

3.10.2022

Warmwasser mit Wärmepumpen – gute Planung für hygienisch gute Anlagen



Autoren

Manuel Prinzing, OST – Ostschweizer Fachhochschule

Michel Haller, OST – Ostschweizer Fachhochschule

Stefan Bertsch, OST – Ostschweizer Fachhochschule

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.

Für den Inhalt sind die Autoren verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1.	Definitionen, Anwendungsbereiche.....	6
1.1	Geltungsbereich.....	6
1.2	Begriffsdefinitionen	6
2.	Auslegungshilfen.....	7
3.	Systemvarianten und deren Bewertung.....	8
3.1	Registerspeicher / Speicherwassererwärmung	8
3.2	Ladesystem (Magro).....	9
3.3	Frischwasserstation mit Pufferspeicher	12
3.4	Hygienespeicher	13
3.5	Kombispeicher – Tank-in-Tank.....	14
3.6	Wassererwärmer-Wärmepumpe / WPZ: Brauchwarmwasser-WP (WP-Boiler).....	16
3.7	Übersicht der Systeme.....	16
4.	Warmhaltung.....	16
4.1	Warmwasser-Zirkulation	17
4.2	Begleit-Heizband.....	18
4.3	Voraussetzungen für effizienten Betrieb.....	18
5.	Stagnation.....	18
5.1	Differenzierte Betrachtung von Stagnation.....	19
5.2	Übergang von warm zu kalt.....	19
6.	Aufstellung	20
7.	Ladestrategien mit Wärmepumpen.....	21
7.1	Ladeanforderung.....	21
7.1.1	Hysterese	21
7.1.2	Ladezeitfenster und Tageszeit.....	21
7.1.3	Absenzen, leerstehende Wohnungen und Ferienwohnungen.....	22
7.2	Drehzahlregulierte Inverter-Wärmepumpen / Einfluss Ladeleistung	22
7.3	Nachwärmung mittels Heizstab	23

7.4	PV-Eigenstrom.....	24
7.5	Regelung / Überwachung	24
8.	Die Rolle der Speicherschichtung	25
9.	Wärmeverluste in Speicher und Zirkulationsleitung.....	27
10.	Weitere Punkte	28
11.	Schlussfolgerungen und Fazit	29

Abkürzungsverzeichnis

A	Fläche [m ²]
BFE	Bundesamt für Energie
COP	Coefficient of Performance (Leistungszahl)
EFH	Einfamilienhaus
EnFK	Energiefachstellenkonferenz
EW	Elektrizitätswerk
FriWa	Frischwasser, Trinkwasser
FWS	Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz
KW	Kaltwasser
MFH	Mehrfamilienhaus
PV	Photovoltaik
SP	Speicher
SPF	Institut für Solartechnik (Fachhochschule OST)
SVGW	Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches
T	Temperatur (fühler)
T _{ein}	Eintrittstemperatur [C]
T _{aus}	Austrittstemperatur [C]
WNG	Wärmenutzungsgrad
WP	Wärmepumpe
WPZ	Wärmepumpen Prüfzentrum
WW	Warmwasser

1. Definitionen, Anwendungsbereiche

Der folgende Bericht soll den Stand der Technik im Bereich Warmwassererwärmung mit Wärmepumpen darstellen. Als Grundlagendokument soll er technische Inputs geben für weiterführende Merkblätter zu diesem Thema. Rechtliche Themen, die vor allem bei der Vermietung nicht trivial sind, werden in einem separaten Rechtsgutachten erarbeitet und sind nicht Teil dieses Berichts. Zum Betrieb der Wärmepumpen Warmwasseranlagen sei hier auf das Dokument «Energiehandbuch für Hauswartinnen und Hauswarte» von EnFK und energieschweiz verwiesen.

1.1 Geltungsbereich

Die Analysen und Empfehlungen sind für Einfamilien- und kleinere Mehrfamilienhäuser bestimmt. Ebenfalls wird eine einfache Warmhaltung mittels Zirkulation oder Begleitheizband betrachtet. Nicht einbezogen sind Spezialnutzungen und Gebäude mit öffentlichen Bädern und Duschen. Grosssysteme mit Mehrleitertechnologie sind ebenfalls nicht Bestandteil dieser Untersuchung.

1.2 Begriffsdefinitionen

Für die Definition von Begriffen im Zusammenhang mit Trinkwarmwassersystemen im Gebäude, insbesondere die Speicherzonen und Speicherauslegung, sei an dieser Stelle verwiesen auf den parallel zu diesem Bericht ausgearbeiteten Bericht «Dimensionierung Warmwasserspeicher» (BFE Auftrag BFE SH8100415-01-01-19).

Einige wichtige Begriffe sind hier trotzdem wiedergegeben, um die Lesbarkeit des Berichts zu verbessern.

- Das **Spitzendeckungsvolumen** dient der kurzfristigen Deckung einer Bezugsspitze, und muss immer vorgehalten werden. Dies bedingt, dass festgestellt werden kann, wann die Temperatur am unteren Ende des Spitzendeckungsvolumens nicht mehr ausreichend ist, und eine Nachladung gestartet werden soll. Deshalb reicht das Spitzendeckungsvolumen von oben bis zum Temperaturfühler der die Nachladung auslöst. Üblicherweise orientiert sich die Auslegung des Spitzendeckungsvolumens an der grössten zu erwartenden Stundenspitze des Bezugs.
- Das **Steuervolumen** ist jenes Volumen, welches zusätzlich zum Spitzendeckungsvolumen bei der Nachladung aufgeheizt wird.
- Das **Bereitschaftsvolumen** ist die Summe aus Spitzendeckungsvolumen und Steuervolumen. Es reicht nur so weit in den unteren Teil des Speichers, wie dieser nach einer Aufladung auch auf Soll-Temperatur gebracht worden ist.
- Das **Speichervolumen** entspricht dem Bereitschaftsvolumen, sofern der Speicher nach Aufladung bis zuunterst die Soll-Temperatur erreicht (z. Bsp. durch Aufladung über externe Wärmeübertrager). Ist dies nicht der Fall, so muss für das Speichervolumen ein Zuschlag zum Bereitschaftsvolumen gemacht werden für jenen Teil des Speichers, welcher nach Aufladung nicht die Soll-Temperatur erreicht (Misch- und Kaltzone).

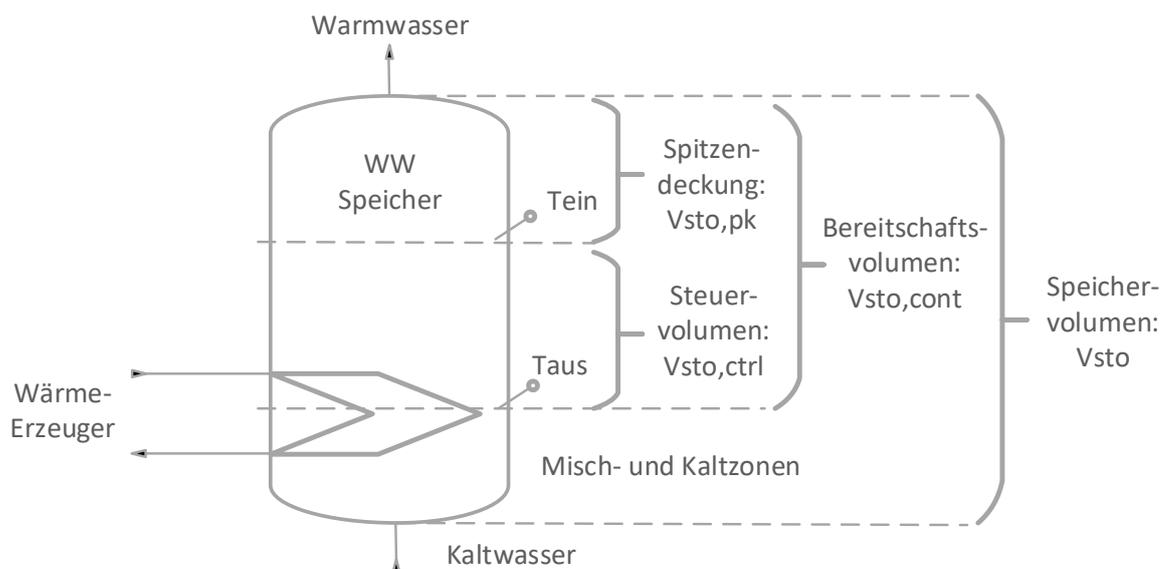


Abbildung 1: Bildliche Darstellung von Spitzendeckungsvolumen, Steuervolumen, Bereitschaftsvolumen, Speichervolumen sowie Misch- und Kaltzonen des Warmwasserspeichers, in Anlehnung an SIA 385/2.

2. Auslegungshilfen

Für die Auslegung von Trinkwarmwassersystemen in Gebäuden bestehen die folgenden Normen oder Richtlinien:

- SIA 385/1
- SIA 385/2
- SVGW W3/E3
- EN-806-2

Das Verfahren der Auslegung des Wärmespeichers gemäss SIA 385/2 ist im separaten Bericht «Dimensionierung Warmwasserspeicher» beschrieben. Auf andere Auslegungsverfahren wird an dieser Stelle nicht eingegangen. Im Hinblick auf eine energetische Optimierung werden im Text vor allem die SIA-Soll-Temperaturen erwähnt. Die SIA-Solltemperaturen können aber nur angewendet, wenn auch die Anforderungen gemäss SIA 385-1 erfüllt werden. Die wichtigsten Anforderungen hierfür sind in den Schlussfolgerungen genannt (Kapitel 11). Diese Anforderungen sind die Voraussetzung, damit die tieferen SIA-Temperaturen angewendet werden können.

Auf den rechtlichen Stellenwert der erwähnten Normen und Richtlinien wird in diesem Bericht nicht eingegangen. Weitere Informationen dazu können im BFE Gutachten nachgelesen werden.

3. Systemvarianten und deren Bewertung

Ein sachgerecht geplantes und ausgeführtes Warmwassersystem funktioniert energieeffizient und hygienisch einwandfrei. Speichersysteme ermöglichen den Ausgleich zwischen Entnahmespitzen und geringerer Leistung des Wärmeerzeugers und überbrücken auch Unterbrüche (EW-Sperre, Abtauungen, Heiz- oder Aufladebetrieb). Allgemein ist die Effizienz von Wärmepumpen im Vergleich zu elektrisch beheizten Boilern um ungefähr Faktor 3 höher.

3.1 Registerspeicher / Speicherwassererwärmung

Der Registerspeicher besteht aus einem korrosionsbeständigen Speicher für Trinkwarmwasser, aus welchem das Trinkwarmwasser direkt bezogen werden kann, und der über ein oder mehrere interne Rohrregister beladen werden kann.

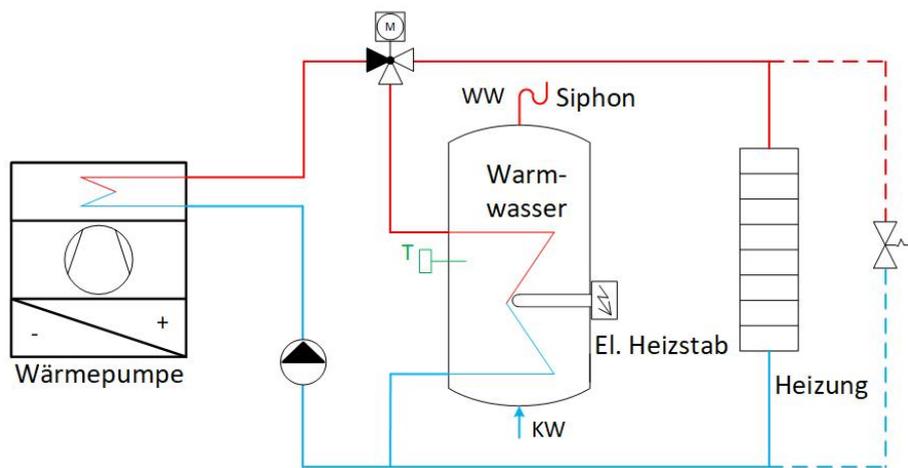


Abbildung 2: Registerspeicher

Merkmale:

- Schlechte Schichtungseffizienz, dadurch eher geringe System-Effizienz
- Vor allem im EFH auf Grund der geringen Kosten eingesetzt
- Begrenzte Speicherkapazität – nicht in grösseren Überbauungen eingesetzt
- Wärmeüberlagerfläche $A = 0.4 \text{ m}^2$ pro kW Heizleistung der WP
- Hysterese nicht zu klein einstellen
- Ein-/Ausschalten der Ladung wird oft nur über einen einzigen Fühler im Speicher geregelt

Auf Grund der Eigenschaften dieser Art der Beladung ergeben sich in der Regel folgende Konsequenzen:

