

Bericht «Messung der Effizienz der Trinkwasserer-  
wärmung bei Wärmepumpenanlagen im Feld»

Feldmessungen

Wärmepumpen-Anlagen 2015-2018

(Auswertung verlängert bis Dez. 2019)



**energie schweiz**

Unser Engagement: unsere Zukunft.

**Autoren**

Dr. Cordin Arpagaus, Interstaatliche Hochschule für Technik NTB

Matthias Berthold, Interstaatliche Hochschule für Technik NTB

Mick Eschmann, Interstaatliche Hochschule für Technik NTB

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.  
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

**Adresse**

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE  
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: 3003 Bern  
Infoline 0848 444 444. [www.energieschweiz.ch/beratung](http://www.energieschweiz.ch/beratung)  
[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch), [www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch)

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Projektziele .....</b>	<b>5</b>
2.1	Objektbeschreibungen .....	6
2.2	Systemgrenzen und Kennzahlen .....	9
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Auswertungen der Trinkwassererwärmung.....</b>	<b>11</b>
3.1	Vergleich der Effizienzkennzahlen.....	11
3.2	Trinkwarmwassernutzung .....	13
3.3	Legionellenschutzschaltung .....	18
3.4	Detailbetrachtungen der Trinkwarmwassererwärmung der Objekte 7 und 8 .....	23
3.4.1	Monatliche Darstellungen der wichtigsten Kennwerte .....	23
3.4.2	Tagesausschnitte der Objekte 7 und 8 .....	29
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerung.....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>36</b>
6.1	Methodik und Messequipment.....	36
6.2	Schemas der Anlagen.....	38

# 1 Zusammenfassung

Insgesamt werden in diesem Bericht neun Trinkwarmwassernutzungen von Wärmepumpen-Anlagen miteinander verglichen. Es handelt sich um 3 Luft/Wasser-, 5 Sole/Wasser-Wärmepumpen-Anlagen und eine Trinkwarmwasser-Wärmepumpe für Neubauten und Sanierungen. Davon sind 5 Wärmepumpen drehzahlreguliert.

Bei allen Anlagen werden verschiedene Kenndaten wie JAZ+ (Jahresarbeitszahl), WNG (Wärmenutzungsgrad für Aufladung), SNG (Systemnutzungsgrad für Trinkwarmwassernutzung), Leistungs-, Energie- und Temperaturwerte auf Tages-, Monats- und Jahresbasis<sup>1</sup> ausgewertet. Damit sind fundierte Aussagen und Analysen zum Auflade- und Nutzerverhalten der verschiedenen Objekte möglich.

Aus den Messdaten sind bekannte Erkenntnisse ersichtlich, wie z.B., dass die Aufladetemperatur einen grossen Einfluss auf die Gesamteffizienz hat. Aber auch interessante Erkenntnisse, wie, dass der Heizstab für die Legionellenschutzschaltung bis zu 42 % oder die Umwälzpumpen (Senke und Quelle) bis zu 9 % des gesamten Energieverbrauches ausmachen kann. Im Mittel schlägt der Elektroheizstab für die Legionellenschutzschaltung mit etwa 17 % des gesamten Energieverbrauchs zu buche.

Insgesamt konnten 2 Trinkwarmwassernutzungen über das gesamte Jahr 2017 ausgemessen werden. Die anderen 7 Anlagen wurden im Verlaufe des 1., 2. oder 3. Quartals des Berichtsjahrs in Betrieb genommen. Daher sind die Kenngrössen wie JAZ+, WNG oder SNG noch nicht auf alle Anlagen vergleichbar. Die Jahresarbeitszahl der beiden ausgemessenen Anlagen liegt bei 2.9 (Luft/Wasser) und 3.0 (Sole/Wasser). Der Wärmenutzungsgrad (mit Berücksichtigung aller Hilfsaggregate) wird bei beiden dieser Anlagen mit 2.9 angegeben. Der Systemnutzungsgrad (effektiv genutzte Wärme als Trinkwarmwasser) fällt bei der Luft/Wasser-Wärmepumpe auf 2.4 und bei der Sole/Wasser-Wärmepumpe sogar auf 1.6. Je kleiner das Verhältnis zwischen WNG und SNG ist, umso mehr Wärme wird «ungenutzt» (Wärmeverlust durch den Speicher) verpufft.

Im Mittel liegt die tägliche Trinkwarmwassermenge aller Anlagen zwischen 40 und 287 Liter. Dies entspricht einer Nutzungsenergie von 1.6 bis 11.1 kWh pro Tag. Im Vergleich zu der Prüfnorm EN 16147 entsprechen diese Energien den Zapfprofilen S bis L. Auf dem Prüfstand würden jedoch solche Anlagen mit den Zapfprofilen XL oder XXL vermessen, was einem deutlich höheren Trinkwarmwasserbedarf entspricht.

Spannend ist auch, dass die Legionellenschutzschaltung, bei denen diese aktiv ist (bei 4 Anlagen), durch eine Zeituhr angesteuert wird. Bei allen diesen Anlagen wird der Elektroheizstab aktiviert und nutzt den Verdichter nicht als «Vorheizung» des Trinkwarmwassers.

Vier weitere Wärmepumpen-Anlagen wurden zwar noch im 4. Quartal 2017 in Betrieb genommen, konnten jedoch für eine aussagekräftige Auswertung nicht für diesen Bericht herangezogen werden. Wegen der zeitlichen Verzögerung von Inbetriebnahmen und möglichen Messbeginn wurde entschieden, mit den Auswertungen erst im Januar 2018 zu beginnen. Das Projekt wurde jedoch bis Ende 2019 verlängert. Bis dann werden fundierte Datensätze vorliegen.

Bei jeder Wärmepumpenanlage ist ein Schaltschrank verbaut, in welchem eine SPS und Stromwandler für die Berechnung der Aufnahmeleistungen eingebaut ist. Ausserdem sind mehrere Durchflusszähler und Temperaturfühler bei jeder Anlage installiert, um die Abgabeleistungen zu messen und zu berechnen. Alle gemessenen und berechneten Daten werden in einer Datenbank auf einem Schweizer Server in einer Datenauflösung von 10 Sekunden gespeichert.

---

<sup>1</sup> Anmerkung: Viele Monats- und Jahresmittelwerte werden aus den Rohdaten des gesamten Zeitraumes ermittelt. Der Mittelwert der einzelnen Tages- bzw. Monatswerte kann von diesen Datenbank-Werten erheblich abweichen, da hier die entsprechende Betriebsgewichtung wegfällt (Bsp.: 103\_Tavg\_Saus\_Heizen: Mittlere Temperatur Senke Austritt, während des Heizbetriebes [Bit\_7 = 1 & Bit\_4 = 0] – der tägliche Zeitanteil des Heizens ist aber in den Wintermonaten deutlich höher als in der restlichen Zeit -> Bei einer Mittelung der einzelnen Tageswerte würde diese betriebliche Gewichtung aber nicht berücksichtigt werden.

## 2 Projektziele

Die Effizienz von Wärmepumpen reagiert sensibel auf die Einbindung in das Heizsystem sowie die Einstellungen des Wärmepumpenreglers. Dies wurde bereits in der langjährigen Feldmess-Kampagne «FAWA» und in den Nachfolgeprojekten festgestellt. Der im Projekt FAWA erarbeitete, signifikante Datenschatz besteht aus Handablesungen und einigen Datenlogger-Messungen. Viele der heute gültigen Design- und Installations-Richtlinien sind basierend auf diesen Auswertungen entstanden.

Durch die technologische Weiterentwicklung und Digitalisierung ist es heute möglich, WP-Feldmessungen zu automatisieren, und hochauflösende Datenreihen einer Vielzahl von Sensoren zu erfassen. Basierend auf diesen qualitativ hochwertigen Datenreihen ist es möglich Aussagen zu treffen, die mit Handablesungen nicht möglich waren. Solche Aussagen sind:

- Anlaufverhalten
- Aufladeverhalten
- Verhalten der Legionellenschutzschaltung
- Taktverhalten
- Nutzerverhalten (Trinkwarmwassernutzung)
- Detaillierte Aufschlüsselung nach unterschiedlichen Nutzungsgraden
- Messung an den unterschiedlichen Systemgrenzen
- Einfluss der Nebenaggregate auf die Effizienz (Umwälzpumpe, Heizstäbe, usw.)

Spezifische Ziele des Projekts «WP Trinkwassererwärmung» sind somit die automatisierte, zeitlich hochauflösende Erfassung von Wärmepumpen-Anlagen im Feld und die Analyse der Messergebnisse. Für einen Vergleich sollen geeignete Kennzahlen ermittelt und publiziert werden.

Nach einem Auswertzeitraum von 2 Jahren (pro Anlage) sollen mögliche Optimierungspotentiale identifiziert und soweit möglich in den bestehenden Anlagen umgesetzt werden. Mit den Daten des dritten Messjahres werden die Auswirkungen der Massnahmen dann überprüft und dokumentiert.

Aufgenommen werden nur neue Wärmepumpenanlagen, welche in einem Einfamilienhaus (Neubau oder Sanierung) installiert wurden. Bestandsanlagen können nicht teilnehmen, da die Wärmepumpen vor der Installation am Wärmepumpen-Testzentrum WPZ in Buchs SG ausgemessen und das Messequipment der Feldmessung entsprechend kalibriert wird. Diese Vorgangsweise hat auch den Vorteil, dass der Performance-Unterschied zwischen Wärmepumpen, die in Normmessungen am WPZ geprüft werden und den tatsächlich ausgelieferten Wärmepumpen bestimmt werden kann.

## 2.1 Objektbeschreibungen

Derzeit werden 13 Anlagen gemessen. In diesem Bericht werden 9 Anlagen dargestellt, da für erste, relevante Aussagen eine Datenmenge von mindestens 120 Tagen benötigt wird. Bei den restlichen vier Anlagen ist die Messdauer unter 45 Tagen, weshalb keine gesicherten Aussagen möglich sind. Bei den zwei Anlagen, welche ab dem Sommer 2016 in Betrieb sind, wurde ein Objekt im Dezember 2016 bezogen. Aufgrund der geringen Datenlage des Jahres 2016 fokussiert dieser Bericht bei allen Objekten auf die Ergebnisse von 2017.

Bei den getroffenen Aussagen für das Jahr 2017 ist zu beachten, dass nur bei 2 Anlagen (Objekt 2 und Objekt 3) die Auswertedauer von einem vollen Kalenderjahr erreicht wurde.

Dargestellt werden im Folgenden 4 Luft/Wasser- und 5 Sole/Wasser-Wärmepumpen. Verbaut wurden die Wärmepumpen in 3 Neubauten und in 6 Sanierungsobjekten. Fünf Wärmepumpen verwenden drehzahlregelte Kompressoren. Das Objekt 8 hat zusätzlich eine eigene Brauchwarmwasser-Wärmepumpe, das Objekt 6 eine Solarthermie Anlage. Bei drei Wärmepumpen ist der Kühlbetrieb aktiviert.

Tabelle 1 zeigt eine Kurzübersicht über die untersuchten Anlagen. Detaillierte Anlagenschemas sind im Anhang ersichtlich.

Tabelle 1: Kurzbeschreibung der Objekte

Objektnummer	Beginn der Messung	Luft / Wasser WP	Sole / Wasser WP	Neubau	Sanierung	Drehzahl-Regelung	Kühlung aktiviert	Anmerkungen:
1	11.05.2017	X		X				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warmwasserladung erfolgt mit Umschaltventil</li> <li>• Die Wärmeabgabe in den Trinkwasserpeicher erfolgt über innenliegenden Rohrbündeltauscher</li> </ul>
2	01.08.2016		X	X		X	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objekt wurde erst im Dez. 2016 bezogen.</li> <li>• Warmwasserladung erfolgt mit Umschaltventil</li> <li>• Die Wärmeabgabe in den Trinkwasserpeicher erfolgt über innenliegenden Rohrbündeltauscher</li> </ul>
3	01.07.2016	X			X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warmwasserladung erfolgt mit Umschaltventil</li> <li>• Die Wärmeabgabe in den Trinkwasserpeicher erfolgt über innenliegenden Rohrbündeltauscher</li> </ul>

Objektnummer	Beginn der Messung	Luft / Wasser WP	Sole / Wasser WP	Neubau	Sanierung	Drehzahl-Regelung	Kühlung aktiviert	Anmerkungen:
4	01.07.2017		X		X			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmepumpensystemmodul</li> <li>• Mit Schwerkraft-Zirkulation</li> <li>• Warmwasserladung erfolgt mit Umschaltventil</li> <li>• Die Wärmeabgabe in den Trinkwasserpeicher erfolgt über innenliegenden Rohrbündeltauscher</li> </ul>
6	01.08.2017		X		X	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solarthermie Unterstützung für Heizen und Trinkwassererwärmung</li> <li>• Warmwasserladung erfolgt mit Umschaltventil</li> <li>• Die Wärmeabgabe in den Trinkwasserpeicher erfolgt über innenliegenden Rohrbündeltauscher</li> <li>• Heizstab des Trinkwarmwasserspeicher jeden Samstag für 1 bis 2 h in Betrieb (Der Elektroheizstab wird über eine Zeituhr eingeschaltet. Auffallend ist, dass der Elektroeingang 2mal hintereinander einschaltet)</li> </ul>
7	12.01.2017		X		X			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warmwasserladung erfolgt mit Umschaltventil</li> <li>• Die Wärmeabgabe in den Trinkwasserpeicher erfolgt über innenliegenden Rohrbündeltauscher</li> <li>• Heizstab des Trinkwarmwasserspeicher jeden Samstag für 0.5 bis 1 h in Betrieb (Der Elektroheizstab wird über eine Zeituhr eingeschaltet. Auffallend ist, dass der Elektroeingang 2mal hintereinander einschaltet)</li> </ul>
8	12.01.2017	X		X				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eigene Trinkwarmwasser-Wärmepumpe</li> </ul>

Objektnummer	Beginn der Messung	Luft / Wasser WP	Sole / Wasser WP	Neubau	Sanierung	Drehzahl-Regelung	Kühlung aktiviert	Anmerkungen:
11	01.08.2017	X			X	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warmwasserladung erfolgt mit Umschaltventil</li> <li>• Die Wärmeabgabe in den Trinkwasserpeicher erfolgt über innenliegenden Rohrbündeltauscher</li> <li>• Heizstab des Trinkwarmwasserspeicher jeden Montag ab dem 13.11.2017 für ca. 1h in Betrieb (Der Elektroheizstab wird über eine Zeituhr eingeschaltet. Vor dem 13.11.2017 wurde keine Legionellen-Schaltung gemessen)</li> </ul>
13	01.08.2017		X		X		X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warmwasserladung erfolgt mit Umschaltventil</li> <li>• Die Wärmeabgabe in den Trinkwasserpeicher erfolgt über innenliegenden Rohrbündeltauscher</li> <li>• Heizstab des Trinkwarmwasserspeicher jeden Freitag für ca. 0.3 h in Betrieb (Der Elektroheizstab wird über eine Zeituhr eingeschaltet)</li> <li>• Mit Zirkulation (jedoch ausgeschaltet)</li> </ul>

Es ist auffallend, dass die Trinkwasserheizstäbe der Objekte 6, 7, 11 und 13 über eine Zeituhr eingeschaltet werden. Bei all diesen Objekten muss die Aufladung nicht zwingend über die Wärmepumpe selbst gestartet werden.



## 2.2 Systemgrenzen und Kennzahlen

In Analogie zum Beschrieb und den Anwendungshinweisen der verschiedenen Nutzungsgrade des BFE (siehe [2]) werden folgende Kennzahlen pro Wärmepumpenanlage dargestellt. Die Systemgrenzen sind in der Abbildung 1 illustriert. Aufgelistet werden hier nur die in den Abbildungen dargestellten Kennzahlen. Ausserdem beziehen sich die Kennzahlen nur auf die Trinkwassererwärmung.

