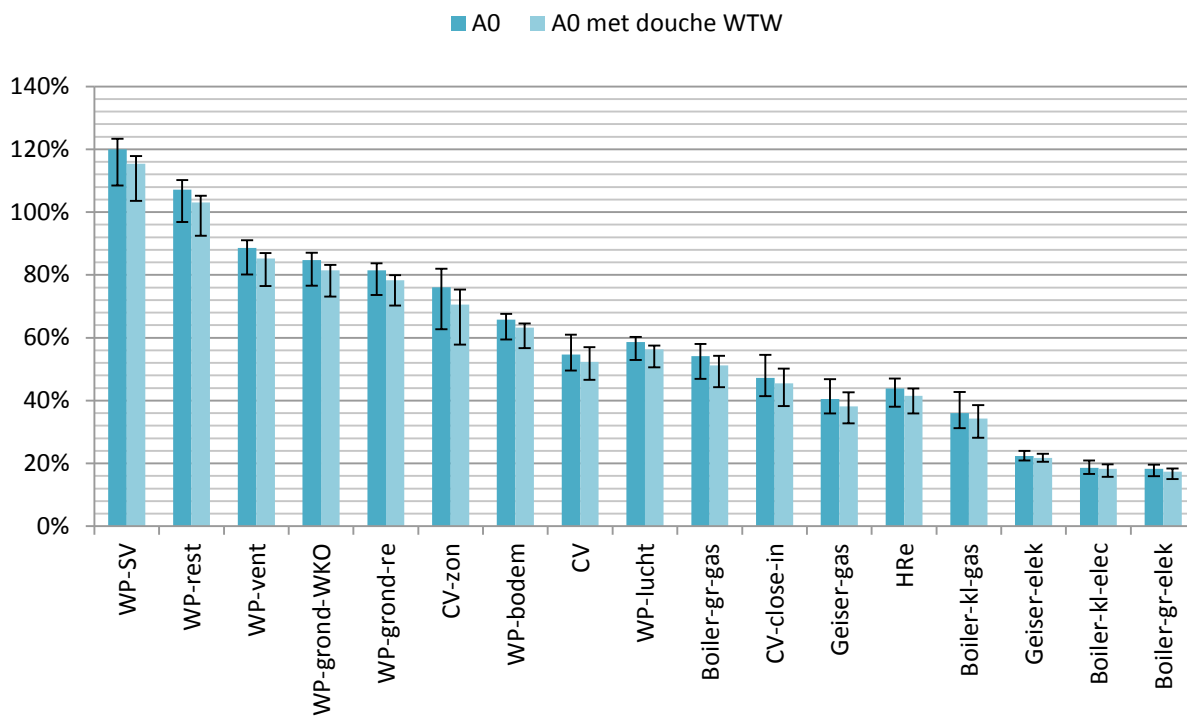
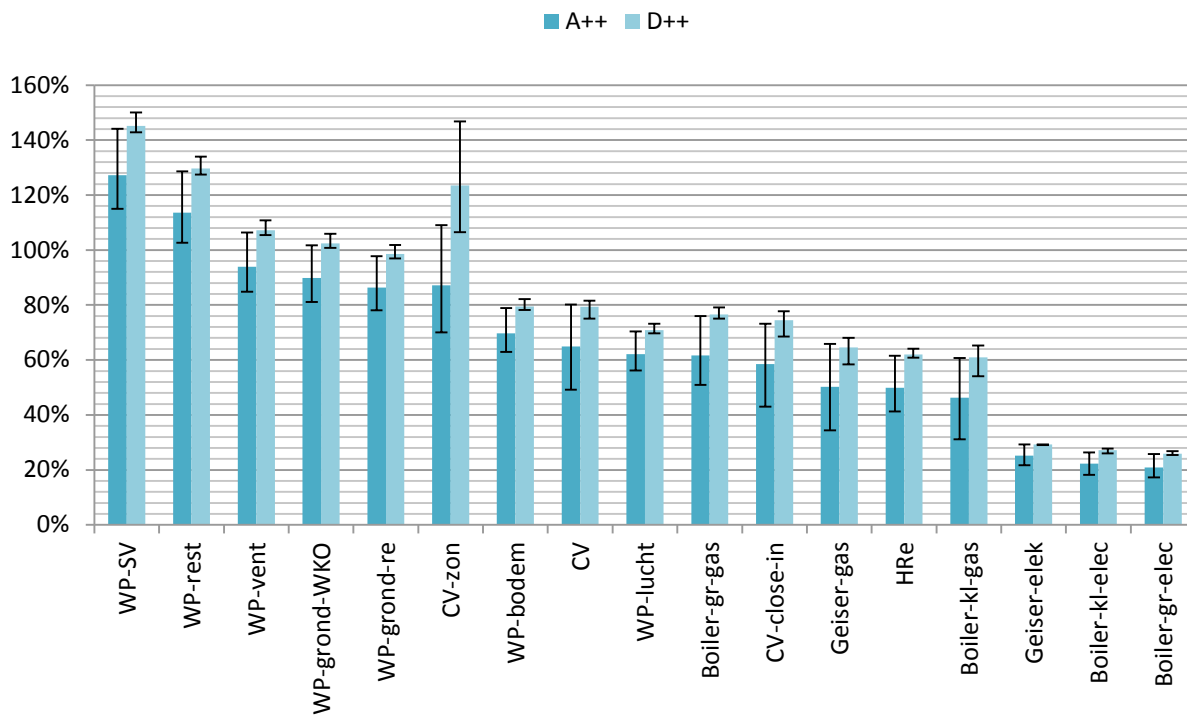
De bronnen uit onderstaande tabel zijn gebruikt om de verliescurve in Figuur 2.3 te construeren.