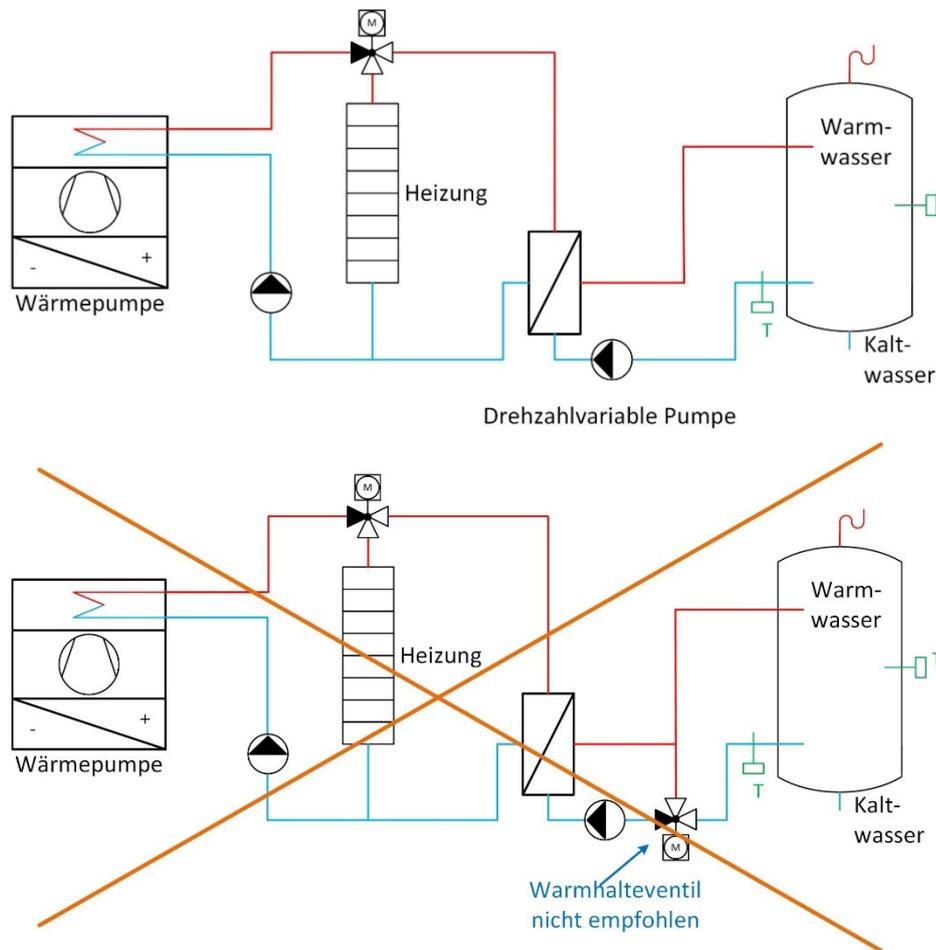
- Im EFH ist dieser Speichertyp am verbreitetsten. Er ist sowohl hydraulisch als auch regelungstechnisch am einfachsten zu installieren und daher auch die günstigste Installationsvariante.
- Eine gut schichtende Beladung ist nicht möglich, da sich die Rohrregister für die vollständige Beladung bis tief in den unteren Speicherbereich erstrecken müssen, und praktisch immer Wärme über die ganze Höhe des Registers abgegeben wird. Dies führt zu einer ausgeprägt nicht-schichtenden Beladung und entsprechend exergetisch ineffizienten Systemen.
- Beim Vorgang der Erwärmung mit einem innenliegenden Register wird der gesamte Speicherinhalt durchmischt, was sowohl aus energetischen als auch hygienischen Gründen ungünstig ist. Bei kleinen Anlagen im Einfamilienhaus und allenfalls Doppelfamilienhaus ist dies typischerweise kein Hygiene-Problem, da die Aufheizphase selten mit einem Duschvorgang zusammenfällt. Um die energetischen Nachteile zu reduzieren, sollten die Ladefenster pro Tag minimiert werden, unabhängig von der Art der Wassererwärmung respektive dem eingesetzten Energieträger.
- Beginnt das Register zu weit oben im Speicher, so wird als Erstes bei der Beladung die Temperatur im oberen Bereich des Speichers reduziert, bevor sie mit dem gesamten Volumen des Speichers wieder hochgeheizt wird. Obwohl dies deutliche Effizienz- und Hygienenachteile mit sich bringt, findet man Produkte auf dem Markt mit diesem Manko.
- Aufgrund dieser Defizite soll dieser Speichertyp für Objekte mit immungeschwächten Personen vermieden werden [Suissetec Merkblatt 10/2021].
- Endet das Rohrregister oberhalb des Klöpperbodens, so ist eine vollständige Beladung des Speichers bis in den Speicherboden nicht möglich, und das Wasser im Speicherboden ist auch nach erfolgter Beladung nur lauwarm oder gar kalt. Dem wird in der Praxis entgegengewirkt, indem die

untersten Rohrwandel in den Speicherboden abgesenkt werden, was eine bessere Ausnützung des Speicherbodens ermöglicht. Dennoch bleibt auch bei diesen Systemen die Temperatur im Speicherboden nach der Beladung weit unterhalb der Temperatur im oberen Speicherbereich.

- Der Zirkulations-Rücklauf wird in der Regel unterhalb des Spitzendeckungsvolumens, oft auf ca. 50 – 70% der Speicherhöhe, in den Speicher zurückgeführt. In der Praxis führt die Zirkulation meist durch zu kleine Anschlüsse und hohe Einströmgeschwindigkeiten zu einer Durchmischung des Speichers und entsprechend häufigen Einschaltzyklen
- Die benötigte Wärmeübertragerfläche des Rohrregisters wird gemäss FWS Systemmodul optimal auf $A = 0.4 \text{ m}^2 / \text{kW}$ ausgelegt, bei der Wärmeleistung der Wärmepumpe im Betriebspunkt A2/W55. Sollte eine leistungsvariable Wärmepumpe im Sommer die Wärmeleistung im Aufladebetrieb reduzieren, so ist die maximale Wärmeleistung während der Aufladung zu berücksichtigen. Die entsprechende Betriebsart muss seitens Wärmepumpe unterstützt werden.
- Hieraus ergeben sich für einen grossen Warmwasserbedarf konstruktive und fertigungstechnische Grenzen. Für höhere Leistungsbereiche werden deshalb andere Ladesysteme (siehe 3.2) verwendet.
- Die Temperatursensorplatzierung (Höhe) sowie die Wahl einer Ein- oder Zweifühler-Laderegelung sind von grosser Bedeutung für einen effizienten Betrieb.
 - o Auf Grund der «nicht-schichtenden Beladung» sind Ein-Fühler Regelungen hier prinzipiell möglich. Diese arbeiten mit einer Hysterese, um die Einschalthäufigkeit zu reduzieren und das Steuervolumen durchzuladen. Oft sind herstellerseitig aus «Sicherheits- und Komfortgründen» kleine Hysteresen von 1-2 K eingestellt. Diese führen zu sehr häufigen Ein- und Ausschaltungen der Wärmepumpe und stark reduzierter Effizienz.
 - o Bei Zwei-Fühler Systemen kann über die Temperatursignale ein klarer Ein- und Ausschaltzeitpunkt auf Grund von Messwerten auf verschiedenen Speicherhöhen oder einem zusätzlichen (Ausschalt-)Fühler im Rücklauf der WP definiert werden. Das Takten (häufiges Ein- Ausschalten der Wärmepumpe) kann somit meist gut unterdrückt werden.
 - o Details siehe Thema Regelung im Kapitel 7.
- Der Volumenstrom der Ladepumpe ist bestimmend für die Rücklauftemperatur zum Wärmeerzeuger. Ein zu hoch eingestellter Volumenstrom bedingt höhere Rücklauftemperaturen bereits zu Beginn der Ladung und somit eine geringere Effizienz für Wärmepumpen.

3.2 Ladesystem (Magro)

Die Magroladung verwendet ebenfalls einen Trinkwarmwasserspeicher ab welchem Trinkwasser direkt bezogen werden kann. Im Gegensatz zum Registerspeicher erfolgt die Beladung jedoch über einen externen Wärmeübertrager.



Merkmale:

- Stufen- und Schichtladung möglich
- Für MFH und grössere Warmwassermengen geeignet
- Anschlussquerschnitte und Einstromgeschwindigkeiten beachten
- Saubere Regelung der Pumpe empfohlen zur optimalen Einschichtung des WW
- Regelung über nur einen Fühler funktioniert nicht

Abbildung 3: Beladung mit externem Wärmetauscher (oben, gute Einbindung, unten mit Beimischung nicht empfohlen)

Bei diesem System muss die Beladung zwingend über zwei verschiedene Fühler ein- und ausgeschaltet werden, da auf Grund der hier erreichbaren guten Speicherschichtung ein einzelner Fühler zu hohen Ladefrequenzen führen würde. Es muss zwischen einer Stufen- oder Schichtladung unterschieden werden.

Bei **Stufenladung** wird der Speicherinhalt unterhalb des Spitzendeckungsvolumens mit einem grossen Volumenstrom umgewälzt und in kleinen Temperaturstufen mit einer geringen Spreizung zwischen WP Vor- und Rücklauf erwärmt. Dabei darf beim Ladevorgang das obere wärmere Wasservolumen (Spitzendeckungsvolumen) nicht heruntergemischt werden. Mangelhafte Systeme fahren mit dem Vorlauf zu hoch in den Speicher (in das Spitzendeckungsvolumen) oder sie verfügen über keine Strömungsberuhigung, was bei den hohen Volumenströmen eine Durchmischung des ganzen Speichers garantiert. Bei solchen Systemen steht über eine längere Zeit während des Ladevorgangs kein Warmwasser oder nur lauwarmes Wasser zur Verfügung. Diese mangelhaften Systeme erreichen weder die theoretisch durch Stufenladung möglichen Effizienzvorteile, noch halten sie die thermische Barriere für eventuell im unteren Speicherbereich vorhandene pathogene Keime aufrecht während der Beladung.

Bei der **Schichtladung** wird der Volumenstrom so eingestellt, dass immer die Zieltemperatur in den Speicher geladen wird. Dadurch kann der Eintritt in den Speicher auch weiter oben erfolgen als bei der Stufenladung. Dennoch kann es auch hier von Vorteil sein, den Eintritt nicht ganz oben anzusetzen, sondern etwas unterhalb der Mitte des Spitzendeckungsvolumens. Bei der Schichtladung sind Leistungsvariable Wärmepumpen von Vorteil, und die Regelung des Volumenstroms sollte in erster Linie über eine drehzahlregulierte Umwälzpumpe erfolgen. Oft reicht dies jedoch nicht aus, um die erforderliche Bandbreite an Temperaturspreizung abzudecken und es kommt zusätzlich ein Drosselventil in Serie zur Pumpe zum Einsatz. Ein Vorteil dieser Ladestrategie ist die damit erzielbare Unterkühlung im Kältekreis, welche die Effizienz steigert (WP abhängig). Beim Ladevorgang des Speichers wird auch bei Beginn oben mit der hohen Sollspeichertemperatur eingeschichtet. Da die Volumenströme vor allem am Anfang der Beladung gering

sind, finden Durchmischungen im Speicher meist erst gegen Ende der Beladung statt und richten dadurch weniger Schaden an. Auch hier ist jedoch in jedem Fall eine Strömungsberuhigung am Eintritt vorteilhaft. Da die Pumpe des Wärmepumpenkreises mit weniger Leistung fahren muss, ist der Pumpenstromverbrauch geringer als bei der Stufenladung.

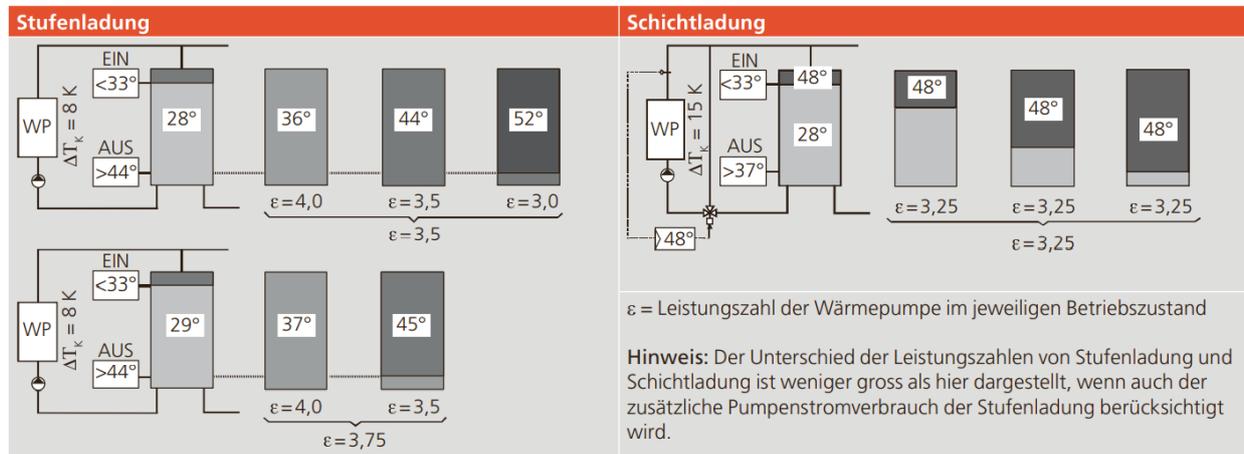


Abbildung 4: Unterscheidung Schicht und Stufenladung (theoretischer Effizienzunterschied). Quelle: Wärmepumpen: Planung | Optimierung | Betrieb | Wartung, BFE 2018

