

TNO VERTROUWELIJK

Leeghwaterstraat 44  
2628 CA Delft  
Postbus 6012  
2600 JA Delft**TNO-rapport**

www.tno.nl

**TNO 2021 R11436 Rev. 1**

T +31 88 866 22 00

**Tapwaterproductie met behulp van lagere  
temperatuur warmtenetten - een overzicht**

Datum	13 april 2022
Auteur(s)	Andries van Wijhe
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	31 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2
Projectnaam	IEBB deelproject 1.5 Collectieve Warmte
Projectnummer	TEUE919003

***Dit deelproject van innovatieplan Integrale Energie Transitie Bestaande bouw is uitgevoerd met ondersteuning vanuit de MMIP 3&4 regeling van het Ministerie van Economische Zaken & Klimaat en het Ministerie van Binnenlandse Zaken & Koninkrijksrelaties.***

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2022 TNO

TNO VERTROUWELIJK

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Samenvatting</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Randvoorwaarden</b> .....	<b>7</b>
3.1	Verplichte randvoorwaarde – legionellapreventie volgens NEN1006 .....	7
3.2	Technische randvoorwaarde – ruimte in woning/aansluiting t.o.v. gasketel of afleverzet .....	8
3.3	Technische randvoorwaarde – temperatuur warmtebron.....	8
3.4	Technische randvoorwaarde – opwarming door de afleverzet .....	8
3.5	Technische randvoorwaarde – installatie en reparatie .....	8
3.6	Technische randvoorwaarde – mate van uitkoeling .....	8
3.7	Technische randvoorwaarde – verwachte levensduur en onderhoud.....	9
3.8	Technische randvoorwaarde – Geluidsniveau .....	9
3.9	Comfort – debiet/beschikbaar volume .....	9
3.10	Kosten – installatie.....	9
3.11	Kosten – gebruik.....	9
3.12	Kosten - stilstandsverliezen .....	9
<b>4</b>	<b>Overzicht systemen</b> .....	<b>10</b>
4.1	Warmtewisselaar via warmtenet.....	10
4.2	Elektrische na-verwarmen (met terugkoeling).....	11
4.3	Booster warmtepomp.....	12
4.4	Warmtenet aangevuld met zonnecollectoren .....	13
4.5	Warm tapwater bereiding loskoppelen van warmtenet .....	13
4.6	Buffervat met externe warmtewisselaar .....	14
<b>5</b>	<b>Haalbaarheidsstudie verlaging van aanvoertemperatuur d.m.v. kleine buffer</b> <b>16</b>	
5.1	Probleemstelling .....	16
5.2	Idee en lay-out.....	16
5.3	Uitgangspunten voor simulatie .....	19
5.4	Simulatie op basis van NTA8800 tappatronen .....	21
5.5	Resultaat van simulaties.....	22
5.6	Conclusie over het onderzochte systeem .....	24
<b>6</b>	<b>Conclusie</b> .....	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografie</b> .....	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>Appendix A: Informatie met betrekking tot TRNSYS model</b> .....	<b>28</b>
<b>9</b>	<b>Appendix B: Lijst met tappings volgens het tappatroon voor de NTA8800..</b> <b>29</b>	
<b>10</b>	<b>Ondertekening</b> .....	<b>31</b>

# 1 Samenvatting

Eén van de scenario's om woningen aardgasvrij te maken is het gebruik van een warmtenet. Om de inzet van duurzame warmte zoals bodemwarmte en restwarmte makkelijker in te voeden zal de aanvoertemperatuur van het warmtenet lager zijn dan gebruikelijk. In dit document wordt uitgegaan van aanvoertemperaturen lager dan 70°C. Bij deze aanvoertemperaturen is het niet altijd mogelijk om voldoende tapwater te leveren van minimaal 55 °C.

Hieruit volgt de volgende onderzoeksvraag: Zijn er systemen die bij lagere aanvoertemperaturen van het warmtenet in voldoende mate warm tapwater van minimaal 55 °C kunnen produceren, zonder gebruik te maken van (elektrische) na-verwarming?

Een deelvraag daarbij is of die systemen voldoen aan de gewenste randvoorwaarden ten aanzien van regelgeving en kosten.

## *Conclusie*

Voor een warmtenet met een aanvoertemperatuur lager dan 65-70 °C is het gebruik van een directe warmtewisselaar zoals nu gebruikelijk in een afleverset niet mogelijk. Er kan gekozen worden voor een hybride oplossing zoals een warmtepomp of elektrische na-verwarming of een tapwatersysteem dat volledig onafhankelijk is van een warmtenet.

Een haalbaarheidsstudie (van een nog niet bestaand systeem) toont aan op basis van simulaties dat een warmtenet met lage aanvoertemperatuur (58 °C) in combinatie met klein buffervat van 20-40L en slimme regeling in voldoende mate (7,5L/min) warm tapwater van 55 °C kan produceren, zonder gebruik van (elektrische) na-verwarming. Hierbij stijgt de retourtemperatuur van het warmtenet.

Vanwege de hoge temperatuur van het buffervat (55 °C) is het systeem intrinsiek veilig voor legionellabesmetting. Het is echter nog onzeker of het ook voldoet aan regelgeving met betrekking tot legionellapreventie.

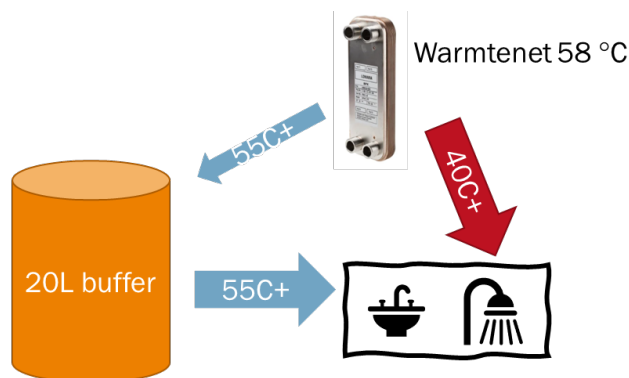
De uitbreiding in de woninginstallatie van een dergelijk systeem ten opzichte van een conventionele afleverset zijn beperkt. Deze betreffen een 20-40L buffervat, een circulatiepomp (~1L/min), thermostatische douche- en badkranen en diverse appendages.

## *Aanpak*

In het gebruikersprofiel van warm tapwatergebruik kan een onderscheid worden gemaakt tussen een 'keukentapping' en een 'badkamertapping' (NEN, 2020). Een keukentapping heeft een relatief laag volume (spoelen, vaat wassen etc. met een verbruik van 1-5L), deze tappingen hebben een temperatuur van minimaal 55 °C nodig. Badkamer tappingen (douche: 50-100L) hebben daarentegen een hoger volume, maar relatief lage temperatuur van 40 °C.

Op basis van dat onderscheid is een systeem samengesteld dat bestaat uit een conventionele warmtewisselaar en een klein buffervat van 10-40L dat 'geladen' kan worden met een laagvermogen. Daarom kan dit gedaan worden op een efficiënt

werkpunt van de warmtewisselaar met lage aanvoer en retourtemperaturen naar het warmtenet. Een tapping vindt plaats vanuit de buffer met een temperatuur van 55 °C. Als de buffer leeggetapt is, wordt er overgeschakeld op direct verwarmen, maar met een lagere tapwatertemperatuur (ca. 40 °C). Dit is geïllustreerd in Figuur 6.



Figuur 1: Schema van het onderzochte systeem met het laden van het buffervat vanuit de warmtewisselaar, en tappen uit het buffervat en vanuit de warmtewisselaar op lagere temperatuur.

Er zijn simulaties uitgevoerd aan dit systeem met het gebouwsimulatiepakket TRNSYS. Er zijn vier simulaties gedaan met buffervaten van 20L en 40L en met tapwaterklassen 2 en 4. De simulaties tonen aan dat het systeem de gewenste hoeveelheid warm tapwater van minimaal 55 °C kan produceren.

#### *Aanbevelingen voor verder onderzoek*

Het na-verwarmen van het buffervat voor het compenseren van stilstandsverliezen is relatief inefficiënt. Aanbevolen wordt om na te gaan of dit efficiënter kan met een elektrische verwarming. Hiermee kan dan ook aan de noodzakelijke regelgeving t.a.v. legionellapreventie worden voldaan.

## 2 Inleiding

Deze rapportage maakt deel uit van het programma Integrale Energietransitie Bestaande Bouw en draagt bij aan de doelstelling van deelproject 1.5 Collectieve warmte. Het deelproject richt zich op het realiseren van een innovatieve en kosten-efficiënte warmtenet aansluiting in woningen. Deze rapportage is het resultaat van activiteit 5: het inpassen van kansrijke tapwateroplossingen voor lage temperatuur warmtenetten in renovatieconcepten.

Om woningen aardgasvrij te maken zijn er verschillende scenario's denkbaar, zoals onder andere beschreven door PBL in de startanalyse warmte (Planbureau voor Leefomgeving, 2020). Eén van de mogelijkheden is om de huizen op een warmtenet aan te sluiten.

