

PRODUCTFICHE: VOORRAADTOESTEL



PRODUCTBESCHRIJVING

Een voorraadtoestel kan warmte opslaan voor gebruik op een later tijdstip, en dit binnen een breed pallet aan warmtebronnen en toepassingen. Boilers worden toegepast voor sanitair warm water en zijn volledig corrosiebestendig. Buffervaten maken deel uit van een gesloten watercircuit. Dit laat toe om ze te bouwen uit goedkopere staalplaat en met een grotere inhoud, voor het toepassingsdomein SWW, HVAC en industriële processen, voor verwarming en koeling.

Door het kleine drukverlies en de stabiele watertemperatuur bieden boilers een hoog tapcomfort, ook bij gelijktijdig gebruik van meerdere tappunten. Wel moet men rekening houden met een beperking van de hoeveelheid warm water want opnieuw opwarmen van een ontladen boiler kan vrij lang duren, afhankelijk van het beschikbare vermogen. Indien nodig kunnen meerdere vaten gekoppeld worden ter verhoging van de opslagcapaciteit en/of het debiet.

Het warmteverlies via de wand kan gereduceerd worden door isolatie. Bij opstelling in het beschermd gebouvolume wordt deze warmte tijdens het stookseizoen gerecupereerd, maar tijdens een hittegolf verhoogt ze de warmtelast.

Inhoud

1	Bibliografie	3
2	Werkingsprincipe.....	4
2.1	Boilers	4
2.2	Buffervaten.....	4
3	Stratificatie	4
3.1	Voordelen van stratificatie	5
3.2	Ontstaan van stratificatie	5
4	Uitvoeringen	5
4.1	Boiler	5
4.1.1	Elektroboiler	6
4.1.2	Gasboiler.....	6
4.1.3	Boiler met interne warmtewisselaar.....	6
4.1.4	Boiler met externe warmtewisselaar	8
4.2	Buffervaten.....	9
4.2.1	Opwarming van SWW	10
4.2.2	Opladen buffer met zonnewarmte	11
5	Materialen	13
5.1	Koper	13
5.2	Roestvast staal (RVS)	13
5.3	Geëmailleerde boiler.....	13
5.3.1	Opofferingsanode	13
5.3.2	Elektronische stroomanode	13
6	Rendement.....	14
6.1	Mantelverliezen.....	14
6.2	Verliezen via bodem en deksel.....	14
6.3	Verliezen via de aansluitingen	14
7	Schakeling.....	15
7.1	Serieschakeling	15
7.1.1	Parallelschakeling.....	15
7.2	De circulatieleiding.....	16
8	Beoordeling.....	17

1 Bibliografie

Interessengemeinschaft Energie Umwelt [Tijdschrift]. - Köln : Feuerungen GmbH.

Lutz Dipl.-Ing. Hans-Peter Thermische Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung [Tijdschrift]. - Stuttgart : Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg. - Vol. Februar 2008.

Mark Bost Björn Meyer, Dr. Bernd Hirschl ÜBERARBEITUNG DER VERGABEGRUNDLAGE FÜR DAS UMWELTZEICHEN „WARMWASSERSPEICHER“ (RAL-UZ 124) [Tijdschrift]. - Berlin : IÖW - Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, März 2011.

De sanitairwarmwaterbereiding [Rapport] / aut. Boeynaems Buytaert, Cornelis, Ides, Uten,

Verhoeven, P. Becquevort / Fonds voor Vakopleiding in de Bouwnijverheid. - Brussel : Drukkerij Schaubroeck, 2000. - p. 114.

ISSO 55: Leidingwaterinstallaties voor woon- en utiliteitsgebouwen 2013

www.acvverwarming.be [Online].

www.buderus.be [Online].

www.cosmo-info.de [Online].

www.solarbayer.de [Online].

www.solarwaerme.at [Online].

www.tisun.com [Online].

www.vaillant.be [Online].

www.viessmann.be [Online].

2 Werkingsprincipe

Boilers en buffervaten zijn voorraadtoestellen, bedoeld om warmte op te slaan voor gebruik op een later tijdstip. Dat is nuttig om een tijdsverschil inzake beschikbaarheid en nood aan energie te overbruggen, bijvoorbeeld bij zonne-energie. Dankzij de voorraad is het ook mogelijk om pieken te leveren met een beperkt vermogen.

Opladen van een voorraadtoestel is mogelijk met een interne of externe warmtewisselaar. Directe warmteoverdracht met een individuele brander of een elektrisch weerstand is ook mogelijk. Diverse warmtebronnen komen daarbij in aanmerking: elektriciteit (weerstanden, warmtepompen), brandstoffen (cv-ketels, geïntegreerde branders) en thermische zonnecollectoren.

Het permanente warmteverlies via de wand wordt tijdens het stookseizoen gecipereerd bij opstelling in het beschermd gebouwvolume. Tijdens een hittegolf verhoogt ze echter de warmtelast. Een degelijke thermische isolatie is dus de boodschap.

Grotere vaten verliezen in verhouding tot hun volume minder warmte via de wanden. Dit is te verklaren door het volume dat toeneemt met de derde macht van de buitenafmetingen, en het verliesoppervlak dat slechts toeneemt met de tweede macht. Concreet heeft een kubusvormig vat met een zijde van 0,5 m een compactheid (V/A) van 0,08 (V=125 liter, A=0,086 m²), terwijl een verdubbeling van de zijde ook de compactheid verdubbelt (V=1000 liter, A=0,15 m², V/A=0,16). Anders geformuleerd: voor een 8 keer grotere inhoud is er slechts 4 keer meer verliesoppervlakte, en ook slechts 4 keer meer wandoppervlakte te isoleren.

2.1 Boilers

Boilers zijn gevuld met verwarmd leidingwater dat klaar is om te worden aftapt. Door het kleine drukverlies en de stabiele watertemperatuur bieden ze een hoog tapcomfort, ook bij gelijktijdig gebruik van meerdere tappunten. Wel moet men rekening houden met een beperking van de beschikbare hoeveelheid warm water want opnieuw opwarmen van een ontladen boiler kan vrij lang duren, afhankelijk van het beschikbare vermogen, het volume van de boiler en de manier van opladen (gemengd of gelaagd). Bij een goede dimensionering vormt dit echter geen probleem. Indien nodig kunnen meerdere boilers gekoppeld worden ter verhoging van de opslagcapaciteit

en/of het beschikbare debiet. Tapwaterzijdig en voor de warmtewisselaars is serie- of parallelschakeling mogelijk. Serieschakeling geeft grotere drukverliezen, en is eerder geschikt voor wandketels, terwijl parallelschakeling grotere tapdebieten toelaat.

Omdat het water in boilers regelmatig verbruikt wordt, is er een voortdurende aanvoer van vers zuurstofvrij water. Alle onderdelen die in contact komen met dat water, moeten daarom corrosiebestendig uitgevoerd zijn: boilerwand, warmtewisselaars en aansluitingen. Hierbij worden koper, roestvast staal of geëmailleerd staal courant gebruikt.

2.2 Buffervaten

Buffervaten zijn niet gevuld met tapwater maar met 'technisch' water, waarmee wordt bedoeld dat het uitsluitend dient om warmte op te slaan en te transporteren. Ze maken deel uit van een gesloten systeem net zoals centrale verwarming, waarbij de zuurstof in het water na korte tijd gebonden wordt ter vorming van ijzeroxide of roest. Hierdoor wordt het water chemisch inert, zodat gebruik kan gemaakt worden van goedkopere materialen zoals onbehandelde staalplaat en bij drukloze vaten ook kunststof. Daarom zijn buffervaten geschikt voor grotere volumes, voor toepassing bij gebouwverwarming, warmtapwater en industriële processen. Hierbij moet men rekening houden met de thermische expansie en een voldoende groot expansievat voorzien.