- Sowohl Stufenladung als auch Schichtladung ermöglichen, wenn korrekt ausgeführt, eine temperaturschichtende Beladung des Trinkspeichers und damit eine deutlich höhere Effizienz (Effizienzgewinn gegenüber dem Rohrregisterspeicher in Kombination mit Wärmepumpe im zweistelligen Prozentbereich).
- Da das Wasser des Speicher-Ladekreises aus dem Speicherboden angesaugt werden kann (Anschluss von unten oder über ein Rohr, welches von oberhalb des Klöpperbodens abgesenkt wird in den Boden), kann auch das Speicherwasser im Bodenbereich gegen Ende der Beladung auf eine hohe Temperatur gebracht werden, welche nur wenige Kelvin unter der Temperatur im oberen Bereich liegt (abhängig von Volumenstrom und Temperaturerhöhung im Kondensator der WP).
- Wird der Vorlauf des Beladekreises zu hoch in den Speicher geführt oder bei einem zu hohen Volumenstrom ohne Strömungsberuhigung am Eintritt, so resultiert auch bei diesen Systemen zu Beginn der Beladung ein signifikanter Temperaturabfall im oberen Speicherbereich mit den entsprechenden exergetischen und hygienischen Nachteilen.
- Die bei Wärmepumpen üblichen hohen Volumenströme müssen am Speichereintritt beruhigt werden auf eine Geschwindigkeit unter 0.1 m/s, da ansonsten auf Grund von impulsreicher Einströmung eine Durchmischung des Speichervolumens stattfindet mit erheblichen Einbussen bei Komfort, Effizienz und Hygiene. Ohne Strömungsberuhigung am Eintritt werden diese Geschwindigkeiten vor allem bei der Stufenladung oder am Ende der Schichtladung (wenn der Volumenstrom auf Grund der geringeren Temperaturdifferenz hochregelt) deutlich überschritten.
- Der Zirkulations-Rücklauf (wenn vorhanden) wird in der Regel unterhalb des Spitzendeckungsvolumens, oft auf ca. 50 – 70% des Speichervolumens, in den Speicher zurückgeführt.
- Der externe Wärmeübertrager, meistens ein Plattenwärmeüberträger, kann mit wesentlich höheren Ladeleistungen ausgelegt werden als der Registerspeicher. Daher eignen sich diese Systeme besser für grössere Objekte, und Wärmeerzeuger mit höheren Heizleistungen sind einsetzbar. Auch hier bestimmt die minimale Wärmeleistung des Wärmeerzeugers die Dimensionierung des Wärmeübertragers, ca. 0.25 m² / kW.
- Das Ladesystem benötigt eine zusätzliche für Trinkwasser zugelassene Schichtladepumpe.
- Die Verkalkung des Plattenwärmetauschers, eine kompliziertere Regelungsstrategie sowie höhere Investitionskosten sind als Nachteile gegenüber dem Registerspeicher zu nennen.
- Die Temperaturdifferenz zwischen Primär- und Sekundärseite der Ladestation soll möglichst gering sein. Ideal sind Spreizungen von 2 - 5 K [Stiebel Planungsbuch].

3.3 Frischwasserstation mit Pufferspeicher

Anstatt Trinkwarmwasser zu speichern, findet bei Frischwasserstations-Systemen (FriWa) die Speicherung in einem Pufferspeicher statt, welcher kein Trinkwasser enthält. Das Trinkwarmwasser wird über einen externen Wärmeübertrager, welcher mit Wasser aus dem Pufferspeicher gespiesen wird, erst bei Bedarf erwärmt.

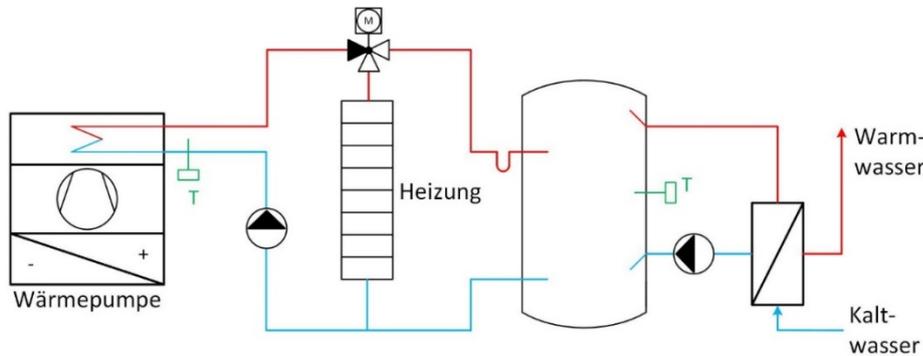


Abbildung 5: Frischwasserstation

Merkmale:

- Für EFH und MFH geeignet
- Anschlussquerschnitte und Einströmgeschwindigkeiten beachten
- Saubere Regelung der sekundärseitigen Pumpe empfohlen
- Keine Speicherung von warmem Trinkwasser
- Grädigkeit des FriWa Wärmetauschers ist entscheidend für die Effizienz
- Strömungsberuhigung bei Speicher-Eintritten

- Die Beladung des Pufferspeichers erfolgt direkt durch die Wärmepumpe. Im Gegensatz zur Magroladung ist kein zusätzlicher Wärmeübertrager zwischen WP und Speicher notwendig.
- Wie bei der Magroladung sollte der Eintritt der WP-Ladung in den Speicher nicht zu hoch angesetzt werden, und das einströmende Fluid ist zu beruhigen auf unter 0.1 m/s (Komfort und Effizienz)
- Auch hier ist sowohl eine Stufenladung als auch eine Schichtladung möglich (siehe oben), mit dem Unterschied, dass hier kein Wärmetauscher zwischen der Wärmepumpe und dem Speicher vorhanden ist. Auch hier müssen Ein- und Ausschaltung der Beladung über zwei verschiedene Fühler erfolgen.
- Die Grädigkeit und Regelung des Frischwassermodul-Wärmetauschers sind entscheidend für Komfort und Effizienz, die durch ein Frischwassermodul-System erreicht werden können.
- Der Zirkulationsrücklauf (sofern vorhanden) wird entweder über den FriWa-Wärmetauscher erwärmt oder über einen separaten Zirkulationswärmetauscher. Letzteres bietet den Vorteil, dass der Rücklauf vom Zirkulations-Wärmetauscher zum Speicher dann auch auf der richtigen Position unterhalb des Spitzendeckungsvolumens in den Speicher zurückgeführt werden kann. Erfolgt die Zirkulationserwärmung über den FriWa-Wärmetauscher, so besteht das Dilemma, dass der Rücklauf in den Speicher ganz unten eingeführt werden soll, wenn eine Warmwasserentnahme und entsprechend tiefe Rücklauftemperatur (20 – 25 °C) vorliegt, jedoch ca. in der Mitte des Speichervolumens, wenn dies nicht der Fall ist und nur Zirkulationsverluste gedeckt werden sollen (55 – 60 °C). Da der Wechsel jeweils schnell erfolgt, gestaltet sich ein entsprechendes Umschalten auf zwei verschiedene Höhen als schwierig.
- Bei Durchfluss ist der Zapfvolumenstrom durch die Übertragungsleistung des Wärmeübertragers bestimmt. Im Hinblick auf Hygiene ist die fehlende Stagnationsgefahr zu nennen, das Wasser wird bedarfsgerecht zum Zeitpunkt der Entnahme erwärmt (Quelle: Recknagel, Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik, 79. Ausgabe 2019/2020).
- Das System benötigt eine zusätzliche Pumpe zur Umwälzung des Heizwassers in den Wärmeübertrager (Frischwasserladepumpe). Diese wird durch eine Mikroprozessregelung nach dem Trinkwasservolumen und der Speichertemperatur geregelt.
- Vorteile sind eine vermutlich geringere Gefahr der Legionellenkontamination durch das geringe warmgehaltene Volumen des Trinkwarmwassers (Feldstudien hierzu fehlen), sowie eine Kosteneinsparung durch die Verwendung eines Heizungsspeichers, die aber durch die Kosten der FriWa und ihrer Regelung zumindest teilweise wieder kompensiert wird. Vor allem bei kleinen Speichervolumen ist die FriWa meist das deutlich teurere System.

- Nachteile liegen in der beschränkten Zapfmenge, der Verkalkung der Frischwasser-Wärmetauscher, der geringeren gespeicherten Energiemenge pro Speichervolumen, sowie der aufwändigeren Regelungstechnik.
- Oft beobachtete Mängel sind
 - o zu hohe Grädigkeit des Wärmetauschers
 - o Hydraulik- und Regelkonzepte, welche einen zu hohen Volumenstrom auf der Primärseite des Wärmetauschers zur Folge haben. Dies passiert zum Beispiel, wenn die Regelung versucht auf eine Soll-Temperatur zu regeln, die bei der aktuellen Speichertemperatur gar nicht möglich ist. Dadurch stellt sich der maximale Volumenstrom auf der Primärseite ein, selbst bei geringem Durchfluss der Wasserentnahme. In der Folge strömt viel Wasser mit hoher Rücklaufemperatur in den unteren Speicherbereich und zerstört die Speicherschichtung mit entsprechenden Konsequenzen für Komfort und Effizienz.
 - o Fehlende Zirkulationsberuhigung an den Speichereintritten
 - o keine Unterscheidung der Speichereintrittshöhe des FriWa-Rücklaufs zwischen Zeiten mit Bezug (tiefe Rücklaufemperatur, ganz unten) und Zeiten mit Zirkulationsbetrieb (hohe Rücklaufemperatur, unterhalb des Spitzendeckungsvolumens)
 - o zu träge Regelung der Umschaltung des FriWa-Rücklaufs zwischen Bezug und Zirkulationsbetrieb
 - o Regelungsbedingte Temperaturschwankungen am Austritt des FriWa-Moduls.

3.4 Hygienespeicher

Der Hygienespeicher ist ein Pufferspeicher, welcher direkt von der Wärmepumpe beladen wird wie der FriWa-Speicher. Hier erfolgt jedoch die Erwärmung des Trinkwarmwassers über einen internen Rohrwendel-Wärmetauscher, meist ein Spiralrohr, weshalb diese Art von Speicher auch Spira-Speicher genannt wird.

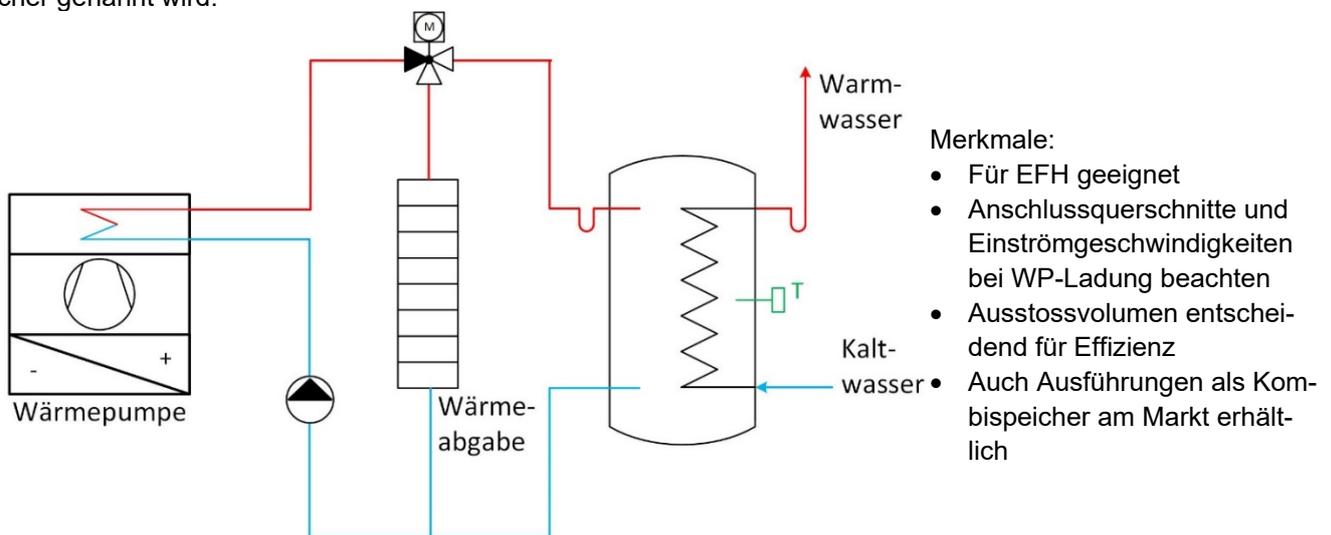


Abbildung 6: Hygienespeicher

- Bezüglich Beladung und Schichtung sind die gleichen Regeln für Strömungsberuhigung und Anschlusshöhen zu beachten wie bei der Magro-Ladung, es sind Stufen- oder Schichtladungen möglich.
- Wie bei der Magro-Ladung kann auch hier der Speicher bei entsprechendem Design bis praktisch ganz unten beladen werden.
- Auf Grund der beschränkten Wärmetauscherkapazität des Spiralrohr-Wärmetauschers sinkt die Temperatur, welche ab Speicher zur Verfügung gestellt wird, nach einem ersten «Durchstossen» des Inhalts des Spiralrohres markant ab. Wie lange die Temperatur über einem bestimmten Sollwert gehalten werden kann, ist in der Folge eine Konsequenz aus der Temperatur im oberen Bereich des Speichers und der Länge des Spirarohrs in dieser Speicherzone.

- Eine Kombination mit Zirkulations-Rücklauf ist nur dann sinnvoll möglich, wenn Speichermittig eine Abzweigung aus dem Spiralrohr aus dem Speicher geführt wird, an welche der Zirkulationsrücklauf angeschlossen werden kann. Hygienespeicher sind aus diesem Grund typischerweise bei kleineren Anlagen zu finden.