Voor het gebruik van duurzame warmte zoals bodemwarmte en restwarmte is er groot potentieel aanwezig. Dit potentieel is echter beperkt in temperatuur tot relatief lage temperaturen (LT). Zijn de temperaturen lager dan gebruikelijk, dan wordt er gesproken van een LT-netwerk. De exacte temperatuurdefinitie van een LT-netwerk is niet vastgelegd. Bijvoorbeeld in een rapport van PBL naar het toekomstbeeld van klimaatneutrale warmtenetten (Hoogervorst, 2017) heeft een LT warmtenet een temperatuur lager dan 100 °C. In een rapport van Ecofys en Greenvis (Vliet, 2016) wordt een LT warmtenet gedefinieerd met een aanvoertemperatuur tussen 40-55 °C.

In dit document wordt ervan uitgegaan dat er vanaf 65-70 °C aanvoertemperatuur in het warmtenet een geschikte methode bestaat om tapwater te maken dat altijd 55 °C of hoger is. Dit is het vertrekpunt van de analyse.

Energieverbruik van tapwater in huizen wordt gekenmerkt door twee aspecten: de temperatuur is redelijk hoog (>55 °C) en het piekvermogen tijdens gebruik is zeer hoog (>20kW) in vergelijking met ruimteverwarming. Dit piekvermogen is relevant voor de individuele aansluiting, maar wordt op wijkniveau uitgemiddeld, wat relevant is voor warmtenetten.

Om duurzame warmte efficiënter in te voeden in het warmtenet is het een optie om de temperatuur van het net te verlagen. Hierbij is het dan ook belangrijk om de retourtemperatuur (van woning naar warmtenet) ook te verlagen, zodat het debiet niet toeneemt. Dat betekent het temperatuurverschil tussen aanvoer en retour min of meer gelijk moet blijven.

In dit document zal een overzicht gegeven worden van technieken waarmee een verlaging van de temperatuur van een warmtenet gehaald kan worden. Daarbij worden deze technieken ook getoetst aan andere (praktische) overwegingen met betrekking tot warmtenetten en het comfort van de gebruiker.

In hoofdstuk 3 worden de randvoorwaarden besproken die een oplossingsrichting kunnen geven voor het verwarmen van tapwater met een warmtenet met een aanvoertemperatuur lager dan 70 °C. In hoofdstuk 4 worden de mogelijke technische oplossingen gegeven voor het verwarmen van tapwater met een

warmtenet met een aanvoertemperatuur lager dan 70 °C. In hoofdstuk 5 wordt één van de oplossingen verder uitgelicht door middel van een simulatie.

### 3 Randvoorwaarden

De verschillende oplossingen voor het verwarmen van tapwater met een warmtenet met een aanvoertemperatuur lager dan 70 °C zijn getoetst op vier typen randvoorwaarden. Deze randvoorwaarden zijn opgesteld door middel van een werksessie met de projectpartners van deelproject 1.5.

- De verplichte randvoorwaarden (wet- en regelgeving).
- De technische randvoorwaarden voor de netbeheerder en installateur.
- Het comfort voor de gebruiker.
- Kosten, zowel vast als variabel.

In de volgende paragrafen worden de verschillende randvoorwaarden beschreven die van belang zijn voor het ontwerp en implementatie van een tapwatersysteem voor een woning waarvan de warmtelevering geschiedt door middel van een warmtenet. Door een weging toe te kennen aan de randvoorwaarden en door de oplossingsrichtingen te beoordelen aan de hand van de score op deze randvoorwaarden kan een afweging gemaakt worden tussen de verschillende oplossingsrichtingen. Deze analyse is niet gedaan.

#### 3.1 Verplichte randvoorwaarde – legionellapreventie volgens NEN1006

Een belangrijke randvoorwaarde is de veiligheid in verband met legionellapreventie. Deze veiligheid is geborgd in de NEN1006:2018<sup>1</sup> en is uitgewerkt in verschillende documenten zoals de ISSO30.1 (ISSO, 2020) of 55.1 (ISSO, 2013) en de verschillende water werkbladen (infoDWI, 2021). Ook is deze wetgeving duidelijk uitgelegd in een rapport van Van Wolferen research (Wolferen, 2019).

Het belangrijkste uitgangspunt voor de opslag van warm water is dat de temperatuur boven de 55 °C moet blijven. Als dit niet het geval is, dan dient er wekelijks gedesinfecteerd te worden door een hogere temperatuur in het buffervat ('voorraadtoestel') te realiseren volgens tabel 4 uit de NEN1006 (NEN, 2018).

Tabel 1: Desinfectieduur voor tapwater die onder 55 °C is geweest uit de NEN1006 (NEN, 2018)

**Tabel 4 — Richtlijnen preventieve thermische desinfectie**

Temperatuur overal in het voorraadtoestel	Minimale standtijd t.b.v. wekelijkse preventieve thermische desinfectie
60 °C	20 min
65 °C	10 min
70 °C	5 min

Andere vormen van desinfectie zoals filters, UV-behandeling zijn niet toegestaan in woningen omdat deze eenvoudig uitgezet kunnen worden door de eindgebruikers of regelmatig onderhoud nodig hebben (Wolferen, 2019).

<sup>1</sup> NEN1006:2018

### **3.2 Technische randvoorwaarde – ruimte in woning/aansluiting t.o.v. gasketel of afleverset**

In principe zijn er voor de ruimteverwarming en tapwaterinstallatie op basis van een laagtemperatuur (LT) warmtenet twee uitgangspunten: in de huidige situatie is er een hoog temperatuur warmtenet of de huidige situatie bestaat uit een fossiele warmtevoorziening zoals een cv-ketel.

Zowel een cv-ketel als een afleverset van een hoog temperatuur warmtenet zijn relatief compacte apparaten. Of er ruimte is voor een grotere installatie zoals bijvoorbeeld een buffervat hangt af van de plaatsing van het huidige toestel. Zo zijn afleversets vaak geplaatst in de meterkast waar weinig ruimte is. Als een afleverset een cv-ketel in een andere ruimte vervangt is dan is er in de regel meer ruimte voor een installatie.

### **3.3 Technische randvoorwaarde – temperatuur warmtebron**

Omdat warm tapwater met minimaal 55 °C afgeleverd moet worden op het tappunt, is er een uiterste theoretische limiet aan de minimale aanvoertemperatuur van het warmtenet voor direct verwarmen. Er kan voor gekozen worden om al dan niet gedeeltelijk te kiezen voor een andere warmtebron zoals elektrische verwarming of de warmte op te waarderen met een warmtepomp. Als er wordt gekozen voor een aanvullende warmtebron dan is er geen vereiste aan het warmtenet.

### **3.4 Technische randvoorwaarde – opwarming door de afleverset**

Als een afleverset in de meterkast is geplaatst, mag de totale apparatuur niet meer dan 100W (NEN, 2005) warmte produceren. Ook mag de temperatuur van de meterkast niet hoger worden dan 25 °C in verband met legionella groei in drinkwaterleidingen.

### **3.5 Technische randvoorwaarde – installatie en reparatie**

Een belangrijk aspect aan warmtapwatervoorziening (en ruimteverwarming) is een hoge mate van beschikbaarheid. Een oplossing moet dus snel geïnstalleerd of gerepareerd kunnen worden. Verkrijgbaarheid van systemen en onderdelen is cruciaal om te garanderen dat systemen snel gerepareerd kunnen worden. Voor een systeem dat veelvuldig in een buurt is geïnstalleerd zal een installateur de meest voorkomende falende onderdelen op voorraad moeten hebben in die regio. Er moet aandacht worden besteed aan het feit dat bij de introductie van een nieuw systeem nog geen infrastructuur voor reparatie/onderdelen bestaat. Echter, als een oplossing breed toepasbaar is moet ervan uitgegaan worden dat er een infrastructuur voor op te bouwen is.

### **3.6 Technische randvoorwaarde – mate van uitkoeling**

De mate van uitkoeling op een warmtenet is gedefinieerd als het verschil tussen toevoer en retour van een warmtenet. Bijvoorbeeld een 70/40 °C warmtenet heeft een aanvoer van 70 °C en een retour van 40 °C. De uitkoeling is dan 30K. Een oplossing welke op 55/40 °C werkt heeft een uitkoeling van slechts 15K. Om dezelfde hoeveelheid warmte over te dragen is een verdubbeling van het water

debiet nodig. Een hoge mate van uitkoeling zorgt buiten een lager benodigd debiet ook voor een betere opwekprestatie van het warmtenet, ook voor duurzame warmtebronnen (Vliet, 2016).

### **3.7 Technische randvoorwaarde – verwachte levensduur en onderhoud**

Een standaard afleverset van een warmtenet heeft een levensduur van ongeveer 15 jaar (DHCHolland, 2014). Een cv-ketel heeft een levensduur van ongeveer 15 jaar (Consumentenbond, 2021). Jaarlijks onderhoud is voor een cv-ketel algemeen geaccepteerd.

### **3.8 Technische randvoorwaarde – Geluidsniveau**

Het geluidsniveau van binnen installaties mag niet hoger zijn dan 30dB(A) gemeten volgens NEN5077 (Rijksoverheid, 2021).

### **3.9 Comfort – debiet/beschikbaar volume**

Met betrekking tot het debiet moet er een onderscheid gemaakt worden tussen opslag en doorstroomsystemen. Bij een doorstroomsysteem kan gebruik gemaakt worden van warm water klassen volgens Gaskeur CW1 tot CW6 classificering van Kiwa. Een CW3 capaciteit heeft een watervolumestroom van 10L/min bij 40 °C, een CW4 heeft een volumestroom van 12.5L/min bij 40 °C. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat het koude water een temperatuur heeft van 10 °C. Het afgegeven vermogen is 21kW voor CW3 en 26kW voor CW4. Voor opslag warmwatertoestellen is het warm water debiet in principe alleen gelimiteerd door het koud water debiet. De hoeveelheid beschikbaar warm water (terug-gemengd naar 40 °C) hangt dan af van de temperatuur en volume van het voorraadvat.