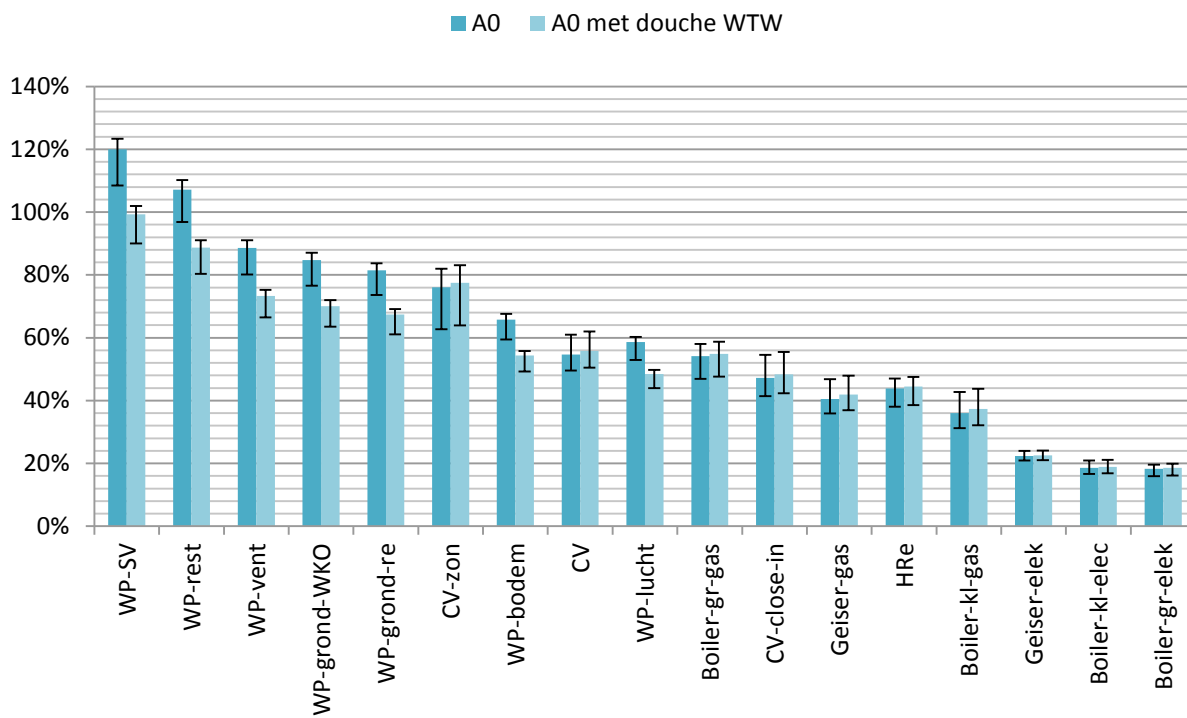
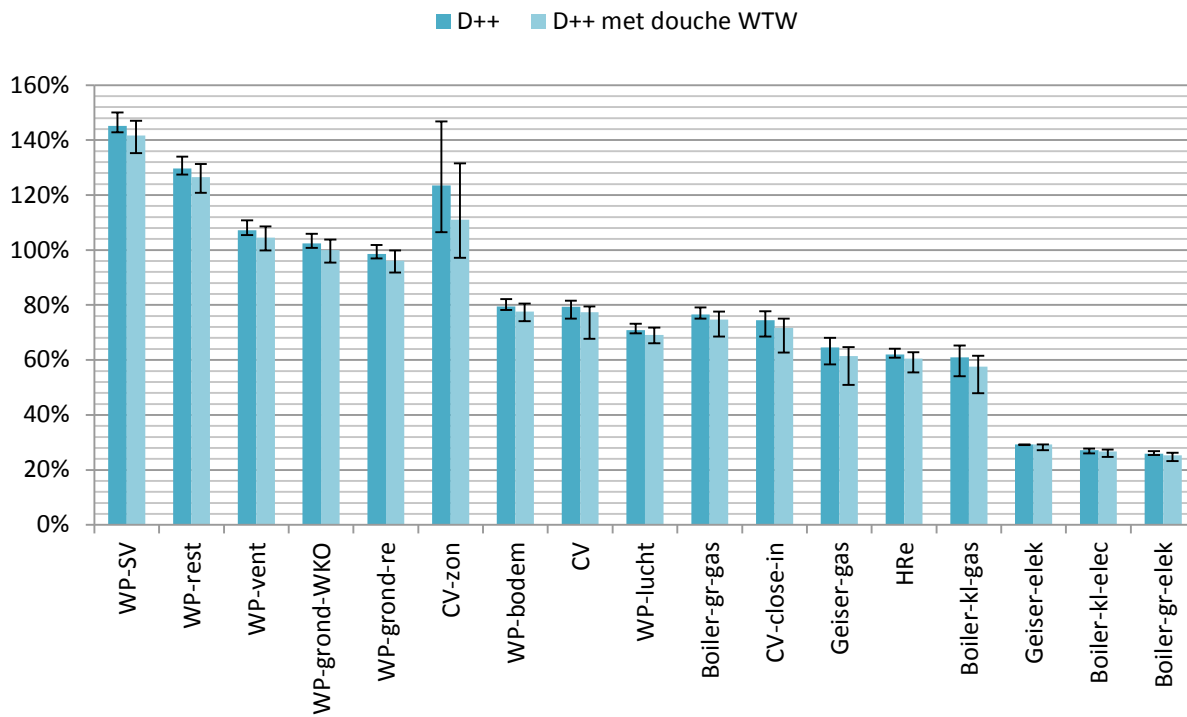
Inhoud [l]	Stilstandverliezen bij 65 °C [kJ/dag]	Bron
1500	11517	Extrapolatie op basis van trendline
1000	9794	Extrapolatie op basis van trendline
700	7920	http://www.stiebel-eltron.nl/ste_shared/pdf/data/E_6627_0_nl_Dutch.pdf
400	7200	http://www.stiebel-eltron.nl/ste_shared/pdf/data/E_6627_0_nl_Dutch.pdf
200	5400	http://www.stiebel-eltron.nl/ste_shared/pdf/data/E_6627_0_nl_Dutch.pdf
150	4925	http://www.ithodaalderop.nl/sites/default/files/documents/installatievoorschrift_elektroboilers1.pdf
120	4320	http://www.ithodaalderop.nl/sites/default/files/documents/installatievoorschrift_elektroboilers1.pdf
80	3110	http://www.ithodaalderop.nl/sites/default/files/documents/installatievoorschrift_elektroboilers1.pdf
50	2851	http://www.ithodaalderop.nl/sites/default/files/documents/installatievoorschrift_elektroboilers1.pdf
30	2333	http://www.ithodaalderop.nl/sites/default/files/documents/installatievoorschrift_elektroboilers1.pdf
15	2074	http://www.ithodaalderop.nl/sites/default/files/documents/productinformatie_keukenboilers_07.93.50.176.3_aug_2012.pdf
10	1469	http://www.ithodaalderop.nl/sites/default/files/documents/productinformatie_keukenboilers_07.93.50.176.3_aug_2012.pdf
0	0	http://www.ithodaalderop.nl/sites/default/files/documents/productinformatie_keukenboilers_07.93.50.176.3_aug_2012.pdf