3.5 Kombispeicher – Tank-in-Tank

Der klassische Kombispeicher des Tank-in-Tank Designs¹ besteht aus einem Trinkwarmwasserspeicher, welcher im oberen Bereich eines Pufferspeichervolumens montiert ist. Je nach Bauart findet eine Vorwärmung des Trinkwarmwassers über ein gerades Rohr mit grossem Durchmesser oder über Rohrwendel-Wärmetauscher (Glattrohr oder Spira) im unteren Bereich des Pufferspeichers statt. Sinn und Zweck dieses Designs ist die gleichzeitige Speicherung von Wärme für Trinkwarmwasser und Wärme für Raumheizung in einem Speicher, welcher die beiden Temperaturzonen aufgrund thermischer Schichtung zu trennen vermag.

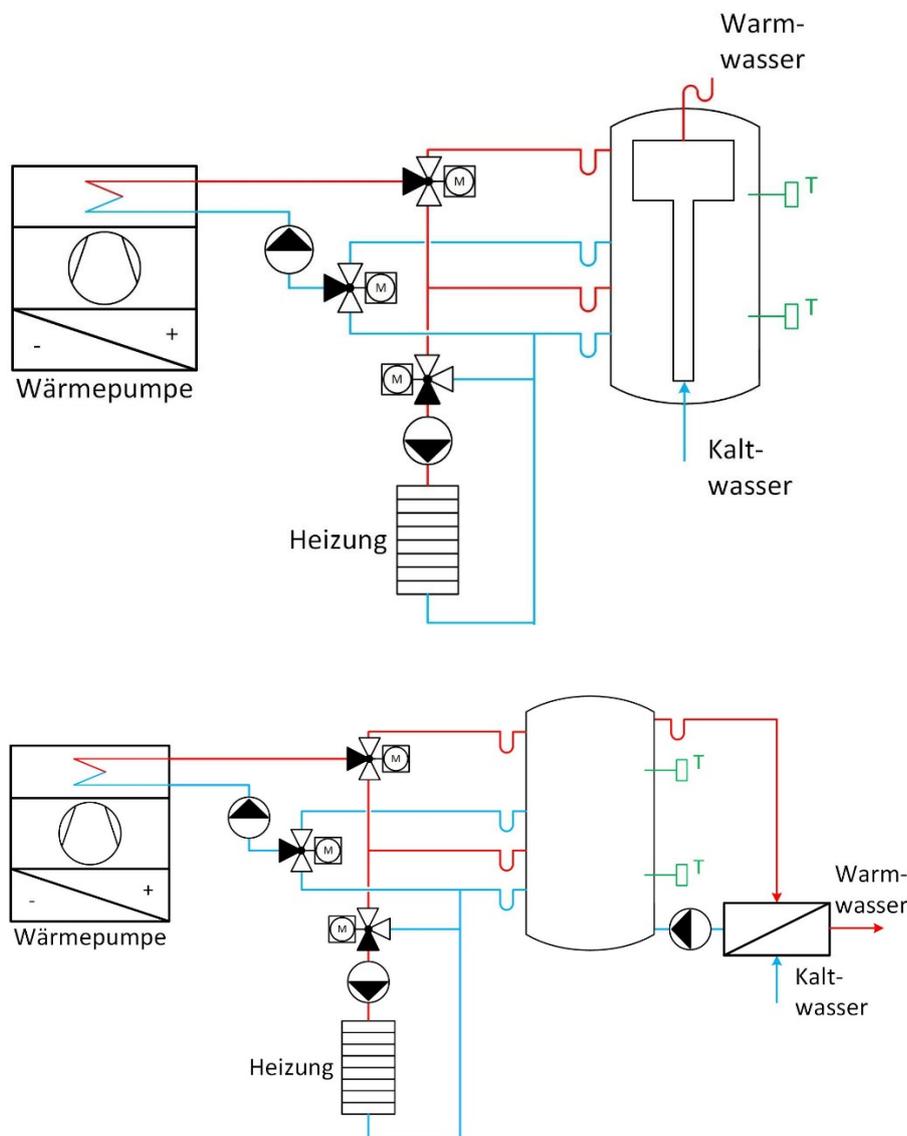


Abbildung 7: Kombispeicher: oben Tank in Tank, unten mit FriWa

Merkmale:

- Für EFH und Doppel-EFH geeignet. Sonderanfertigungen bis MFH solare Vollversorgung (Jahresspeicher, evt. WP-unterstützt) möglich
- Saubere Trennung von WW und Heizung essentiell
- Hydraulik-Konzept match-entscheidend, Rücklauf-Umschaltung für WW-Beladung zwingend.
- Anschlussquerschnitte und Einströmgeschwindigkeiten beachten

¹ Manchmal werden auch Spiraspeicher oder Pufferspeicher mit Frischwassermodul als Kombispeicher im erweiterten Sinn bezeichnet, wenn diese, wie der klassische Tank-in-Tank Kombispeicher, sowohl Wärme für Warmwasser als auch Wärme für Raumheizung im gleichen Speicher speichern unter Ausnützung der thermischen Schichtung.

- Die Beladung erfolgt über direkten Anschluss des Wärmeerzeugers. Es gelten die gleichen Regeln für Strömungsberuhigung wie bei Magro-Ladung und Pufferspeicher, Die Anschlusshöhe des Vorlaufs bei Warmwasserladung ist weniger kritisch, da auf Grund der beschränkten Wärmeübertragungsleistung vom Pufferspeicherwasser auf den Trinkwarmwasserspeicher die Wärme mit erheblicher Zeitverzögerung übertragen wird.
- Wichtig ist bei diesem Design, dass der Rücklauf zur Wärmepumpe bei Warmwasserladung oberhalb der Raumwärmezone des Speichers entnommen wird, und dass der Temperaturfühler, welcher die Warmwasserladung auslöst, mit genügend Abstand (min. 30 cm) über der Raumwärmezone montiert wird. Andernfalls resultieren erhebliche Effizienzeinbußen (Haberl u.a. 2014, Haller u.a. 2014).
- Allgemein ist mit deutlichen Effizienzeinbußen zu rechnen, wenn der Heizungskreis und der Trinkwarmwasserberiech im Speicher durchmischt werden (hydraulische Einbindung, Anschlussdurchmesser, Fühlerposition, Regelung).
- Auf Grund der sehr hohen Abhängigkeit der System-Arbeitszahlen von der hydraulischen Integration und vom Schichtungsvermögen von Kombispeicher besteht im WPSM Modul die Vorgabe, dass für die hydraulische Integration Vorgaben eingehalten werden müssen (z. Bsp. Rücklauf bei WW-Ladung oberhalb der Raumwärmezone) und dass der Speicher über ein Schichtungs-Zertifikat verfügen muss. Details sind den Bestimmungen des WPSM zu entnehmen.

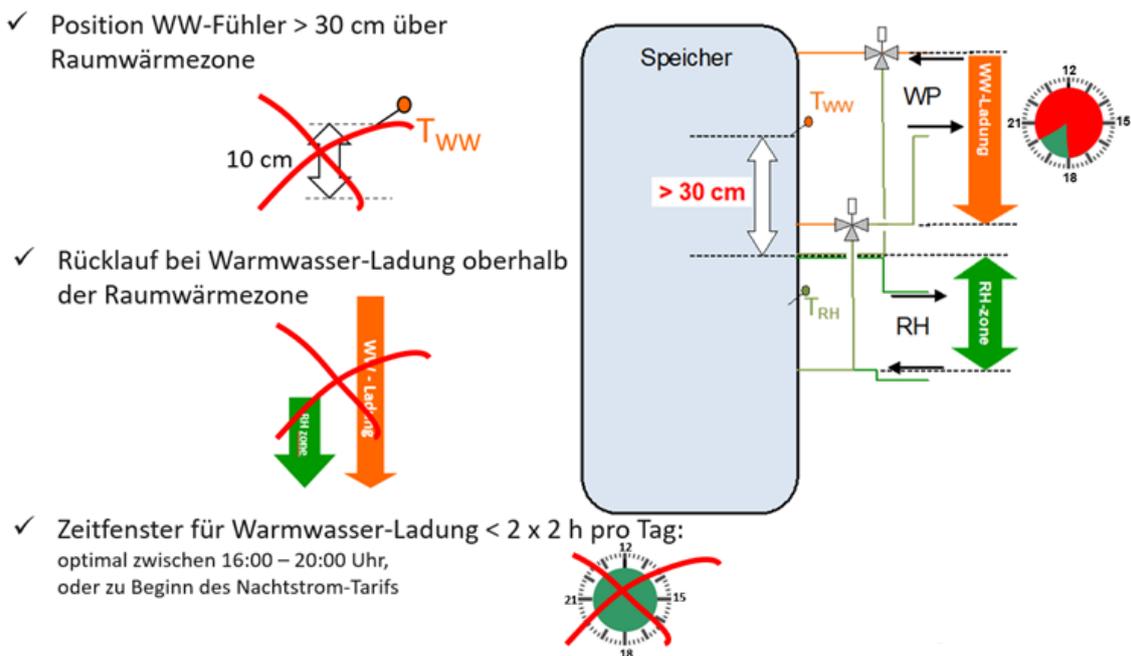


Abbildung 8: Hydraulische Integration von WP Kombispeichern (Quelle: Ostschweizer Fachhochschule, Institut SPF)

Weitere Quellen:

Haberl R, Haller MY, Reber A, Frank E. Combining Heat Pumps with Combistores: Detailed Measurements Reveal Demand for Optimization. Energy Procedia 2014;48:361–9.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.042>.

Haller MY, Haberl R, Mojic I, Frank E. Hydraulic Integration and Control of Heat Pump and Combi-storage: Same Components, Big Differences. Energy Procedia 2014;48:571–80.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.067>.

3.6 Wassererwärmer-Wärmepumpe / WPZ: Brauchwarmwasser-WP (WP-Boiler)

Eine separate und vom Heizwärmeerzeuger hydraulisch vollkommen entkoppelte Variante bieten Wassererwärmer-Wärmepumpen, auch bekannt als Wärmepumpen-Boiler. Für kleinere Leistungsgrössen bis ca. 500 l werden Kompaktgeräte mit einer auf den Speicher aufgesetzten Wärmepumpe angeboten. Die Luft-Wärmepumpe bezieht dabei Wärme meist aus dem Aufstellungsraum, eine Montage von kurzen Lüftungskanälen für Aussenluftansaugung ist bei manchen Modellen möglich. Empfohlen wird ein Raumvolumen von min. 15 m³/kW installierte Wärmepumpenleistung (Quelle: Leitfaden Trinkwassererwärmung, BWP, 2019). Die Wärmeabgabe erfolgt durch einen sog. Sicherheitswärmeübertrager in Form von um den Speicher aussen gewickelten Kupferrohren. In diesen kondensiert das Kältemittel der Wärmepumpe.

Für grössere Leistungsanforderungen werden nun auch vermehrt Split- oder Monoblockgeräte angeboten. Bei diesen befindet sich aufgrund der grösseren Luftmengenwälzung der Verdampfer der Wärmepumpe im Freien. Zum Trinkwarmwasserspeicher führt dann eine kältemittel- oder heizwassergefüllte Leitung.

- Ein grosser Vorteil dieser Systeme besteht in einer heizungsunabhängigen, autonomen Wassererwärmung, bei der kaum Installationsfehler möglich sind.
- Eine Entfeuchtung von Kellerräumen oder Waschküchen ist möglich.
- Bei Aufstellungen innerhalb der beheizten Zone bezieht der WP-Boiler die Energie aus der Raumwärme, welche vom Heizungssystem bereitgestellt wird (sog. Wärmeklau). Daher ist dem Aufstellungsraum eine besondere Beachtung zu widmen. Die Aufstellung muss unbedingt ausserhalb des beheizten Volumens stattfinden (Ausnahme WP Boiler mit Aussenluft als Wärmequelle)
- Ein ausschliesslicher Betrieb mit Aussenluft ist bei Kompaktgeräten nicht zu empfehlen. Zum einen sind die Einsatzgrenzen der Geräte auf leichte Frosttemperaturen begrenzt und die Wärme bei tieferen Aussentemperaturen wird mit einem Elektroregister erzeugt. Zudem sind die Abtauverfahren wesentlich ineffizienter (Heissgasabtauung) gegenüber herkömmlichen Luft/Wasser-Wärmepumpen mit einer Kreislaufumkehrung zur Abtauung.

Eine gute Übersicht zu Aufstellung und Betrieb von Wärmepumpenboilern ist im Merkblatt «Warmwasser-Wärmepumpen: Geld sparen bei der Warmwasseraufbereitung» aus dem Jahr 2012 von GebäudeKlima Schweiz zu finden.

3.7 Übersicht der Systeme

	EFH	MFH	Sehr grosser WW-Bedarf
WP-Boiler	Kompakt	Splitvariante	Splitvariante bedingt
Registerspeicher	Sehr gängig	Nur für kleine MFH	Zu wenig Leistung
Hygienespeicher	ja	-	-
Kombispeicher	ja	nur für Solar-Aktivhäuser	
Ladesysteme (Magro)	Bedingt, zu komplex	ja	ja
Frischwasserstation	möglich	ja	ja
Warmhaltung Heizband	-	falls notwendig	falls notwendig
Warmhaltung Zirkulation	-	falls notwendig	falls notwendig

4. Warmhaltung

Unter Warmhaltung versteht man das Warmhalten der Verteilleitungen des Trinkwarmwassers. Dies ist vor allem dann erforderlich, wenn ohne Warmhaltung auf Grund langer und bereits seit der letzten Entnahme ausgekühlter Leitungen (zum Beispiel in MFH), die Dauer bis zum Erreichen der Nutztemperatur

zu lange wäre. Diese Dauer wird gemäss SIA 385/1 bestimmt bis zum Erreichen von 40 °C und beträgt maximal 15 Sekunden ohne und 10 Sekunden mit Warmhaltung. Sowohl aus hygienischen Gründen² als auch aus Gründen der Energieeffizienz sollte auf eine Warmhaltung der Verteilung, wenn immer möglich (d.h. wenn der Komfort auch ohne Warmhaltung gewährleistet werden kann), verzichtet werden. Es gibt mehrere Möglichkeiten der Warmhaltung der Verteilungen. Am häufigsten eingesetzt werden

- Warmwasser-Zirkulation
- Heizband

welche in den folgenden Unterkapiteln näher beschrieben werden.