### **3.10 Kosten – installatie**

Als de kosten van een tapwateroplossing significant hoger zijn dan van een huidig gebruikelijke afleverset of cv-ketel, dan moet daar een goede reden voor zijn in termen van gebruikskosten.

### **3.11 Kosten – gebruik**

De variabele kosten voor de gebruiker vertalen zich in directe kosten per gebruikte eenheid. Dit kan direct per energie-inhoud als GJ berekend worden bij de warmteleverancier of per eenheid elektriciteitsgebruik.

### **3.12 Kosten - stilstandsverliezen**

Stilstandsverliezen zijn relevant voor systemen waar een volume water continu op een hogere temperatuur dan de omgeving wordt gehouden. De kosten worden ook gemaakt als er geen tappingsen plaatsvinden. Stilstandsverliezen zijn ook relevant voor de huidige gebruikelijke warmtewisselaars in een warmtenet afleverset.

## 4 Overzicht systemen

In principe zijn er 3 manieren om tapwater te verwarmen als voor de ruimteverwarming gebruik wordt gemaakt van een warmtenet. Gebruik maken van de warmte uit het warmtenet voor tapwater, een separate warm tapwater voorziening of door een hybride vorm van beiden.

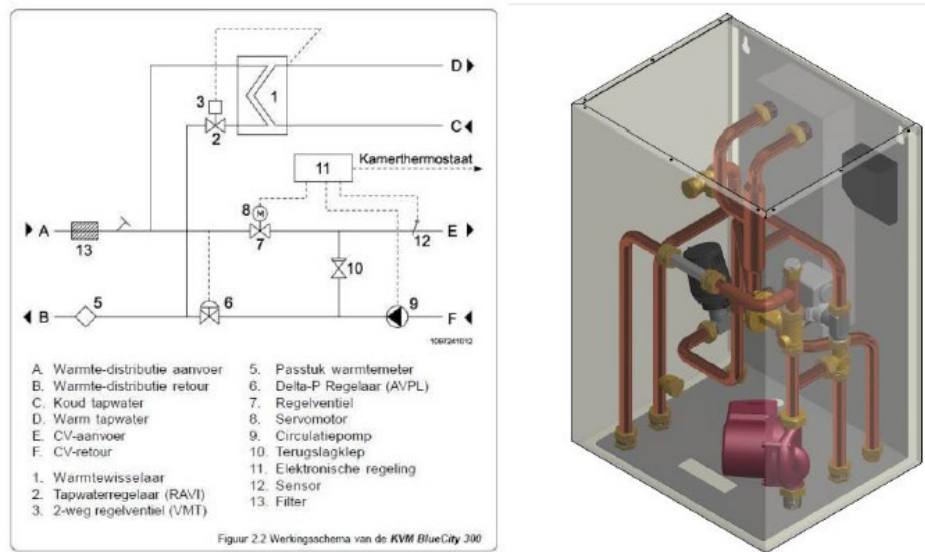
De 3 hoofdvormen hebben verschillende uitvoeringsvarianten, dat levert het volgende overzicht van systemen op:

- Tapwaterverwarming vanuit warmtenet:
  - o Warmtewisselaar via warmtenet (4.1).
  - o Warmtewisselaar via warmtenet met klein buffervat (4.6 en 5).
- Separate tapwaterbereiding (ruimteverwarming met warmtenet) (4.5):
  - o Elektrische (warmtepomp) verwarming.
  - o Fossiele brandstofstook.
- Hybride systemen:
  - o Warmtenet met elektrische na-verwarming eventueel met terugkoeling (4.2).
  - o Warmtenet met booster warmtepomp (4.3).
  - o Warmtenet aangevuld met zonnecollectoren (4.4).

### 4.1 Warmtewisselaar via warmtenet

Een warmtewisselaar wordt gebruikt om warmte uit het warmtenet te gebruiken voor het verwarmen van tapwater. Met deze methode kan het volledige debiet aan warm tapwater direct opgewarmd worden en is er dus geen buffering nodig (in principe bevat de warmtewisselaar een klein volume). Om dit debiet te halen is een relatief hoge aanvoertemperatuur nodig van minstens 65 °C van het warmtenet nodig. Om direct warm tapwater te krijgen moet de warmtewisselaar warm gehouden worden. Hierdoor zal de warmtewisselaar ook warmte afgeven aan de ruimte waarin deze geplaatst is.

Het debiet van het warmtenet is een regelparameter tijdens het tappen van warm water. Als de temperatuur van het warme tapwater in het secundaire circuit lager is dan het setpunt wordt het debiet in het primaire circuit verhoogd. Deze regelstrategie heeft tot gevolg dat een verlaging van de aanvoertemperatuur van het warmtenet zorgt voor een toename van het warmtenet debiet en dus een afname van de uitkoeling, aangezien hetzelfde thermische vermogen geleverd wordt. Hierdoor leidt een verlaging van de aanvoertemperatuur niet per definitie tot een beter werkpunt voor duurzamere warmteopwekking bij gebruik van een warmtewisselaar. Dit komt omdat een *verlaging* van de aanvoertemperatuur bij gelijkblijvend systeem en warmtelast leidt tot een *verhoging* van de retourtemperatuur naar het warmtenet.



Figuur 2: Voorbeeld prinsipeschema afleverst warmtenet (DHCHolland, 2014). Voor het verwarmen van tapwater is er een primair circuit (warmtenet) en een secundair circuit (tapwater). Het Primaire circuit bestaat uit: A-13-1-2-5-B. Het Secundaire circuit bestaat uit C-1-D, beide in volgorde van de stromingsrichting van het water.

#### 4.2 Elektrische na-verwarmen (met terugkoeling)

Een elektrische na-verwarming kan worden toegepast als de aanvoertemperatuur van een warmtenet niet voldoende is om 55 °C tapwater te bereiken. Dit is energetisch voordeliger dan volledige elektrische verwarming omdat de relatief ongunstige elektrische verwarming alleen gebruikt wordt als na-verwarming. Bij een temperatuur van minder dan 55 °C moet de temperatuur tijdelijk worden verhoogd (zie Tabel 1) om Legionella besmetting te voorkomen. Om een desinfectie mogelijk te maken kan gebruik gemaakt worden van een terugkoel warmtewisselaar. Hiermee wordt het water 'tijdelijk' verhit tot een hogere temperatuur. Dit is mogelijk omdat het tapwater tweemaal langs een warmtewisselaar stroomt. De warmte die onttrokken wordt door het terugkoelen van het water wordt gebruikt voor het voorverwarmen van het water. Hierdoor is een hogere temperatuur (tijdelijk) mogelijk.





Figuur 4: Itho Daalderop booster warmtepomp, Bron: (Itho Daalderop, 2021)

#### 4.4 Warmtenet aangevuld met zonnecollectoren

De warmtevraag voor ruimteverwarming is in veel gevallen omgekeerd evenredig aan de warmtebeschikbaarheid van zonnecollectoren. Hierdoor wordt het mogelijk om de aanvoertemperatuur van het warmtenet te verlagen als er weinig warmtevraag is en als de condities goed genoeg zijn om warmte uit zonnecollectoren te halen. Nadelen zijn dat de leveringszekerheid in het geding kan komen en er dus een alternatief systeem moet zijn. Hierdoor loopt het aantal parallelle systemen op tot 3. Een zonnecollector aanleggen kan een ingrijpende verbouwing zijn.

#### 4.5 Warm tapwater bereiding loskoppelen van warmtenet

Door de warm tapwaterbereiding los te koppelen van een warmtenet is er ook geen temperatuur afhankelijkheid meer van het warmtenet. Een doorstroomverwarmer is een optie die altijd instantaan warm water levert op elke gewenste temperatuur. Hiervoor is echter een zware elektrische aansluiting nodig en is het comfort (met max 11kW voor 3x16A elektrische aansluiting) vrij beperkt, een combinatie met een douche WTW kan dit comfort verhogen.

Een elektrische boiler is een beproefd apparaat, maar bevat een beperkte voorraad warm water en heeft een groter ruimtebeslag dan bijvoorbeeld een gasgestookte ketel of een warmtenet afleverset.

Voor woningen met ventilatie type C (mechanische afzuiging) kan de ventilatiebox vervangen worden door een warmtepomp boiler. Normaal gesproken gaat de (warme) ventilatielucht naar buiten. Deze warmtepomp onttrekt warmte aan de uitgaande ventilatielucht van de woning en gebruikt dit om tapwater te verwarmen. Omdat een minimaal ventilatiedebiet nodig is voor het verwarmen van tapwater geeft een warmtepompboiler een risico op over-ventilatie (Veelen, 2017). Hierbij wordt er meer geventileerd dan nodig is voor een comfortabel binnenklimaat met als gevolg een gevoel van tocht aan de inlaatroosters en een hoger energieverbruik voor ruimteverwarming.