Die Jahresarbeitszahl  $JAZ_{\text{Aufladung}}$ , der Wärmenutzungsgrad  $WNG_{\text{Aufladung}}$  und der Systemnutzungsgrad  $SNG_{\text{TWW}}$  werden mit folgenden Formeln ermittelt:

$$JAZ_{\text{Aufladung}} = Q_{\text{Aufladung}} / (E_{\text{Aufladung}} - E_{\text{UP\_Senke}} - E_{\text{ext\_HS}})$$

$$WNG_{\text{Aufladung}} = Q_{\text{Aufladung}} / E_{\text{Aufladung}}$$

$$SNG_{\text{TWW}} = Q_{\text{TWW}} / E_{\text{Aufladung}}$$

Um den Einfluss der «Trinkwarmwassernutzung» einzustufen zu können, wird noch der Trinkwasserwärmebedarf  $TWWB$  pro Gebäude ermittelt und dargestellt:

$$TWWB = (Q_{\text{Aufladung}}) / EBF$$

$$\eta_{\text{TWW}} = Q_{\text{TWW}} / Q_{\text{Aufladung}}$$

Mit:

$Q_{\text{Aufladung}}$	Thermische Energie im Aufladebetrieb [kWh]
$Q_{\text{TWW}}$	Thermische Energie der Trinkwarmwassernutzung [kWh]
$E_{\text{Aufladung}}$	Elektrische Energie des gesamten Wärmepumpensystems während der Aufladung [kWh]
$E_{\text{UP\_Senke}}$	Elektrische Energie der Umwälzpumpe Senke während der Aufladung [kWh]
$E_{\text{ext\_HS}}$	Elektrische Energie der externen Heizstäbe [kWh]
$TWWB$	Trinkwasserwärmebedarf [kWh/m <sup>2</sup> ]
$EBF$	Energiebezugsfläche [m <sup>2</sup> ]
$\eta_{\text{TWW}}$	Wirkungsgrad der Trinkwarmwassernutzung [-]

Die Systemgrenzen sind in Abbildung 1 dargestellt. Es ist zu beachten, dass nur die Trinkwassernutzung in diesem Bericht berücksichtigt wird.

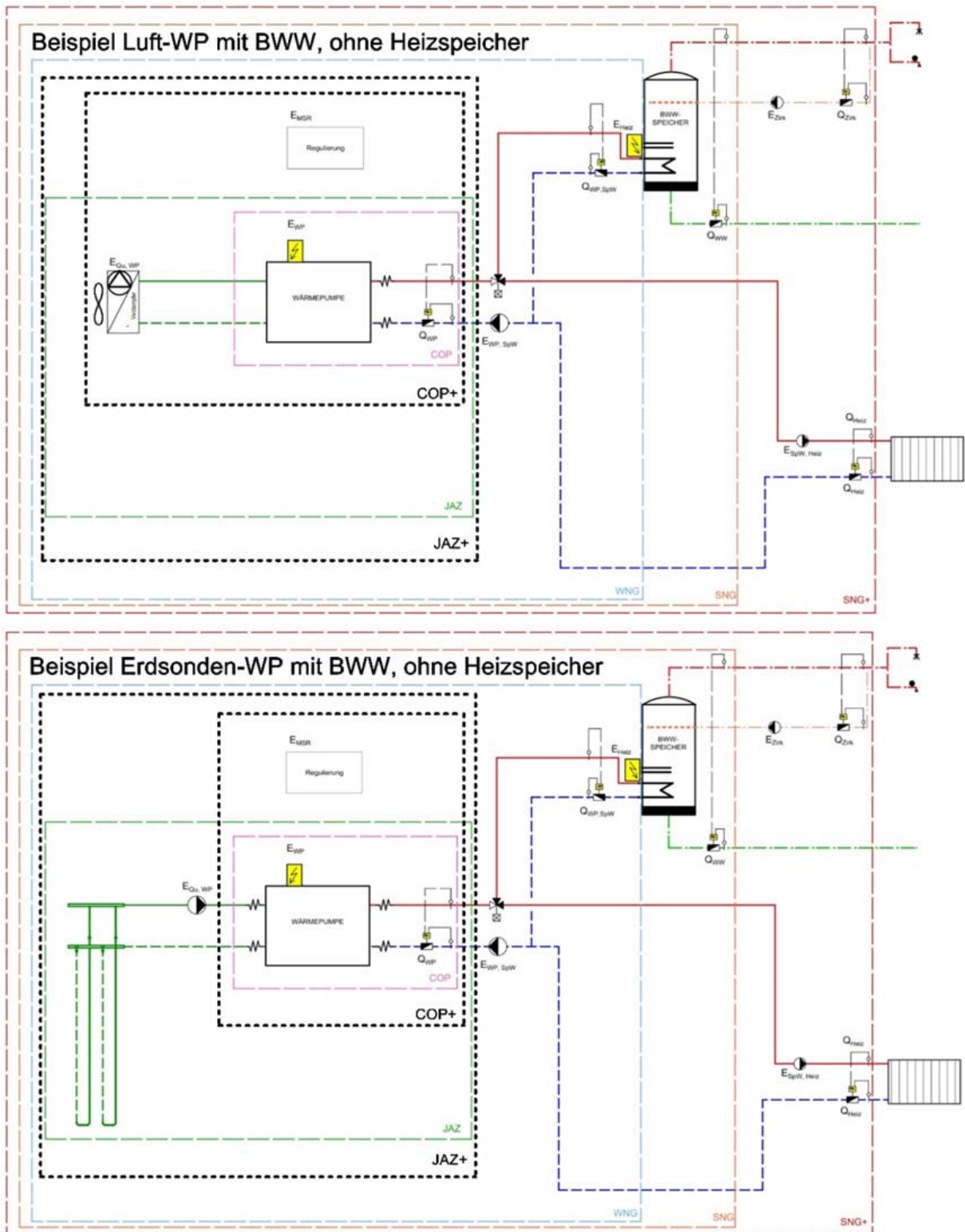


Abbildung 1: Systemgrenzen gemäss BFE für Luft- und Erdsonden-WP mit BWW, ohne Heizspeicher. Zu beachten sind insbesondere die Systemgrenzen zur Berechnung des COP+ und JAZ+. Bei der JAZ+ wird die Steuerung und der Bedarf der Quellen-Umwälzpumpe miteinbezogen.

### 3 Ergebnisse und Auswertungen der Trinkwassererwärmung

In diesem Kapitel wird die Trinkwassererwärmung der Wärmepumpen-Anlagen miteinander verglichen. Nebst der allgemeinen Effizienz der Trinkwassererwärmung wird auch unter anderem auf den Effizienzeinfluss der Legionellenschutzschaltung und des Speicherverlustes (z.B. Überdimensionierung) eingegangen.

Auf folgende Themen wird in diesem Kapitel in der aufgeführten Reihenfolge eingegangen:

- Allgemeine Trinkwarmwassereffizienz
- Trinkwarmwassernutzung
- Legionellenschutzschaltung
- Detailbetrachtung zweier Anlagen monatlich und täglich

#### 3.1 Vergleich der Effizienzkennzahlen

In Abbildung 2 werden die drei Effizienzkennwerte der gemessenen Anlagen für das Jahr 2017 dargestellt. Die Objekte 2 und 3 wurden bereits 2016 in Betrieb genommen. Die restlichen Anlagen gingen während des Jahres 2017 in Betrieb. Dementsprechend haben diese Objekte unterschiedliche Auswerteziträume. In diesem Bericht werden jene Objekte dargestellt, welche schon mindestens 120 Tage in Betrieb sind. Ab 2018 wird eine wesentlich breitere Datenbasis vorhanden sein.

Die Jahresarbeitszahl  $JAZ^{+Aufladung}$  und der Wärmenutzungsgrad  $WNG_{Aufladung}$  beziehen sich auf die Effizienz der Aufladung. Demgegenüber steht der Systemnutzungsgrad  $SNG_{Aufladung}$ , der die Trinkwarmwassernutzung in der Effizienzkennzahl mitberücksichtigt.

Luft/Wasser-Wärmepumpen werden im Bericht mit LW abgekürzt, Erdsonden-Wärmepumpen (oder Sole/Wasser-Wärmepumpen) mit SW. Für eine eindeutige Zuordnung werden anschliessend die internen Objekt-ID in Klammern angegeben (Bsp.: LW(11) ist die Luft/Wasser-Wärmepumpe des Objektes 11). Ausserdem ist unter dem Kürzel noch die Art des Heizungssystems erwähnt (S = Sanierung, N = Neubau, d = drehzahlregulierte Wärmepumpe und TWWP = Trinkwarmwasser-Wärmepumpe).

In den Grafiken werden die Systeme zuerst entsprechend der Wärmequelle gruppiert (zuerst Luft/Wasser-, dann Sole/Wasser-Wärmepumpen) und dann entsprechend der Jahresarbeitszahlen  $JAZ^{+}$  aufsteigend gereiht.

Die Jahresarbeitszahlen  $JAZ^{+}$  für die Trinkwassererwärmung liegen bei den untersuchten Anlagen zwischen 2.3 und 3.5. Bei genauer Betrachtung der unterschiedlichen Systemgrenzen fällt auf, dass die Wärmenutzungsgrade  $WNG$  im Schnitt rund 11.1 % (1.6 bis 23.9 %) niedriger liegen als die Jahresarbeitszahlen  $JAZ^{+}$ . Dieser Unterschied kommt zustande, weil in der  $JAZ^{+}$  der energetische Anteil des externen Heizstabes und der Senkenumwälzpumpe nicht berücksichtigt wird. Somit haben die Systeme einen Wärmenutzungsgrad  $WNG_{Aufladung}$  von 1.7 bis 3.0. Rund einen Viertel der Energie wird bei der SW(6) vom Heizstab und von der Umwälzpumpe für die Erwärmung des Trinkwarmwassers beigesteuert. Bei den Anlagen LW(1) und LW(3) sind dies nur gerademal 1.6 %. Auffallend ist auch, dass die Unterschiede zwischen  $JAZ^{+}$  und  $WNG$  bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen (von 4.5 bis 23.9 %) deutlich grösser ist als bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen (von 1.6 bis 8.9 %).

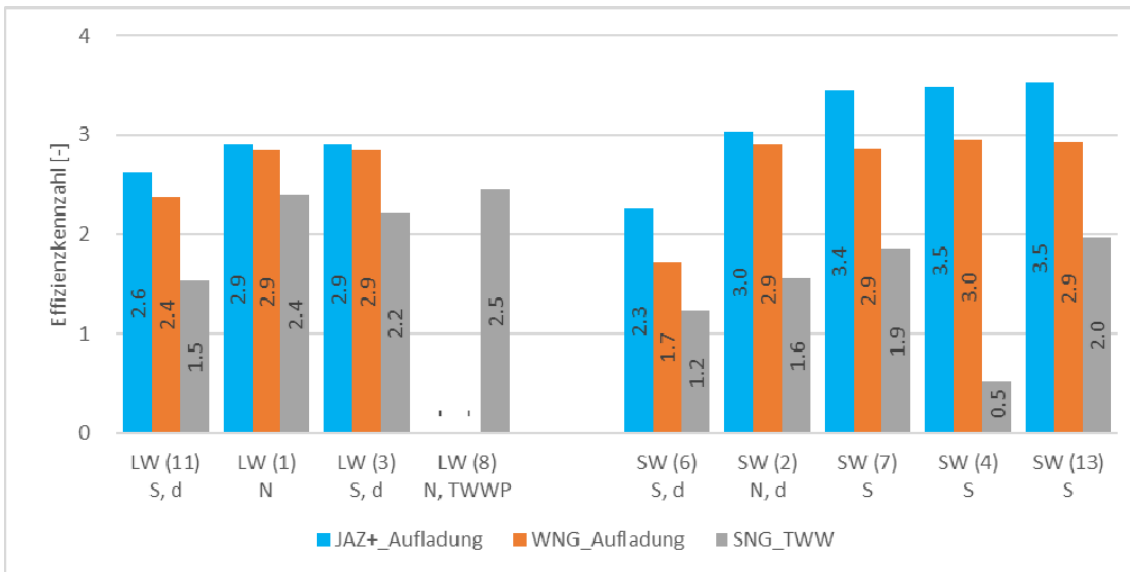


Abbildung 2: Die Jahresarbeitszahl JAZ+, der Wärmenutzungsgrad WNG und Systemnutzungsgrad SNG für die Trinkwassererwärmung sind dargestellt. In Klammern stehen jeweils die Objektnummern. Legende: S = Sanierung, N = Neubau, d = drehzahlregulierte Wärmepumpe und TWWP = Trinkwarmwasser-Wärmepumpe

Wird die Effizienz der Aufladung mit der Effizienz der Trinkwarmwassernutzung (Systemnutzungsgrad SNG) verglichen, fällt das Urteil noch ernüchternder aus. Dieser Wirkungsgrad  $\eta_{TWW}$  wird in der folgenden Abbildung 3 dargestellt. Er wird aus dem Verhältnis von SNG und WNG berechnet.

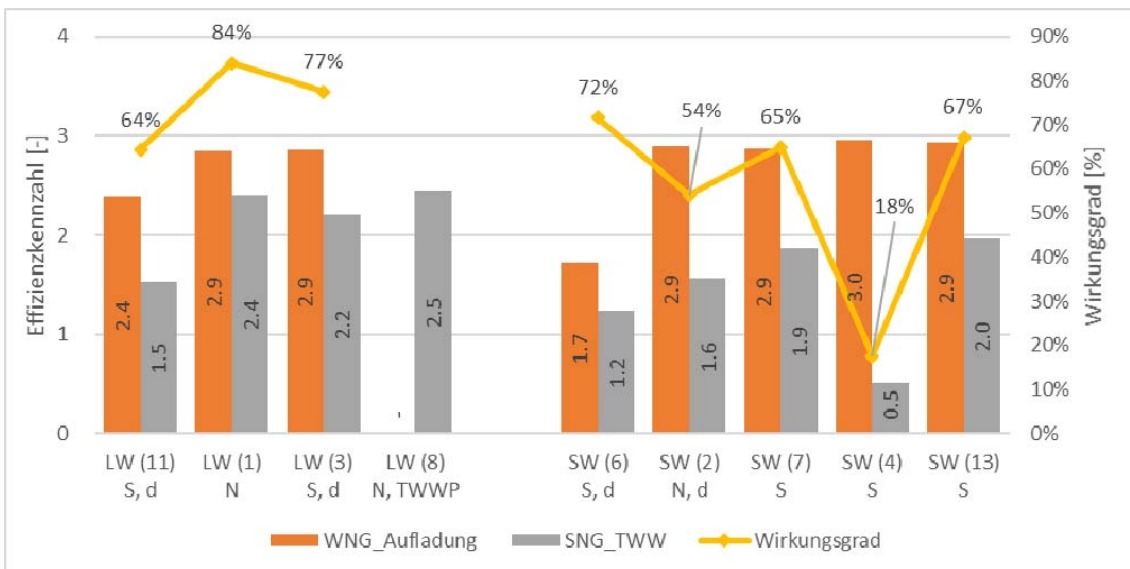


Abbildung 3: Nebst dem Wärmenutzungsgrad WNG und Systemnutzungsgrad SNG für die Trinkwassererwärmung ist auch deren Wirkungsgrad dargestellt. In Klammern stehen jeweils die Objektnummern. Legende: S = Sanierung, N = Neubau, d = drehzahlregulierte Wärmepumpe und TWWP = Trinkwarmwasser-Wärmepumpe

Die Systemnutzungsgrade aller Anlagen liegen zwischen 0.5 und 2.5. Vor allem bei der Anlage SW(4) fällt der tiefe Wert von 0.5 auf. Hier fällt die Effizienz um mehr als 80 % zwischen Eintrag und Ertrag. Einen Grund auf diese Effizienzminderung wird die absichtlich eingebaute Schwerkraftzirkulation sein. Auch die Systemnutzungsgrade der Anlagen SW(6), LW(11) und SW(2) sind

mit 1.2, 1.5 bzw. 1.6 sehr niedrig. Bei der Anlage LW(1) sind die relativen Energieverluste über den Speicher verhältnismässig sehr gering (rund 16 %).

Die Trinkwarmwasser-Wärmepumpe LW(8) weist den höchsten SNG von allen untersuchten Anlagen auf. Aufgrund des System-Aufbaus kann die  $JAZ_{\text{Aufladung}}$  bzw. der Wirkungsgrad nicht ermittelt werden. Entsprechend der bisherigen Analyse haben folgende Faktoren einen grossen Einfluss auf die Höhe des Systemnutzungsgrades  $SNG_{\text{TWW}}$ :

- Trinkwarmwassernutzung: Deren Einfluss auf die  $SNG_{\text{TWW}}$  scheint sehr gross zu sein. Auf den ersten Blick fällt auf, dass die Effizienz der Trinkwassererwärmung ( $WNG_{\text{Aufladung}}$ ) nur einen untergeordneten Einfluss auf den Systemnutzungsgrad hat. Im Kapitel 3.2 wird auf diese Thematik näher eingegangen.
- Legionellenschutzschaltung: Hier stellt sich die Frage, wie diese geregelt und eingeleitet wird. Bei näherer Betrachtung fällt auf, dass die Legionellenschutzschaltung bei vielen Anlagen durch eine Zeituhr aktiviert und eingeleitet wird (siehe Kapitel 3.3). Auch wird hier das Temperaturniveau von der Wärmepumpe versus Heizstab untersucht.