Generell gilt für Mehrfamilienhäuser sowohl nach SIA 385/1 als auch nach SVGW W3/E3, dass die Warmhaltung ununterbrochen (24/24, 7/7) in Betrieb sein muss (d.h. keine Unterbrechung in der Nacht). Diese Regel gilt bei der SVGW W3/E3 auch für Einfamilienhäuser, nicht jedoch bei SIA 385/1.

Aus Feldstudien ist zudem bekannt, dass Systeme mit warmgehaltener Verteilung generell anfälliger sind auf Legionellen-Kontamination (in praktisch allen Studien, in machen Studien auch signifikant). Bei Einfamilienhäusern haben Feldstudien gezeigt, dass eine Unterbrechung der Zirkulation oder Heizung der Verteilungen von bis zu 8 h pro Nacht NICHT zu einem erhöhten Risiko führt. Bei Mehrfamilienhäusern könnte eine Unterbrechung nachteilig sein. Bei Mehrfamilienhäusern ist das Einsparpotenzial zudem geringer als bei EFH, da die Wahrscheinlichkeit von Warmwasserbezug in der Nacht mit der Anzahl Personen steigt. Bei EFH ist das energetische Einsparpotenzial jedoch hoch, und es sind zudem auf Grund der Erkenntnisse aus den Feldstudien keine hygienischen Nachteile zu erwarten (Quelle: W. Mathys, J. Stanke, M. Harmuth, E. Junge-Mathys, Occurrence of Legionella in hot water systems of single-family residences in suburbs of two German cities with special reference to solar and district heating, International Journal of Hygiene and Environmental Health. 211 (2008) 179–185. doi:10.1016/j.ijheh)

Es sind uns keine systematischen Untersuchungen bekannt in welchen ermittelt worden wäre, ob generell Heizbänder oder Zirkulation zu besserem hygienischem Ergebnis (Legionellen an Entnahmestellen) führen würden.

4.1 Warmwasser-Zirkulation

Bei der Warmwasser-Zirkulation wird vom entferntesten Wasserentnahmepunkt eine Leitung zum Wärmespeicher zurückgeführt und mit Hilfe einer Pumpe dafür gesorgt, dass das warme Wasser ständig zirkuliert und so die Leitungen warmgehalten werden. Je nach Grösse und Anzahl Steigleitungen in den versorgten Gebäuden können mehrere parallele Zirkulationsstränge von einer Pumpe bedient werden. Dies bedingt einen funktionierenden hydraulischen Abgleich, der dafür sorgt, dass in allen parallelen Strängen derselbe Durchfluss oder – noch besser – dieselbe Rücklauftemperatur eingehalten werden kann. Aus hygienischen Gründen schreiben sowohl SIA 385/1 als auch SVGW W3/E3 für den Standardfall eine Rücklauftemperatur von 55 °C in allen Teilsträngen sowie in der Sammelleitung vor Speichereintritt vor. In zwei Punkten ist hier die W3/E3 schärfer und führt zu mehr Ineffizienz und Energieverbrauch als die SIA 385/1.

- Die W3/E3 schreibt zusätzlich zur Rücklauftemperatur eine Vorlauftemperatur von 60 °C vor
- Die SIA erlaubt für hygienisch einwandfreie Systeme unter Berücksichtigung der Selbstkontrolle eine Absenkung auf Vorlauf 55 °C und Rücklauf 52 °C.
- Aufgrund der hohen Volumenströme in der Zirkulationsleitung ist auf eine gute Einschichtung des Zirkulationsrücklaufs in den Speicher zu achten.
- Eine schlechte Einschichtung führt zu einer Vielzahl an benötigten Wärmepumpenstarts und reduziert die Effizienz der Wärmepumpe signifikant (z.T. > 25% Mehrverbrauch). (Quelle: BFE Studie «Warmwasserbereitstellung mittels Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern» von B. Vetsch et al. 2012). Wobei gleiches wohl auch für andere Wärmeerzeuger gilt, entsprechende Studien fehlen aber.

² In den meisten Feldstudien zu Legionellen in welchen zwischen warmgehaltener Verteilung und nicht warmgehaltener Verteilung unterschieden wird, sind in Systemen mit warm gehaltener Verteilung häufiger Legionellen gefunden worden als in den übrigen Systemen.

4.2 Begleit-Heizband

Anstelle einer Zirkulationsleitung können elektrische Begleitheizungen zur Warmhaltung installiert werden. Auch diese müssen – analog den Zirkulationssystemen, die Temperatur im Wasser der Leitungen auf eine Mindesttemperatur von Standard 55 °C, erleichtert nach SIA 52 °C halten. Begleit-Heizbänder haben sowohl Vor- als auch Nachteile gegenüber den Zirkulationssystemen:

Vorteile:

- Weniger Leitungslänge, da keine Rücklaufleitung. Dies führt zu weniger Wärmeverlusten direkt aus den Leitungen sowie zu weniger Rohr-Installationen und Dämmmaterial.
- Kürzere Leitungslängen bedeuten auch kleineres Risiko von Leitungsleckagen
- Schnellere Installation und somit meist kostengünstiger
- Plug&play Installation mit selbstregulierender Temperatur
- Keine Rückführung in den Speicher und somit keine Beeinflussung der Speicherschichtung, kein hydraulischer Abgleich bei mehreren Steigleitungen, keine Einstellung des Pumpvolumenstroms notwendig

Nachteile:

- Kann nicht von Solarwärme oder höherem COP einer Wärmepumpe für die Bereitstellung der Wärme zur Deckung der Warmhalteverluste profitieren.
- PV-Eigenverbrauchoptimierung ist für die Warmhaltung nur begrenzt möglich (24h Betrieb Heizband)
- Bei einem Defekt ist der Aufwand für den Ersatz deutlich höher als bei einer Zirkulation, wo nur die Pumpe ersetzt werden muss
- Lokale Wärmebrücken über die Isolation oder gar unisolierte Stellen führen ausserhalb der Entnahmezeiten lokal auch zu deutlich tieferen Temperaturen in den Rohren, als dies bei der Zirkulation von heissem Wasser zu erwarten wäre.

4.3 Voraussetzungen für effizienten Betrieb

Für alle Begleitheizsysteme gilt es, folgende Punkte einzuhalten:

- Lückenlose Isolation der warmgehaltenen Leitungen
- Leitungssystem so kurz wie möglich ausführen (beginnt bei der Planung)
- Leitungsquerschnitte nicht überdimensionieren
- Gut schichtende Speicher einsetzen
- Auf einen Thermosyphon am Speicherabgang Warmwasser kann bei Systemen mit Warmhaltung verzichtet werden.

5. Stagnation

Es ist allgemeiner Konsens, dass Stagnation des Wassers in Trinkwasserverteilsystemen die Hygiene des Wassers beeinträchtigen kann. Bei Stagnation über längere Zeit lösen sich Rost oder andere Stoffe aus den Metall- oder Kunststoffrohren und -behältern und beeinträchtigen das Wasser in Trübung und Geschmack. Findet Stagnation bei einer Temperatur statt, welche das Wachstum von Mikroorganismen begünstigt, so können sich diese übermässig vermehren und die Gesundheit gefährden. Zusammen mit der eigentlichen Stagnation sind dabei drei andere Faktoren von Bedeutung:

- Temperatur
- Nährstoffe
- Dauer (Zeit)

5.1 Differenzierte Betrachtung von Stagnation

Die etwas undifferenzierte Ansicht, dass längere Stagnation auch automatisch zu mehr Problemen mit Legionellen führt, trifft in dieser einfachen Ausformulierung sicher nicht zu. Dies haben mehrere Untersuchungen bereits gezeigt, und deshalb kommen Hammes u.a. [Quelle: Rhoads & Hammes 2021] auch zum Schluss, dass das Thema Stagnation differenzierter angegangen werden muss. Hierzu einige differenzierte Überlegungen:

- Eine Zunahme von Rost und anderen Beeinträchtigungen durch das Lösen von Stoffen oder Material (z.B. Schwermetalle) aus dem Wärmespeicher oder den Rohren ist praktisch bei jeder Temperatur zu erwarten und nimmt sicher mit der Dauer der Stagnation zu. Auch können die organoleptischen Anforderungen für das Trinkwasser nicht mehr erfüllt werden (Trübung, Geschmack und Geruch). Deshalb ist längere Stagnation immer ein hygienisches Problem und Anlagen müssen spätestens vor der Inbetriebnahme ordentlich durchgespült werden.
- Von einer Zunahme von Legionellen oder anderen pathogenen Keimen ist nur dann auszugehen, wenn das stagnierende Wasser, respektive die mit dem Wasser in Kontakt stehenden Oberflächen auf welchen sich ein Biofilm bilden kann, eine Temperatur aufweisen, welches dieses Wachstum begünstigen UND wenn ein entsprechendes Nährstoffangebot – je nach Mikroorganismus zählt dazu auch Sauerstoff – vorhanden ist.
- Es ist nicht plausibel, dass die Konzentration von Legionellen zunimmt, wenn Wasser über längere Zeit bei über 50 °C lagert. Deshalb sind auch grössere Mengen Wasser, die ausserhalb des Wachstumsbereichs von Legionellen gelagert werden (d.h. < 20 °C³ oder > 45 °C), aus der Sicht der Legionellenprophylaxe auch nicht problematisch. Im Gegenteil ist eher zu erwarten, dass längeres Lagern bei höheren Temperaturen als 50 °C auch die Legionellenkonzentrationen abnehmen lässt. Es erstaunt deshalb nicht, dass in Feldstudien eher ein negativer Zusammenhang zwischen Speichergrösse oder -dimensionierung und dem Vorhandensein von Legionellen gefunden wird als ein positiver, sofern die Speichertemperatur über 50 °C beträgt [Haller & Ruesch, 2019]. Bei tieferen Temperaturen, welche im Wachstumsbereich liegen, ist es jedoch eher umgekehrt.
- Legionellen sind obligat aerobe Keime. Dies bedeutet, dass sie ohne Sauerstoff nicht überleben können. Vor allem in metallischen Leitungen und Behältern wird jedoch bei längerer Stagnation der Sauerstoff durch die Korrosion (d.h. Oxidation) der Metalloberflächen oder auch durch andere Mikroorganismen aufgebraucht. Sofern keine Sauerstoffzufuhr stattfindet, ist also davon auszugehen, dass eventuelle Legionellenpopulationen auch bei Temperaturen, die das Wachstum zulassen oder fördern nach einer anfänglichen Wachstumsphase wieder zurückgehen, sobald der Sauerstoff knapp wird oder aufgebraucht wird. Bei Systemen welche länger nicht benützt werden (zum Beispiel leerstehendes Gebäude), kann deshalb eine regelmässige Wasserentnahme durch das Einspülen von frischem, sauerstoffhaltigem Wasser das Wachstum von Legionellen eventuell sogar begünstigen, anstatt es zu verhindern oder einzudämmen.

Rhoads WJ, Hammes F. Growth of Legionella during COVID-19 lockdown stagnation. *Environmental Science: Water Research & Technology* 2021;7:10–5. <https://doi.org/10.1039/D0EW00819B>.

Haller M, Ruesch F. LegioSafe - Legionellensicherheit in thermischen Solaranlagen. Rapperswil: SPF Institut für Solartechnik; 2019.

5.2 Übergang von warm zu kalt

Ein System zu realisieren, welches Wasser von unter 20 °C auf über 50 °C aufheizt und möglicherweise speichert, ohne dass es dazu zu Übergangszeiten oder örtlichen Übergängen kommt, in welchen eine Temperatur herrscht, welche dem Wachstumsbereich der Legionellen entspricht, ist physikalisch nicht möglich. Während dem Aufheizen oder Abkühlen durchläuft das Wasser den kritischen Temperaturbereich, und auch zwischen Anlageteilen welche über 50 °C sind und Anlageteilen welche unter 20 °C sind gibt es immer irgendwo den örtlichen Übergangsbereich, da die Temperatur nicht digital ist und sich

³ In den Empfehlungen der SIA und W3 wird der untere Bereich mit < 25 °C angegeben, da 20°C bei Raumtemperatur schnell überschritten werden. Bekannt ist, dass Legionellen sich auch unterhalb von 20 °C vermehren können, je tiefer die Temperatur desto langsamer.

sprunghaft auf unendlich kleiner Distanz ändern kann. Für die Legionellenprophylaxe ist deshalb die örtliche und zeitliche Eindämmung dieser Bereiche relevant, da eine vollständige Vermeidung unmöglich ist. Massnahmen sind zum Beispiel:

- Bei Wasserentnahmen sich erwärmende Leitungen, welche nicht ständig warmgehalten werden, müssen danach schnell auskühlen und sollten nicht wärmegeämmt werden.
- Übergänge von ständig warmen Anlagenteilen und zwischenzeitlich auskühlenden oder immer kalten Anlagenzeilen sollten durch einen Thermosiphon thermisch getrennt werden. Dies reduziert die Rohrstrecke, auf welcher Temperaturen zu finden sind, die das Wachstum von Legionellen begünstigen.