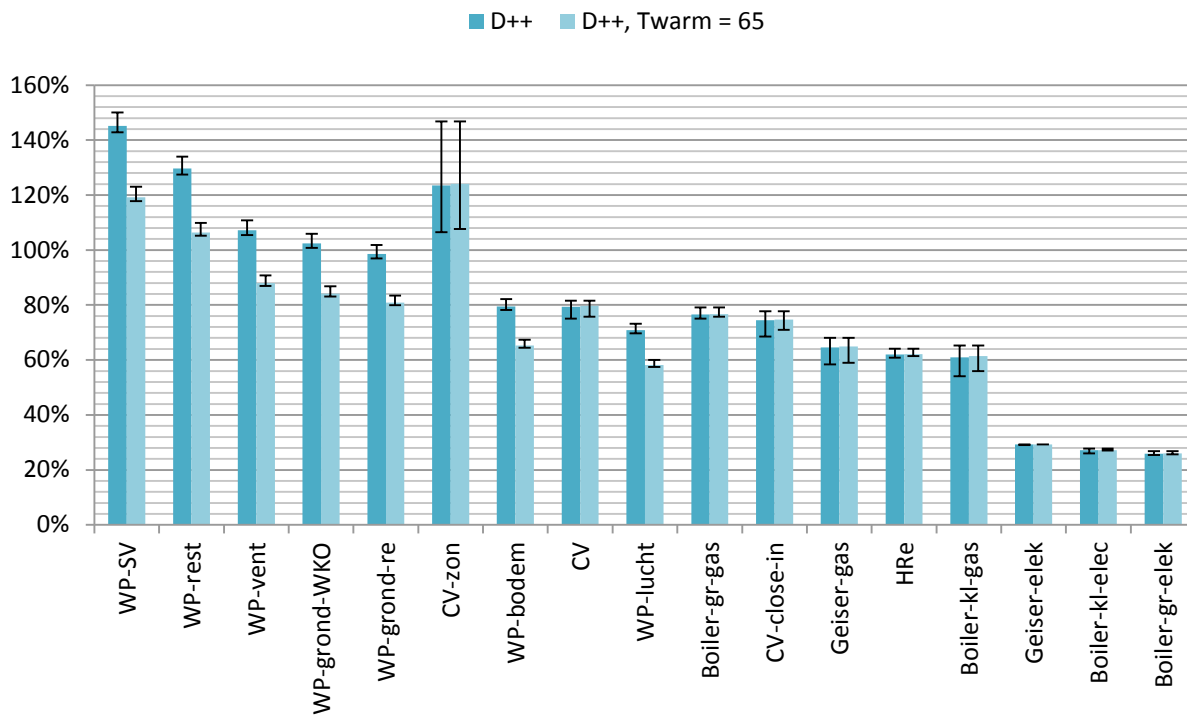
Bijlage V Ketenrendement, kosten en CO₂-emissie alle warmtapwaterbereiders