Omdat buffervaten het centrale aansluitpunt zijn voor diverse bronnen en verbruikers, zijn ze voorzien van vele aansluitpunten. Deze geven toegang tot het vat zelf (voor rechtstreekse aansluiting van een verbruiker of een bron, eventueel mits externe warmtewisselaar) of tot een ingebouwde warmtewisselaar. Toch blijft het een buffervat want de inhoud bestaat vooral uit technisch water.

Voor de duidelijkheid wordt hier de focus gelegd op verwarming. Buffering van koude is ook mogelijk en wordt vooral toegepast bij industriële installaties.

3 Stratificatie

Of het nu gaat over een boiler of een buffervat, het is altijd volledig gevuld en onder druk. Enkel de watertemperatuur varieert in de tijd en is ook niet overal gelijk. Door gepast te laden en ontladen ontstaat er een stratificatie of temperatuurgelaagdheid met vaak een vrij scherpe grens tussen het warmste water bovenaan en het koudste water onderaan.

De aanwezige stratificatie blijft lange tijd bestaan dankzij de thermische uitzetting en het dichtheidsverschil dat hierdoor ontstaat. In een streven

naar thermisch evenwicht is er uiteraard warmtetransport via geleiding, zowel via het water als de wand, maar dit gebeurt traag.

3.1 Voordelen van stratificatie

Tegenover een gemengde watermassa levert stratificatie een verbetering op het vlak opslagcapaciteit en energieprestaties.

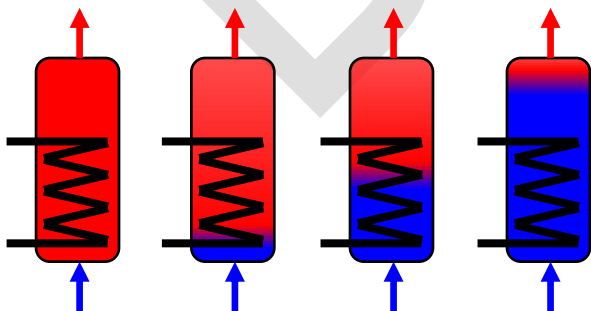
Zo is het gunstig voor het tapcomfort bij boilers, want het opgeslagen warme water is hierdoor bijna volledig beschikbaar. In dat verband definieert men het taprendement als de verhouding tussen het beschikbare warm water en de boilerinhoud. Dankzij stratificatie loopt dit op tot 90%. Dit betekent dat pas na verbruik van quasi de volledige boilerinhoud, de watertemperatuur vrij abrupt daalt en het 'warme' water als dusdanig niet meer bruikbaar is

Figuur tapgrafiek, voorbeeld nog op te meten

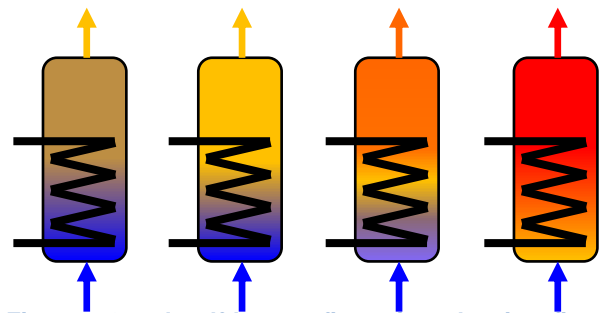
Bij warmtebronnen waar het rendement sterk temperatuurafhankelijk is zoals een warmtepomp of een zonnecollector, wordt de warmtewisselaar gepositioneerd in de onderste en koudste lagen.

3.2 Ontstaan van stratificatie

Stratificatie ontstaat voor een deel onder invloed van een interne warmtewisselaar door toepassing van het tegenstroomprincipe. De belangrijkste drijfkracht is echter het verdringingseffect, dus aan de zijde met directe aansluiting. Bij een boiler is dat de tapwaterzijde. Dat betekent dat stratificatie daar vooral ontstaat tijdens het aftappen van warm water. Hierbij duwt het onderaan instromende koude water het aanwezige water naar boven, te vergelijken met een zuiger in een cilinder. Om hierbij menging te vermijden en de aanwezige stratificatie niet te verstoren, zijn snelheidsremmende elementen voorzien zoals een verdeelplaat nabij de inlaat.



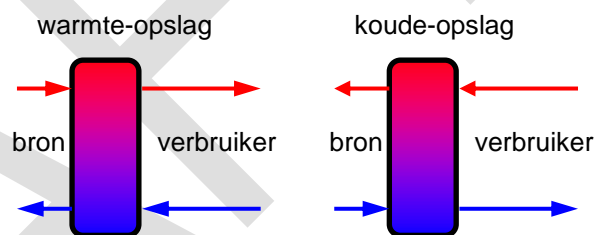
Figuur 1: temperatuurprofiel van een boiler met interne warmtewisselaar. In het voorbeeld wordt er afgetapt, de spiraal voor het opgeladen is in het voorbeeld niet actief.



Figuur 2: dezelfde configuratie als in figuur 1, temperatuurprofiel van een boiler maar nu tijdens het opladen zonder aftappen.

Om het effect van stratificatie te optimaliseren, respecteert men best volgende regels:

- Zowel aan de zijde van de bron- als die van de verbruiker wordt de warme leiding boven en de koude leiding beneden aangesloten. Voor deze regel maakt het geen verschil of het gaat over directe koppeling op het vat, dan wel over een aansluiting met een interne warmtewisselaar.



Figuur 3: aanbevolen aansluitschema's voor de opslag van warmte of koude

- Het taprendement verbetert naarmate het vat hoger en smaller is. Zo is het taprendement van eenzelfde vat > 90% bij een verticale opstelling, tegenover 50% bij een horizontale.
- Bij buffervaten worden diverse technieken gebruikt om stratificatie in de hand te werken. Deze technieken worden besproken bij "uitvoeringen".

4 Uitvoeringen

4.1 Boiler

Boilers bestaan in verticale of horizontale uitvoering, waarbij verticaal de voorkeur geniet omwille van de betere stratificatie. Ze kunnen vrijstaand zijn of in wanduitvoering. Boilers met een grotere inhoud zijn doorgaans staand. Ze kunnen ook onderverdeeld worden volgens de manier van opladen:

- elektroboiler
- gasboiler
- interne warmtewisselaar:

- monovalent of bivalent
- externe warmtewisselaar

4.1.1 Elektroboiler

Door convectiestromingen wordt de inhoud rond en boven de ingebouwde elektrische weerstand opgewarmd. Onder de weerstand is er nauwelijks opwarming. Hiervan maakt men gebruik wanneer men een gedeeltelijke opwarming wil, bijvoorbeeld als naverwarming bij zonneboilers. Men plaatst de weerstand dan op halve hoogte.

Bij huishoudelijke toestellen is het vermogen eerder klein door de beperking in aansluitstroom. Hierdoor is de opwarmtijd erg lang, wat bij normaal verbruik en een goede dimensionering van het vat geen belemmering is. Men spreekt over 'volledige accumulatie' omdat bijverwarming overdag moet vermeden worden wegens het goedkopere elektriciteitsstarief tijdens de nacht en de zeer lange opwarmtijd.

De omzetting van elektrische energie naar warmte gebeurt aan een rendement van 100%, maar het jaarrendement van deze toestellen is heel wat lager omwille van de permanente warmteverliezen via de wand. Een goede wandisolatie is dus ten zeerste aan te bevelen, zeker omdat elektriciteit een dure energievorm is. De warmteverliezen zijn ook kleiner wanneer men kiest voor een groter vat op een lagere temperatuur in de plaats van een kleiner vat (dus goedkoper) en op een hogere temperatuur (dus met dezelfde capaciteit want er kan meer koud water worden bijgemengd). Een temperatuur van 60°C is hierbij optimaal omwille van legionellapreventie en kalkafzetting.