Auf Grund dieser Überlegungen sind selten benutzte Entnahmestellen vor allem dann kritisch zu betrachten, wenn deren Ausstossleitung an eine ständig warme Leitung angeschlossen ist, da in diesen Fällen örtlich ein Temperaturübergang im kritischen Bereich über länger Zeit vorhanden ist.

Vor allem nach längeren Abwesenheiten ist eine Spülung der Wasserleitungen (WW und KW) aus hygienischer Sicht unbedingt zu empfehlen. Vor allem bei Duschen empfiehlt es sich die Warmwasserspülung zumindest zeitweise separat von der Kaltwasserspülung durchzuführen, um die Temperatur in den Armaturen entsprechend zu erhöhen.

6. Aufstellung

Die Wahl eines geeigneten Aufstellungsraumes für die Technik zur Trinkwarmwasserbereitstellung beeinflusst die Herausforderungen der Warmhaltung sowie die Stagnationsthematik. Üblicherweise werden die Trinkwarmwasserspeicher im oder neben dem klassischen Heizungskeller installiert. Somit ergeben sich zwar sehr kurze Leitungen zwischen dem Wärmerezeuger und dem Speicher, die Trinkwasserleitungen sind jedoch sehr lang.

Als alternatives Konzept bietet sich die Platzierung des Speichers im Wohnraum, zentral zwischen Küche und Bad an. Dadurch ergeben sich sehr kurze Trinkwasserleitungen mit entsprechend sehr geringen Ausstosszeiten. Diese verringern zudem den Wasserverbrauch und auf eine Warmhaltung kann verzichtet werden. Als Nebeneffekt tragen die Wärmeverluste des Speichers im Winter zur Raumheizung bei.

Da bei dieser Installation die Leitung zum Wärmerezeuger wesentlich länger ist, sollte die Aufladeanzahl des Speichers zur Minimierung der Wärmeverluste durch Aufwärmen der Leitung auf das nötigste reduziert werden.



- Kurze Ausstossleitungen
- Kurze Ausstosszeiten
- Reduzierter Wasserverbrauch
- Nutzung der Wärmeverluste für Raumheizung

Abbildung 9: Im Wohnbereich aufgestellter Warmwasserspeicher zur Verkürzung der Ausstosszeiten.

Für Wärmepumpenboiler soll auf Grund des Wärmeklaus auf eine Aufstellung im beheizten Raum verzichtet werden.

Auch im MFH werden vermehrt dezentrale Systeme zur Warmwasserbereitstellung mittels WP eingesetzt. Je nach System wird dabei die Wärme aus dem Heizungsrücklauf, einem Anergienetz oder der Abluft gewonnen. Sowohl aus hygienischen Gründen als auch im Hinblick auf die Energieeffizienz sind einige dieser Systeme durchaus interessant.

7. Ladestrategien mit Wärmepumpen

7.1 Ladeanforderung

7.1.1 Hysterese

Die Anforderung zur Nacherwärmung des Warmwassers erfolgt bei Einfühler-Systemen aufgrund einer Temperaturdifferenz zwischen Soll- und Ist-Warmwassertemperatur. Diese Differenz wird als Hysterese bezeichnet. Die gemessene Temperatur des vorgehaltenen Warmwassers wird stark von der Platzierung und Anbringung des Temperaturfühlers bestimmt. Des Weiteren hat das Schichtverhalten im Speicher einen grossen Einfluss. Die Ein-Fühler Regelung funktioniert prinzipiell nicht bei einem System welches eine sehr gut schichtende «Schichtladung» durchführt.

Manche Regler bieten auch die Einstellung für unterschiedliche Hysteresen, z.B: zwischen Tag und Nacht oder bei einer Solarthermieanlage in Verbindung mit einer Wettervorhersage. Dadurch kann eine frühzeitige Nachladung in den Morgenstunden verzögert werden und die Nachladung erfolgt dann durch die Solaranlage. Eine zusätzlich optimierte Ladung kann mittels Zweifühler-Regelung erfolgen. Der obere Fühler im Speicher löste die Aufladeanforderung aus, ist der komplette Speicher bis ins untere Drittel durchgeladen, beendet der untere Fühler oder ein Fühler im Rücklauf der WP die Aufladung. Für eine optimierte Speicherbewirtschaftung, beispielsweise durch einen Eigenverbrauch-Energiemanager, sind zwei Fühler geeigneter.

7.1.2 Ladezeitfenster und Tageszeit

Die Nachladung kann zusätzlich zur eingestellten Hysterese durch ein Zeitfenster gesperrt bzw. freigegeben werden. Durch ein Sperren der Nachladung wird analog zu einer vergrösserten Hysterese der Speicher weiter abgekühlt. Der Wärmeerzeuger zur Nachladung wird erst zu einer günstigeren Zeit freigegeben, z.B.: bei Nachtstromtarif, bei vorhandenem PV-Stromangebot, höherer Luftausstemperatur für Luft/Wasser-Wärmepumpen, etc. Insbesondere bei Luft/Wasser-Wärmepumpen ist die Effizienz der Warmwasserbereitung in den frühen Morgenstunden durch die kälteste Tagestemperatur am geringsten. Zudem können bei Frosttemperaturen zusätzliche Abtauungen nötig sein, welche zur Mittagszeit mit wesentlich höheren Temperaturen nicht mehr auftreten. Eine einfache Einstellung über die Zeitschaltuhr kann hier einen grossen Teil des Potentials nutzen.

Im folgenden Beispiel sieht man, dass die Aufladung direkt nach dem Mittag dazu führt, dass die Aussen-temperatur gut 10 K höher liegt als bei einer Aufladung in der Nacht. Dies entspricht einem Effizienzvorteil von ca. 25%.

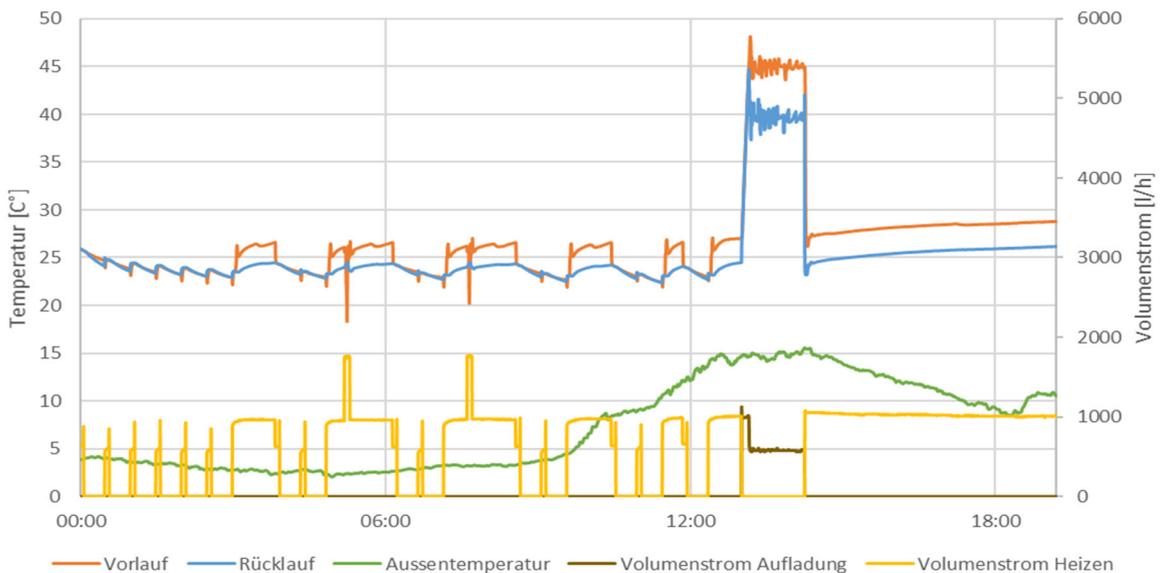


Abbildung 10: Warmwasseraufladung nach der Mittagszeit: optimal im Hinblick auf PV-Eigenstromnutzung und Aussentemperatur.

7.1.3 Absenzen, leerstehende Wohnungen und Ferienwohnungen

Bei kurzer Abwesenheit von ca. bis ein Monat empfehlen wir keine Änderungen bei der Regelung der Trinkwassererwärmung vorzunehmen. Bei darüber hinaus länger andauernden Abwesenheiten kann das System abgeschaltet werden. Ein Abschalten ist jedoch abweichend zur SVGW Empfehlung. Generell sollte das stehende Leitungswasser nach längerem Nichtgebrauch vor der Verwendung gründlich gespült werden, siehe Kapitel 5 Stagnation. Bei sehr langer Nichtbenutzung kann nach der Wiederinbetriebnahme (idealerweise vor dem ersten Gebrauch) auch eine Probenahme zur Legionellenuntersuchung in Betracht gezogen werden.

7.2 Drehzahlregulierte Inverter-Wärmepumpen / Einfluss Ladeleistung

Die Wärmeleistung von modernen Inverter-Wärmepumpen kann mittels Anpassung der Verdichterdrehzahl im Rahmen des Modulationsbereiches angepasst werden. Diese Regelung ist insbesondere bei Luft/Wasser-Wärmepumpen von grosser Bedeutung. Durch die grossen Temperaturunterschiede der Ausenluft zwischen Winter und Sommer resultiert ein bedeutender Leistungsunterschied der Wärmepumpe bei nicht angepasster Drehzahl. Dies wird in folgender Abbildung bei der Feldmessanlage 16 (Quelle: BFE Wärmepumpen Feldmessungen durch das WPZ) deutlich. Im Sommer ist sowohl die Leistung des Verdichters als auch die thermische Aufladeleistung um fast 50% höher als im Winter, da die Drehzahl nicht reduziert wird. Durch die höhere Leistung und die unveränderte Fläche des Wärmeübertragers (Registerfläche oder Fläche Plattenwärmeübertrager) stellt sich eine höhere Vorlauftemperatur auf der Primärseite der Wärmepumpe ein. Bei Anlage 16 ist diese im Sommer um 7.8 K erhöht mit der Konsequenz einer deutlich tieferen Effizienz, da bei Wärmepumpen der COP um ca. 2-3% je Kelvin Temperaturhub abnimmt.

Im Vergleich dazu wird bei Anlage 3 im Sommer die Leistung auf ca 50% zurückgeregelt, was zu einer signifikant besseren Effizienz führt. Da die Dauer der Aufladung im Sommer typischerweise unkritisch ist, ist die Reduktion der Leistung bei Aussentemperaturen über 5°C zu empfehlen. Je nach Anlagendimensionierung kann dies natürlich auch schon bei tieferen Aussentemperaturen (z.B: 0°C) erfolgen, da bei höheren Aussentemperaturen die Wärmepumpenleistung steigt und der Wärmebedarf für die Gebäudeheizung sinkt.

Generell sollte bei leistungsmodulierenden Wärmepumpen die Aufladung bei maximal mittlerer Drehzahl durchgeführt werden, um eine hohe Effizienz zu erreichen. Nur bei einem sehr hohen Warmwasserbedarf sollte die Regelung eine höhere Ladeleistung anfordern.

Anlage	Sommer/Winter		Temp. Unterschied Sommer-Winter	Januar 2021			Juni 2021		
	P_elek.	P_therm.		P_elek.	P_therm.	T_VL_AL	P_elek.	P_therm.	T_VL_AL
	[%]	[%]	[K]	[W]	[W]	[°C]	[W]	[W]	[°C]
3	51%	79%	-0.67	4607	11790	50.07	2333	9272	49.40
16	148%	146%	7.83	3544	10398	45.07	5238	15186	52.90

Abbildung11: Verbesserung der Effizienz durch Leistungsreduktion bei der Aufladung (Quelle: BFE Wärmepumpen Feldmessungen WPZ)

7.3 Nachwärmung mittels Heizstab

Wird die Einsatzgrenze der Wärmepumpe erreicht, ohne dass damit die aus Hygienegründen erforderliche Soll-Temperatur erreicht wird, so wird bei vielen Anlagen bis zum gewünschten Temperaturniveau im Warmwasserspeicher mit einem Heizstab elektrisch nachgeheizt. Bei sehr hartem Trinkwasser bietet der Heizstab in der Wärmepumpe eine geringere Verkalkungsanfälligkeit, da hier die sehr heissen Heizelemente keinen direkten Kontakt mit dem Trinkwasser aufweisen. Die Wärmeverluste über die Aufladeleitung ist in der Regel gering, solange der Warmwasserspeicher in der Nähe der Wärmepumpe aufgestellt ist und die Warmwasserregelung gut eingestellt ist.

Für eine permanente Nachheizung mittels eingebautem Heizstab ist dieser im oberen Drittel/Hälfte zu platzieren. «Notheizstäbe» ganz unten laden den gesamten Speicher und die WP kann damit deutlich weniger arbeiten, die Effizienz der Anlage sinkt entsprechend.