Ketenrendement

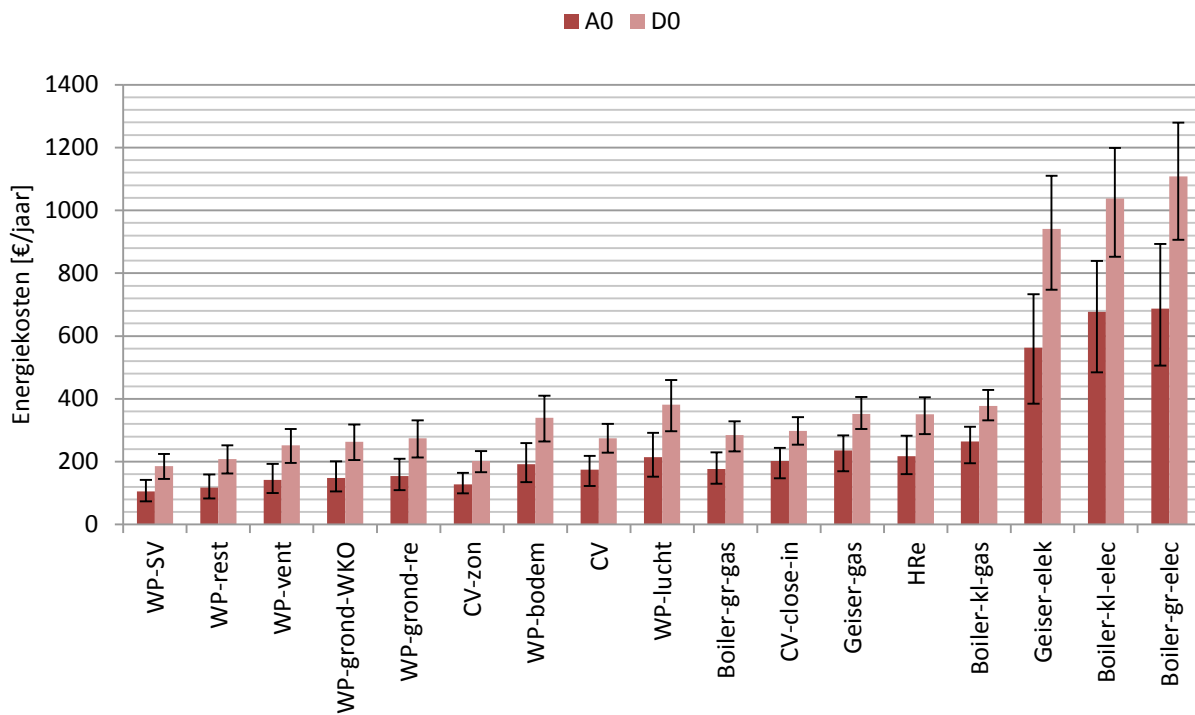


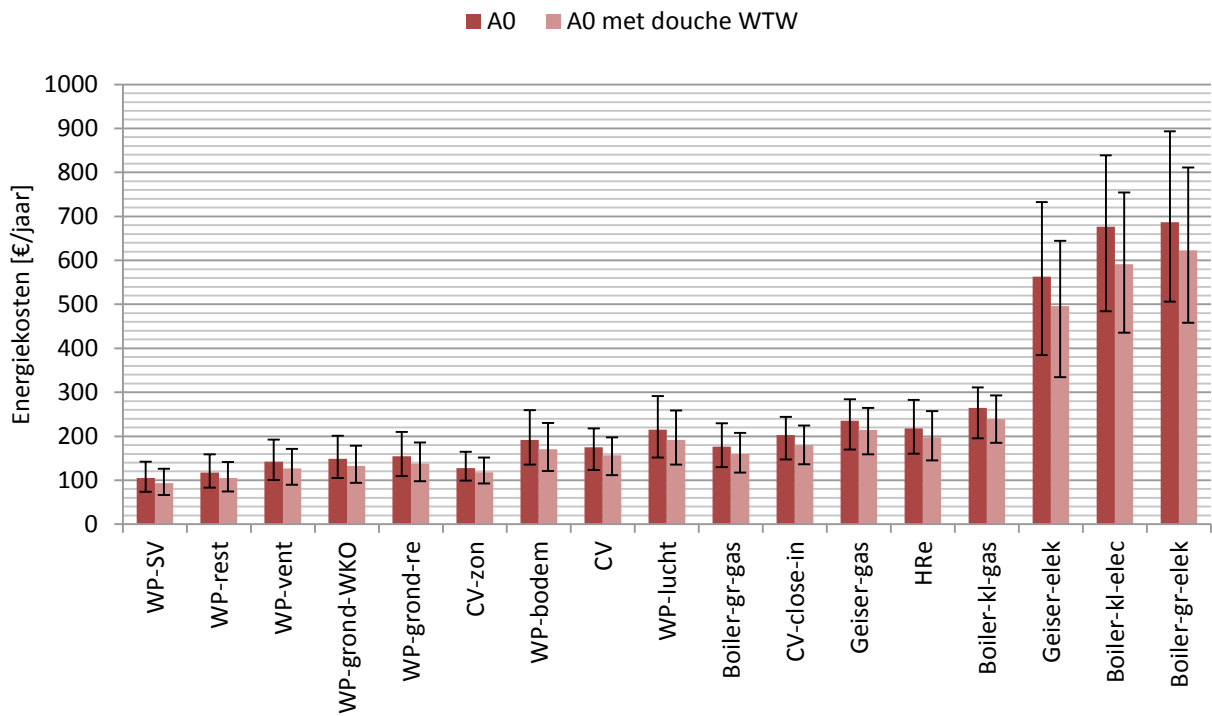
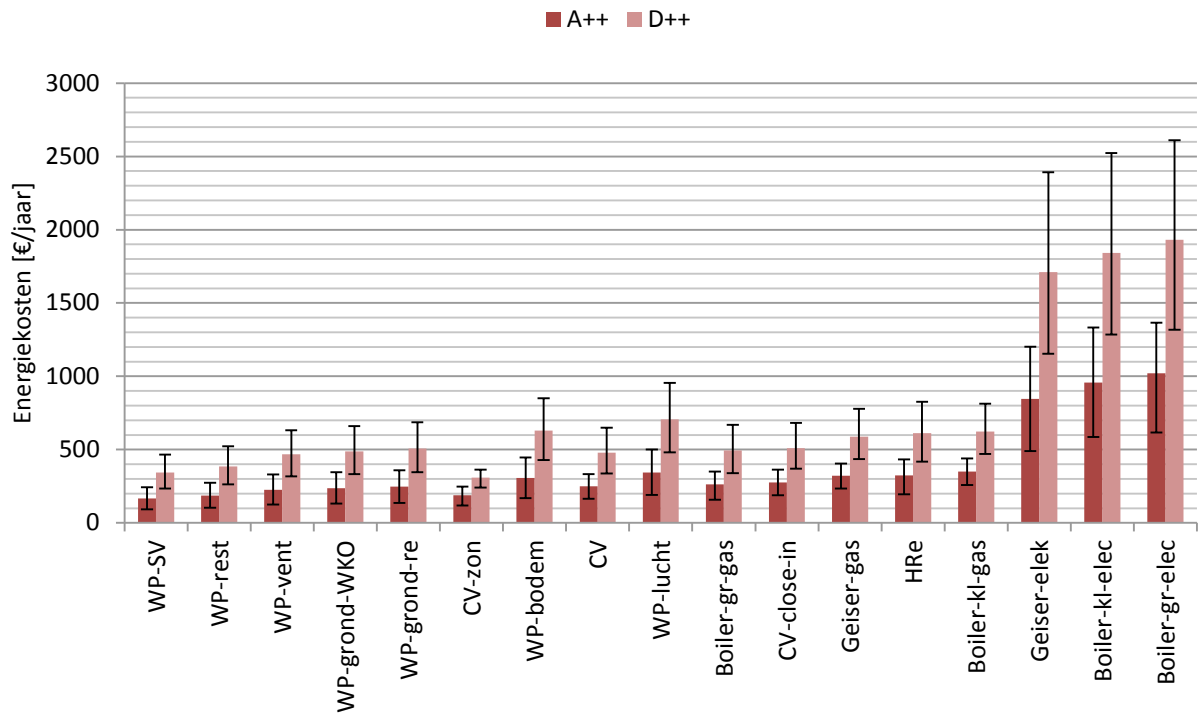