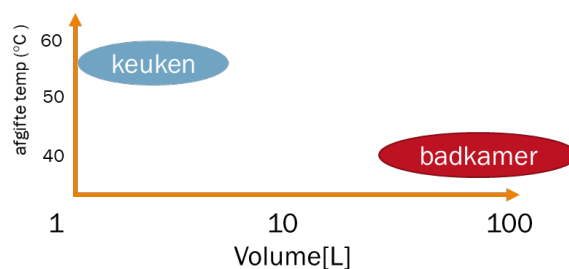
#### 4.6 Buffervat met externe warmtewisselaar

Voor een afleverset met warmtewisselaar is door het hoge thermische vermogen en 55 °C aan het tappunt tenminste 65-70 °C nodig als aanvoer aan het warmtenet. Uiteindelijk wordt de meeste warmte gebruikt op ten hoogste 40 °C in de vorm van badkamertappingsen zoals douchen.

Een van de eigenschappen van een warmtewisselaar is dat er een proportionele relatie is tussen het afgegeven thermisch vermogen en temperatuurverschil tussen primaire en secundaire kant van de warmtewisselaar.

Een warm water tapping benodigd een relatief hoog thermisch vermogen (typisch 20kW) in combinatie met een hoge gevraagde temperatuur (typisch 55 °C). Als het mogelijk is het water te bufferen, kan de buffer met een laag thermisch vermogen geladen worden (dus met een lagere aanvoertemperatuur) en met een hoog vermogen warmte afgeven (leegtappen). Als het vat leeggetapt is, kan de afleverset warm water leveren met een lagere temperatuur.

Als er gekeken wordt naar het gebruikersprofiel dan kan er een onderscheid gemaakt worden tussen een 'keukentapping' en een 'badkamertapping' volgens de NTA8800 (NEN, 2020). Een keukentapping heeft een relatief laag volume (spoelen, vaat wassen etc. met een verbruik van 1-5L), deze tappingen hebben een temperatuur van minstens 55 °C nodig. Badkamer tappingen (douche: 47-100L) hebben een hoger volume, maar een temperatuur van 40 °C volstaat hiervoor. Dit verschil is geïllustreerd in Figuur 5.



Figuur 5: Verschil in temperaturen en tapvolumes voor 'keuken' en 'badkamer' tappingen.

Van een systeem dat gebruik maakt van dit verschil in tapkarakteristiek door een kleine hoeveel water op hoge temperatuur te bufferen is een haalbaarheidsanalyse gedaan in hoofdstuk 5.

## 5 Haalbaarheidsstudie verlaging van aanvoertemperatuur d.m.v. kleine buffer

### 5.1 Probleemstelling

Zoals uit de bovenstaande inventarisatie naar voren komt is voor directe tapwaterbereiding vanuit een warmtenet een minimumtemperatuur nodig van:

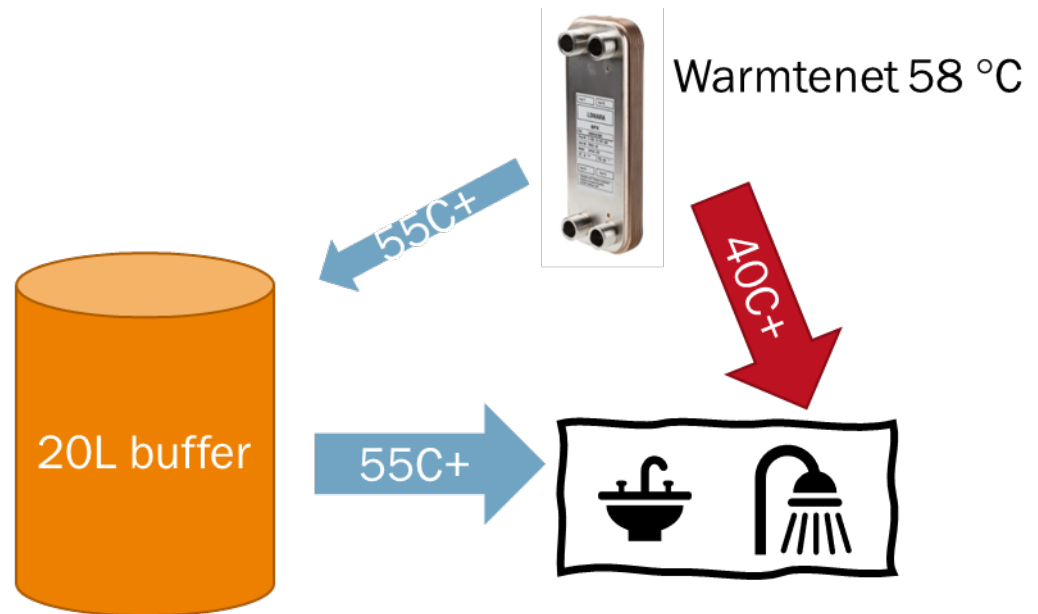
Minimumtemperatuur warmtenet = tapwatertemperatuur + lastafhankelijke temperatuurdelta over warmtewisselaar.

Deze temperatuurdelta is een logaritmisch gemiddelde over de warmtewisselaar (A.F.Mills, 2013). Dat betekent ook dat als de aanvoertemperatuur van een warmtenet verlaagd wordt, de retourtemperatuur en warmtenet debiet verhoogd wordt.

Omdat deze temperatuurdelta lastafhankelijk is, kan deze delta omlaag gebracht worden door de warmte te bufferen. Hierdoor kan de aanvoertemperatuur omlaag zonder verhoging van de retourtemperatuur. Het warmtenet debiet tijdens het 'laden' wordt ook verlaagd. Een tapping vindt plaats vanuit de buffer. Als de buffer leeggetapt is, wordt er overgeschakeld op direct verwarmen, maar met een lagere tapwatertemperatuur.

### 5.2 Idee en lay-out

Het beoogde systeem bevat een warmtewisselaar en een klein buffervat van 10-40L dat 'geladen' kan worden met een laag debiet. Omdat het laden gebeurt op een laag debiet, is warmteoverdracht ook laag. Daarom kan dit gedaan worden op een efficiënt werkpunt van de warmtewisselaar met lage aanvoer en retourtemperaturen naar het warmtenet.



Figuur 6: Schema van stromingen, waarin de drie modi van het systeem zijn beschreven: laden van de buffer vanuit de warmtewisselaar, tappen uit het buffer en tappen vanuit de warmtewisselaar.

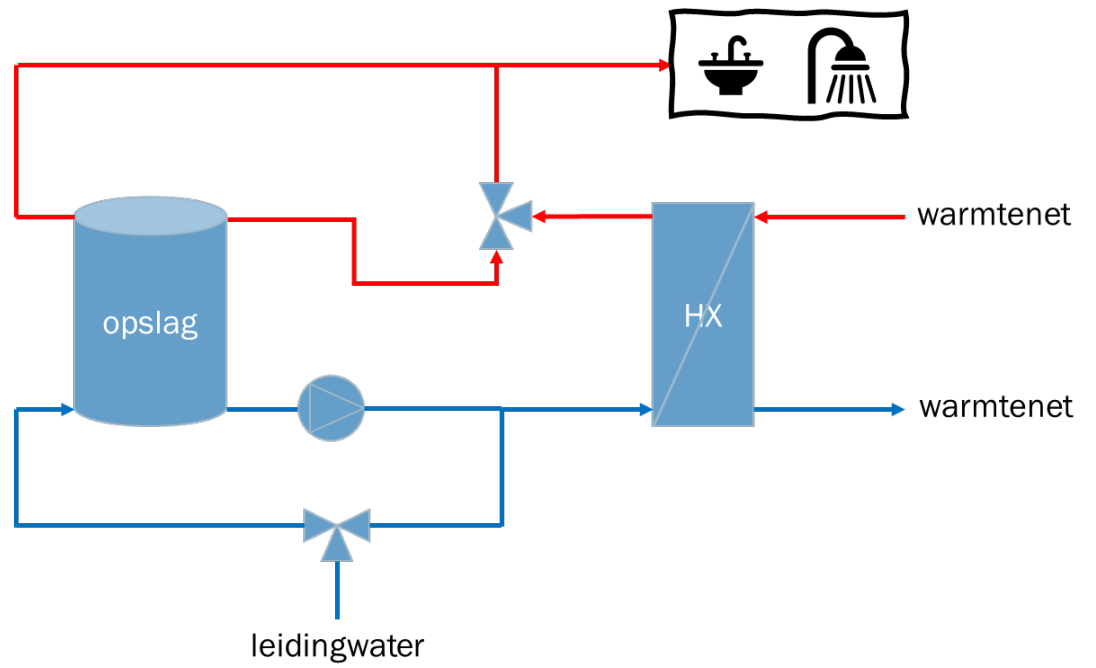
De systematische lay-out van het systeem is gegeven in Figuur 6. De stromingen zijn voor de drie toestanden zijn inzichtelijk gemaakt in Figuur 7. Het precieze ontwerp met aspecten als driewegkleppen, terugslagkleppen, temperatuursensoren en regeleenheid is buiten beschouwing gelaten in deze analyse.

Voor de warmtewisselaar wordt ervan uitgegaan dat deze hetzelfde is als in een conventionele afleverzet voor warmtenet aansluitingen.