Wichtig ist die korrekte Ansteuerung des Heizstabes. Dieser ist erst nach vorheriger Erwärmung des Speichers mit der Wärmepumpe freizuschalten. Eine zeitliche externe Ansteuerung führt zu deutlichen Effizienzeinbussen, da hierbei der Heizstab oft ohne die Vorwärmung durch die Wärmepumpe deutlich länger läuft. Ausserdem ist zu beachten, dass nach SIA 385/1 keine Legionellenschaltung mehr empfohlen wird. Es wird gemäss SIA-Norm 385/1:2020 Kapitel 3.2.5.3 jedoch gefordert, ein anerkanntes präventives Verfahren für die Einhaltung der Trinkwasserhygiene einzusetzen, wenn Teile der Warmwasserverteilung nicht auf die empfohlenen Temperaturen, sondern grundsätzlich auf tiefere Temperaturen ausgelegt sind. Hier gibt es noch Klärungsbedarf, welche Verfahren optimalerweise eingesetzt werden, da die periodische Temperaturerhöhung umstritten ist. Dasselbe gilt auch für Wärmetauscher oder andere Teile der Warmwasserverteilung, wenn die Solltemperaturen regelmässig nicht erreicht werden.

- 0 kWh Strombedarf Heizstab
- 0% elektrische Aufladung
- **51.8 °C** Warmwasser-Temperatur
- WNG: 3.11
- 612 kWh Strombedarf Heizstab
- 56% elektrische Aufladung, tägliches Legionellenprogramm
- **53.1 °C** Warmwasser-Temperatur
- WNG: 1.74

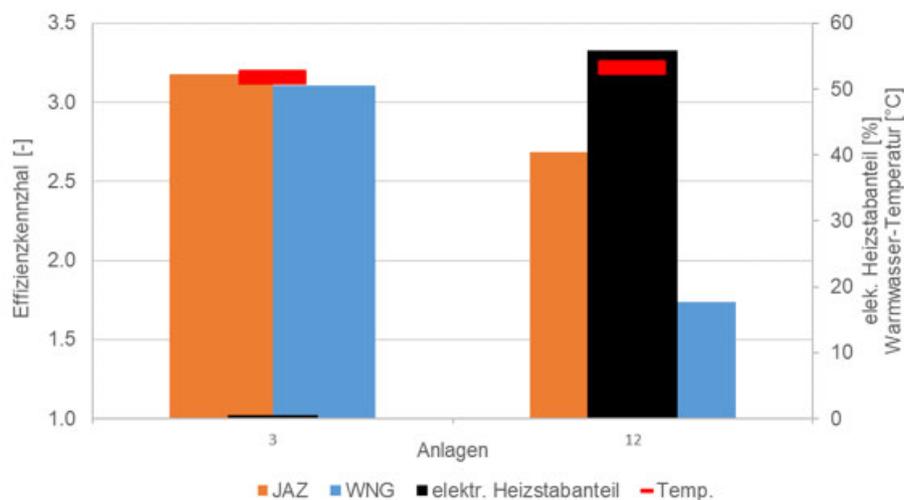


Abbildung12: Vergleich der Effizienz zweier ähnlicher Anlagen. Links: Heizstab wird durch die WP angesteuert, rechts, Heizstab wird unabhängig von der WP angesteuert. (Quelle: BFE Wärmepumpen Feldmessungen durch das WPZ)

7.4 PV-Eigenstrom

Über Wärmepumpen kann lokal generierte Photovoltaikenergie forciert selbst verbraucht werden für die Bereitstellung von Warmwasser und/oder Raumheizung. Publikationen zu diesem Thema sind zum Beispiel:

- CombiVolt (BFE Programm Wärmepumpen)
- PV-Eigenverbrauch - Optimierung mit Wärmeerzeugung (EnergieSchweiz, in Ausarbeitung)
- <https://www.energieschweiz.ch/gebaeude/eigenverbrauch>
- Leitfaden Eigenverbrauch, EnergieSchweiz, Juli 2021
- Wärmepumpen und PV - Planungsgrundlagen für Wohnbauten (EFH und MFH), EnergieSchweiz, Oktober 2021
- MINERGIE WISSEN: Kühlen mit PV - Optionale Haustechnik für das Minergie-Gebäude, (https://www.minergie.ch/media/minergie_kuehlung_d.pdf)

Die einfachste Möglichkeit, um den Eigenverbrauch über Wärmepumpen welche zur Warmwasserbereitung eingesetzt werden zu erhöhen, ist die Verschiebung des Ladefensters auf die Zeit kurz nach Mittag. Idealerweise wird zusätzlich berücksichtigt, ob an diesem Tag überhaupt PV-Strom verfügbar ist. Bei dieser Art der Erhöhung des Eigenverbrauchs muss der Speicher nicht grösser dimensioniert werden, er sollte jedoch nach einmaliger Ladung einen Tagesbedarf zur Verfügung stellen können. Bei überdimensionierten Speichern überwiegen die zusätzlichen Wärmeverluste die Vorteile der PV-Eigenstromoptimierung.

Ein zusätzliches Heizen mit einem Elektroheizstab sollte nur dann erfolgen, wenn die Wärmepumpe alleine nicht in der Lage ist, die erforderliche Temperatur gemäss SIA 385/1 zu erreichen. In diesen Fällen ist es aus Effizienzgründen wichtig, dass der Heizstab erst dann eingeschaltet wird, wenn die Wärmepumpe ihre Ladung beendet hat.

Kombinationen aus Produkten verschiedener Hersteller führen häufig zu Fehlfunktionen. Als Kommunikationsschnittstellen wurde SG Ready vom Bundesverband Wärmepumpen e.V. geschaffen und eingeführt, der jedoch noch nicht einheitlich angewendet wird. Weitergehende Möglichkeiten für die Erhöhung des Eigenverbrauchs definiert der Schweizer Verein Smart Grid. Hier wird auch die Möglichkeit der Leistungsmodulation sowie Rückmeldungen der WP an den zentralen Regler definiert. Ansteuerungen, die eine Überhöhung der Warmwassertemperatur nur mittels Heizstab umsetzen, sind nicht zu empfehlen.

Wärmepumpen können den Speicher nur bis zur Temperatur heizen, bei welcher die maximale Vorlauf-temperatur der Wärmepumpe während der Beladung erreicht wird. Für Luft-Wasser Wärmepumpe ist die maximale Vorlauf-temperatur oft im Bereich von 58- 60 °C. Auf Grund der Grädigkeit des dazwischen liegenden Wärmetauschers wird im Trinkwarmwasserspeicher nach der Beladung dann oft nur knapp 55 °C erreicht. Falls an einem sonnigen Tag nach der Beladung bis auf diese Temperatur weiterhin Solarstrom vorhanden ist, besteht die Versuchung, mit einem Elektroheizstab den Speicher auf noch höhere Temperaturen zu laden. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass das Ergebnis für den Endkunden ein finanzielles Verlustgeschäft ist: Weil der Elektroheizstab an diesem Tag Wärme generiert, die in der Regel am nächsten Tag die Wärmepumpe hätte generieren können, wird mehr als dreimal so viel Strom benötigt. Dies führt dazu, dass vor allem die Einspeisung von PV-Strom ins Netz sinkt, nicht aber – oder nur geringfügig – der Bezug von Strom aus dem Netz. Die entgangene PV-Vergütung wird nicht durch entsprechende Minderkosten beim Stromnetzbezug kompensiert, und der Kunde zahlt drauf.

7.5 Regelung / Überwachung

Für einen effizienten Betrieb der Trinkwassererwärmung wird ein Monitoring sehr empfohlen. Einige Wärmepumpenhersteller bieten bereits einfache, integrierte Systeme. Mit diesen können z.B. mittels Webzugriff die Temperaturverläufe des Trinkwarmwassers, Effizienzkennzahlen, etc. betrachtet werden. Auch externe Monitoringkonzepte werden verbreitet angeboten (Bsp.: WP Cockpit des Kantons St. Gallen). Aber nicht nur zur Effizienzoptimierung, sondern auch zur Funktionssicherstellung ist ein Überwachungssystem sehr dienlich. Beispielsweise wies bei den Feldmessungen von Wärmepumpen durch das WPZ

der Elektroheizstab zur Nacherwärmung des Warmwassers bereits nach kurzer Betriebszeit durch starke Verkalkung einen Defekt auf. Dieser wäre ohne Monitoringsystems monatelang unentdeckt geblieben, da es keine Komforteinschränkungen gab. Es hätte aber zu einem erhöhten Strombedarf und somit höheren Stromkosten geführt.

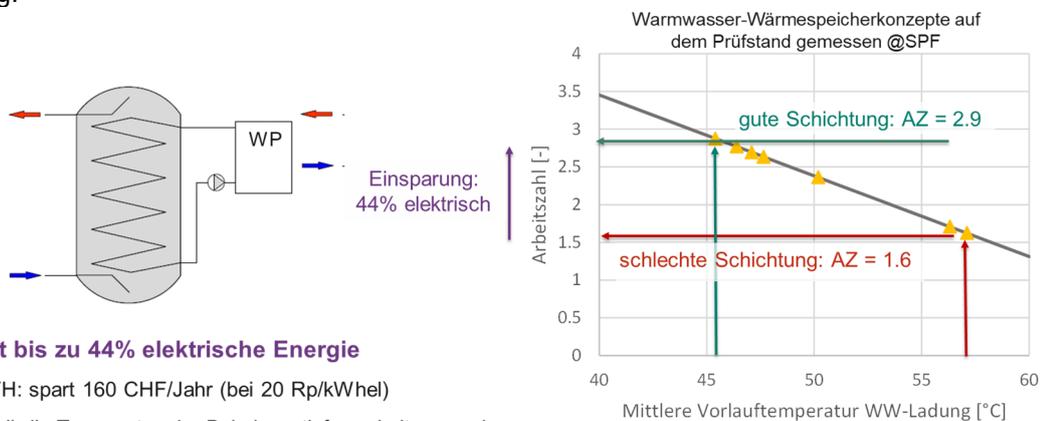


Abbildung13: Verkalkter Heizstab konnte auf Grund des Monitorings detektiert werden. (Quelle: BFE Wärmepumpen Feldmessungen durch das WPZ)

8. Die Rolle der Speicherschichtung

Von thermischer Speicherschichtung spricht man, wenn im Speicher verschiedene Temperaturbereiche bestehen, welche durch thermische Sprungschichten klar voneinander getrennt sind. Da warmes Wasser (oberhalb von 4 °C) leichter ist als kaltes, stellt sich eine gewisse thermische Schichtung automatisch ein. Thermisch gut schichtende Systeme nutzen die Speicherkapazität besser aus, und führen zu deutlich energieeffizienteren Lösungen. Die thermische Schichtung ist vor allem für Systeme mit Solarthermie und/oder Wärmepumpen Match-entscheidend. Thermische Schichtung führt zu einer Erhaltung der Exergie (hohe exergetische Effizienz) und zu geringer Entropieproduktion im Speicher.

In Kombination mit Wärmepumpen spielt die exergetische Effizienz der System-Integration und des Speichers eine deutlich grössere Rolle als die Wärmeverluste des Systems. Dies deshalb, weil exergetische Ineffizienz (= Entropieproduktion im System) immer durch höhere Temperaturen der Wärmeabgabe (Vorlauf Kondensator) der Wärmepumpe kompensiert werden. Eine Erhöhung der Vorlauf-Temperatur der Wärmepumpe um 10 K führt jedoch zu einer Zunahme der elektrischen Energieaufnahme des Kompressors um 20-30%. In dieser Grössenordnung nimmt auch die Effizienz des Systems zu, wenn anstatt eines schlecht schichtenden Speichers ein gut schichtender Speicher verwendet wird. Es ist jedoch nicht nur die Schichtung entscheidend für eine hohe exergetische Effizienz, sondern auch die hydraulische Integration und Regelung.



- **spart bis zu 44% elektrische Energie**
 - EFH: spart 160 CHF/Jahr (bei 20 Rp/kWhel)
 - weil die Temperatur der Beladung tiefer gehalten werden kann bei guter Schichtung, was der Arbeitszahl der Wärmepumpe zugute kommt:

Abbildung14: Einfluss der Schichtungseffizienz / exergetischen Effizienz verschiedener WW-Speichersysteme auf die Arbeitszahl des Speicher-Beladeprozesses: ein schlecht schichtendes System erreicht eine Arbeitszahl von 1.6, ein gut schichtendes eine Arbeitszahl von 2.9, was 44% weniger elektrische Energie benötigt zur Bereitstellung derselben Menge Warmwasser auf derselben End-Temperatur. Quelle: SPF.

Eine gute Speicherschichtung ist aus zwei Gründen vorteilhaft für die Hygiene:

- Bei guter Speicherschichtung liegt eine ausgeprägt scharfe Temperaturschicht vor (siehe Abbildung 14 links). Bei guter Schichtung zieht sich die Temperatursprungschicht über einen weniger grossen Höhenbereich des Speichers (Abbildung 14links), und damit erstreckt sich auch die Zone in welcher Legionellenwachstum möglich ist (Temperatur zwischen 25 und 45 °C) über einen geringeren Bereich des Speichers.
- Gute Schichtung, respektive schichtende Be- und Entladung, bedeutet, dass die Temperatursprungschicht bei der Beladung nach unten wandert, und bei der Entladung wieder nach oben. Dadurch befindet sich der temperaturkritische Speicherbereich nie lange auf derselben Höhe. Die Legionellenvermehrung findet hauptsächlich im Biofilm auf den Oberflächen statt. Diese Oberflächen sind jedoch ortsfest und wandern nicht mit der Sprungschicht. Deshalb gibt es in einem gut schichtenden Speicher keine Biofilme, welche über längere Zeit Legionellenwachstum ermöglichen könnten. Meist ist die Temperatur an einer ortsfesten Stelle entweder zu heiss, oder aber bereits wieder zu kalt für die Legionellen.