4.1.2 Gasboiler

Gasboilers zijn individuele toestellen, bestaande uit een voorraadvat met ingebouwde brander, vuurhaard en rookgaswarmtewisselaar.

Bovenop de verliezen via de wand zijn er bij oude atmosferische branders grote convectieverliezen via het ondergedompelde rookgaskanaal. Deze permanente warmtelekken zijn afhankelijk van de watertemperatuur. Een eventuele waakvlam compenseert deze verliezen voor een stuk, maar verhoogt ze ook. Dat maakt dat voor een klein verbruik het jaarrendement bedroevend laag is.

Gasboilers met premixbranders scoren beter, en zijn vooral geschikt voor grootverbruikers.



Figuur 4: gasboiler met premixbrander

4.1.3 Boiler met interne warmtewisselaar

Als warmtewisselaar voor boilers worden meestal gladde spiraalwarmtewisselaars toegepast. Ze zijn vervaardigd uit hetzelfde materiaal als de boiler zelf: roestvast staal, koper of email.



Figuur 5: gladde spiraalwarmtewisselaar

Soms zijn spiraalwarmtewisselaars dubbelwandig uitgevoerd om te voorkomen dat vreemde stoffen (bv. glycol bij zonnecollectoren) terugstromen naar het drinkwaternet in geval van lekkage van de warmtewisselaar. De regelgeving in dit verband is te vinden op www.belgaqua.be. De ruimte tussen de twee wanden dient als lekafvoer, om lekken snel te kunnen opgesporen. Het nadeel van een dubbelwandige warmtewisselaar is de slechtere warmteoverdracht en de hogere kostprijs.

4.1.3.1 Monovalente boiler

Bij een monovalente boiler wordt het tapwater opgewarmd door een ingebouwde spiraal of een mantel rondom het vat. De uitvoering met ingebouwde spiraal is duurder maar heeft een grotere drukbestendigheid.

Dit kan een voordeel zijn bij de selectie van het expansievat, vooral bij een zonneboiler.

Meestal is de warmtewisselaar onderin gepositioneerd omdat het warm water door natuurlijke stroming zich toch naar boven verplaatst. Het technisch water dat de warmtewisselaar voedt, stroomt in een gesloten kring door de warmtewisselaar naar een warmtepomp of een ketel op olie, gas of hout. Omdat opwarming op elk ogenblik van de dag kan gebeuren, spreekt men over 'semi-accumulatie'.

Zonnecollectoren zijn ook mogelijk, maar dan gaat het over voorverwarming. De naverwarming gebeurt in een nageschakeld systeem of met een elektrische weerstand die halverwege gemonteerd is. Een bivalente boiler is ook mogelijk (zie verder).

De boiler is soms geïntegreerd in de ketel. Bij een wandketel gaat het dan over een kleinere boiler. De boiler kan ook los van de ketel op de vloer staan of aan een muur hangen.



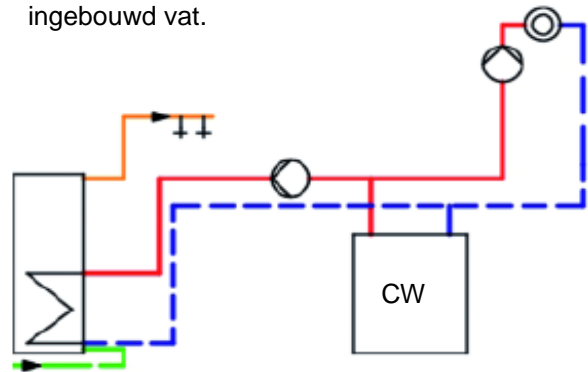
Figuur 6: Links ingebouwde boiler, rechts aparte boiler

Wanneer warm water wordt afgetapt, komt er onderaan koud water in de plaats. Naargelang de opstellingshoogte van de temperatuursensor wordt de brander vroeger of later opgestart. Dat beïnvloedt het energieverbruik en het tapcomfort.

- Bij een opstelling van de sensor onderaan in het vat wordt de brander bij de minste aftap opgestart. Dit geeft een grote beschikbaarheid van warm water ten koste van een hogere schakelfrequentie van de brander en een lager seizoensrendement.
- Bij een opstelling van de sensor bovenaan wordt de brander pas opgestart wanneer het vat bijna leeg is, of anders gezegd wanneer het koude water tot aan de bovenkant gekomen is. Dit zorgt voor een kleinere schakelfrequentie van de brander, en dus

lagere stilstandsverliezen. Anderzijds zal de gebruiker telkens lang moeten wachten tot het koude water in de boiler opnieuw opgewarmd is. Daarom geniet deze sensoropstelling niet de voorkeur.

- Bij een opstelling van de sensor op halve hoogte van het vat bekomt men een compromis tussen tapcomfort en energie-efficiëntie. Hoe hoger de sensor, hoe energie-efficiënter maar hoe minder tapcomfort. Toch wordt de sensor vaak onderaan geplaatst om op die manier kleinere boilers te kunnen toepassen, zeker bij wandketels met ingebouwd vat.



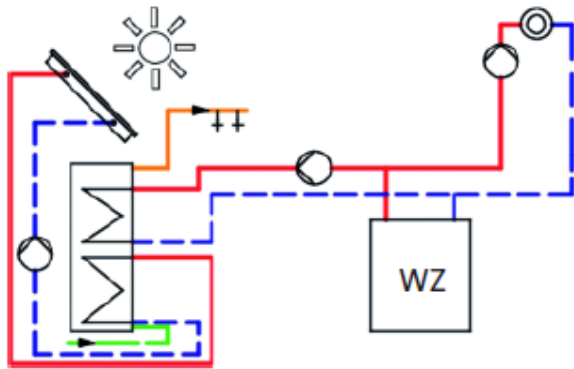
Figuur 7: Aansluitschema monovalente boiler (CW: centrale warmtebron). De keuze tussen SWW en CV gebeurt hier door 2 pompen te sturen, maar 1 pomp en 1 regelkraan is ook een mogelijkheid.

4.1.3.2 Bivalente boiler

Een bivalente boiler bevat twee geïntegreerde warmtewisselaars, elk gekoppeld met een andere warmtebron. Indien de tweede energiebron thermische zonne-energie is, worden de collectoren verbonden met de onderste warmtewisselaar omdat daar de temperatuur lager is, en dat is gunstiger voor het collectorrendement.

Op het ogenblik dat de zonnecollector niet voldoende warmte kan leveren om de gewenste watertemperatuur te bereiken, wordt de naverwarming ingeschakeld, bv. een ketel omdat het rendement daarvan minder temperatuurgevoelig is. Die is verbonden met de bovenste warmtewisselaar. De zonnecollector blijft de hele tijd beschikbaar om het koudere water onderaan in het vat voor te verwarmen.

Op het ogenblik dat de zon overvloedig veel warmte levert, meer dan er in die periode wordt verbruikt, stijgt de temperatuur in de onderste lagen tot boven de insteltemperatuur van de bijverwarming en ontstaan convectiestromingen. Hierdoor kan de zon ook de bovenste lagen zeer sterk opwarmen en voor een grote voorraad zorgen. Hierdoor kan een dag zonder zonne-energie worden overbrugd.