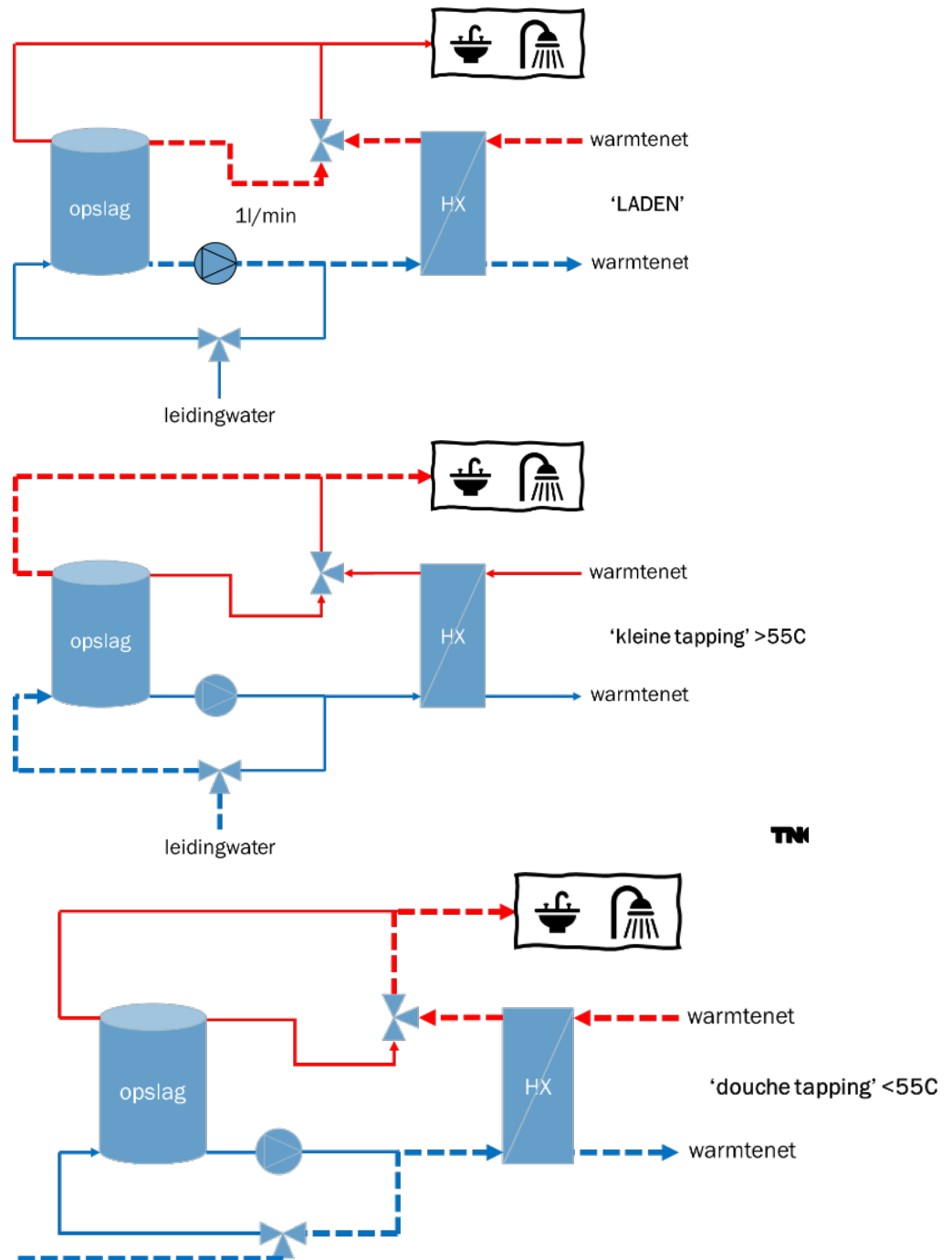
Het buffervat wordt van boven beladen met warm water en de stromingsrichting voor laden en ontladen is in tegengestelde richting. Hierdoor blijft de stratificatie in het buffervat gehandhaafd. Dit is een belangrijk aspect van het ontwerp, omdat dit ervoor zorgt dat het buffervat alleen 'geladen' wordt door water direct van koud naar warm te verwarmen. Tijdens het verwarmen zal het water slechts eenmaal langs de warmtewisselaar stromen en dus volledig verwarmd worden.

Het buffervat is relatief klein (ordegrootte 10-40L) wat vergelijkbaar is met een close-in boiler zoals deze wel eens toegepast worden in keukenkastjes. Zodra het vat leeggetapt is, zal het systeem overschakelen naar het direct verwarmen van water zoals dat in een gebruikelijk warmtenet afleverzet gebeurt. Hierbij zal de temperatuur van 55 °C niet gehaald worden door de hoge last op de warmtewisselaar. Het idee is dat een van tapping meer dan 10-40L volgens de NTA8800 bijlage T (NEN, 2020) een sanitaire tapping is met een benodigde temperatuur van 40 °C.

Het systeem wordt veilig geacht ten opzichte van legionella aangroei, omdat het water in het buffervat op minstens 55 °C opgeslagen wordt. Tijdens een lange tapping (Douche/bad) is de verblijftijd in het systeem laag en dus vergelijkbaar met een doorstroomsysteem. Het is echter toch aan te bevelen om het systeem te voorzien van een periodieke verwarming zoals gebruikelijk is bij bijvoorbeeld warmtepompen. Het ligt voor de hand om dit te doen met een elektrisch element.



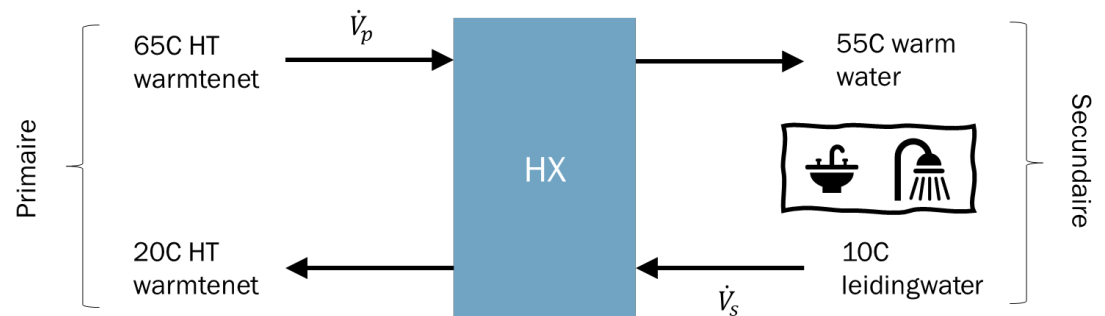
Figuur 7: Hydraulische lay-out van het systeem. Warm water kan getapt worden vanuit het buffervat of *direct* via de warmtewisselaar.



Figuur 8: Drie actieve toestanden van het systeem: buffervat laden, tappen uit het buffer en tappen via de warmtewisselaar. De stippellijnen geven aan die leidingen stromen tijdens het bedrijf: *Laden*, *kleine tapping* of *douche tapping*.

### 5.3 Uitgangspunten voor simulatie

Voor de warmtewisselaar wordt ervan uitgegaan dat deze hetzelfde is als gebruikt in een conventionele afleverzet. Voor een CW4 klasse tapwater verwarming is 7.5l/min op 55 °C nodig. Voor de dimensionering van de warmtewisselaar wordt uitgegaan van een warmtenet met aanvoertemperatuur van 65 °C en een warmtenet debiet van 7.5l/min Figuur 9.



Figuur 9: Uitgangsbasis voor werkpunt voor tapwater warmtewisselaar. Beide debieten zijn gelijk (7.5l/min voor CW4)

Het temperatuurverschil kan uitgerekend worden met de Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD) die een gemiddeld temperatuurverschil tussen stromen in een warmtewisselaar weergeeft in mee- of tegenstroming. Hiermee kan afgeschat worden welke prestaties de warmtewisselaar heeft onder andere condities (A.F.Mills, 2013).

$$LMTD = \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln\left(\frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}\right)}$$

Waarbij  $\Delta T_A$ , en  $\Delta T_B$ , de temperatuur verschillen aan beide fysieke zijdes van de warmtewisselaar zijn tussen primaire en secundaire stroming in K. Als  $T_A = T_B$ , dan is  $LMTD = T_A = T_B$ . Voor de situatie van Figuur 9 is dat aan beide zijdes 10K, met deze waarde in combinatie met het overgebrachte thermische vermogen kan de karakteristieke U waarde van de warmtewisselaar uitgerekend worden met:

$$Q_{tapping} = \dot{m} c_p \Delta T$$

$$U = \frac{Q_{tapping}}{LMTD}$$

Met  $Q_{tapping}$  het overgebrachte thermische vermogen in W,  $c_p$  de soortelijke warmte van water in J/kgK en  $\dot{m}$  het massadebiet is kg/s.

Een tapping van 7.5l/min met deze temperaturen geeft een afgegeven thermisch vermogen van 23.5kW, met een LMTD van 10K. Dus is de U-waarde van de warmtewisselaar 2.35kW/K. Deze waarde kan gebruikt worden tijdens de rest van de studie.