Auffallend in den vorherigen Diagrammen ist, dass die drehzahlregulierte Wärmepumpe keinen positiven Effekt auf die Effizienz der Trinkwassererwärmung hat. Hier schneiden die leistungsmodulierenden Wärmepumpen im Schnitt sogar schlechter ab.

## 3.2 Trinkwarmwassernutzung

In diesem Kapitel soll auf den Trinkwarmwasserbedarf der einzelnen Anlagen eingegangen werden. In der Abbildung 4 werden die aufsummierten Energien für die Aufladung und Nutzung dargestellt. Da die Messperiode der untersuchten Anlagen unterschiedlich ist, kann aus diesem Diagramm noch nicht vieles herausgelesen werden. Nur die Anlagen LW(3) und SW(2) können über das gesamte Jahr 2017 ausgewertet werden. Hier zeigt sich, dass die Trinkwarmwassernutzung beider Anlagen zwar praktisch identisch sind, einzig die zur Verfügung stehende Energien weichen stark voneinander ab. So muss die SW(2) rund 1.4mal mehr Wärmenergie in den Speicher laden als die LW(3).

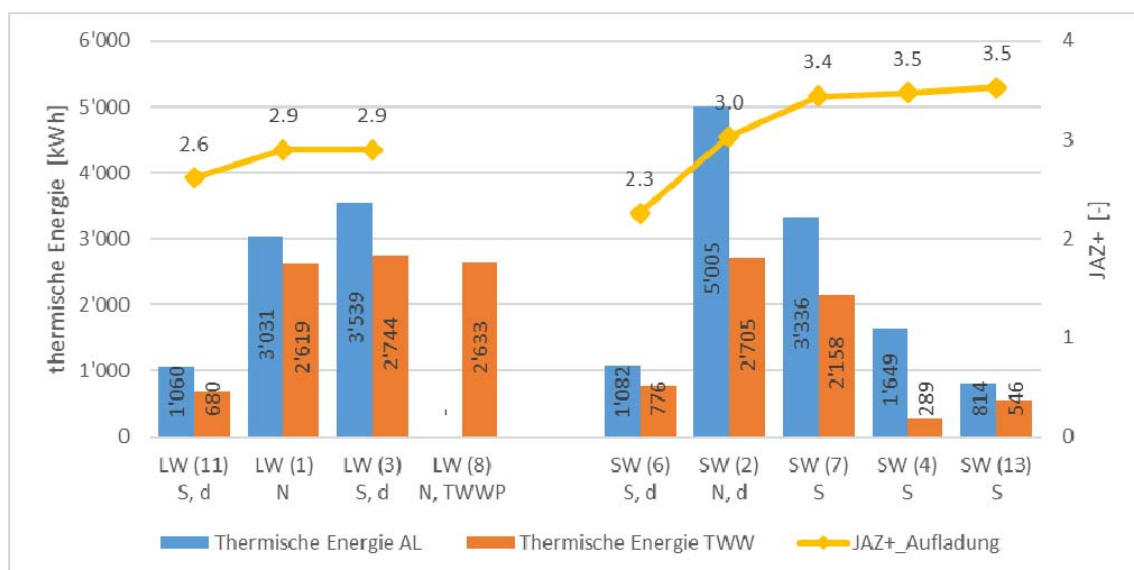


Abbildung 4: Darstellung des Warmwasserbedarfs aller untersuchten Anlagen. In Klammern stehen jeweils die Objekt-nummern (Bsp.: LW(11) = LW-WP des Objektes mit der internen Bezeichnung 11)

Um alle Anlagen besser miteinander zu vergleichen, wird bei den nächsten Diagrammen auf den täglichen Trinkwarmwasserbedarf eingegangen. Dabei zeigt die Abbildung 5, dass es grosse Unterschiede beim Trinkwarmwasserbedarf zwischen den Objekten gibt. So variiert der täglich durchschnittliche Warmwasserbedarf untereinander zwischen 1.6 (SW(4)) und 11.1 kWh/d (LW(3)). Um ein Gespür zu erhalten, was diese Werte bedeuten, wird die Normmessung [3] für Trinkwarmwasser-Wärmepumpen herangezogen. In dieser Norm sind mehrere unterschiedliche Entnahmemengen bzw. Zapfprofile definiert, die einen täglichen Bedarf von Trinkwarmwasser simuliert. Die in der Norm definierten Entnahmemengen bzw. Zapfprofile sind in der Tabelle 2 ersichtlich.

Tabelle 2: Zapfprofile nach EN 16147:2017

Zapfprofil	Tägliche Entnahmeenergie in kWh	ausgewertete Objekte
S	2.100	SW(4), SW(13)
M	5.845	LW(11), LW(3), LW(8), SW(6), SW(2), SW(7)
L	11.655	LW(1)
XL	19.070	-
XXL	24.530	-
3XL	46.760	-
4XL	93.520	-

Damit eine 300-Liter-Trinkwarmwasser-Wärmepumpe in der Schweiz ein Gütesiegel erhalten kann, wird diese mit dem Zapfprofil XL geprüft. Generell kann gesagt werden, je grösser die tägliche Entnahmemenge ist, umso effizienter läuft das System, da im Verhältnis die Stillstandverluste klein werden.

In der Realität sieht die Entnahmemenge ein bisschen anders aus. Die meisten Systeme der Feldmessung würden am ehesten dem Zapfprofil von M entsprechen. Einzig der Warmwasserbedarf des Objektes 1 würde noch einer Normmessung nahekommen. Der Warmwasserbedarf der Objekte 4 und 13 könnte mit den heutigen Nutzungen (überspitzt gesagt) sogar mit einem Durchlauferhitzer (in der Schweiz nicht mehr zugelassen) abgedeckt werden. Ob es effizient technisch Sinn machen würde, müsste geprüft werden. Da dann aber keine Änderung beim Nutzerverhalten mehr möglich wäre, wird dieser Frage nicht nachgegangen.

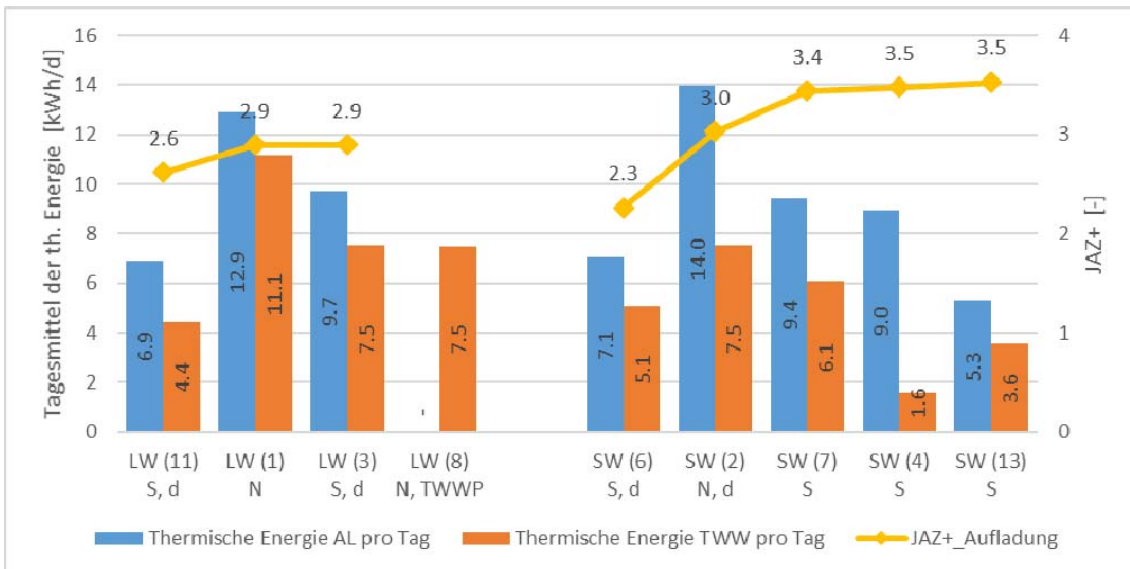


Abbildung 5: Darstellung des täglichen durchschnittlichen Warmwasserbedarfs aller untersuchten Anlagen. In Klammern stehen jeweils die Objektnummern (Bsp.: LW(11) = LW-WP des Objektes mit der internen Bezeichnung 11)

Mit Abbildung 6 wird die Warmwassermenge, die pro Tag durchschnittlich verwendet wird, ersichtlich. Hier zeigt sich natürlich ein ähnliches Bild wie bei Abbildung 5. Je höher der Warmwasserbedarf ist, umso höher liegt auch die Warmwassermenge. Die tägliche Warmwassermenge liegt unter den untersuchten Anlagen zwischen 40 und 287 Liter.

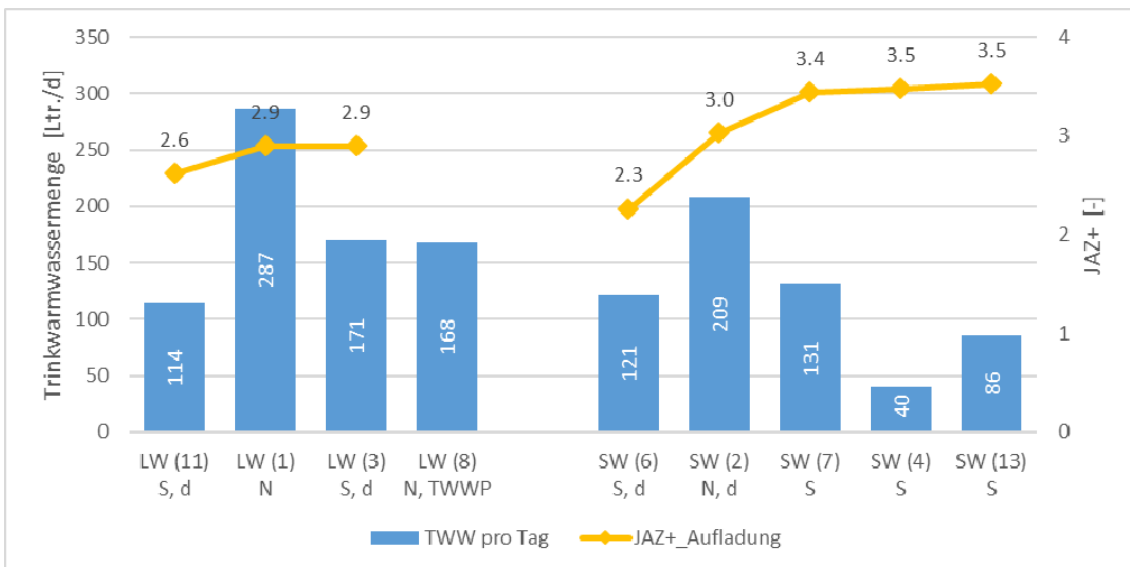


Abbildung 6: Darstellung der täglichen durchschnittlichen Warmwassermenge aller untersuchten Anlagen. In Klammern stehen jeweils die Objektnummern (Bsp.: LW(11) = LW-WP des Objektes mit der internen Bezeichnung 11)

Nun werden die Systeme in den folgenden Diagrammen entsprechend des Systemnutzungsgrades  $SNG_{TWW}$  aufsteigend gereiht. In der nachstehenden Abbildung 7 werden die Aufnahme- und Abgabeenergien dargestellt mit den entsprechenden Systemnutzungsgrade  $SNG_{TWW}$ .

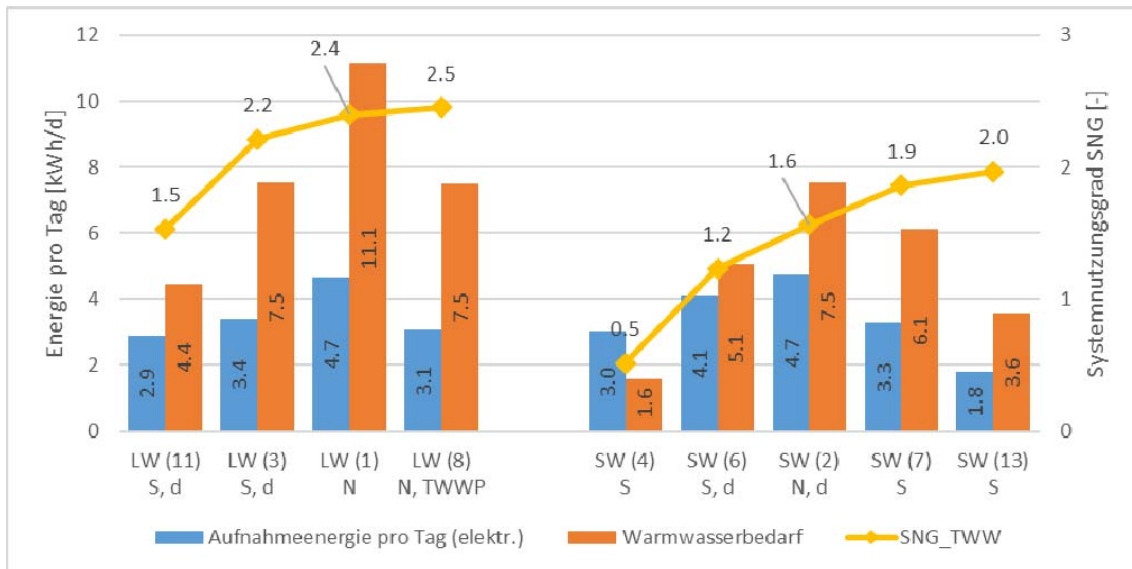


Abbildung 7: Darstellung der täglichen durchschnittlichen Aufnahme- und Abgabeenergien aller untersuchten Anlagen in Abhängigkeit des Systemnutzungsgrades. In Klammern stehen jeweils die Objektnummern (Bsp.: LW(11) = LW-WP des Objektes mit der internen Bezeichnung 11)

Mit der nächsten Abbildung 8 sind auch jeweils die maximalen und minimalen entnommenen Trinkwarmwasserenergien aufgelistet. Hier zeigt sich, dass bei einzelnen Anlagen bis über 30 kWh pro Tag Wärme aus dem Trinkwasserspeicher entnommen wurde. Solche Werte entsprechen in etwa 6 volle Badewannen. Die minimalen Werte liegen bei rund 1 kWh pro Tag, wobei nur Tage für dieses Diagramm berücksichtigt wurden, an welchen auch wirklich Warmwasser genutzt wurde.

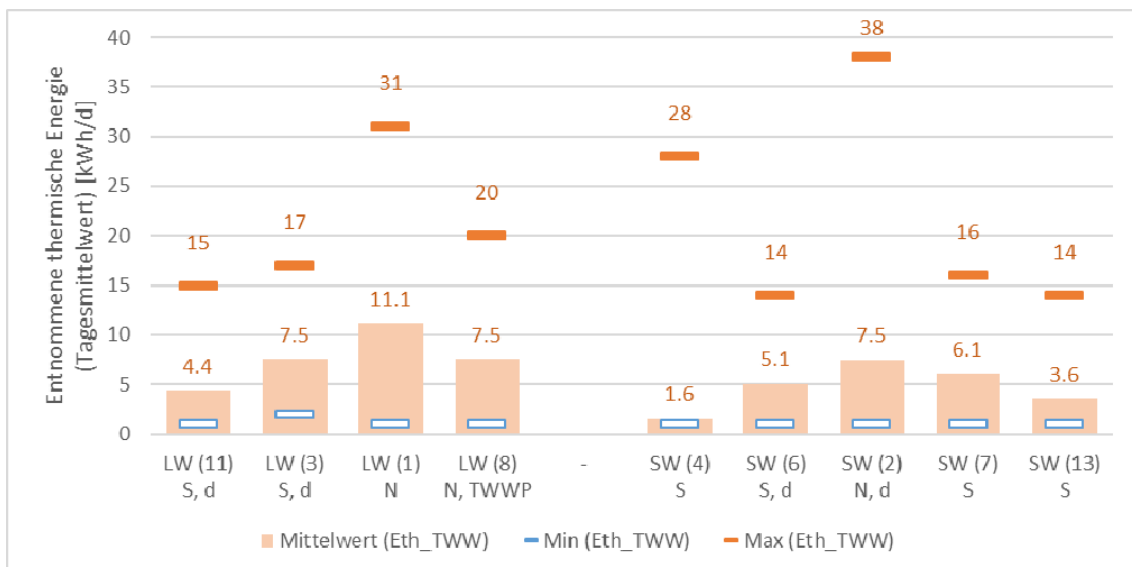


Abbildung 8: Darstellung der täglichen durchschnittlichen, minimalen und maximalen Aufnahme- und Abgabeenergien aller untersuchten Anlagen

Es erstaunt, dass SW(4), zwar den tiefsten durchschnittlichen Warmwasserbedarf hat aber den dritthöchsten Maximalwert von 28 kWh/d aufweist. Der Mittelwert von 1.6 kWh/d und den minimalen Wert von 1 kWh/d liegen sehr nahe beieinander. Hier darf erwähnt werden, dass an 76 Tagen



kein Trinkwarmwasser genutzt wurde. Bei den anderen Objekten wurden Urlaubstage zwischen 0 und 26 gezählt und somit deutlich darunter. Dies wird einer der Gründe sein, weshalb der Systemnutzungsgrad SNG dieser Anlage SW(4) so tief ist. Noch hatte diese Anlage bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen eine der höchsten Jahresarbeitszahlen für die Trinkwassererwärmung. Nur durch die Änderung der Systemgrenze von der JAZ+ zum SNG wird sie zur ineffizientesten Trinkwassererwärmungsanlage aller hier untersuchten Objekte.