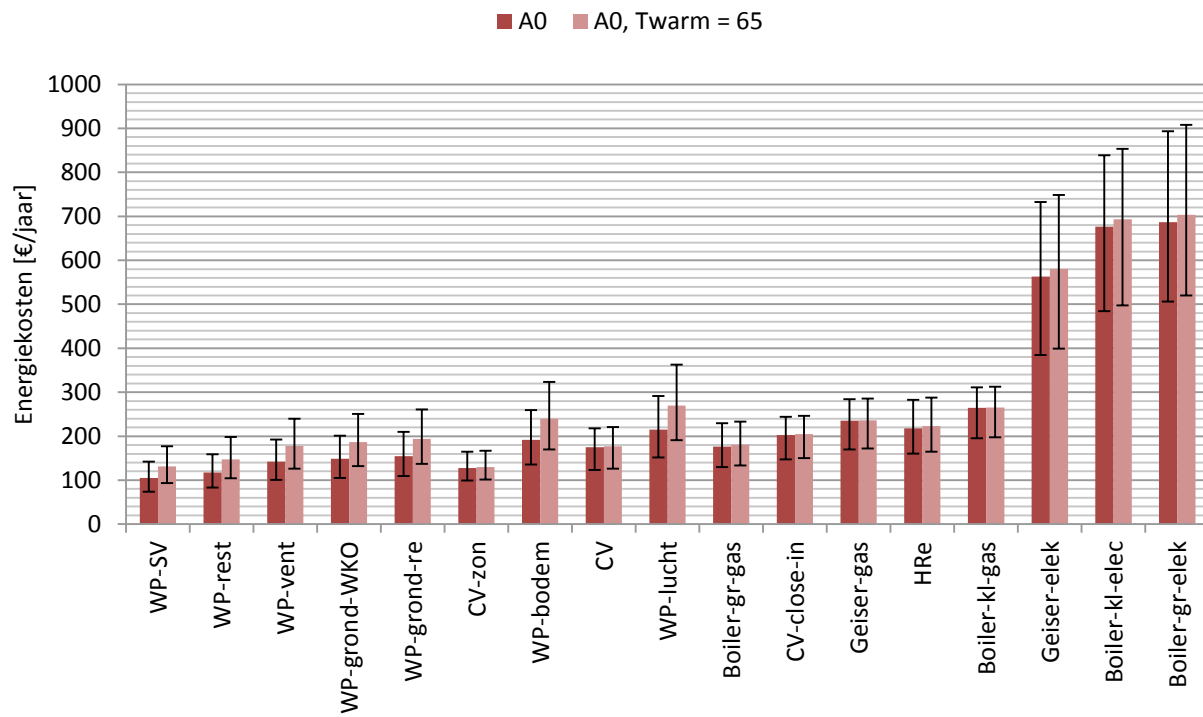
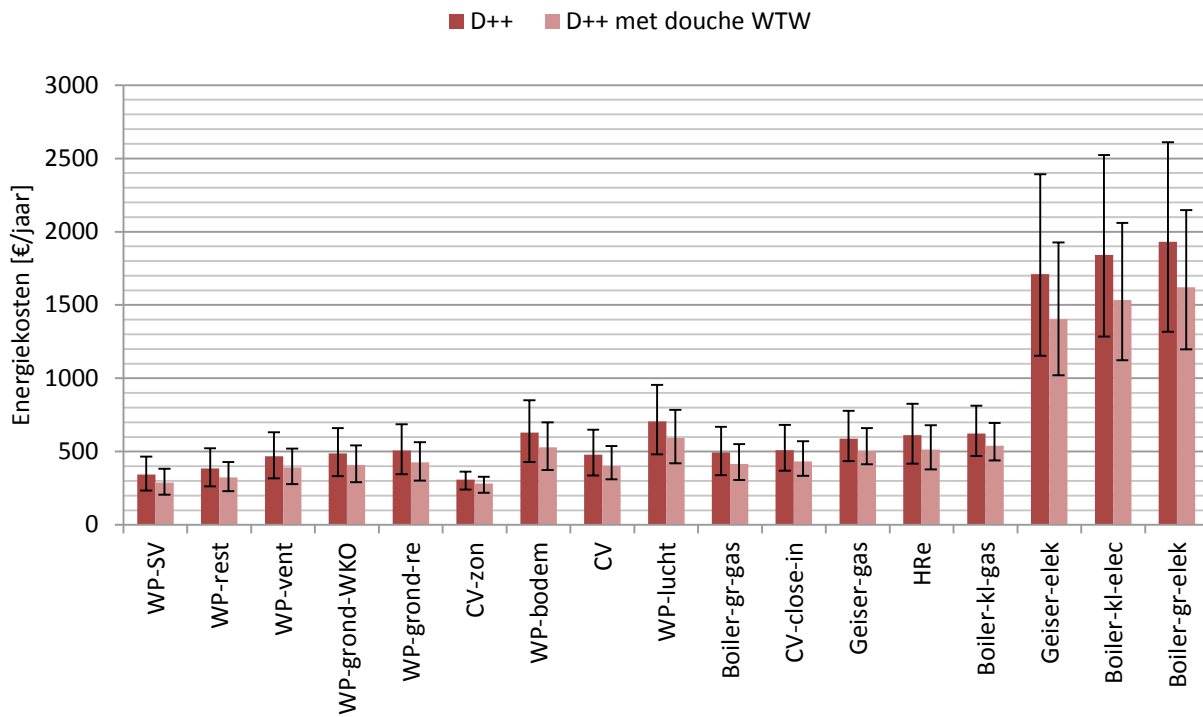