Mit Ausnahme der Kombispeicher welche in der Schweiz für das WPSM Systemmodul zertifiziert sind gibt es für Planer, Installateure und Endkunden praktisch keine Möglichkeit, beim Kauf eines Speichers dessen Schichtungseffizienz zu beurteilen. Man sieht es einem Speicher von aussen nicht an, ob er gut schichtet oder nicht, und es gibt mit der erwähnten Ausnahme keine Verpflichtung für die Hersteller, die Schichtungseffizienz nach einem normierten Verfahren messen zu lassen und auszuweisen. Diese fehlende Besteller-Kompetenz kann als ein ungelöstes Problem sowohl für die Energieeffizienz der Anlagen (auch bei WW-Speicher Einsparungen bis 30% der elektrischen Energie möglich, Sommer und Winter) als auch für die Hygiene (gut schichtende Speicher bieten weniger Möglichkeiten für Legionellenwachstum) bezeichnet werden.

Für diejenigen welche Speicher designen gibt es klare Empfehlungen (Gwerder u.a. 2016, www.spf.ch/bigstrat, www.spf.ch/diffstrat, www.spf.ch):

- Direkte Be- und Entladung haben das Potenzial, eine bessere Schichtung zu erreichen als interne Wärmeübertrager
- Dort wo das Fluid bei direkter Beladung in das Speichervolumen eintritt muss die Geschwindigkeit auf unter 0.1 m/s reduziert werden
- Empfohlen werden Prallplatten und Umlenkungen mit anschliessender Beruhigungsstrecke welche eine Länge von mindestens 6 x dem hydraulischen Durchmesser entspricht
- Für grosse Speicher kommen Bogenrohre in Frage, welche das Fluid in Richtung Klöpperboden oder -deckel einströmen lassen, in Kombination mit Lochblechen, welche den Einströmbereich vom Rest des Speichers trennen
- Horizontale Sprührohre sind nicht geeignet um eine gute Schichtung zu erreichen

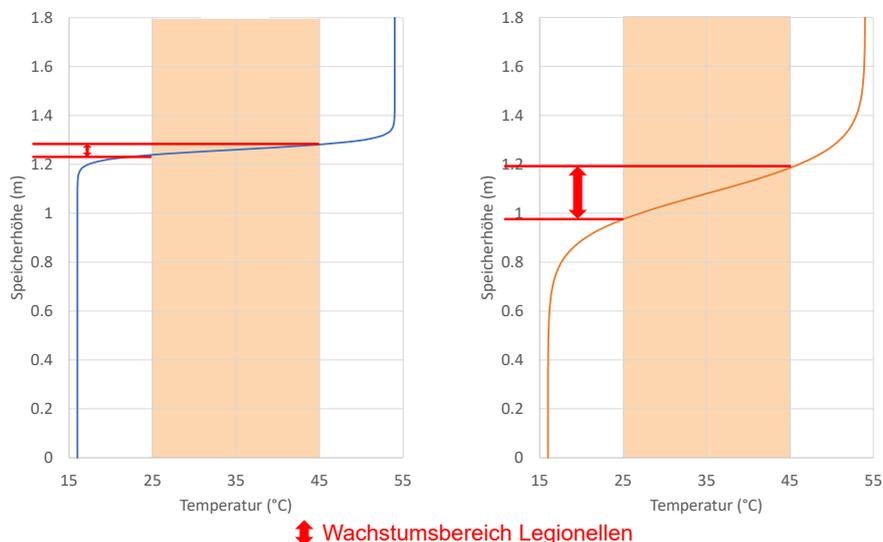


Abbildung 15: Sehr gut (links) und mittelmässig schichtender (rechts) Speicher während einer Be- oder Entladung: in einem gut schichtenden Speicher ist die Zone in welchem auf Grund der Temperaturen Legionellenwachstum möglich ist deutlich geringer. Bild: SPF.

Gwerder C, Lötscher L, Podhradsky J, Kaufmann M, Huggenberger A, Boller S, et al. Horizontal Inlets of Water Storage Tanks With Low Disturbance of Stratification. J Sol Energy Eng 2016;138:051008–051008. <https://doi.org/10.1115/1.4034228>.

9. Wärmeverluste in Speicher und Zirkulationsleitung

In der SIA 385/2 wird als Default-Wert für die Verluste warm gehaltener Leitungen mit 0.12 – 0.15 kWh pro m und pro Tag gerechnet. Diese Werte stimmen bei einer guten Umsetzung relativ gut überein mit in Feldstudien gemessenen Werten (Quelle: BFE Studie «Warmwasserbereitstellung mittels Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern» von B. Vetsch et al. 2012). Bei Speicher gibt es hingegen z.T. stark schwankende Verlustwerte wie die Feldmessungen an Wärmepumpen belegen (folgende Grafik). Gut zu erkennen ist, dass mit sinkendem Warmwasserbedarf relativ gesehen die Verlustwärme ansteigt. Der Gesamtenergiebedarf ist bei einer geringen Zapfmenge natürlich trotzdem entsprechend klein.

Objekt	Eigenschaften	TWW-Speicher [l]	TWW-Bedarf pro Tag [l/d]	Mittlere Wärmeverluste pro Tag [kWh/d]	Verlustwärme bezogen auf AL-Energie [%]
22	SW, Sa, d	925	527	-8.16	-27%
1	LW, NB, fix	388	261	-1.28	-10%
2	SW, NB, d		259	-8.99	-48%
3	LW, Sa, d	495	240	-1.51	-13%
5	LW, NB, fix	408	200	-2.44	-23%
10	SW, Sa, fix	495	181	-3.21	-26%
15	LW, Sa, d	300	156	-1.43	-24%
21	SW, Sa, d	362	153	-1.44	-21%
16	LW, Sa, d	476	134	-3.35	-38%
11	LW, Sa, d	423	113	-2.25	-31%
7	SW, Sa, fix	388	110	-3.12	-38%
20	LW, Sa, fix	388	98	-3.35	-45%
17	LW, Sa, d	344	96	-2.34	-38%
24	LW, Sa, d	372	89	-7.41	-70%
13	SW, Sa, d	362	83	-1.90	-34%
12	LW, Sa, d	344	55	-2.65	-51%
4	SW, Sa, d	276	11	-6.02	-95%

Abbildung 16: Speicherverluste bei Trinkwarmwasserspeichern (Quelle: Wärmepumpen Feldmessungen, WPZ)

Wie bereits erwähnt, wirkt sich eine Warmwasserzirkulation sehr negativ auf die Effizienz der Warmwassererzeugung aus, wie in der nachstehenden Grafik gut zu sehen ist. Selbst bei sehr hohen Wasserbezugswerten geht über 50% der Aufladeenergie verloren.

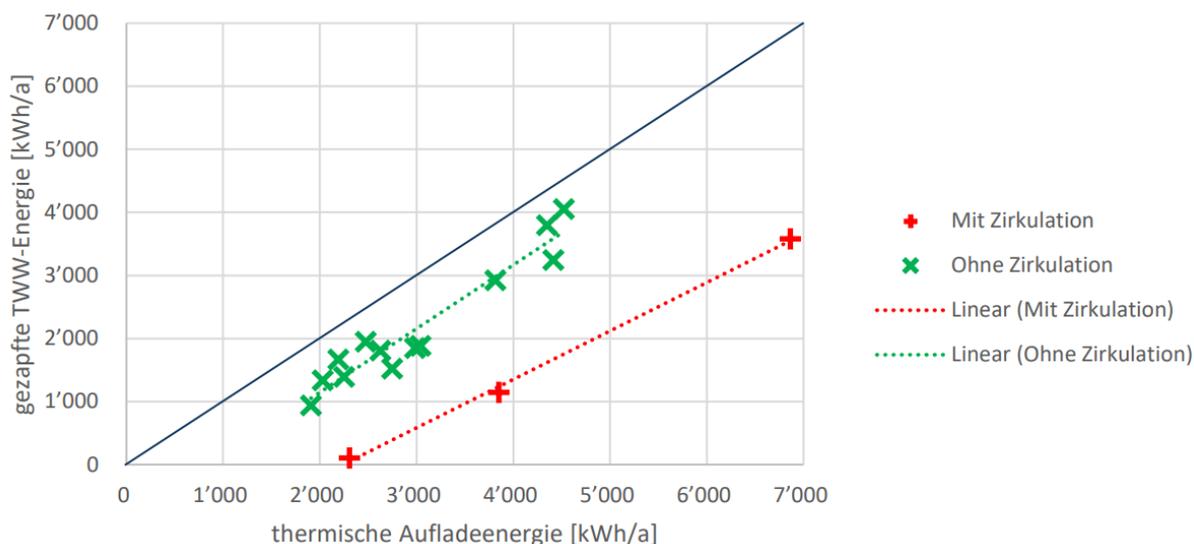


Abbildung 17: Effizienz der Warmwassererzeugung (Quelle: Wärmepumpen Feldmessungen, WPZ)

Die Gründe für hohe Wärmeverluste sind in vielen Fällen nicht einfach auffindbar. Folgende Punkte müssen jedoch für eine gute Anlage erfüllt sein.

- Gute und lückenlose Isolation des Speichers und aller warmgehaltenen Leitungen
- Möglichst geringe Anzahl an Anschlüssen am Speicher
- Thermosiphon in den Warmwasserleitungen (Ausnahme warmgehaltene Leitungen)
- Kurze Leitungen zwischen Wärmeerzeuger (Wärmepumpe) und Speicher

Neben einer guten Energieeffizienz führen diese Punkte auch zu einer verbesserten Hygiene, da das warme Wasser warm und das kalte Wasser kalt bleibt. Eine übermässige Erhöhung der Vorlauftemperatur bewirkt in der Praxis oft nicht die gewünschte Verbesserung der Hygiene, sondern kann im Nebeneffekt zu einer erhöhten Temperatur im Kaltwasser führen. Dies kann wiederum zu einem Hygiene-Risiko führen.

10. Weitere Punkte

Für effiziente und hygienisch einwandfreie System wäre es auch überlegenswert verstärkt auf in sich abgestimmte Gesamtsysteme (WP plus Speicher als Gesamtpaket) zu setzen. Vor allem im japanischen Markt sind solche Systeme weit verbreitet. Der grosse Vorteil dieser Systeme ist, dass sie im Labor optimal eingestellt werden können und bei einer optimalen Umsetzung alle Komponenten aufeinander abgestimmt sind. Zudem ist die Gesamtverantwortung für solche Systeme automatisch geklärt. Dies ist bei System aus mehreren einzelnen Komponenten oft nicht der Fall.

Studien haben gezeigt, dass Systeme, die Warmwassertemperaturen von 50°C am Ausstosspunkt nicht erreichen können, ein höheres Risiko eines Legionellenbefalls besitzen. Gleichzeitig soll die Kaltwassertemperatur unter 20°C liegen. Daraus lässt sich für Nutzer ein relativ einfacher Selbsttest ableiten. Sollten die Warm- und Kaltwassertemperaturen erreicht werden, dann besteht ein relativ geringes Risiko. Falls die Temperaturen nicht eingehalten werden können, empfiehlt es sich die Einstellungen an der Wärmepumpe zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Sollte dann die Temperaturen anschliessend immer noch nicht erreichbar sein, könnte auf Wunsch mit Hilfe eines Legionellentests Klarheit geschaffen werden.

11. Schlussfolgerungen und Fazit

In diesem Bericht wurde eine Übersicht gegeben über den Stand der Technik der Warmwasserbereitung mit Wärmepumpen. Insbesondere wurde auf verschiedene Speicherkonzepte sowie Be- und Entladestrategien eingegangen und die wichtigsten Erkenntnisse in Bezug auf Parameter welche Effizienz und Hygiene beeinflussen zusammengefasst.

Gewisse Charakteristiken der WP-Warmwassersysteme sind sowohl aus Sicht der Effizienz als auch aus Sicht der Hygiene vorteilhaft, und es besteht eine Konvergenz der Ziele (also kein Zielkonflikt). Sowohl für die Hygiene als auch für die Effizienz von Vorteil sind zum Beispiel:

- Kurze Ausstossleitungen und Verteilleitungen
- Wenn möglich (EFH, kleine MFH) genereller Verzicht auf warm gehaltene Verteilung
- Gute und lückenlose Wärmedämmung aller ständig warm gehaltenen Komponenten
- Siphonierung zwischen ständig warmen und kalten oder zwischenzeitlich auskühlenden Komponenten des Trinkwarmwassersystems
- Gut schichtende Speicherkonzepte sowie Be- und Entladung mit möglichst wenig Exergieverlusten (genügend grosse Wärmeübertragerflächen)
- Möglichst wenig Wärmeübertragung von Speicher und Warmwasserleitungen auf die Kaltwasserleitungen

Ein Zielkonflikt zwischen Hygiene und Energieeffizienz besteht nur in Bezug auf Temperaturen, welche auf Grund der Hygiene höher gefahren werden als dies allein aus Komfortgründen notwendig wäre.

Mangelnde Besteller-Kompetenz, respektive ein Mangel an zuverlässigen Informationen, besteht beim Schichtungsvermögen der Wärmespeicher (mit Ausnahme der für das WPSM zugelassenen Kombispeicher, die aber von den Mengen am Markt her nicht sehr relevant sind).