Mit dieser Grafik wird auch ersichtlich, dass nicht grundsätzlich gesagt werden kann, dass die Trinkwarmwassererzeugung bzw. -nutzung effizienter wird, je mehr Trinkwarmwasser verbraucht wird. Diese Aussage wird zudem mit der Abbildung 9 nochmals unterstrichen. Hier ist ersichtlich, dass z.B. die SW(2) mit 209 Liter pro Tag zwar am meisten Trinkwarmwasser verbraucht, jedoch von der Effizienz her nur im Mittelfeld befindet.

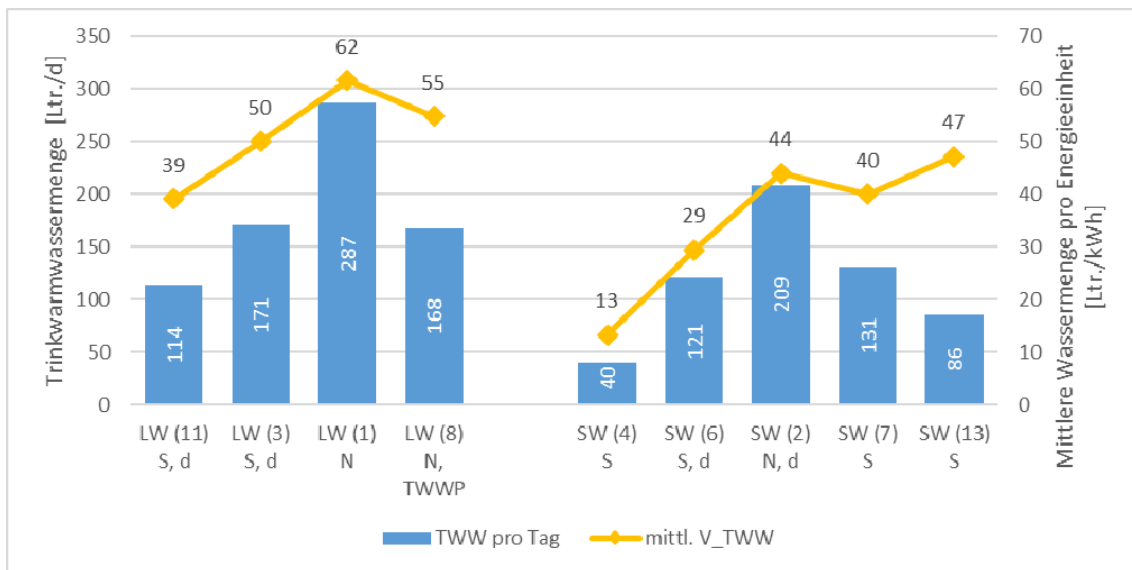


Abbildung 9: Darstellung der täglichen durchschnittlichen Trinkwarmwassermenge und der mittleren Warmwassermenge pro elektrische Energieeinheit aller untersuchten Anlagen

Die SW(4) kann 13 Liter warmes Trinkwasser pro investierter elektrischer kWh herausholen. Bei der LW(1) liegt dieser Wert beinahe 5mal höher nämlich bei 62 Ltr./kWh. Dieser Wert ist grundsätzlich von zwei Parametern abhängig. Zum einen von der Höhe des Systemnutzungsgrads und zum zweiten von der Höhe der Speichertemperatur.

Die Abbildung 13 zeigt den minimalen und maximalen Tagesbedarf an Trinkwarmwasser jeder untersuchten Anlage auf.

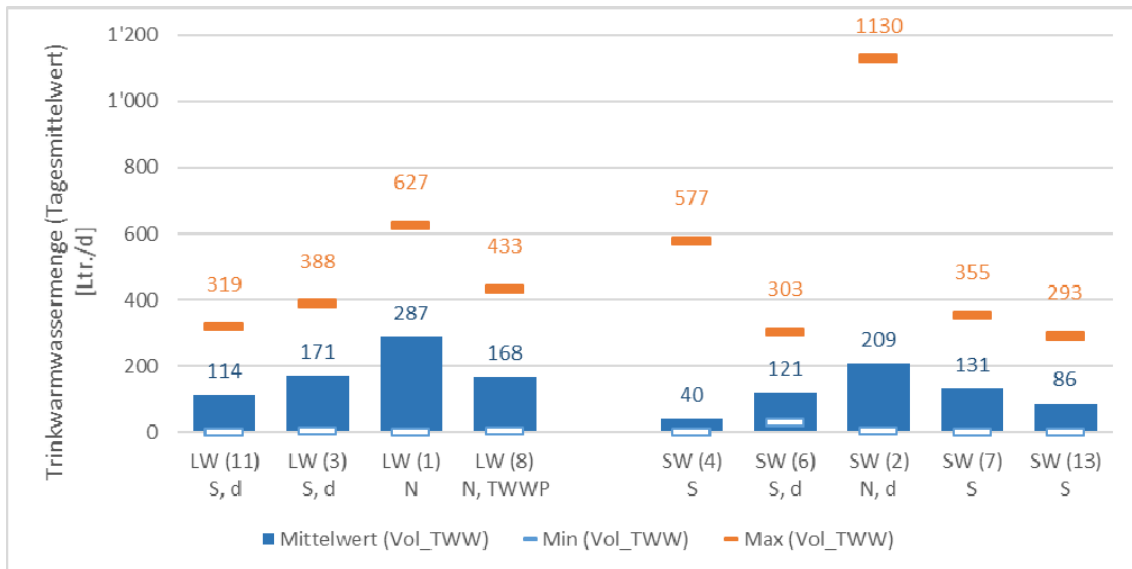


Abbildung 10: Darstellung der täglichen durchschnittlichen, minimalen und maximalen Trinkwarmwassermenge aller untersuchten Anlagen. In Klammern stehen jeweils die Objektnummern (Bsp.: LW(11) = LW-WP des Objektes mit der internen Bezeichnung 11)

Die Anlage SW(2) hat einen maximalen Tagesbedarf an Trinkwarmwasser von über 1'100 Liter, der in Abbildung 10 ersichtlich ist. Auch die Anlagen SW(4) und LW(1) weisen mit einem Tagesbedarf von 577 bzw. 627 Liter einen sehr hohen Wert aus.

### 3.3 Legionellenschutzschaltung

Interessant ist, wie viel Einfluss der energetische Aufwand des Heizstabs auf die Effizienz hat. In Abbildung 11 sind die prozentualen Anteile der elektrischen Hilfsaggregate dargestellt, welche nicht dem Verdichter zugeordnet sind. Darunter fallen die energetischen Anteile der Umwälzpumpen (Quelle und Senke), der Heizstäbe der Wärmepumpe und des Trinkwasserspeichers, sowie der WP-Steuerung. Durch die detailreiche Erfassung der jeweiligen Wärmepumpenanlagen ist es mit der aktuellen Feldmessung möglich, diese Fragestellung zu beantworten.

Der energetische Anteil der Senkenumwälzpumpe und des externen Heizstabs wird dabei nicht in der JAZ+ berücksichtigt. In der JAZ+ werden nur die elektrischen Anteile der Quellenumwälzpumpe bzw. des Ventilators, des Heizstabes der Wärmepumpe sowie der WP-Steuerung miteinberechnet. Bei Abbildung 11 fällt auf, dass bei fünf Anlagen der Elektroheizstab einen grossen Teil der gesamten elektrischen Energieaufnahme für die Aufladung übernimmt. Bei diesen Anlagen handelt es sich um den externen Elektroheizstab, der im Trinkwarmwasserspeicher platziert ist. Besonders hoch fällt dieser Anteil bei SW(6) mit 42.4 % aus. Bei den anderen vier Anlagen liegt dieser Anteil zwischen 13.5 und 20.7 %. Erstaunlich ist, dass der Elektroheizstab bei vier der fünf Sole/Wasser-Wärmepumpen zu einem beachtlichen Teil im Betrieb ist. Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen ist dies nur bei der LW(11) der Fall. Hier hätte man sicher ein anderes Bild erwartet. Insgesamt variieren die energetischen Anteile des Elektroheizstabes zwischen 0.0 und 42.4 %. Drei Anlagen (Objekt 1, Objekt 2 und Objekt 3) kommen bisher ohne Einsatz des Elektroheizstabes aus.

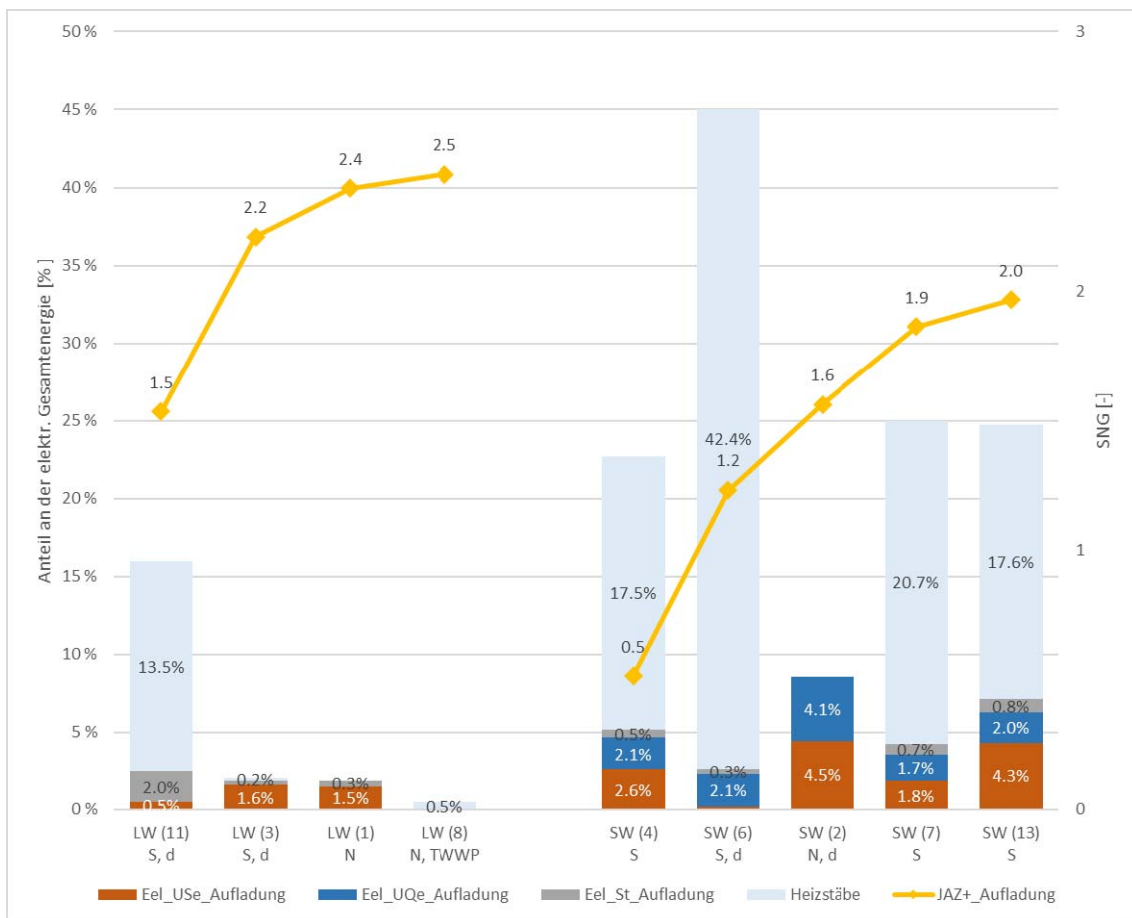


Abbildung 11: Darstellung der Jahresarbeitszahl JAZ+ und der energetischen Anteile der jeweiligen Hilfsaggregate während der Trinkwassererwärmung. In Klammern stehen jeweils die Objektnummern (Bsp.: LW(11) = Luft/Wasser-Wärmepumpe des Objektes mit der internen Bezeichnung 11). Legende: S = Sanierung, N = Neubau, d = drehzahlregulierte Wärmepumpe

In dieser Abbildung wird auch ersichtlich, dass der energetische Anteil der Quellenumwälzpumpe (betrifft nur die Erdsonden-Wärmepumpen) nur zwischen 1.7 und 4.1 % liegen. Mit anderen Worten, die Quellenumwälzpumpen haben einen geringen Einfluss auf die Gesamteffizienz der Trinkwarmwassererzeugung (max. 4.1 % bei den ausgewerteten Anlagen). Die Anlage SW(2) weist den höchsten energetischen Anteil der Quellenumwälzpumpe auf. Es kann wohl davon ausgegangen werden, dass entweder die Pumpe überdimensioniert ist, oder die Druckverluste der Sonde sehr hoch sind. Im Rahmen der Optimierungsmaßnahmen soll hier Klarheit geschaffen werden.

Der energetische Anteil der Senkenumwälzpumpe fällt mit 0.2 bis 4.5 % in denselben Rahmen wie der Anteil der Quellenumwälzpumpe ins Gewicht.

In der Abbildung 12 sind die durchschnittlichen Laufzeiten des Verdichters und Heizstabes während der Aufladung ersichtlich.

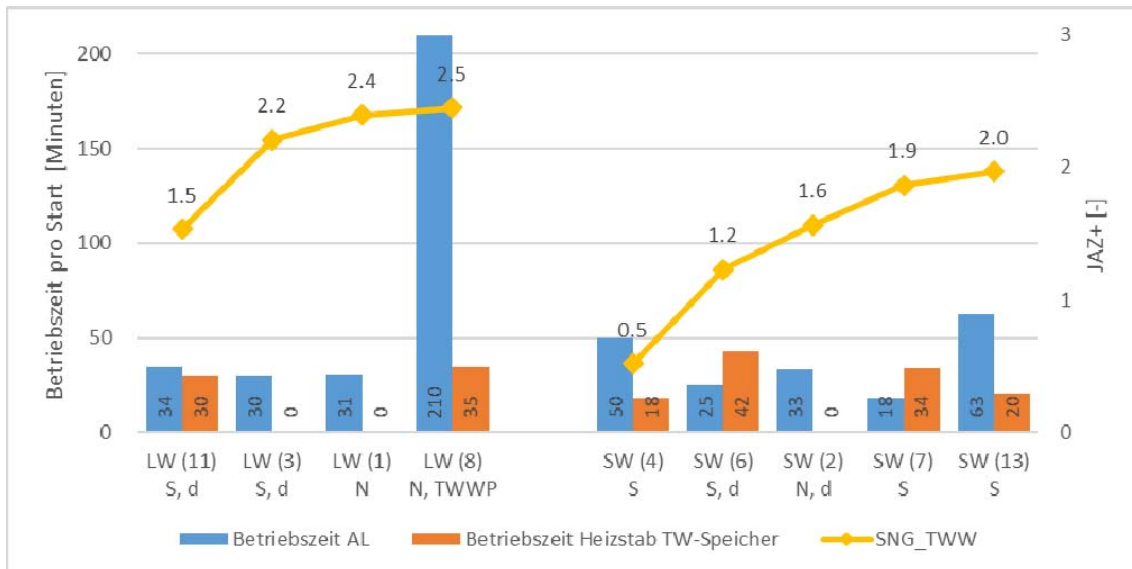


Abbildung 12: durchschnittliche Laufzeit des Verdichters und Heizstabs während der Aufladung

Die Laufzeiten variieren zwischen den einzelnen Anlagen stark. Die längste Verdichterlaufzeit weist die Trinkwarmwasser-Wärmepumpe LW(8) mit 3.5 h auf. Die anderen Anlagen, die das Trinkwarmwasser mit einer Heizungswärmepumpe erzeugen, laufen im Schnitt zwischen 18 und 63 min. Auffallend ist jedoch, dass bei 6 (von 9) Anlagen der Verdichter nur für rund 30 Minuten einschaltet, um den Trinkwarmwasserspeicher auf das gewünschte Temperaturniveau zu erwärmen. Ausserdem ist zu erwähnen, dass bei den beiden Anlagen SW(6) und SW(7) die durchschnittliche Laufzeit des Elektroheizstabs länger ist als die des Verdichters. Wie bereits in der Abbildung 11 gezeigt, haben diese beiden Anlagen auch den höchsten energetischen Anteil beim Elektroheizstab. Bei der LW(8) lief der Elektroheizstab im 2017 insgesamt 1mal für 35 min.