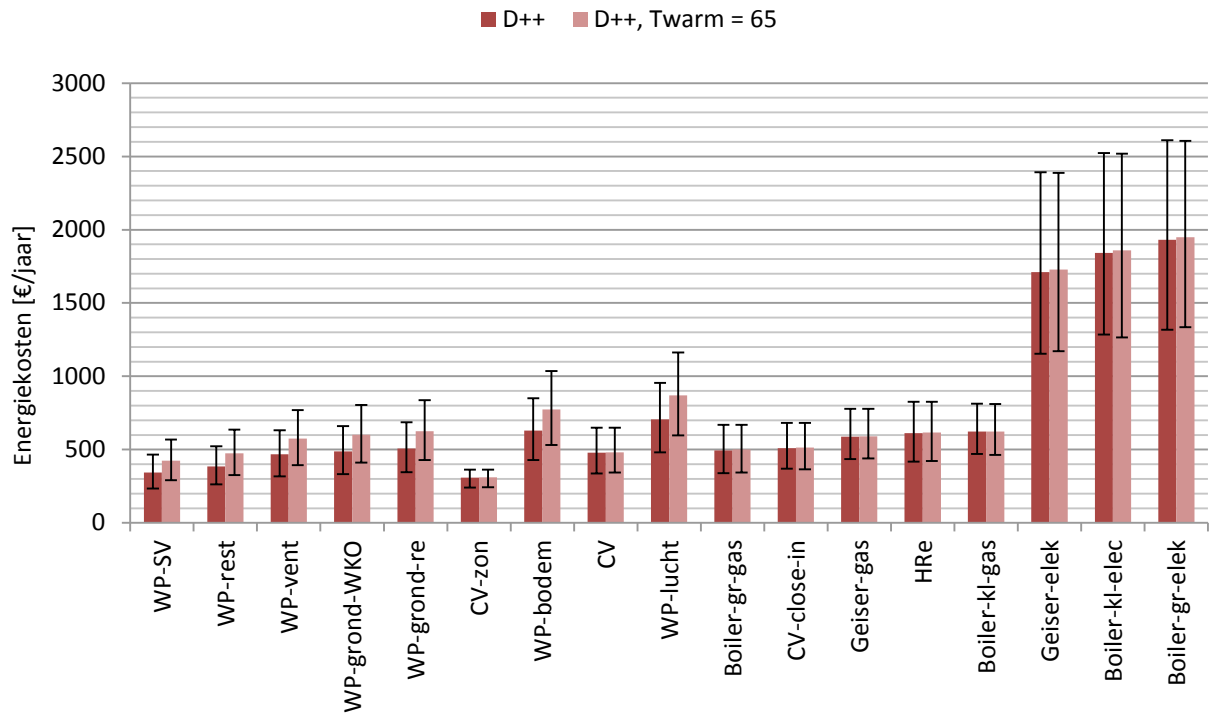


Kosten

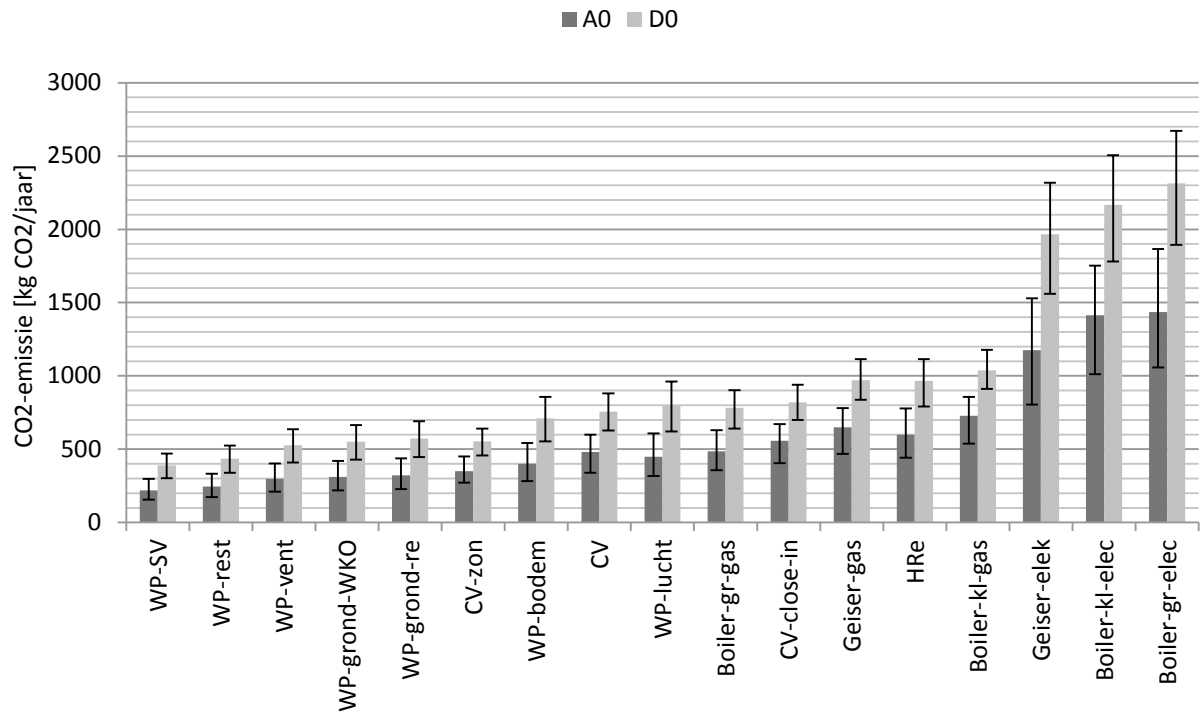


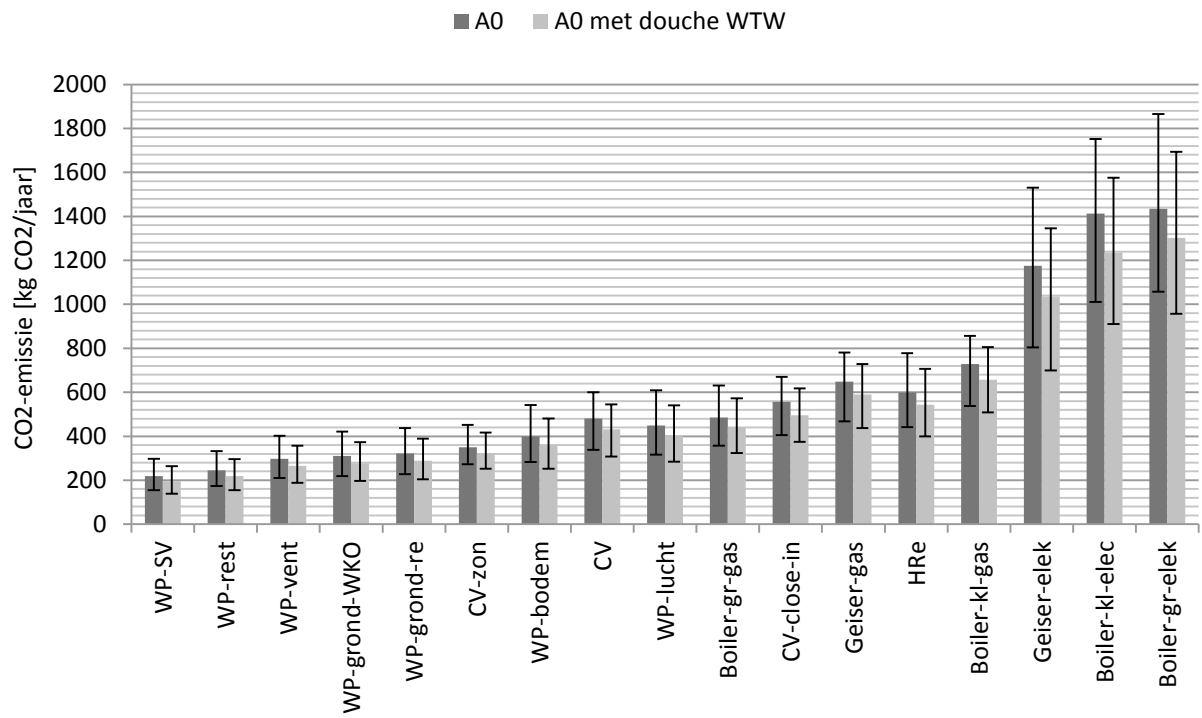
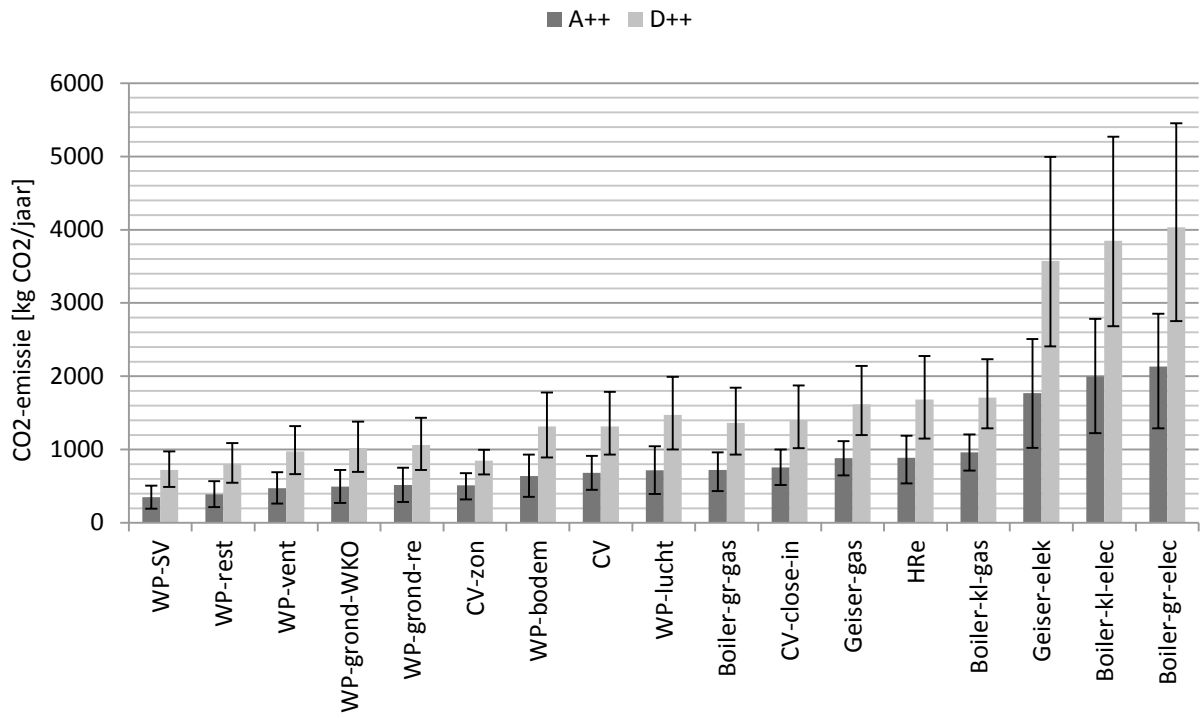