Met deze waarde kan het werkpunt uitgerekend worden waarmee het buffervat wordt geladen en het werkpunt bij direct gebruik op 40°C. Als aanvoertemperatuur is 58 °C gekozen om nog marge te hebben op de warm water temperatuur. Deze marge is belangrijk, omdat het water in het buffervat ook zal afkoelen en dus periodiek opgewarmd moet worden zoals dat in een gebruikelijke afleverzet ook het geval is. Dit na-verwarmen is relatief inefficiënt omdat de aanvoertemperatuur naar de warmtewisselaar al relatief hoog is. In principe moet er na-verwarmd worden als de temperatuur onder de 55 °C dreigt te komen. De werkpunten van de warmtewisselaar zijn uitgewerkt in Tabel 2. Het 'opladen' van het buffervat is arbitrair gekozen op 1l/min. De keuze voor een marge van 3K is in deze berekening

arbitrair. Een iets hogere temperatuur zorgt voor iets minder frequent na-verwarmen.

Tabel 2: Drie werkpunten van de warmtewisselaar uitgewerkt.

	Laden (1l/min, 55+°C)	Direct gebruik (40 °C CW4)	Na- verwarmen (55->58°C)	Dimensionering warmtewisselaar
Debiet tapwater	1l/min	11.25l/min (zelfde comfort als 55 °C 7.5l/min)	1l/min	7.5l/min
Warmteoverdracht	3.25kW	23.5kW	0.2kW	23.5kW
Warmtenet aanvoer	58°C	58°C	58°C	65 °C
Koud water	10 °C	10 °C	55 °C	10 °C
Warm water	56.6 °C	40 °C	57.9 °C	55 °C
LMTD	1.38K	10K	~0.1K	10K
Debiet warmtenet	1l/min	8.1l/min	1l/min	7.5l/min
Warmtenet retour	11.4 °C	15.3 °C	55.1 °C	20 °C

In Tabel 2 is te zien dat de retourtemperatuur van het warmtenet significant verlaagd wordt voor het verwarmen van het buffervat vanwege het lage vermogen waarmee dat gebeurt. Voor het direct verwarmen van tapwater naar 40 °C is de warmtenet retourtemperatuur ook laag omdat de tapwatertemperatuur relatief laag is. Het na-verwarmen van het tapwater in het buffer is een inefficiënt proces met een hoge retourtemperatuur van het warmtenet, eventueel zou dit elektrisch kunnen. Na-verwarmen is in principe alleen noodzakelijk als er geen tapwater gebruikt wordt.

De simulatie is gedaan met een buffervat van 20 en 40L, uitgaande van een A-label buffervat volgens EU812 Ecodesign (EN, 2013) is het maximale warmteverlies van het buffer 22.6W voor het 20L vat en 27.1W voor het 40L vat. In principe moet het vat volgens Tabel 2 2.9K afkoelen voordat het weer na-verwarmd moet worden. Voor het 20L vat is dit dus elke 3 uur en voor het 40L vat is dit elke 5 uur. Als er tussentijds tappings plaatsvinden hoeft het vat slechts gedeeltelijk of niet na-verwarmd worden.

#### 5.4 Simulatie op basis van NTA8800 tappatronen

Het voorgestelde systeem is gemodelleerd in TRNSYS (Thermal Energy System Specialists, LLC, 2021) waarin sub-componenten voor buffervat en warmtewisselaar als standaard componenten beschikbaar zijn. Er is gebruik gemaakt van de componenten: Type 38, 'Algebraic tank (plug-flow)' en type 5, 'Heat exchanger'. Meer details over het TRNSYS-model zijn te vinden in de appendix A.

De regeling bestaat uit twee thermostaten voor het verwarmen van de tank en voor het overschakelen van tappen uit het buffervat naar direct verwarmen via de warmtewisselaar. Als de onderkant van het vat warmer wordt dan 51°C stopt de verwarming, als de onderkant van het vat kouder wordt dan 49 °C dan start de

verwarming. Als de bovenkant van het vat kouder wordt dan 40 °C schakelt het systeem om van de buffer naar directe verwarming via de warmtewisselaar. Deze waardes zijn gekozen zodat het systeem de schakelingen uitvoert op de goede momenten om de simulatie goed te laten verlopen. Een meer robuuste regeling zal geïmplementeerd kunnen worden in een vervolgstudie. De regeling is nu zodanig opgezet dat het systeem het juiste gedrag vertoont in de simulatie.

Er zijn vier simulaties uitgevoerd op basis van 24 uren tappatronen die gedefinieerd zijn in de NTA8800 bijlage T (NEN, 2020). Deze tappatronen zijn bedoeld voor het evalueren van prestaties van warmtepompen, maar geven een realistisch beeld van mogelijke tappingen bij huisgebruik. Een lijst van tappingen is gegeven in de appendix B. Er wordt uitgegaan van 49 tappingen in 24 uur met verschillende debieten en gewenste temperaturniveaus. Omdat sommige tappingen een korte tijdsduur hebben is het debiet aangepast om te passen in een heel aantal tijdstappen van de simulatie (lengte tijdstap is 30 seconden). In het tappatroon zijn een aantal kritische tappingen opgenomen die een temperatuur van 55 °C moeten halen. Een overzicht van de simulaties is gegeven in Tabel 3. De tappingen worden beëindigd op basis van energie-inhoud. Dat betekent dat een tapping met een hogere temperatuur een kortere duur heeft.

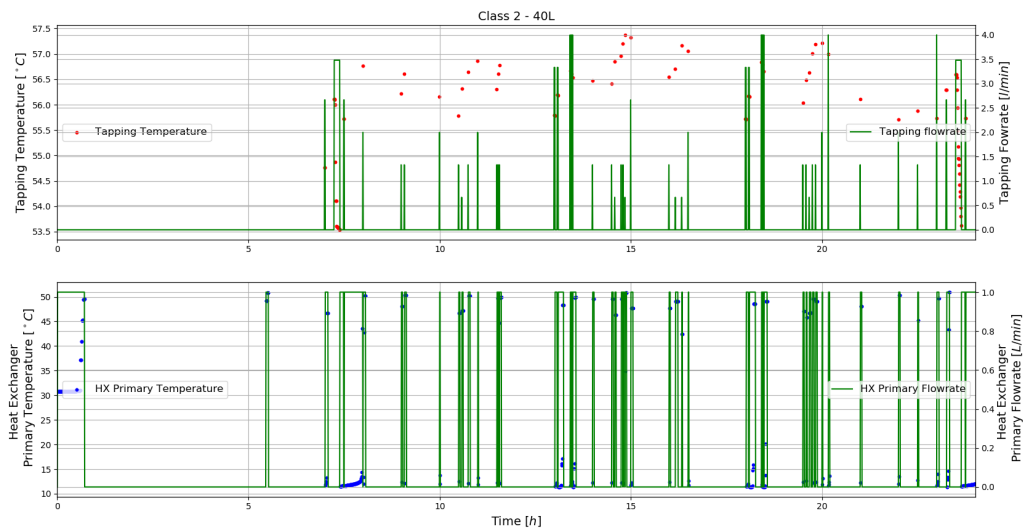
Tabel 3: Overzicht van de gedane simulaties, de tappatroon klassen zijn niet te verwarren met de gaskeur CW klasse (Kiwa, 2021).

Simulatie	1	2	3	4
Buffer volume	40L	40L	20L	20L
Warmtenet aanvoer	57°C	57°C	58°C	58°C
Tappatroon	Klasse 2	Klasse 4	Klasse 2	Klasse 4
Getapte energie per etmaal	6.88kWh	10.65kWh	6.92kWh	10.66kWh
Maximaal debiet	3.5L/min	7.5L/min	3.5L/min	7.5L/min
Maximaal volume tapping	47L @40°C of 31L@55°C	100L@40°C of 67L@55°C	47L @40°C of 31L@55°C	100L@40°C of 67L@55°C
Voldoet aan temperaturen	Ja	Ja	Ja	Ja

## 5.5 Resultaat van simulaties

### *Simulatie 1: 40L buffer, Tapwater klasse 2.*

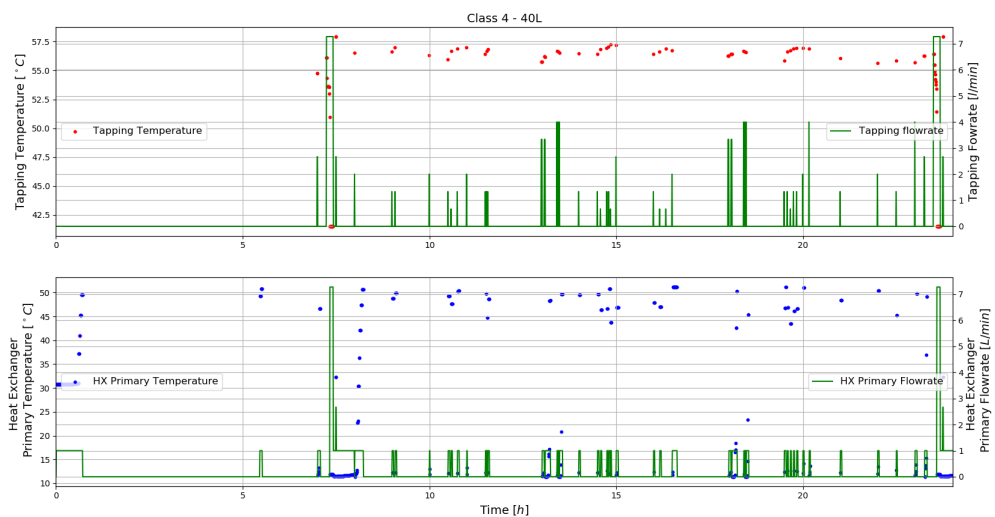
De grootste tappingen uit tappatroon klasse 2 zijn 47L op 40 °C of een tapping met een equivalente energie-inhoud. Door uit te gaan van 55 °C is er slechts 31L nodig om te voldoen aan de warmtevraag. Hierdoor kan het warme tapwater volledig uit het buffer getapt worden en is het niet nodig om over te schakelen op direct verwarmen via de warmtewisselaar. Te zien in Figuur 10 is dat de retourtemperatuur naar het warmtenet 15 °C blijft, echter lijkt het verwarmen een tijdstap te laat te stoppen, waardoor er gedurende 1 tijdstap de retourtemperatuur hoog is. Dit is een simulatie-artefact die in de praktijk niet zal voorkomen.