Nun wird auf die Temperaturniveaus der Wärmepumpen eingegangen, die ebenfalls einen Einfluss auf die Effizienz und Legionellenschutzschaltung haben. Herangezogen werden dabei jene Zeitbereiche, in welchen die Wärmepumpen und Heizstäbe für die Trinkwassererwärmung in Betrieb sind.

In den folgenden Abbildungen werden dabei folgende Abkürzungen verwendet:

- Tavg\_SAus\_Aufladung: Mittelwert der Senken-Vorlauftemperatur, während der Trinkwassererwärmung der Wärmepumpe.
- Tavg\_SEin\_Aufladung: Mittelwert der Senken-Rücklauftemperatur, während der Trinkwassererwärmung der Wärmepumpe.
- Tmax\_SAus\_Aufladung: Maximalwert der Senken-Vorlauftemperatur, während der Trinkwassererwärmung der Wärmepumpe.
- Tavg\_TWW: Mittelwert der Entnahmetemperatur des Trinkwarmwassers
- Tmax\_TWW: Maximalwert der Entnahmetemperatur des Trinkwarmwassers

In Abbildung 13 sind die Temperaturniveaus der Trinkwassererwärmung aller Luft/Wasser-Wärmepumpen dargestellt. Die Reihung der Luft/Wasser-Wärmepumpen erfolgte wieder entsprechend ihrer Jahresarbeitszahlen in aufsteigender Reihenfolge.

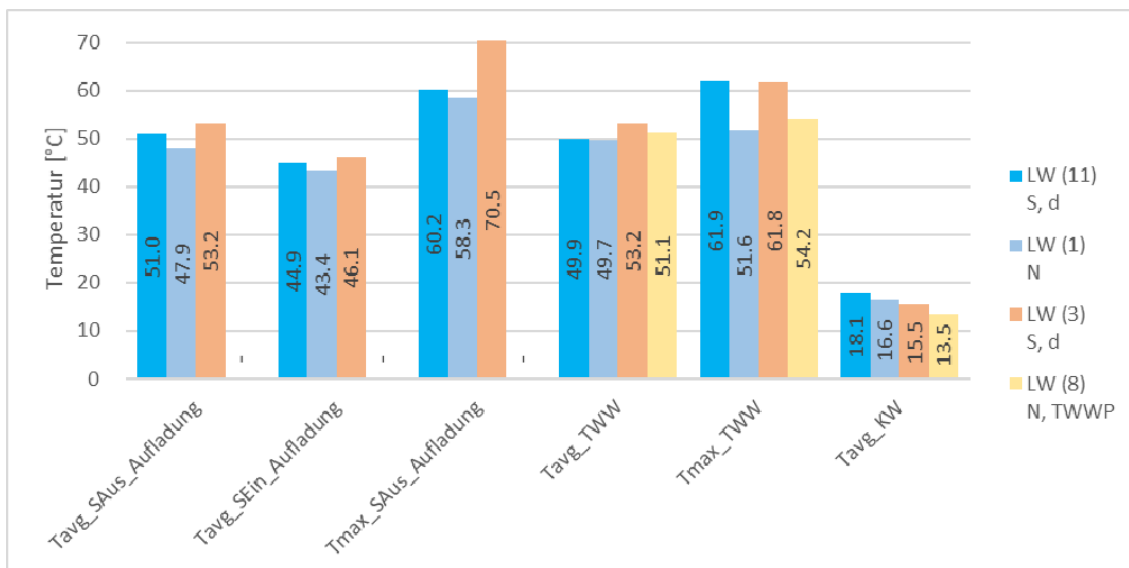


Abbildung 13: Darstellung der unterschiedlichen Temperaturniveaus der Senke und der Trinkwarmwasserentnahme. Die Reihung der Objekte erfolgt nach aufsteigender Jahresarbeitszahl JAZ<sup>+</sup>. Dargestellt wurden hier die 4 Luft/Wasser-Wärmepumpen.

Auf den ersten Blick ist bei der Trinkwassererwärmung durch eine Luft/Wasser-Wärmepumpe keine Abhängigkeit bezüglich Vorlauftemperatur versus Jahresarbeitszahl JAZ<sup>+</sup><sub>Aufladung</sub> ersichtlich. Wird nur das Heizsystem dagegen betrachtet, ist diese Verknüpfung der beiden Größen gut erkennbar [4].

Unlogisch scheint, dass die maximale Aufladetemperatur bei der Anlage LW(11) niedriger ist als die maximale Entnahmetemperatur. Dies kommt durch den wöchentlichen Einsatz des externen Elektroheizstabs zustande, da dieser die Temperatur im Speicher höher aufheizt als die Wärmepumpe selbst.

Die durchschnittliche Kaltwassereintrittstemperatur liegt bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen zwischen 13.5 und 18.1 °C. Die Kaltwassertemperatur ist jedoch stark von der Jahreszeit abhängig.

In Abbildung 14 sind die Temperaturniveaus der Trinkwassererwärmung der Sole/Wasser-Wärmepumpen dargestellt. Die Reihung der Sole/Wasser-Wärmepumpen erfolgte wieder entsprechend ihrer Jahresarbeitszahlen in aufsteigender Reihenfolge.

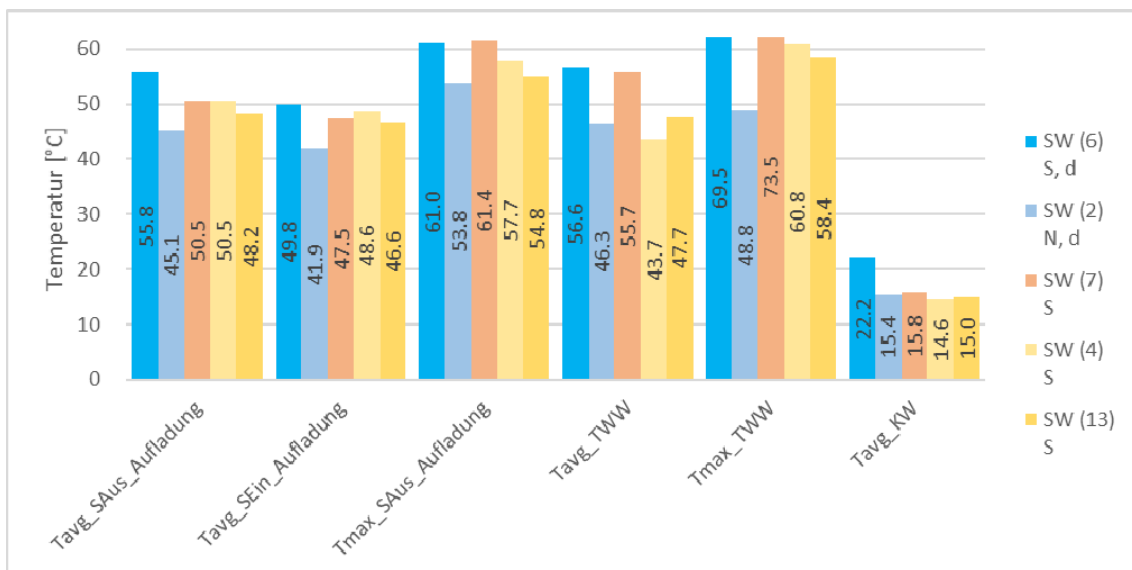


Abbildung 14: Darstellung der unterschiedlichen Temperaturniveaus der Senke und der Trinkwarmwasserentnahme. Die Reihung der Objekte erfolgt nach aufsteigender Jahresarbeitszahl JAZ<sup>+</sup><sub>Aufladung</sub>. Dargestellt wurden hier die 5 Sole/Wasser-Wärmepumpen.

Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen ist die Tendenz wieder zu erkennen, je niedriger die Vorlauf-temperatur zur Trinkwassererwärmung ist, desto höher ist die Jahresarbeitszahl JAZ<sup>+</sup><sub>Aufladung</sub>. Umso erstaunlicher ist es, dass die drehzahlregulierten Systeme hier schlechter abschneiden als die konventionellen Systeme. Diese Erkenntnis wird damit verstärkt, dass die Vorlauf-temperatur der SW(2) am tiefsten aller untersuchten Anlagen ist.

Bis auf die Anlage SW(2) wurden bei den Sole/Wasser-Varianten alle Trinkwasserspeicher auch mit dem externen Elektroheizstab aufgeheizt. Deshalb sind bei diesen Anlagen die maximalen Entnahmetemperaturen höher als die maximalen Vorlauf-temperaturen der Wärmepumpe. Besonders stark ausgeprägt ist dies bei den Anlagen SW(6) und SW(7), wo der Heizstab auf 69.5 bzw. 73.5 °C aufheizt.

Abweichend zur allgemeinen Annahme ist, dass der Elektroheizstab mehrheitlich bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen und nicht bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen in Betrieb ist.

Die Legionellenschutzschaltung wird bei allen Objekten (LW(11), SW(6), SW(7) und SW(13)), bei denen die Legionellenschutzschaltung aktiv ist, über eine Zeituhr eingeschaltet. Auffallend ist, dass keine dieser Anlagen zuerst mit dem Verdichter die höchstmögliche Temperatur anfährt. Der Elektroheizstab der Anlage 4 war nur in den ersten Wochen während der Inbetriebnahme aktiv. Seit Mitte Oktober lief dieser nicht mehr.

Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen liegt die durchschnittliche Kaltwassereintrittstemperatur zwischen 14.6 und 22.2 °C. Beim Objekt SW(6) lag die durchschnittliche Kaltwassertemperatur im August über 25 °C und im Dezember bei 19 °C.

### 3.4 Detailbetrachtungen der Trinkwarmwassererwärmung der Objekte 7 und 8

In diesem Kapitel werden die Trinkwassererwärmung der beiden Anlagen SW(7) und LW(8) etwas detaillierter betrachtet, da die SW(7) einen hohen Verbrauch des Heizstabs hat und die LW(8) eine Trinkwarmwasser-Wärmepumpe ist (mit dem höchsten SNG der untersuchten Anlagen). Ausserdem sind beide Anlagen beinahe ein volles Jahr im Einsatz (ab Mitte Januar 2017).

Um die Trinkwarmwassererzeugung besser zu analysieren, werden die auszuwertenden Grössen auf Monatsbasis dargestellt.

#### 3.4.1 Monatliche Darstellungen der wichtigsten Kennwerte

In den nächsten beiden Abbildungen sind die täglich durchschnittlich entnommene thermische Energie und entnommene Trinkwarmwassermenge. Sowohl in Abbildung 15 als auch in Abbildung 16 zeigt, dass die Trinkwarmwassermenge von den Jahreszeiten abhängt. Je wärmer die Monate sind, umso kleiner wird der Trinkwarmwasserbedarf.

Die durchschnittlich täglich entnommene thermische Energie variiert bei der LW(7) zwischen 3.8 (Juli) und 8.3 (April) kWh/d. Diese Energien entsprechen bei dieser Anlage einen täglichen Trinkwarmwasserbedarf von 87 bis 181 Liter.

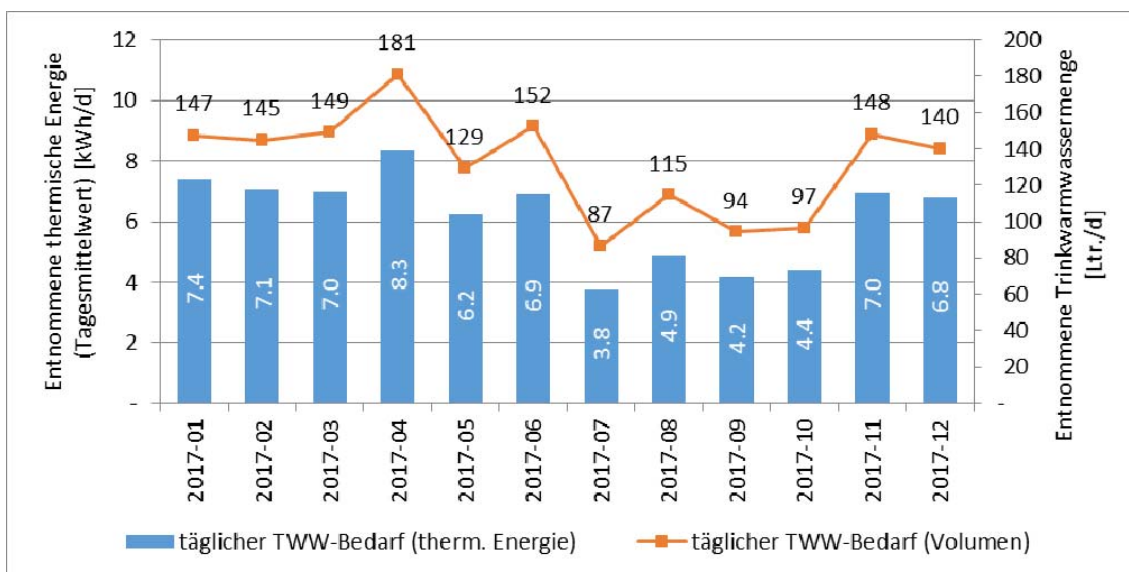


Abbildung 15: Darstellung der täglich entnommenen thermischen Energie und Trinkwarmwassermenge beim Objekt 7

Bei der LW(8) variiert der durchschnittlich Wert zwischen 5.0 (Juli und August) und 10.9 kWh/d (Februar). Diese Entnahmemengen entsprechen nach der Normmessung (siehe Tabelle 2) etwa einem Zapfprofil zwischen M und L. Die durchschnittliche Trinkwarmwassermenge liegt zwischen 129 und 220 Liter pro Tag.



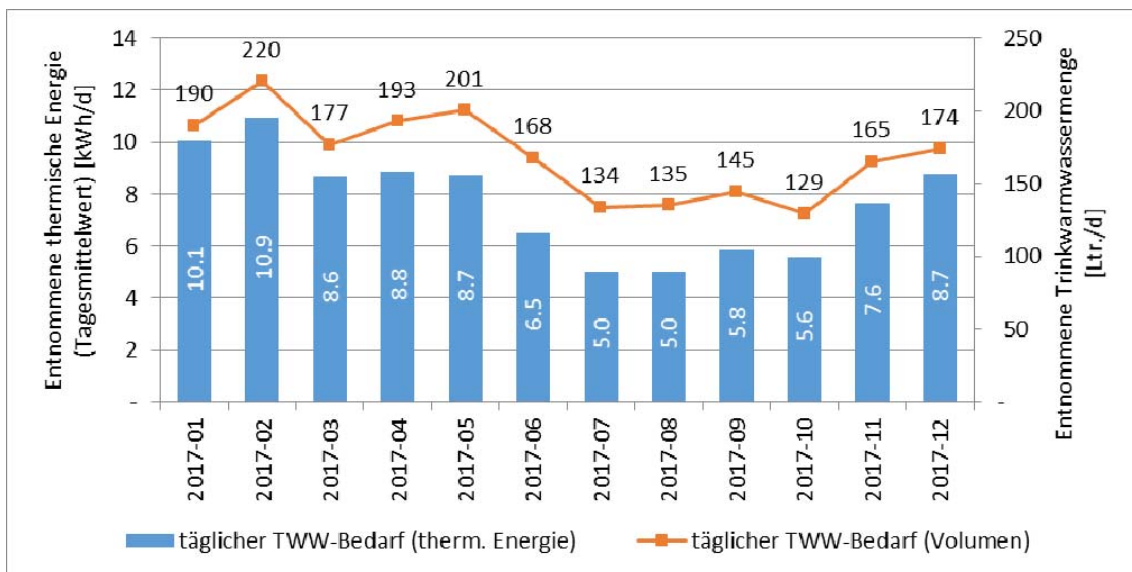


Abbildung 16: Darstellung der täglich entnommenen thermischen Energie und Trinkwarmwassermenge beim Objekt 8

Diese beiden Diagramme zeigen sehr schön auf, dass das Nutzerverhalten zwar über das Jahr sehr ähnlich ist, jedoch der Bedarf stark voneinander unterscheiden kann.