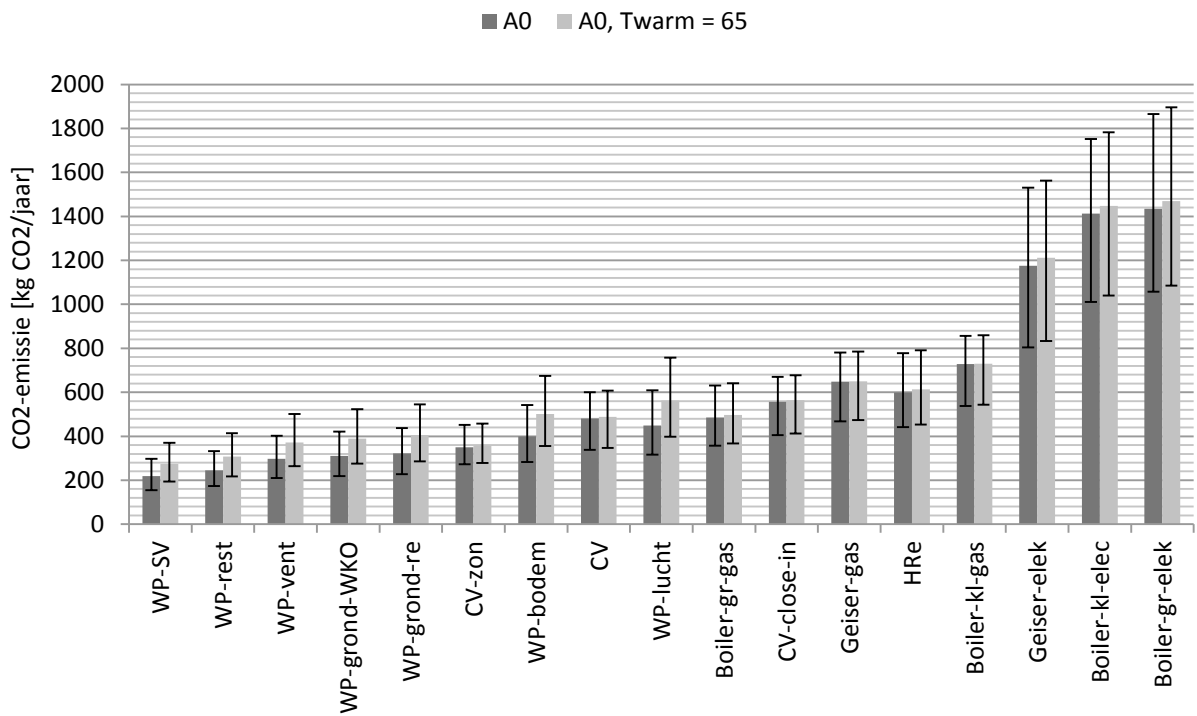
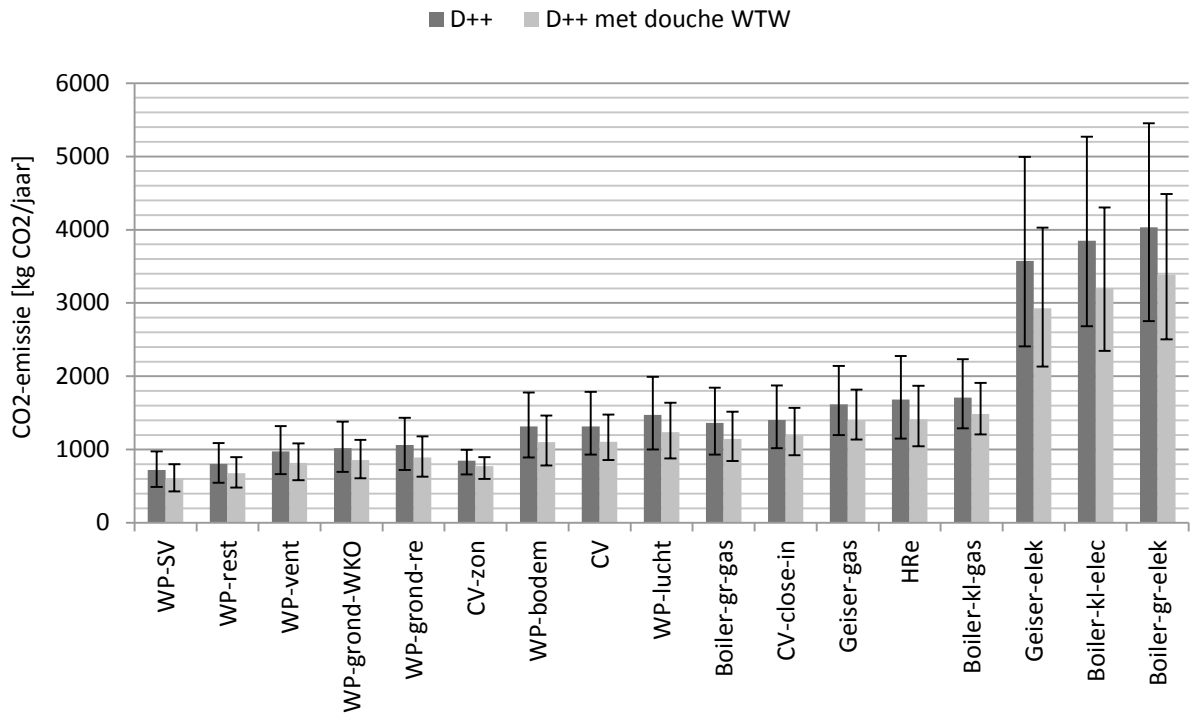