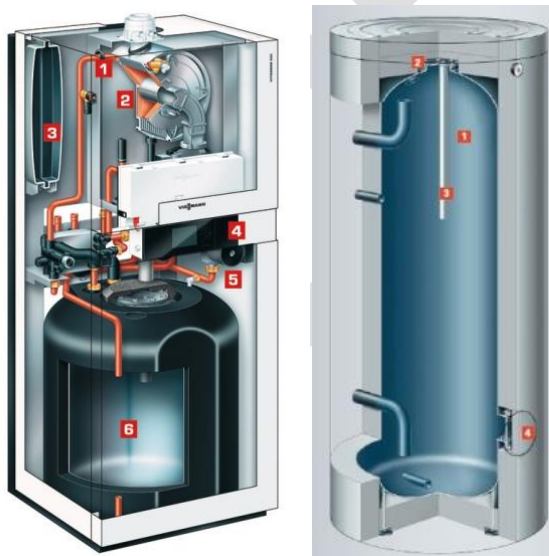
Figuur 8: Aansluitschema bivalente boiler

4.1.4 Boiler met externe warmtewisselaar

4.1.4.1 Werkingsprincipe

Water uit de onderzijde van de boiler wordt d.m.v. een externe warmtewisselaar opgewarmd en vervolgens naar de bovenzijde van dezelfde boiler gepompt (zie figuur 17). Stratificatie is hier zeer belangrijk omdat het zorgt voor een scheiding tussen het gebruiksklare warme water bovenaan en het koude water onderaan. Dit principe vereist een extra pomp.

De warmte kan afkomstig zijn van diverse bronnen, maar meestal van een combiketel. Die bevat al een platenwarmtewisselaar en wordt gecatalogeerd onder de doorstroomtoestellen. Omdat het hier gaat over de combinatie van een doorstroomtoestel en een voorraadvat (in dit geval zonder warmtewisselaar), spreekt men over een semi-doorstroom of laadboiler.



Figuur 9: Geïntegreerde en losse laadboiler

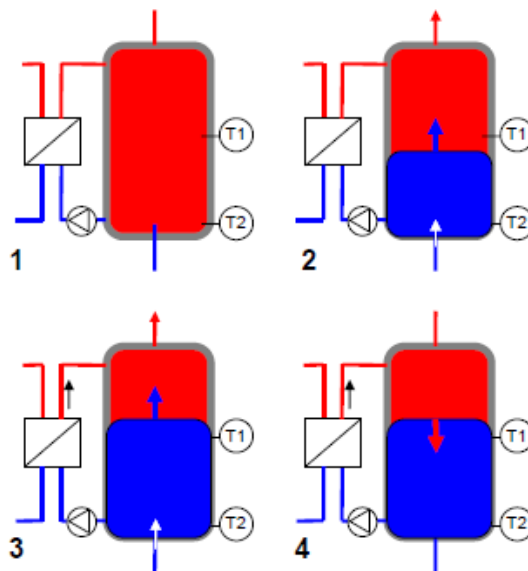
Voor alle onderdelen in contact met het zuurstofrijke tapwater worden corrosiebestendige

materialen gebruikt, dus ook voor de warmtewisselaar en de extra pomp. Tegelijk heeft dit systeem belangrijke voordelen:

- Tijdens het aftappen van een kleine hoeveelheid warm water wordt de voorraad aangesproken en moet de ketel niet opstarten, net zoals bij een interne warmtewisselaar. Dit is dus een voordeel ten opzicht van een combiketel.
- Veronderstel dat men warm water aftapt binnen het tijdslot voor het vrijgeven van de bijverwarming, zodat de bijverwarming start.
 - Wanneer het aftapdebiet kleiner is dan wat de externe warmtewisselaar levert, dan stroomt het teveel geproduceerde warm water naar het voorraadvat en wordt de voorraad aangevuld. Hierbij verschuift de grens warm/koud naar beneden. De ketel heeft hierbij een lange werkingstijd en een kleine schakelfrequentie, ook bij zeer kleine afname. Dit levert een rendementsverbetering t.o.v. een combiketel.
 - Wanneer het aftapdebiet groter is dan wat de externe warmtewisselaar kan leveren, dan wordt het tekort aangevuld met water uit de boiler en wordt de buffer aangesproken. Hierbij verschuift de grens warm/koud naar boven. De beschikbare hoeveelheid water per laadbeurt is dus gelijk aan de inhoud van de boiler, vermeerderd met de hoeveelheid water die tijdens het tappen kan worden verwarmd. De piekafname eindigt in een volledig afgekoelde boiler.

Bij een interne warmtewisselaar is dat anders: daar is de beschikbare hoeveelheid water per laadbeurt theoretisch niet veel groter dan de inhoud van de boiler, en komt de toegevoegde warmte tijdens het aftappen voor het grootste deel ten goede aan de volgende laadbeurt. De piekafname eindigt dus met een deels opgewarmde boiler. Het temperatuurverschil tussen een opgeladen en een ontladen boiler is hierdoor kleiner, de opslagcapaciteit dus ook.

Op die manier resulteert de externe bijverwarming in een groter beschikbaar watervolume voor eenzelfde boilerinhoud, of voor eenzelfde beschikbaar volume volstaat een kleinere boiler.



Figuur 10: Temperatuurregeling bij een boiler met externe warmtewisselaar:

1. De boiler is volledig opgeladen, de temperatuur in heel de boiler is 60°C.
 2. Er is afname van warm water. Zolang $T1 > 60^\circ\text{C}$ treedt de bijverwarming en de laadpomp niet in werking.
 3. Zodra $T1 < 60^\circ\text{C}$ start de bijverwarming en de laadpomp.
 4. Er is geen afname meer, de boiler wordt opgeladen. Wanneer $T2 > 60^\circ\text{C}$ stopt de bijverwarming en de laadpomp.
- Na het volledig leegtappen van een boiler is er aan de bovenzijde al zeer snel een kleine hoeveelheid heet water beschikbaar, klaar voor gebruik. Bij interne naverwarming moet men wachten tot de volledige boiler een voldoende hoge temperatuur bereikt heeft, en dit kan langer dan een kwartier duren.

4.1.4.2 Onderhoud

Een laagje kalk vermindert de warmteoverdracht drastisch, waardoor aan de primaire zijde van de warmtewisselaar een hogere temperatuur nodig is voor eenzelfde vermogen. Hierdoor stijgt het energieverbruik. Omwille van de nauwe kanalen zijn platenwarmtewisselaars gevoeliger voor kalkproblemen dan spiraalwarmtewisselaars.



Figuur 11: Gebraseerde platenwarmtewisselaar

De gebruikte platenwarmtewisselaars zijn van het gebraseerde type, dus zonder rubberen dichtingen. Hierdoor kunnen ze niet uit elkaar gehaald worden voor onderhoud. Toch is het kalkprobleem beheersbaar.

- Preventief: De waterhardheid speelt een belangrijke rol, enkel bij extreem hard water wordt een ontkalker aanbevolen. Voor een geringere kalkafzetting is ook de watertemperatuur best niet te hoog, liefst $< 60^\circ\text{C}$.
- Curatief: Om de kalkaanslag te verwijderen kunnen de warmtewisselaars gespoeld worden met een zuur. Indien nodig kunnen ze vervangen worden.

4.2 Buffervaten

Zoals hoger uitgelegd heeft een buffervat talrijke aansluitpunten die toegang geven tot het vat zelf (directe aansluiting). Daarnaast zijn er vaak één of meerdere warmtewisselaars (in of naast het vat) met twee hoofdtoepassingen:

- opwarming van sanitair warm water: daar stroomt het sanitair water doorheen de buis
- opladen van het buffervat met behulp van zonnecollectoren: daar stroomt de collectorvloeistof doorheen de buis.