In Abbildung 17 und Abbildung 18 werden die Betriebsstunden des Verdichters und Heizstabs und die elektrische Aufnahmeenergien des Verdichters und Heizstabs ersichtlich. Beim Objekt 7 ist sehr gut erkennbar, dass der Einsatz des Elektroheizstabs im Mai stark zurückgegangen ist. In den ersten 4 Monaten wärmte der Elektroheizstab mit zwischen 24 bis 42 kWh das Trinkwasser, danach «nur» noch mit zwischen 12 bis 16 kWh. Zu einem späteren Zeitpunkt wird auf die vorgenommene Änderung (siehe Abbildung 19), die am Regler durchgeführt wurde, eingegangen.

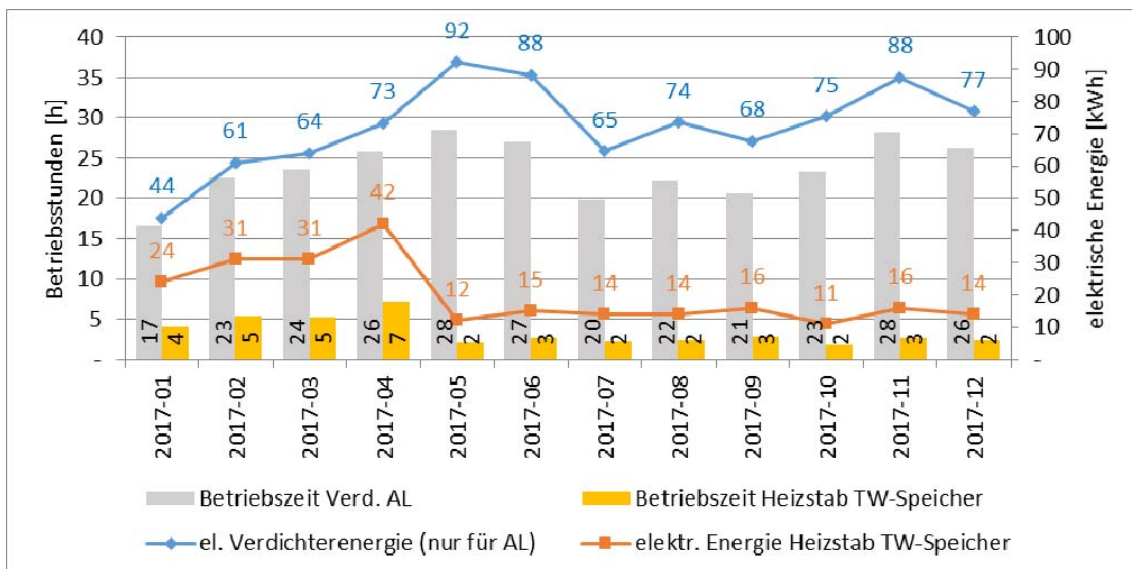


Abbildung 17: Darstellung der Betriebsstunden und elektrischen Energien für Aufladung und Heizstab von Objekt 7

Der Heizstab der Trinkwarmwasser-Wärmepumpe war nur einmal im Februar kurz aktiv. In allen anderen Monaten wurde das Trinkwasser nur durch die Wärmepumpe erwärmt. In Abbildung 18 ist auch ersichtlich, dass der Kompressor eine elektrische Energieaufnahme von 67 bis 112 kWh pro Monat beansprucht, um das Trinkwasser auf einem gewünschten Temperaturniveau zu halten.



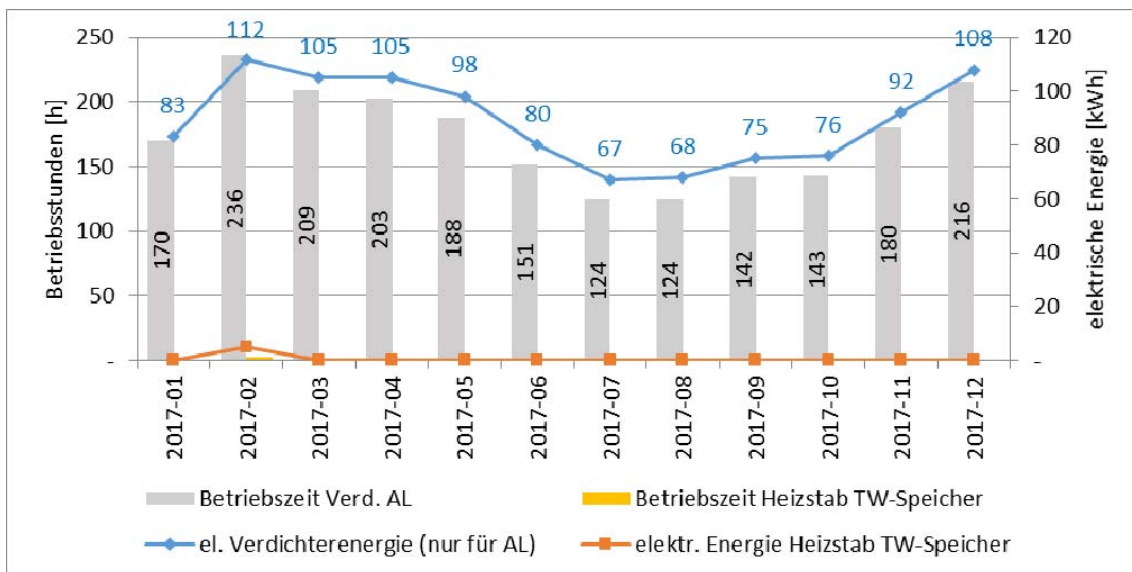


Abbildung 18: Darstellung der Betriebsstunden und elektrischen Energien für Aufladung und Heizstab von Objekt 8

In Abbildung 19 und Abbildung 20 sind die monatlichen Systemtemperaturen und der Systemnutzungsgrad  $SNG_{TWW}$  dargestellt. Beim Objekt 7 ist sehr schön ersichtlich, dass die mittleren Systemtemperaturen (Auflade- und Trinkwarmwassertemperatur) im Mai erhöht wurden. Die Aufladetemperatur stieg z.B. von rund 46 auf 55 °C. Dies erklärt, weshalb die Betriebsstunden des Verdichters ab Mai zugenommen und die des Heizstabes abgenommen haben. Ausserdem wurde auch die Abschalttemperatur der Legionellenschutzschaltung zu diesem Zeitpunkt erhöht. Dies ist an der Erhöhung der mittleren Trinkwarmwassertemperatur erkennbar.

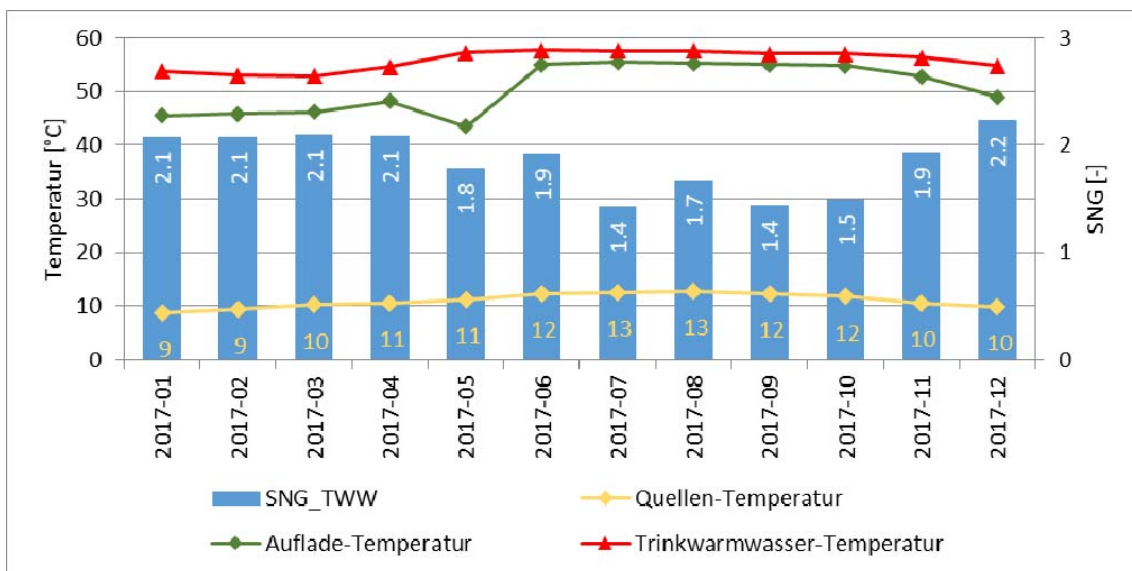


Abbildung 19: Monatliche Auflösung der Quellen-, Auflade- und Trinkwarmwassertemperatur und des Systemnutzungsgrades SNG von Objekt 7

Zusätzlich erkennbar ist, dass der SNG bei der SW(7) sehr stark von der Entnahmemenge und Aufladetemperatur abhängt und weniger von der Quellentemperatur. Die Quellentemperatur der Erdsonde schwankt zwischen 9 und 13 °C.

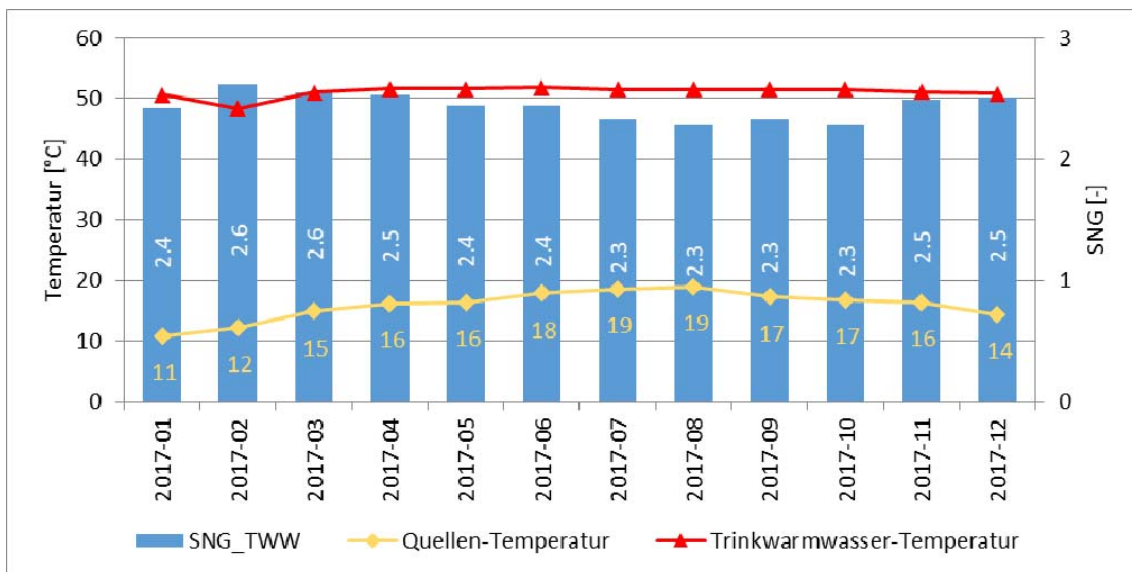


Abbildung 20: Monatliche Auflösung der Quellen-, Auflade- und Trinkwarmwassertemperatur und des Systemnutzungsgrades SNG von Objekt 8

Auch beim Objekt 8 ist gut erkennbar, dass der  $SNG_{TWW}$  stark vom Trinkwarmwasserbedarf abhängt. So werden die tiefsten SNG im Sommer gemessen, wo die Quellentemperatur zwar am höchsten ist. Diese variiert zwischen 11 (Januar) und 19 (Juli und August) °C. Die Trinkwarmwasser-Wärmepumpe nutzt die Wärmeenergie aus dem Keller. Die Trinkwarmwassertemperatur liegt über das ganze Jahr konstant zwischen 51 und 52 °C.

In der nächsten Abbildung 21 sind die monatlichen Energiekennzahlen  $JAZ_{\text{Aufladung}}$ ,  $WNG_{\text{Aufladung}}$  und  $SNT_{TWW}$  der SW(7) dargestellt.

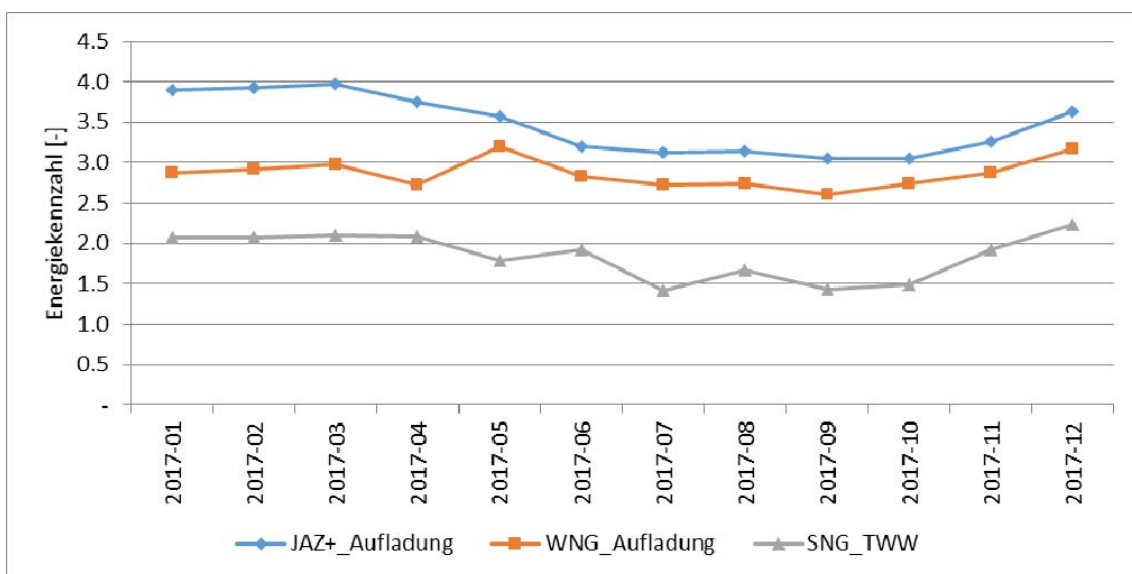


Abbildung 21: monatliche Energiekennzahlen vom Objekt 7

Es zeigt, dass der Elektroheizstab einen grossen Einfluss auf die Effizienz der Trinkwassererwärmung hat. So ist die Differenz zwischen der  $JAZ_{\text{Aufladung}}$  und  $WNG_{\text{Aufladung}}$  während den ersten 4 Monaten wesentlich grösser, wo der Heizstab die grösste Arbeit verrichtet. In den folgenden Monaten wurde die Differenz deutlich kleiner. Ausserdem erkennt man, dass sich das Nutzerverhalten im SNG am besten widerspiegelt. Je weniger Trinkwasserbedarf anliegt umso niedriger wird die Effizienz.

Beim Objekt 8 kann dieses Diagramm leider nicht erstellt werden, da es sich nicht um eine Heizungswärmepumpe, sondern um eine Trinkwarmwasser-Wärmepumpe handelt. Der monatliche Verlauf des Systemnutzungsgrades  $SNG_{TWW}$  ist bereits in Abbildung 20 gezeigt.

Wie bereits zu einem früheren Zeitpunkt erwähnt, ist die Laufzeit der Trinkwarmwasser-Wärmepumpe im Gegensatz zu den anderen Anlagen lang. Im Schnitt läuft der Verdichter der LW(8) etwa 6 h pro Tag, wobei der durchschnittliche Tages-Spitzenwert von 8,5 h im Januar erreicht wurde. Bei den anderen Anlagen liegt die mittlere Verdichterlaufzeit unterhalb von 2 h pro Tag.

Interessant an dieser Stelle ist auch, an wie vielen Tagen überhaupt welcher Trinkwarmwasserbedarf anliegt. In der folgenden Abbildung 22 und Abbildung 23 sollte mehr Klarheit diesbezüglich geschaffen werden. Dieses Diagramm soll aufzeigen, an wie vielen Tagen wie viel Trinkwarmwasserenergie aus dem Speicher entnommen wird.