Figuur 10: Resultaat van simulatie 1, in groen de debieten gemeten aan de warmtewisselaar, de stippen zijn de temperaturen. Boven: warm tapwater, onder warmtenet retour. Initieel heeft het buffervat een temperatuur van 20 °C. Ongeveer 6 uur na start van de simulatie wordt het buffervat bij verwarmt, omdat deze afgekoeld is, dit gebeurt met een hoge retourtemperatuur.

#### Simulatie 2: 40L buffer, Tapwater klasse 4.

In dit geval kan het buffervat niet voorzien in de tapwatervraag tijdens de douche tappingen en zakt de temperatuur tijdelijk terug tot 40 °C. In tegenstelling tot wat berekend is in Tabel 2 is ervoor gekozen het debiet niet te verhogen om hetzelfde comfort te bewaren. Hierdoor zijn het warmtenet debiet en de retourtemperatuur van het warmtenet lager dan deze zouden zijn met een gelijkblijvend comfortniveau.

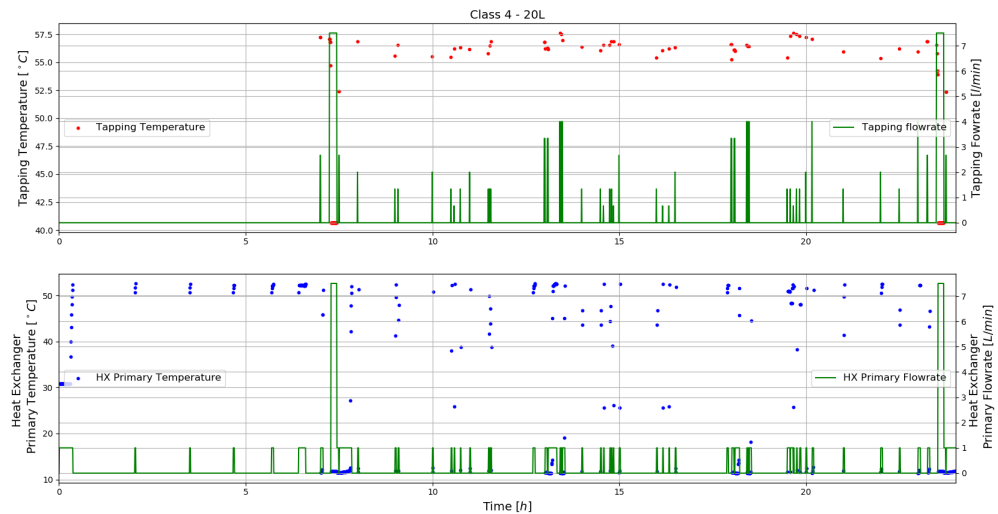


Figuur 11: Resultaat van simulatie 2. Te zien is dat er ditmaal ook 'directe verwarming' door de warmtewisselaar plaatsvindt tijdens de douchetapping aan het begin en het einde van de dag. Dit is te zien aan het hogere debiet van het warmtenet (groene lijn, onderste grafiek).

#### Simulatie 4: 20L buffer, Tapwater klasse 4.

Bij het 20L buffer is ervoor gekozen om de aanvoertemperatuur te verhogen van 57 naar 58 °C omdat anders het buffervat te vaak na-verwarmd moet worden als er

geen tapwater wordt gebruikt, Ook is de logica voor de na-verwarming aangepast. Het setpunt is met 1.5K verhoogd om te zorgen dat de temperatuur niet te laag is voor de kritische tappingsen.



Figuur 12 Resultaat van simulatie 4. Wederom zijn alle tappings tenminste 55 °C, behalve de douchetappings aan het begin en het einde van de dag. In dit geval is er een na-verwarming elke 1-2 uur als er geen afname is.

## 5.6 Conclusie over het onderzochte systeem

De statische berekeningen en dynamische simulaties laten duidelijk potentie zien voor de gesuggereerde installatie. Door het verlagen van het thermische vermogen van de warmtewisselaar kan de aanvoer én retourtemperatuur van het warmtenet verlaagd worden. Als er weinig water gebruikt wordt, dan zal de buffer na-verwarmd moeten worden om de temperatuur boven de 55 °C te houden. Dit is een inefficiënt proces met een hoge warmtenet retourtemperatuur. Echter gebeurt dit kortstondig en met een laag debiet.

Aangetoond is dat de volumes waar warm water opgeslagen wordt boven de 55 °C gehouden worden, als het vat leeggetapt is zullen deze volumes afkoelen tot 40 °C, daarom is een periodieke thermische desinfectie voor legionella noodzakelijk. Dit kan bijvoorbeeld met een klein elektrisch element gedaan worden.

De gedane studie is slechts een haalbaarheidsstudie en is niet bedoeld als ontwerp voor een uiteindelijk systeem. Verschillende ontwerpparameters zoals vatgrootte, minimale aanvoertemperatuur en exacte hydraulische configuratie zullen in een omvangrijker ontwerpproces vastgesteld moeten worden, regeltechnische parameters zoals temperatuur en debietinstellingen zullen ook vastgesteld moeten worden. Wellicht is een elektrisch element voor desinfectie en voor efficiënter na-verwarmen noodzakelijk.

### Voordelen ten opzichte van een systeem zonder buffer:

- Verlaging van warmtenet aanvoertemperatuur tot minimaal 58 °C met een lage retourtemperatuur.
- Weinig extra componenten ten opzichte van een conventionele afleverzet. Een 20L buffervat, een circulatiepomp (~1l/min) en diverse appendages.

- Mits gebruik gemaakt wordt van een Ecodesign A label buffervat kan de warmteafgifte van het vat onder de 30 Watt blijven.

Nadelen ten opzichte van een systeem zonder buffer:

- Onzekerheid over voldoen aan NEN1006, al kan aangetoond worden dat met periodieke desinfectie het systeem intrinsiek veilig is.
- Installatie van thermostatische douche- en badkranen noodzakelijk.
- Na-verwarmen van afgekoeld buffervat inefficiënt en met hoge retourtemperatuur. Dit kan ook elektrisch gedaan worden.

## 6 Conclusie

De gebruikelijke manier van warm tapwater verzorging bij warmtenetten is via een warmtewisselaar. Om ervoor te zorgen dat er minstens 55 °C aan een tappunt gehaald wordt en het comfort van een CW4 tapping gehaald wordt, is de aanvoertemperatuur van een warmtenet die ook tapwater verzorgt minstens 65 °C. In de praktijk is deze vaak hoger om de retourtemperatuur van het warmtenet laag te houden.

Om duurzame bronnen, zoals geothermische energie, efficiënter in te voeden in het warmtenet is het wenselijk dat de aanvoertemperatuur van het warmtenet omlaaggaat. Hierbij moet de retourtemperatuur laag blijven. Deze verlaging is tijdens het stookseizoen mogelijk mits de ruimteverwarming eisen dat toe laten.

In principe zijn er 3 mogelijkheden om tapwater te verwarmen als er voor de ruimteverwarming gebruik wordt gemaakt van een warmtenet:

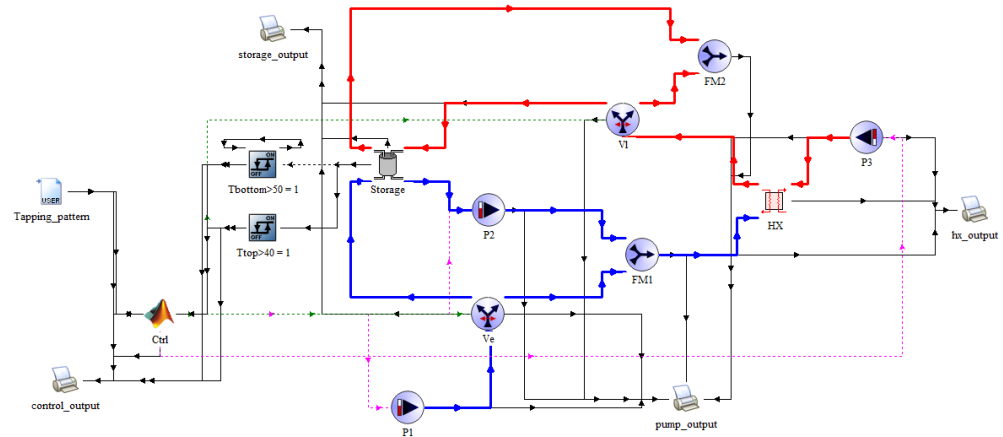
1. Warmte geheel uit het warmtenet halen door middel van een warmtewisselaar. Dit is de 'standaard' oplossing zoals deze is toegepast in een afleverzet. Voordelen zijn een compacte bouw en beschikbaarheid van warm water. Nadelen zijn de vereisten in aanvoertemperaturen.
2. Warmte geheel uit een andere bron halen dan het warmtenet. Voordelen zijn dat er geen eisen zijn aan de minimumtemperatuur van het warmtenet. In de praktijk zal dit betekenen dat het tapwater elektrisch verwarmt moet worden. Voor directe verwarming is dan veel gevallen niet genoeg capaciteit waardoor een buffer noodzakelijk is. Dit neemt ruimte in en zorgt voor verminderd comfort als het buffer leeg raakt.
3. Een hybride variant waarin een gedeelte van de warmte uit het warmtenet gehaald wordt en een gedeelte elektrisch. Voorbeelden zijn elektrische bijstook (eventueel met terug koeling). Als er een (booster) warmtepomp gebruikt wordt kan de temperatuur van het net ver worden verlaagd.