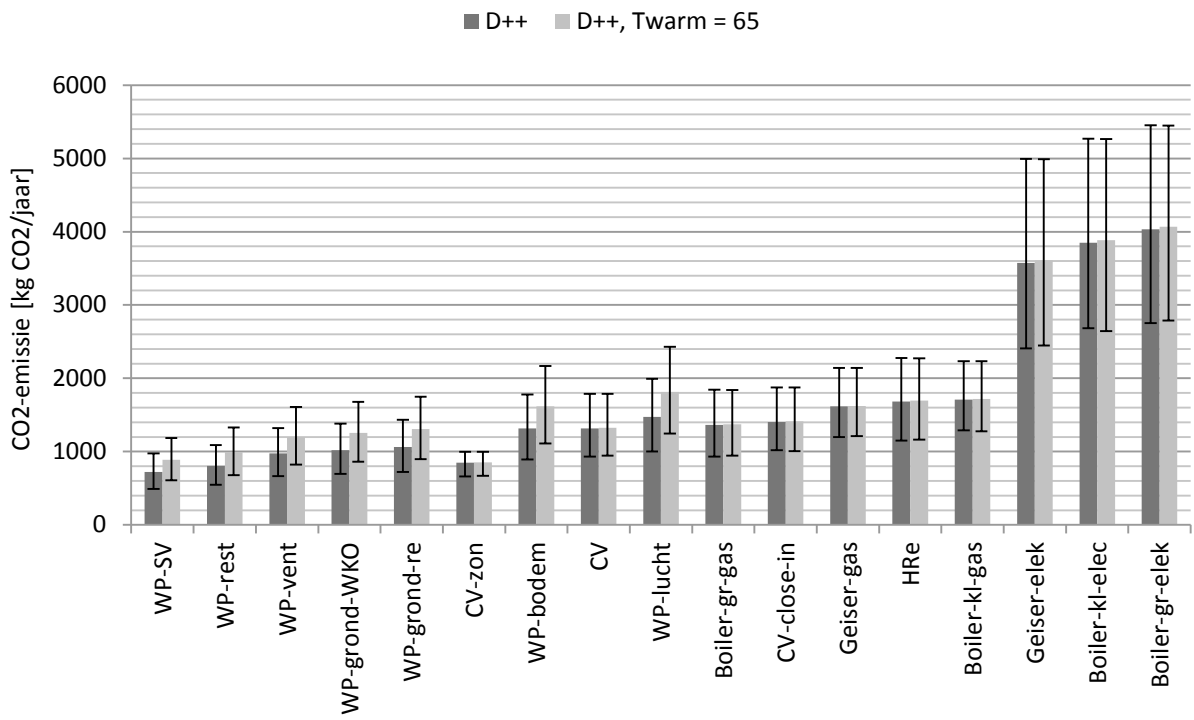


CO₂ emissie









Bijlage VI Conversietabel toepassingsklassen, CW-klassen en gelijktijdigheidsklassen

Op basis van gegevens uit de NEN7120 (Tabel 19.14 en Tabel 19.15) en informatie van de website <http://kenniscentrum.gasned.nl/cw-klasse-cv-ketel/> is onderstaande conversietabel geconstrueerd.

Toepassings-klasse	CW-klasse	Maximale warmtevraag [GJ/jaar]	Typering CW-klasse volgens	Gelijktijdigheids-klasse in SIMDEUM®
'Aanrecht'	CW-1	<2,0	Niet geschikt voor bad 4 liter water 40°C/min 2,5 liter water 60°C/min Geschikt voor keuken	I
1*	CW-1+	6,5	Niet geschikt voor bad 4 liter water 40°C/min 2,5 liter water 60°C/min Geschikt voor keuken	I
2	CW-2	9,0	Niet geschikt voor bad 6 liter water 40°C/min 3,6 liter water 60°C/min Geschikt voor keuken of douche	I
3	CW-3	11,5	Bad van 100 liter vol in 12 min 10 liter water 40°C/min 6 liter water 60°C/min Geschikt voor keuken of douche of bad	II
4	CW-4	≥14,0	13 liter water 40°C/min 8 liter water 60°C/min Geschikt voor keuken, douche of bad (niet volledig tegelijk)	II
4	CW-5	≥14,0	17 liter water 40°C/min 10 liter water 60°C/min Geschikt voor keuken of douche of bad (beperkt tegelijk)	II
4	CW-6	≥14,0	20 liter water 40°C/min 12 liter water 60°C/min Geschikt voor keuken en douche of keuken en bad (tegelijk)	III

*) Toepassingklasse 1 is volgens NEN7120 gelijk aan CW-klasse 1 waarbij een avonddouchetapping van klasse CW-2 toegevoegd is (zie Tabel A.3 in NEN7120). Daarom wordt deze CW-klasse aangeduid als 'CW-1+'.