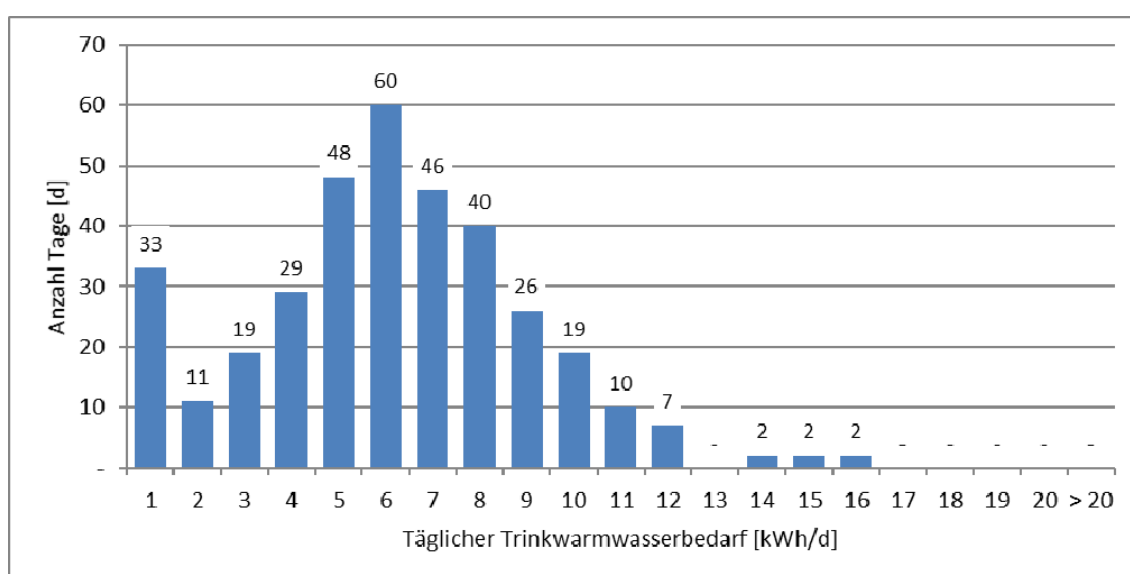


Abbildung 22: Anzahl Tage in Abhängigkeit des täglichen Trinkwarmwasserbedarfs in kWh/d von Objekt 7

Beim Objekt 7 werden hauptsächlich zwischen 4 und 9 kWh Trinkwarmwasser pro Tag entnommen. An 33 Tagen wurden max. 1 kWh Trinkwarmwasser entnommen. Von diesen 33 Tagen wurden jedoch an 19 Tagen gar kein Trinkwarmwasser entnommen (z.B. Urlaub). An einzelnen Tagen wurden auch etwas mehr Trinkwarmwasser verbraucht. An je 2 Tagen lag dieser Trinkwarmwasserbedarf bei 14, 15 und 16 kWh.

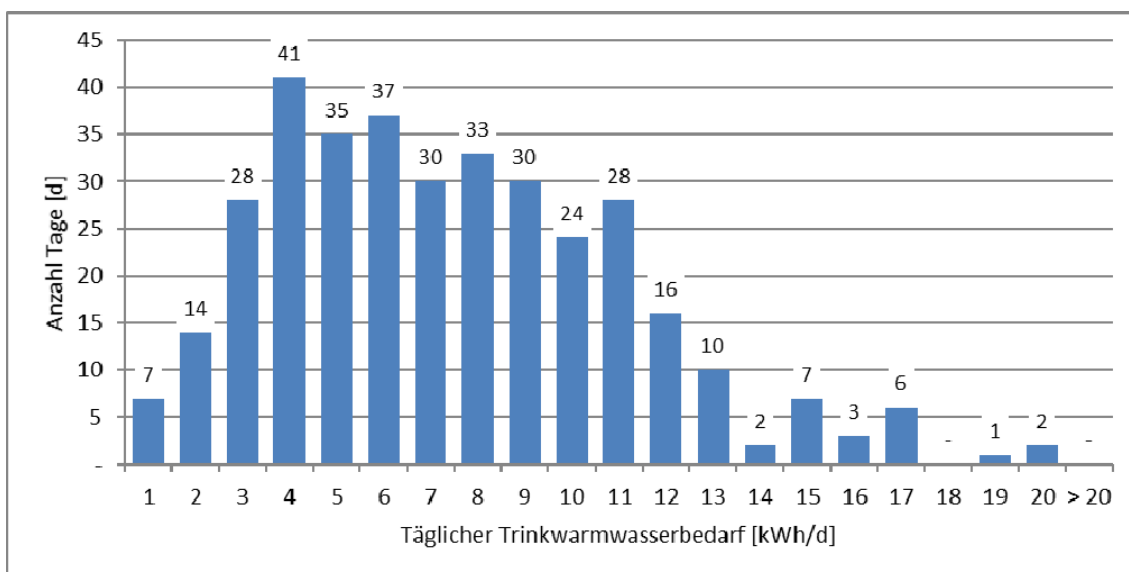


Abbildung 23: Anzahl Tage in Abhängigkeit des täglichen Trinkwarmwasserbedarfs in kWh/d von Objekt 8

Der Trinkwarmwasserbedarf im Gebäude 8 ist etwas anders. Hier variieren die Werte zwischen 1 und 20 kWh/d. Auch ist der hauptsächliche Trinkwarmwasserbedarf von 3 bis 11 kWh pro Tag sichtbar breiter als noch beim Objekt 7. Insgesamt wurde hier nur an zwei Tagen kein Trinkwarmwasser genutzt.

Der maximale Tagesbedarf lag im 2017 bei 20 kWh, dies entspricht in etwa einem Zapfprofil XL nach der Prüfnorm (siehe Tabelle 2).



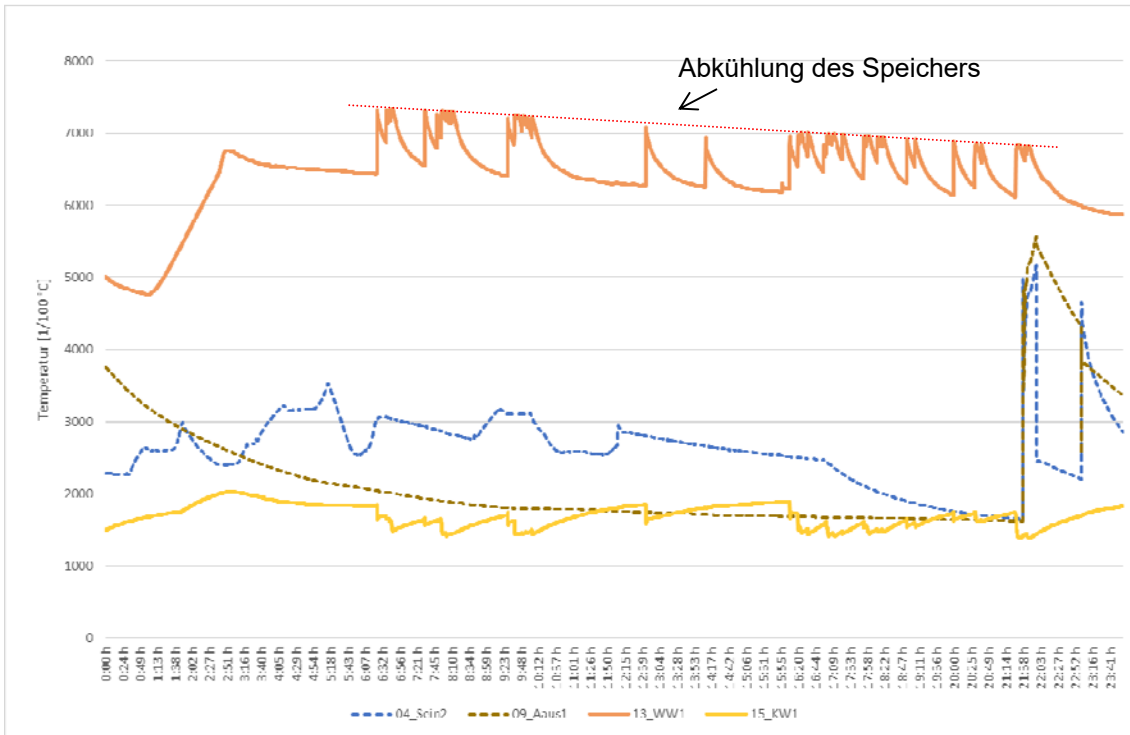


Abbildung 25: verschiedene Temperaturverläufe vom 08.04.2017 des Objekts 7

Nach der Änderung sieht die Situation nach der Legionellenschutzschaltung folgendermassen aus. Die Legionellenschutzschaltung fängt zur gleichen Zeit wie vorhin an, jedoch ist die Laufzeit des Elektroheizstabes wesentlich kürzer. Dies, weil die Wärmepumpe nun den Trinkwasserspeicher höher auflädt.

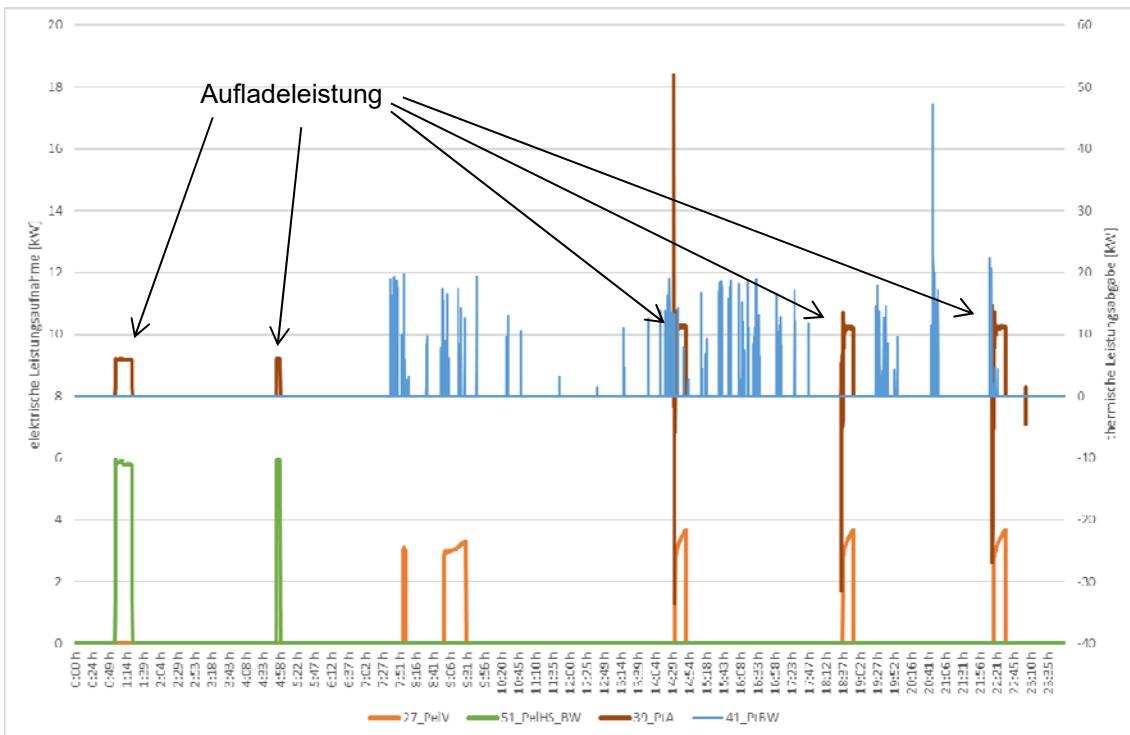


Abbildung 26: Leistungsaufnahme und -abgabe vom 26.08.2017 des Objekts 7

Die Entnahmen finden am 26. August 2017 zwischen 7:30 und 22:30 statt. Mit der neuen Parametereinstellung wärmt der Elektroheizstab den Trinkwasserspeicher während der Legionellenschutzschaltung (zur selben Zeit wie noch vor der Parametrieränderung) nur noch auf etwa 63 °C auf. Das wird dadurch ersichtlich, dass die Temperatur der ersten Entnahme bei rund 62 °C liegt. Der Verdichter lädt den Trinkwasserspeicher an diesem Tag 3mal zwischen 14:30 und 22:20 Uhr (siehe Abbildung 27). Für die Legionellenschutzschaltung wird er jedoch immer noch nicht berücksichtigt.

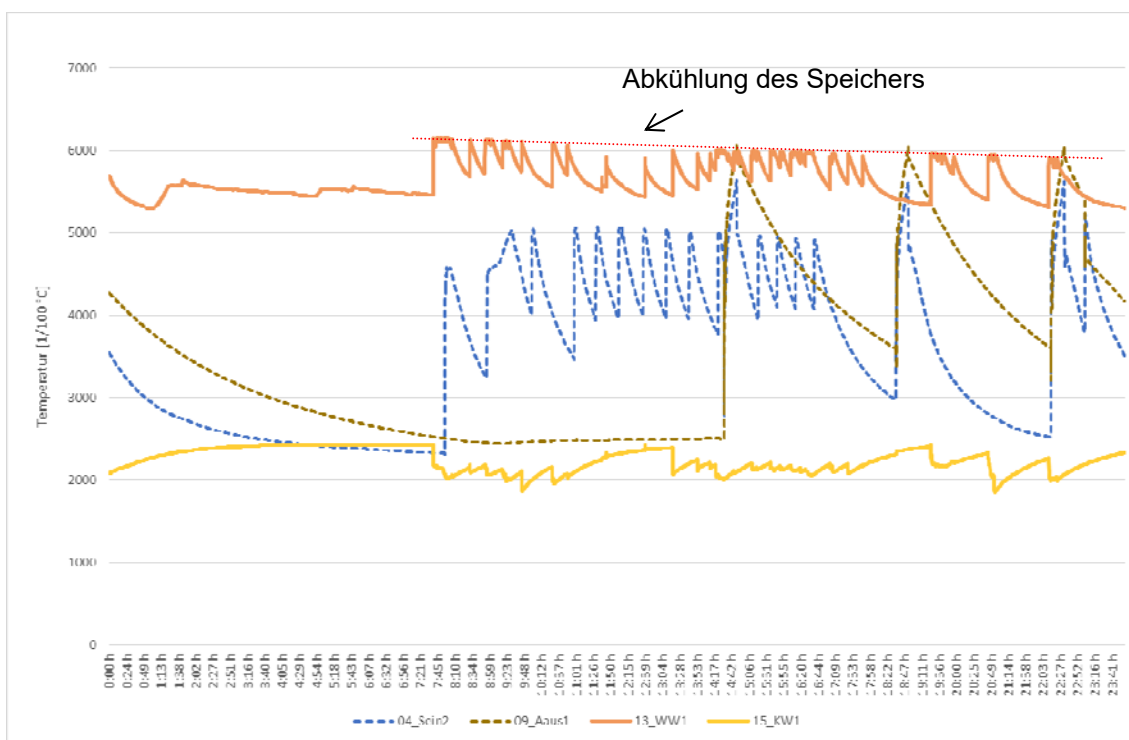


Abbildung 27: verschiedene Temperaturverläufe vom 26.08.2017 des Objekts 7

Mit den neuen Parametereinstellungen heizt die Wärmepumpe nun den Trinkwasserspeicher während der Aufladung mit ca. 60 °C auf. Dies entspricht beinahe der Entnahmetemperaturen zu diesem Zeitpunkt. Jedoch muss erwähnt werden, dass die Aufladung durch den Verdichter nun in zu kurzen Intervallen stattfindet. Die maximale Entnahmetemperatur erhöht sich nämlich nach den jeweiligen Aufladungen immer noch nicht auf. Diese bleibt bei den 60 °C. Dies deutet darauf hin, dass der Temperaturfühler, der die Aufladung einleitet, zu tief im Speicher liegt. Bei den bevorstehenden Optimierungsarbeiten wird auf diesen Punkt eingegangen.

Die nächsten vier Diagramme beziehen sich nur auf das Objekt 8. Am 22. Februar 2017 lief der Elektroheizstab der Trinkwarmwasser-Wärmepumpe während des Aufwärmvorganges mit (zwischen 13:20 und 15:15). Dies ist als der grosse Peak in Abbildung 28 ersichtlich.