Omwille van de lage watersnelheid aan de buitenzijde van de warmtewisselaar worden meestal ribben voorzien voor een groter contactoppervlak en dus een betere warmteoverdracht.

Directe aansluiting heeft de voorkeur. Dit is niet alleen goedkoper, het verhoogt ook de prestaties. Om warmte uit te wisselen is er immers geen temperatuurverschil tussen de twee media, en dat is wel nodig bij warmtewisselaars. Tegelijk kan een groot vermogen worden uitgewisseld. Warmtewisselaars worden dus alleen gebruikt wanneer het niet anders kan, zoals voor de scheiding tussen het technisch water in het vat en sanitair warm water, glycol of koelmiddel. Soms dient de warmtewisselaar als drukbarrière.



Figuur 12: Buffervat zonder interne warmtewisselaar

4.2.1 Opwarming van SWW

De benodigde energie voor het sanitair warm water wordt onttrokken aan het buffervat. Door zuurstof in het tapwater is het materiaal van de warmtewisselaar corrosiebestendig. Volgende uitvoeringsvormen zijn gangbaar:

4.2.1.1 Ingebouwde tapspiraal

Een ingebouwde tapspiraal is verdeeld over de volledige hoogte van het buffervat. Het koude tapwater wordt voorverwarmd in het onderste en koudste deel van het buffervat, gebruik makend van bijvoorbeeld zonnewarmte. Vervolgens stroomt het door de warme bovenzijde. Ook deze warmte kan afkomstig zijn van de zon, en indien nodig aangevuld worden door de bijverwarming.

Het thermisch vermogen wordt begrensd door de warmteoverdracht van de SWW-spiraal. Naast het uitwisselingsoppervlak van de warmtewisselaar spelen daarbij de watertemperaturen aan beide zijden en de turbulentie rondom de spiraal. Tijdens het gebruik van tapwater en de plaatselijke afkoeling rondom de tapspiraal ontstaan er natuurlijke stromingen in het buffervat die zorgen voor menging in het buffervat. Om deze stromingen te geleiden en de stratificatie optimaal te benutten, kan de spiraal omgeven zijn door platen.

Een interne tapspiraal heeft door de grote lengte een aanzienlijk volume, ergens tussen een voorraadsysteem (een groter volume verbetert het tapcomfort) en een doorstroomsysteem (een kleiner volume verbetert de doorspoeling i.v.m. legionella).

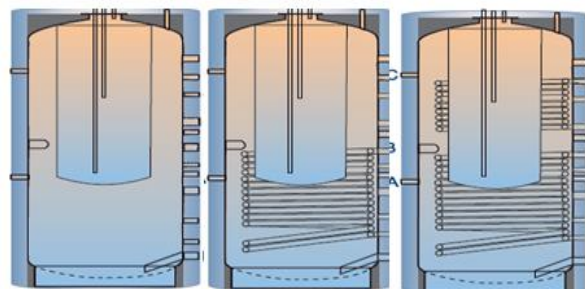


Figuur 13: Buffervat met tapspiraal

4.2.1.2 “Tank in tank” of “au bain-marie”

Het “tank-in-tank-principe” is te beschouwen als een boiler die ingebouwd is in de bovenste lagen van een buffervat. Die worden constant warm gehouden, bij voorkeur door de zon, en worden indien nodig bijverwarmd door een ketel. Het tapwater in de boiler wordt verwarmd door contact met het omliggende water in de buffertank. Hier is de uitwisselingsoppervlakte kleiner. Dit wordt gecompenseerd door de grotere uitwisselingstijd (nadruk op voorraad aan sanitair warm water).

Figuur 14 geeft verschillende uitvoeringen van tank-in-tanksystemen.



Figuur 14: Uitvoeringen van tank-in-tanksystemen

Links: het buffervat kan alleen opgewarmd worden door het rondpompen van cv-water.

Midden: aansluitmogelijkheid voor een zonnecollector.

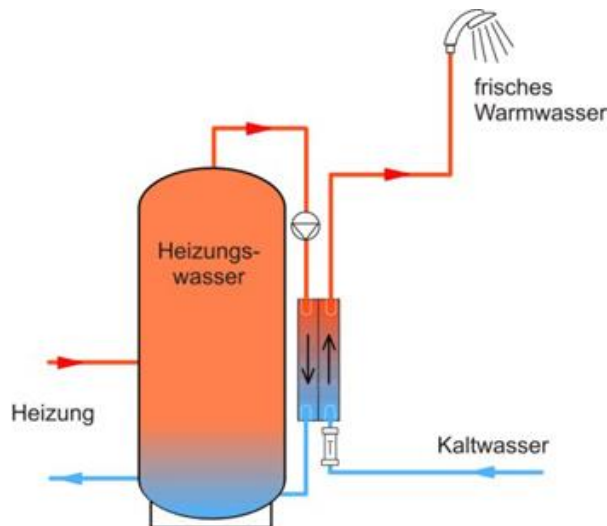
Rechts: aansluitmogelijkheid voor een zonnecollector, en bovenaan mogelijkheid tot bijverwarming

4.2.1.3 Externe platenwarmtewisselaar

Een externe platenwarmtewisselaar met bijbehorende pomp wordt soms ook drinkwaterunit genoemd. Wanneer er vraag is naar sanitair warm water, wordt de pomp gestart om net zoveel water uit de bovenzijde van

het buffervat naar de warmtewisselaar te sturen als er nodig is om het tapwater te verwarmen. Dat is belangrijk, want een te klein debiet geeft een te lage watertemperatuur, en een te groot debiet vernietigt de stratificatie.

Door de ruim geselecteerde warmtewisselaar, het tegenstroomprincipe en de lage temperatuur van leidingwater stroomt het technisch water aan lage temperatuur terug naar de bodem van de buffer.



Figuur 15: Schema met externe warmtewisselaar



Figuur 16: Buffervat met drinkwaterunit

4.2.2 Opladen buffer met zonnewarmte

- De warmtewisselaar dient hier als scheiding tussen water in het buffervat en antivriesvloeistof van de zonnecollector. Volgende uitvoeringsvormen zijn gangbaar:

4.2.2.1 Spiraalwarmtewisselaar



Figuur 17: Interne geribbelde warmtewisselaar

Een spiraalwarmtewisselaar voor zonnewarmte is ondergedompeld in de koudste waterlagen onderaan. Een thermosifonzuil is een optie om de stratificatie te versterken bij het opladen van de buffer. De spiraalwarmtewisselaar met thermosifonzuil kan ook ingebouwd zijn in een klein vat dat naast het buffervat gemonteerd is (zie figuur).

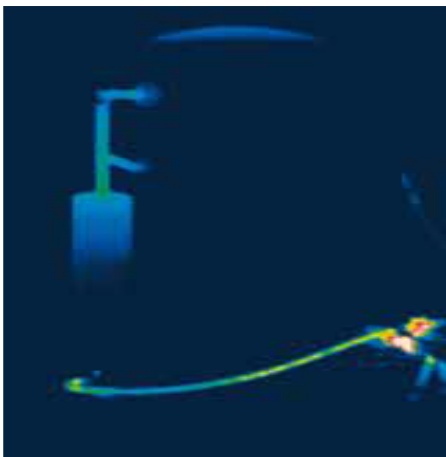
De thermosifonzuil dient om het door de zonnepiraal opgewarmde water direct naar de juiste temperatuurlaag in het buffervat te sturen en eerst te mengen met het koudere water onderaan het buffervat. Het principe berust op dichtheidsverschil en is autonoom-regelend (passieve stratificatie-bevordering genoemd).

Volgende figuren geven het verloop van de stratificatie bij een buffervat met een uitwendige warmtewisselaar en thermosifonzuil, verbonden met een zonnecollector.