Er is in dit rapport een haalbaarheidsstudie uitgevoerd waaruit blijkt dat een afleverzet met warmtewisselaar in combinatie met klein buffervat de benodigde warmtenet aanvoertemperatuur kan verlagen tot 58 °C in combinatie met een lage retourtemperatuur (voldoende uitkoeling). Echter is er nog onzekerheid of dit voldoet aan regelgeving met betrekking tot legionellapreventie al kan aangetoond worden dat het systeem intrinsiek veilig is.

## 7 Bibliografie

- A.F.Mills. (2013). *Basic Heat and Mass transfer*. Pearson.
- Aquaheat. (sd). AquaHeat warmte-unit Arctic DP-120VK TE-Booster®.  
[https://fortes-es.nl/wp-content/uploads/2020/10/Brochure-Arctic\\_DP-120VK\\_TE\\_Booster\\_V8.pdf](https://fortes-es.nl/wp-content/uploads/2020/10/Brochure-Arctic_DP-120VK_TE_Booster_V8.pdf).
- Consumentenbond. (2021, June 3). *Veelgestelde vragen over cv-ketels*. Opgehaald van Consumentenbond: <https://www.consumentenbond.nl/cv-ketel/veelgestelde-vragen-over-cv-ketels>
- DHCHolland. (2014). *Overzicht afleversets voor warmtelevering (DE14000030)*. RVO.
- EN. (2013). COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) No 812/2013. *Official journal of the european union* 6.9.2013.
- Hoogervorst, N. (2017). *Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland*. Planbureau voor leefomgeving.
- infoDWI. (2021, June 07). *Waterwerkbladen*. Opgehaald van <https://www.infodwi.nl/waterwerkbladen>
- ISSO. (2013). *ISSO-publicatie 55 Leidingwaterinstallaties*. ISSO.
- ISSO. (2020). *ISSO-publicatie 30 Leidingwaterinstallaties in woningen*. ISSO.
- Itho Daalderop. (2021, June 03). *Booster warmtepomp 2 kW W/W WP tapwater + voorverwarmer*. Opgehaald van <https://www.ithodaalderop.nl/nl-NL/consument/product/576-0021>.
- Kiwa. (2021, June 03). *Gaskeurlabels: een overzicht*. Opgehaald van Kiwa gaskeur: [https://www.kiwa.nl/upload/leaflet/Gaskeurlabels\\_bijlage.pdf](https://www.kiwa.nl/upload/leaflet/Gaskeurlabels_bijlage.pdf)
- NEN. (2005). NEN2768:2005 Meterruimten en bijbehorende voorzieningen in een woonfunctie. NEN.
- NEN. (2018). *NEN 1006+A1:2018 nl Algemene voorschriften voor leidingwaterinstallaties*. NEN.
- NEN. (2020). *NTA8800:2020 bijlage T*. NEN.
- Planbureau voor Leefomgeving. (2020, Jun 3). *Startanalyse aardgasvrije buurten versie 2020*. Opgehaald van PBL: <https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/2020/>
- Rijksoverheid. (2021, June 3). *Bouwbesluit 2012, Hoofdstuk 3 Hoofdstuk 3. Technische bouwvoorschriften uit het oogpunt van gezondheid*. Opgehaald van <https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012/hfd3>
- Thermal Energy System Specialists, LLC. (2021, June 03). *TRNSYS*. Opgehaald van <http://www.trnsys.com/>
- Veelen, I. v. (2017, 05). *Rooskleurige toekomst voor de warmtepompboiler? TVVL magazine*, pp. 10-13.
- Vliet, E. v. (2016). *Collectieve warmte naar lage temperatuur, Een verkenning van mogelijkheden en routes*. Ecofys & Greenvis.
- Wolferen, i. J. (2019). *Mogelijkheden voor het verlagen van de vereiste temperatuur van warm tapwater - onderzoek t.b.v. motie Van der Lee (34 902)*. Den Haag: van Wolferen Research.

## 8 Appendix A: Informatie met betrekking tot TRNSYS model



### 4.10.2. Type 38: Plug Flow Vertical Cylindrical Storage Tank

This component models the behavior of a temperature stratified storage tank using variable size segments of fluid. The size of segments is governed by the simulation time step, the magnitude of collector and load flow rates, heat losses and auxiliary input. The main advantage over fixed node simulation techniques (eg. Type 4) is that temperature stratification can be modeled with small segments in the temperature gradient zone without the need to use small simulation time steps to obtain a "good" solution. This model is most appropriate for tanks that exhibit a large degree of stratification.

There are two modes of operation. In mode 1, the tank has fixed inlet positions and the flow mixes with adjacent segments if its temperature is within 1/2 degree. Otherwise a new segment is created and temperature inversions are corrected by mixing appropriate segments above or below the inlets. In mode 2, the tank has variable inlet positions and new segments are inserted at the levels which produce no temperature inversions. This allows a maximum degree of stratification and is equivalent to other liquid thermal storage tank models with a large number of nodes.

This "plug-flow" tank model is very similar to the extended SOLSYS model outlined in [1] with the following additional features:

- An optional auxiliary heater subject to temperature and/or time control,
- Conduction between segments,
- Upright or horizontal cylindrical tanks, and
- Different insulation thicknesses on the top and sides of upright tanks or eccentric location of the tank in the insulation jacket for horizontal tanks.

NOTE: Only one unit of Type 38 can be used per simulation.

## 9 Appendix B: Lijst met tappings volgens het tappatroon voor de NTA8800

Nr.	Tijd	Volume@ Tgewenst	Debiet	Tgewenst	Tnuttig	
1	7	4	3.5	40	25	Wastafel
2	7:15	Afhankelijk vd klasse			40	Douche
3	7:30	4	3.5	40	25	Wastafel
4	8	1	3.5	55	40	Spoelen
5	9	1	3.5	40	25	Handen wassen
6	9:05	1	3.5	40	25	Handen wassen
7	10	1	3.5	55	40	Spoelen
8	10:30	1	3.5	40	25	Handen wassen
9	10:35	0,5	3.5	40	25	Korte
10	10:45	1	3.5	40	25	Handen wassen
11	11	1	3.5	55	40	Spoelen
12	11:30	1	3.5	40	25	Handen wassen
13	11:32	1	3.5	40	25	Handen wassen
14	11:34	1	3.5	40	25	Handen wassen
15	13	5	3.5	55	40	Spoelen
16	13:05	5	3.5	55	40	Vaat wassen
17	13:25	2	3.5	55	40	Spoelen
18	13:27	2	3.5	55	40	Spoelen
19	13:29	2	3.5	55	40	Spoelen
20	14	1	3.5	40	25	Handen
21	14:30	1	3.5	40	25	Handen wassen
22	14:35	0.5	3.5	40	25	Korte tap
23	14:45	1	3.5	40	25	Handen wassen
24	14:48	1	3.5	40	25	Handen wassen
25	14:51	0.5	3.5	40	25	Korte tap
26	15	2	3.5	40	25	Handen wassen
27	16	1	3.5	40	25	Handen wassen
28	16:10	0.5	3.5	40	25	Korte tap

29	16:20	0.5	3.5	40	25	Korte tap
30	16:30	1	3.5	55	40	Spoelen
31	18	5	3.5	55	40	Spoelen
32	18:05	5	3.5	55	40	Vaat wassen
33	18:25	2	3.5	55	40	Spoelen
34	18:27	2	3.5	55	40	Spoelen
35	18:29	2	3.5	55	40	Spoelen
36	19:30	1	3.5	40	25	Handen wassen
37	19:35	1	3.5	40	25	Handen wassen
38	19:40	0.5	3.5	40	25	Korte tap
39	19:45	1	3.5	40	25	Handen wassen
40	19:50	1	3.5	40	25	Handen wassen
41	20	1	3.5	55	40	Spoelen
42	20:10	2	3.5	55	40	Naspoelen
43	21	1	3.5	40	25	Handen wassen
44	22	1	3.5	55	40	Spoelen
45	22:30	1	3.5	40	25	Handen wassen
46	23	2	3.5	55	40	Spoelen
47	23:15	4	3.5	40	25	Wastafel
48	23:30	Afhankelijk vd klasse		40	40	Douche
49	23:45	4	3.5	40	25	Wastafel

De douchetappingen 2 en 48 zijn afhankelijk van de klasse,  
 Klasse 2: 47L, 3.5l/min  
 Klasse 4: 100L, 7.5l/min

## 10 Ondertekening

Delft, 13 april 2022

TNO

Ir. ing. M. Steins  
Research Manager

A. van Wijhe  
Auteur