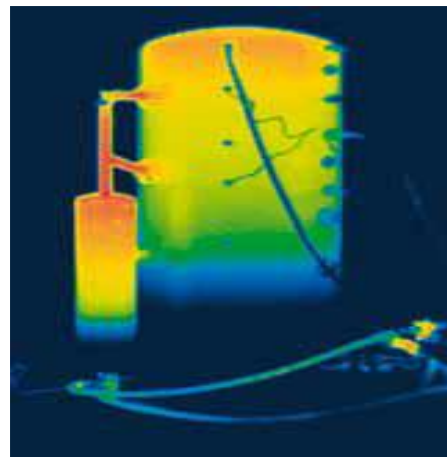
Figuur 18: Boiler met een externe thermosifonzuil

De zonne-oplading start, het water in het buffervat heeft een temperatuur van 15°C. Na 5 minuten komt het stratificatie-effect op gang. Het effect vindt eerst plaats in de thermosifonzuil.



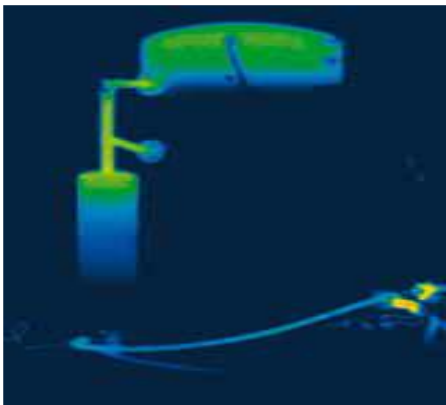
Figuur 19: Start stratificatie in de thermosifonbuis

Na 30 minuten is de bovenkant van het buffervat opgewarmd tot 30°C, de onderzijde blijft koud.



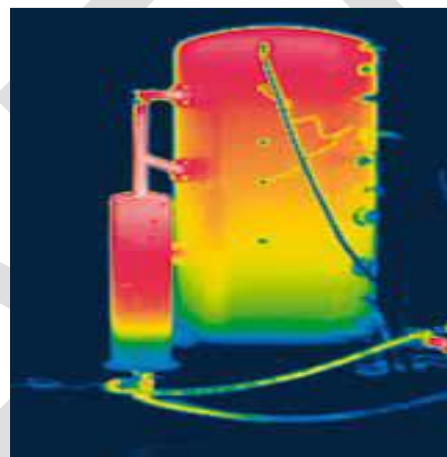
Figuur 22: Opwarming op drie niveaus

Na 175 minuten is het buffervat voldoende opgeladen en kan er afgetapt worden.



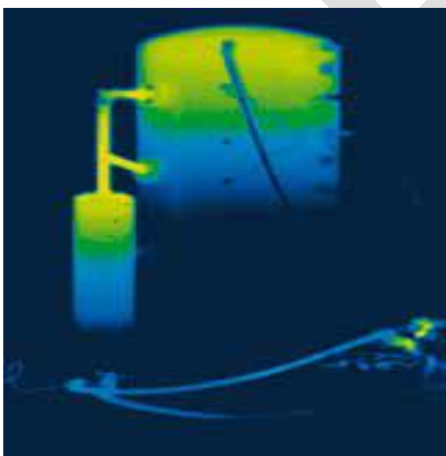
Figuur 20: Boiler op 30°C

Na 75 minuten begint er opwarming op twee niveaus terwijl de onderzijde koud blijft.



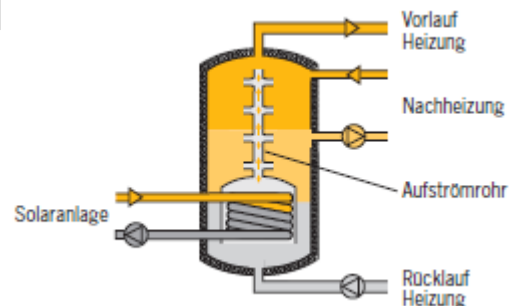
Figuur 23: Buffervat half opgeladen

De thermosifonzuil kan ook ingebouwd zijn.



Figuur 21: Opwarming op twee niveaus

Na 125 minuten is de opwarming gevorderd tot 40°C bovenaan, 30°C op het tweede niveau. Onderaan blijft de temperatuur 15°C.

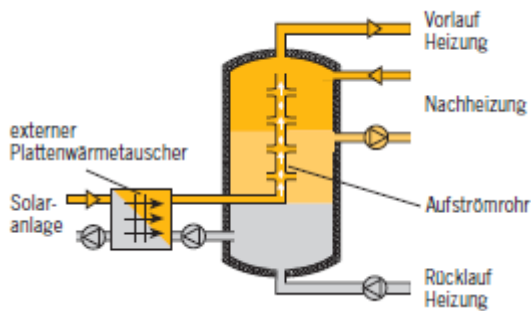


Figuur 24: Ingebouwde thermosifonzuil

4.2.2.2 Externe platenwarmtewisselaar

Warm water uit de warmtewisselaar wordt naar het buffervat gepompt, ongeveer op halve hoogte i.v.m. stratificatie. Een thermosifonzuil is mogelijk om de injectiehoogte fijner te sturen. Na afkoeling wordt het water uit de onderzijde van het buffervat terug naar de warmtewisselaar gepompt. Het debiet moet worden afgestemd op het temperatuurverschil tussen in- en

uitstroomzijde, net zoals het debiet aan de secundaire zijde die verbonden is met de zonnecollector.

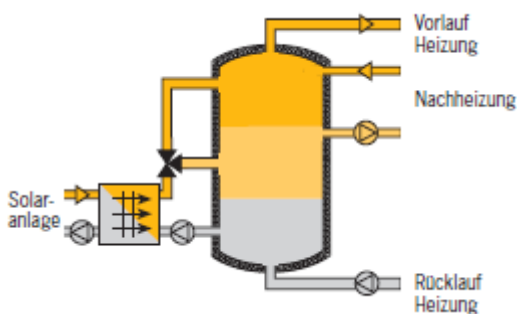


Figuur 25: Ingebouwde thermosifonzuil met een externe platenwarmtewisselaar

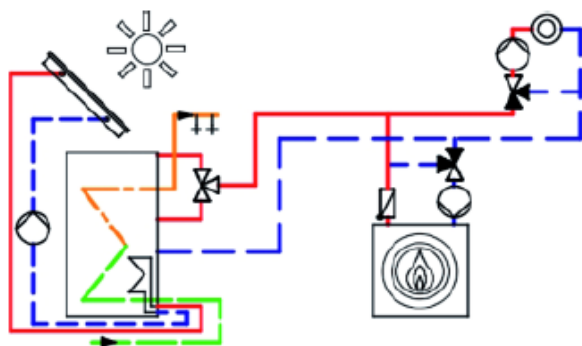
Een platenwarmtewisselaar kan veel grotere vermogens aan, en is geschikt voor grote collectorvelden.

4.2.2.3 Actieve stratificatie

Actieve stratificatie maakt gebruik van kleppen, sensoren en regelaars.



Figuur 26: Actieve stratificatie



Figuur 27: Schema met interne warmtewisselaars

5 Materialen

5.1 Koper

Boilers en warmtewisselaars die vervaardigd zijn uit koper worden niet aanbevolen voor gebieden met een hoge concentratie aan chloride en calcium.

Koper is een zeer goede warmtegeleider en als materiaal voor boilers minder geschikt omdat het de afbraak van de stratificatie versnelt.

5.2 Roestvast staal (RVS)

RVS boilers zijn vrijwel onderhoudsvrij en hebben een lange levensduur. RVS heeft ook een lagere warmtegeleidingscoëfficiënt wat beter is voor de temperatuurgelaagdheid.

Bij hoge chlorideconcentratie in het leidingwater gebruikt men best RVS-316 ipv RVS-314.

5.3 Geëmailleerde boiler

Geëmailleerde stalen boilers hebben een hoge weerstand tegen corrosie en worden veiligheidshalve voorzien van een opofferingsanode of een elektrische stroomanode als extra bescherming in geval van beschadiging bij montage of transport. De aansluiting van de leidingen op het geëmailleerde deel gebeurt door middel van nylon diëlektrische koppelingen. Die zijn niet in staat de email laag op de binnenkant van de draadaansluiting te doen barsten bij montage.

5.3.1 Opofferingsanode

Een opofferingsanode is gemaakt uit een minder edel metaal (meestal magnesium) en zal zich opofferen ter bescherming van de binnenwand van de boiler. De opgeloste anode is niet gevaarlijk voor de gezondheid.

Opofferingsanodes moeten periodiek vervangen worden. Voor visuele inspectie (jaarlijks aanbevolen, maar in de praktijk zelden toegepast) moet men het vat half leeg laten lopen. Tegenwoordig zijn opofferingsanodes vaak uitgerust met een signaallampje dat aangeeft wanneer vervanging nodig is. Dat is belangrijk want bij een opgebruikte opofferingsanode kan de boiler beschadigd worden.



Figuur 28: Voorbeeld van een gebruikte beschermingsanode

5.3.2 Elektronische stroomanode

Door gebruik te maken van een corrosiebestendige elektrode en een stroombron (elektrische voeding is vereist) is het periodiek vervangen van de elektrode niet meer nodig.

Het elektriciteitsverbruik van een elektronische stroomanode is verwaarloosbaar. De investering is wel iets hoger.

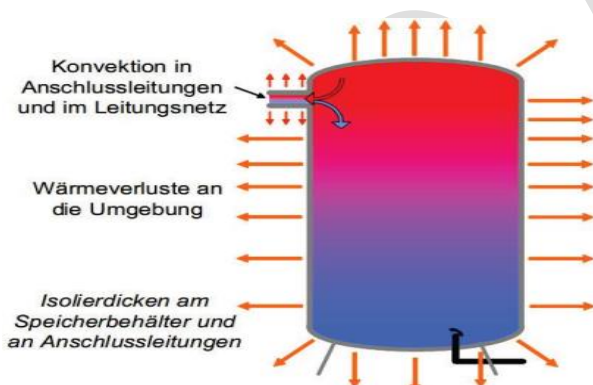
6 Rendement

Voor gastoestellen wordt verwezen naar de fiche over doorstroomtoestellen.

Boilers en buffervaten bevinden zich permanent op een hogere temperatuur dan de omgeving. Hierdoor is het energieverlies op jaarbasis significant, afhankelijk natuurlijk van de isolatiekwaliteit. Isoleren is de boodschap, maar ook overdimensionering moet vermeden worden, niet alleen omwille van de energieverliezen maar ook omwille van de investering.

Om het energieverlies van voorraadvaten te meten is er een test voorzien in de norm EN 15332:2006. Hierin wordt het voorraadvat met een elektrische weerstand gedurende 24h op 65°C gehouden. Dit energieverbruik is maat voor energieverlies.

De warmteverliezen kunnen onderverdeeld worden in mantelverliezen, verliezen via bodem en deksel en de warmteverliezen ter hoogte van de aansluitingen.



Figuur 29: Boiler met warmteverliezen

6.1 Mantelverliezen

Onder impuls van ecodesign¹ is er een tendens naar efficiëntere isolatie van voorraadvaten. De isolatiekwaliteit wordt bepaald door de

¹ Zie algemeen fiche voor meer info over ecodesign.

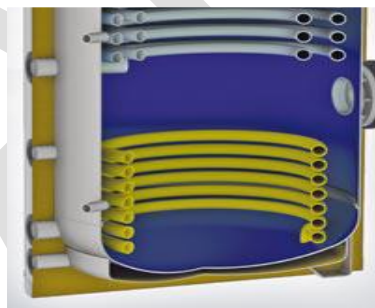
isolatiedikte en de warmtegeleidingscoëfficiënt van het gebruikte isolatiemateriaal.

Vaak worden voorraadvaten geïsoleerd door de ruimte tussen het vat en de bekleding op te schuimen. Deze methode is degelijk en betaalbaar, maar bemoeilijkt het scheiden van beide materialen tijdens het recycleren. Een andere manier is de tank te bekleden met een al dan niet flexibele isolatiemantel. De meest toegepaste isolatiematerialen zijn:

- schuim van polyurethaan, polyethyleen of polystyreen
- polyestervlies of minerale wol (toegepast bij grote voorraadboilers en buffervaten > 500 l).

6.2 Verliezen via bodem en deksel

Omdat men ervan uitgaat dat de vatbodem veel kouder is dankzij stratificatie, wordt deze soms niet geïsoleerd. Het energieverlies via de bodem kan daardoor relatief hoog worden. Een dubbele bodem is een optie, maar niet aan te bevelen, zeker niet bij boilers omdat de sterke afkoeling in die zone leidt tot een lagere watertemperatuur die bevorderlijk is voor legionella.



Figuur 30: Voorbeeld dubbele bodem

6.3 Verliezen via de aansluitingen

De warmteverliezen in de aansluitleidingen kunnen verminderd worden door de volgende maatregelen:

- beperken van het aantal aansluitingen
- isoleren van de aansluitingen
- gebruik aansluitingen met een lage thermische geleiding (kunststof of flexibele RVS in plaats van koper of staal).

Bij buffervaten werkt een warmteslot tegen thermosifon efficiënt. Door de aansluiting op het vat over een korte lengte lichtjes naar beneden te laten hellen, wordt voorkomen dat warm water migreert naar hoger gelegen onderdelen.

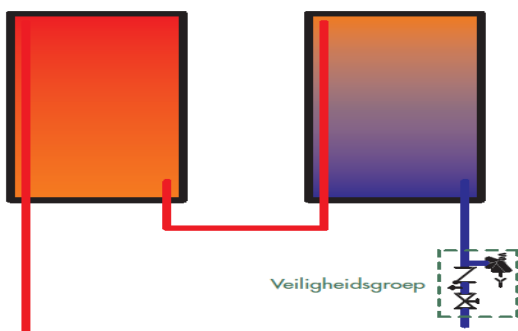
7 Schakeling

Bij grootverbruikers kunnen meerdere boilers worden gekoppeld wanneer één enkel en groter vat niet beschikbaar is of niet kan worden binnengebracht. Nadeel van meerdere boilers is het grotere verliesoppervlak en dus grotere warmteverliezen in vergelijking met één groot vat. Zowel serie- als parallelschakeling is mogelijk, de keuze hangt af van het doel.

7.1 Serieschakeling

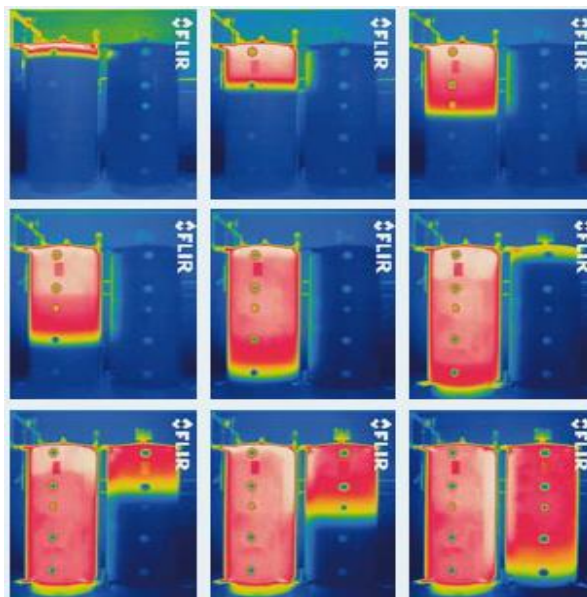
De tapwateruitgang van een toestel wordt verbonden met de ingang van een volgend toestel. Het taprendement is goed, het aftapdebiet is echter beperkt door het toestel met de kleinste aansluitdiameter.

Serieschakeling wordt in hoofdzaak gebruik in huishoudelijke omgeving, bv. als men een toestel moet bijplaatsen omdat de bestaande voorraad niet langer voldoet.



Figuur 31: serieschakeling

In Figuur 32 is het verloop te zien van de opwarming bij twee serie geschakelde boilers met een externe warmtewisselaar. Eerst wordt de eerste boiler opgewarmd en vervolgens de tweede boiler.



Figuur 32: Verloop opwarming van twee boilers in serie

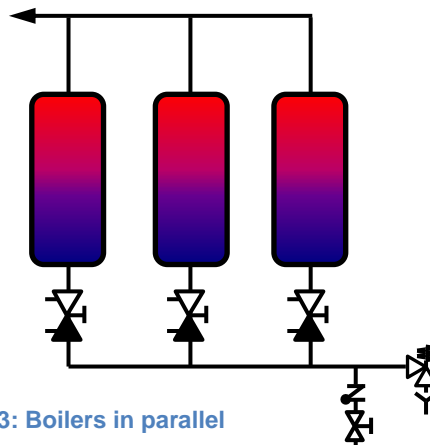
7.1.1 Parallelschakeling

Boilers worden in parallel geschakeld om een groter waterdebiet te bekomen. Alle ingangen worden verbonden met elkaar, met de koudwateraanvoer en met een gemeenschappelijke veiligheidsgroep. Ook alle uitgangen worden verbonden met elkaar en met de warmwaterleiding.

Een parallelschakeling wordt vooral gebruikt wanneer grote piekdebieten verwacht worden, waarbij het vermogen en of het totale aftapdebiet bepalend is en niet zozeer de basisinhoud. De inhoud van de toestellen moet identiek zijn.

Bij een verschillend debiet of bij een verschillend volume per boiler kan het gebeuren dat koud water uit de zwaarst belaste boiler wordt gemengd met warm water uit een minder belaste boiler, met een daling van de watertemperatuur tot gevolg.

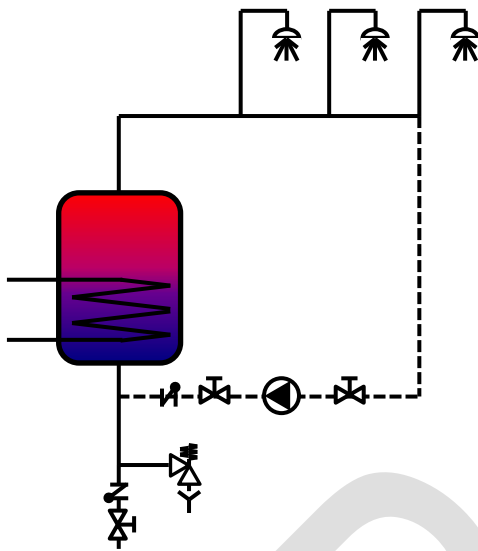
Een goede hydraulische balans en hydronische inregeling is dus van groot belang. Het "Tichelmann-principe" is hierbij aan te bevelen, maar zal nog altijd de middelste boiler benadelen.



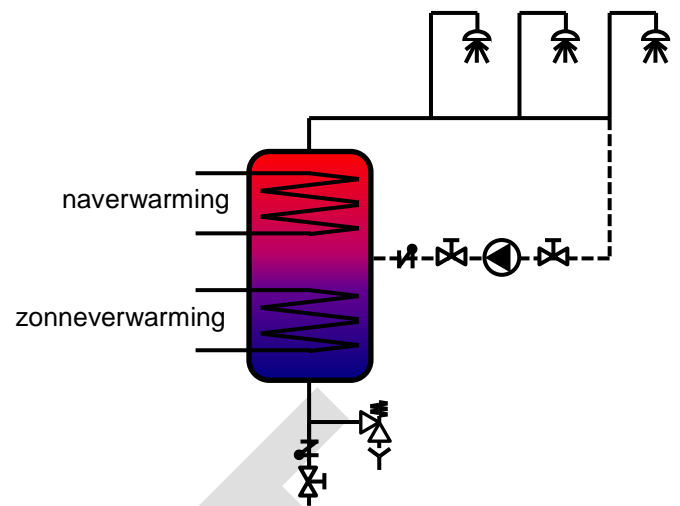
Figuur 33: Boilers in parallel

7.2 De circulatieleiding

Om bij lange afstanden de leidingwachtijd tussen de boiler en een tappunt te beperken, en ook om te grote afkoeling met risico op legionella te vermijden, wordt er gebruik gemaakt van een circulatieleiding met pomp. Het terugstromende water wordt vanuit de tappunten terug naar de onderzijde van de boiler gestuurd. Bij een duoboiler is het aansluitpunt boven de zone van de zonnepiraal, want anders wordt de onderzijde al met de naverwarming opgewarmd, en werken de zonnecollectoren ondermaats.



Figuur 34: Boiler met circulatieleiding



Figuur 35: Boiler met circulatieleiding

Het debiet moet zodanig afgesteld en geregeld zijn dat na afkoeling de watertemperatuur boven 55°C blijft.

8 Beoordeling

	Voordelen	Nadelen
Algemeen	<ul style="list-style-type: none"> Grote piekdebieten mogelijk Toepassingsmogelijkheden voor zonne-energie Geen toestelwachtijd 	<ul style="list-style-type: none"> Stilstandsverliezen afhankelijk van isolatiekwaliteit Vraagt veel ruimte in het gebouw
Elektroboiler	<ul style="list-style-type: none"> Klein productievermogen volstaat Opladen aan nachttarief 	<ul style="list-style-type: none"> Vraagt veel ruimte in gebouw Bij klein beschikbaar vermogen: lange opwarmperiode, mogelijkheden van bijverwarmen buiten de voorziene opwarmperiode beperkt.
Gasboiler	<ul style="list-style-type: none"> Stabiele temperatuur Geen problemen met kalkafzetting 	<ul style="list-style-type: none"> Aparte gasaansluiting voor SWW en CV Rookgasafvoer nodig voor SWW en CV
Boiler met een interne warmtewisselaar	<ul style="list-style-type: none"> Geen problemen met kalkafzetting 	<ul style="list-style-type: none"> Slecht rendement bij condensatieketel Minder goede stratificatie
Boiler met een externe warmtewisselaar	<ul style="list-style-type: none"> Wanneer boiler opgebruikt is, kan er in doorstroommodus verder getapt worden. Externe warmtewisselaar gemakkelijk te vervangen, betere warmteoverdracht en lagere retourtemperatuur door tegenstroomprincipe Goede stratificatie 	<ul style="list-style-type: none"> Gevoeliger voor kalkafzetting Hogere investering (externe wisselaar, laadpomp) Complexe regeling, meer vakkennis nodig
Buffervat met een interne en externe warmtewisselaar	<ul style="list-style-type: none"> Hygiënisch, geen Legionellaprobleem Veel aansluitmogelijkheden door diverse warmtebronnen en verbruikers tegelijk 	<ul style="list-style-type: none"> Vraagt veel ruimte in gebouw en hoge investering.
Buffervat met Tank-in-Tanksysteem	<ul style="list-style-type: none"> Compacte ontwerp Geen complexe regeling Beperkte investering 	