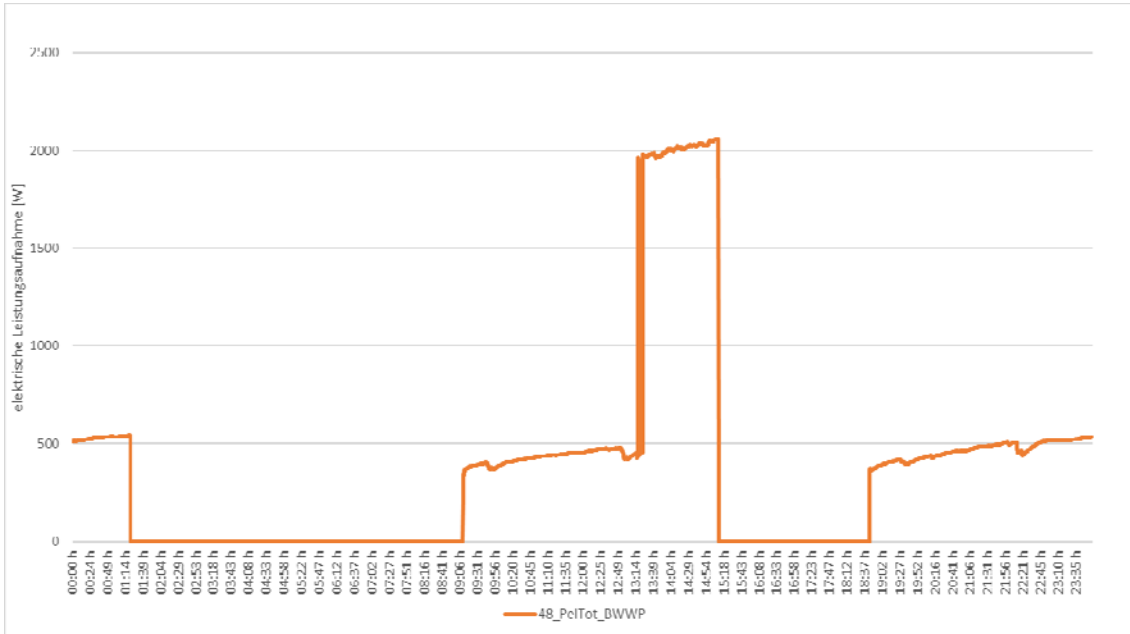


Abbildung 28: Leistungsaufnahme vom 22.02.2017 des Objekts 8

Als der Elektroheizstab einschaltete lag die Entnahmetemperatur noch bei rund 37°C, wie in Abbildung 29 ersichtlich wird. Der Verdichter konnte zu diesem Zeitpunkt den Bedarf an Trinkwarmwasser nicht mehr alleine abdecken. Nach der gesamten Aufladung lag die Entnahmetemperatur wieder bei rund 54 °C. Die Kaltwassertemperatur liegt bei rund 5 °C.

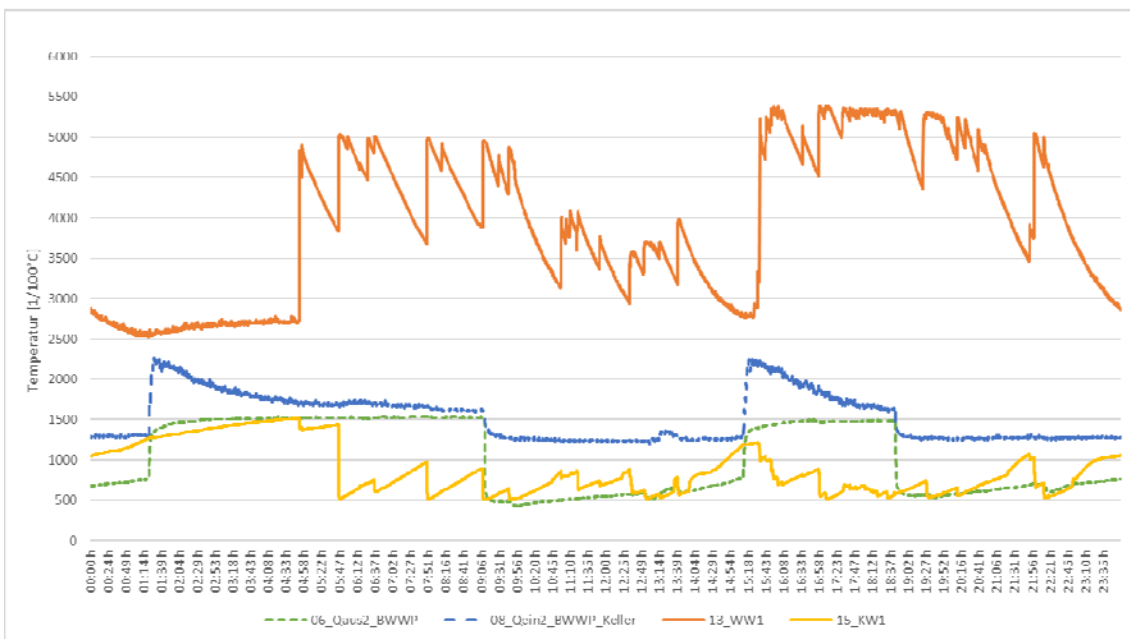


Abbildung 29: verschiedene Temperaturverläufe vom 22.02.2017 des Objekts 8



Ebenfalls sehr gut ersichtlich ist, dass die Kellertemperatur (blaue Kurve) über den gesamten Tag konstant bleibt. Ein- und Ausschalteffekt ist natürlich ersichtlich.

Am 5. März wurde ebenfalls sehr viel Trinkwarmwasser entnommen, jedoch kam der Elektroheizstab nicht zum Laufen. Die Aufnahmeleistung lag zu jedem Zeitpunkt tiefer als 600 W (siehe Abbildung 30).

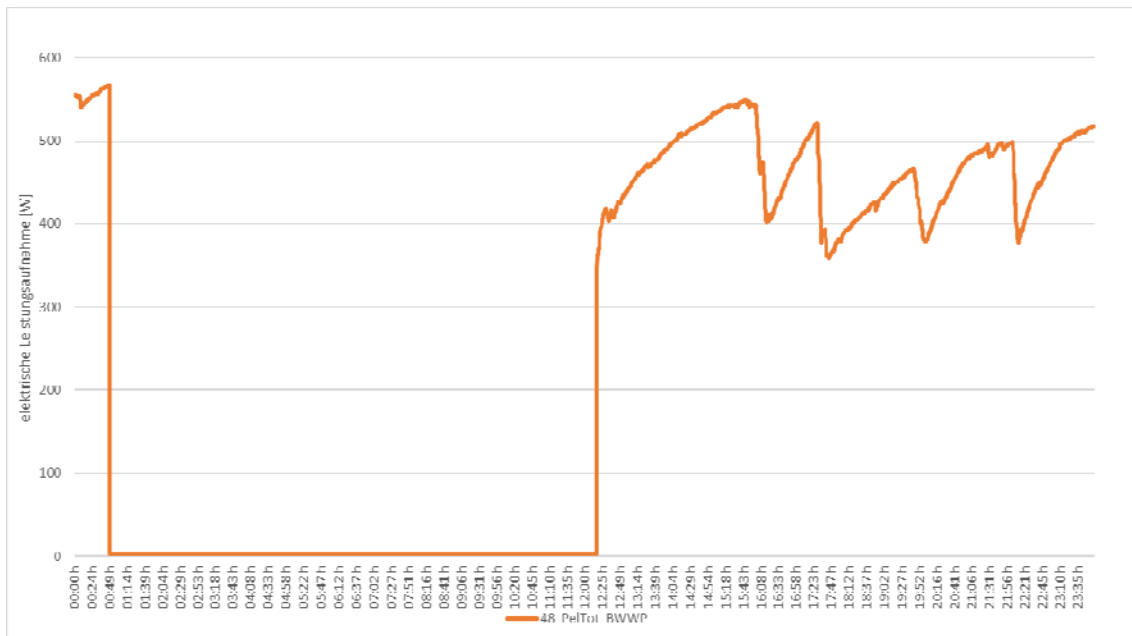


Abbildung 30: Leistungsaufnahme vom 05.03.2017 des Objekts 8

Die Entnahmetemperatur fiel bei der letzten Entnahme auf ca. 42 °C. Auch hier bleibt die Kellertemperatur konstant.

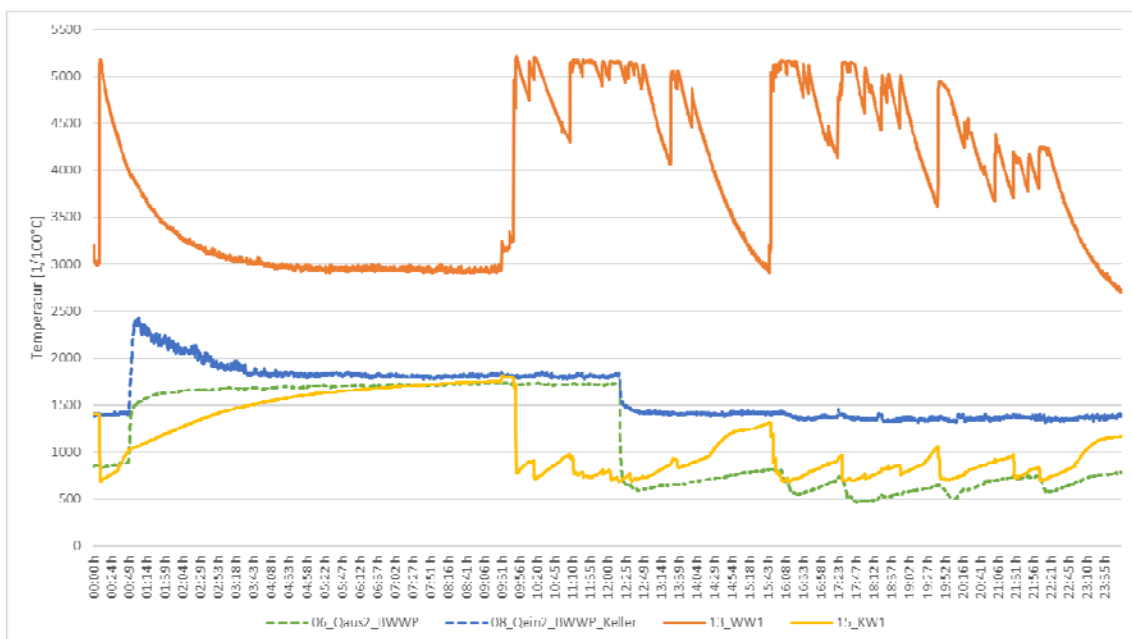


Abbildung 31: verschiedene Temperaturverläufe vom 05.03.2017 des Objekts 8

## 4 Schlussfolgerung

Das Projekt «WP Trinkwarmwassererwärmung» entwickelt sich in die richtige Richtung. Die Aufbauphase im Hinblick auf Messkonzept, Datenerfassungssystem, Anlagen-Akquise, Datenbank und Grobauswertungen ist abgeschlossen. Die Auswertungen erster Anlagen konnte inzwischen erfolgreich begonnen werden. Im kommenden Jahre soll der Fokus verstärkt auf die detaillierten Auswertungen und die Publikation der Resultate gelegt werden. Zudem stehen erste Anlagen zur Optimierung an, um einen Vorher/Nachher-Vergleich zu ermöglichen, der aufzeigt, welches Potential in einer gezielten Optimierung liegt.

Die hohe Datenqualität verspricht auch die Möglichkeit von spannenden Auswertungen mit unterschiedlichsten Fragestellungen.

Die Interpretation der Trinkwarmwassereffizienz ist sehr stark von der Systemgrenze abhängig. So führt eine effiziente Aufladung ( $JAZ_{\text{Aufladung}}$  oder  $WNG_{\text{Aufladung}}$ ) nicht direkt auch zu einer effizienten Nutzung ( $SNG_{\text{TWW}}$ ), wie z.B. das Objekt SW(4) eindrücklich aufzeigt. Bei diesem Objekt wurde im Auswertejahr 2017 eine  $JAZ_{\text{Aufladung}}$  von 3.5, ein  $WNG_{\text{Aufladung}}$  von 3.0 und ein  $SNG_{\text{TWW}}$  von nur 0.5 gemessen. Bei den anderen Anlagen fällt die Effizienz zwischen den unterschiedlichen Systemgrenzen  $WNG_{\text{Aufladung}}$  und  $SNG_{\text{TWW}}$  im Schnitt um über 30%. Somit könnte die Ermittlung der verschiedenen Effizienzkennzahlen zukünftig helfen, unterschiedliche Systeme untereinander zu vergleichen oder die Trinkwarmwasserladung im Rahmen von «smart grid»-Lösungen energieeffizient, benutzerfreundlich und den hygienischen Anforderungen entsprechend einzubinden.

Nebst der Senken- bzw. Quelltemperatur und dem Nutzerverhalten hat auch der energetische Anteil der Hilfsaggregate (Umwälzpumpen, Elektroheizeinsatz, Steuerung, usw.) einen Einfluss auf die Effizienz. Beim Objekt SW(6) liegt dieser Anteil bei rund 45%. Ausserdem wird ersichtlich, dass die Regelung einzelner Wärmepumpenanlagen noch grosses Potential haben in Bezug auf:

- Legionellenschutzschaltung (Die Legionellenschutzschaltung läuft mit dem E-Heizstab und wird bei vielen Anlagen über eine interne Zeituhr eingeschaltet und nutzt die Wärmepumpe nicht als «Vorwärmer»)
- Effiziente Aufladung des Trinkwasserspeichers (Es fällt auf, dass die Priorität der Aufladung auf möglichst schnell statt effizient liegt. Dies betrifft die drehzahlregulierten Wärmepumpenanlagen)
- Zeitliche Aufladung des Trinkwasserspeichers (z.B. Die Aufladung wird zu früh eingeleitet. Die Austrittstemperatur des Speichers liegt höher als die max. Aufladetemperatur)

Der Bericht gibt auch Aufschluss auf das Nutzerverhalten verschiedener Haushalte. So liegt der durchschnittliche Trinkwarmwasserbedarf bei den Anlagen zwischen 1.6 kWh und 11.1 kWh pro Tag. Ausserdem variiert der monatliche Trinkwarmwasserbedarf z.T. sehr stark pro Anlage, was die «richtige» Dimensionierung des Trinkwasserspeichers erschwert. Die Messungen zeigen, dass in den Wintermonaten der Trinkwarmwasserbedarf z.T. mehr als doppelt so hoch ist als in den Sommermonaten. Dies ist auch der Hauptgrund, weshalb der  $SNG_{\text{TWW}}$  in den Sommermonaten tiefer wird, obwohl die Quelltemperatur bezogen auf den Jahresmittelwert höher ist.

Auf jeden Fall hat einen zu gross dimensionierten Trinkwasserspeicher einen negativen Einfluss auf die Effizienz. Die grösste Effizienzeinbusse kommt bei den gemessenen Anlagen jedoch durch den Verlust der Zirkulation (SW(4)) zustande.

Der Fokus für das kommende Jahr liegt vor allem auf den detaillierten Auswertungen und der Publikation der Resultate.

## 5 Literatur

- [1] EN 14511:2013 Teile 1 bis 4: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern; Begriffe, Prüfbedingungen, Prüfverfahren und Anforderungen
- [2] Definition von Nutzungsgraden von Wärmepumpen-Anlagen des BFE
- [3] EN 16147:2017: Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Prüfungen und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwarmwasser
- [4] Interstaatliche Hochschule für Technik NTB: WP-Feldmessungen Jahresbericht 2017, Wärmepumpen-Anlagen 2015-2018 (Auswertung verlängert bis Dez. 2019), Jahresbericht, 31.01.2018
- [5] Hubacher Engineering: QS-WP/QP: Fortsetzung des Feldmonitorings von WP-Anlagen (2011-2014), Schlussbericht, 30. Juni 2015

## 6 Anhang

### 6.1 Methodik und Messequipment

Die Messausrüstung für die 15 geplanten Anlagen des Projektes (5 Anlagen je für die Jahre 2015, 2016 und 2017) ist bis auf wenige Details identisch. Bei jeder Wärmepumpenanlage wird ein Schaltschrank verbaut, der u.a. eine SPS (Speicherprogrammierte Steuerung) und Stromwandler für die Berechnung der Aufnahmeleistungen eingebaut hat. Die Abbildung 32 zeigt beispielhaft den Aufbau des Schaltschranks der WP-Anlage F004\_2017\_SW.

Für die Internetanbindung der SPS ist jeweils zusätzlich ein Site-Manager Modul verbaut. Je nach Anlage wird die Internetverbindung über LAN Kabel, WLAN oder Mobilfunk aufgebaut. Die Daten werden von Zeit zu Zeit über FTP Zugriff von der SPS abgerufen. (Hinweis: Das automatische Versenden der Daten über E-Mails an den Server kann aktuell aufgrund eines Bugs im E-Mail-Container des Herstellers zu SPS Abstürzen und damit auch zu einem Datenverlust führen, weshalb zur Sicherheit im Moment die Auslesung manuell erfolgt).

Die SPS nimmt alle relevanten Daten auf und führt verschiedene Berechnungen durch. So werden z.B. die aktuelle Heiz- bzw. Aufladeleistung entsprechend Gl. 1 berechnet:

$$Q' = (T_{VL} - T_{RL}) \cdot c_p \cdot \rho_{(T_{RL})} \cdot V' \quad (\text{Gl. 1})$$

Darin sind:

- $Q'$  Heizleistung (Aufladeleistung) [kW]
- $T_{VL}$  Vorlauftemperatur (Austrittstemperatur für Aufladung) [°C]
- $T_{RL}$  Rücklauftemperatur (Eintrittstemperatur für Aufladung) [°C]
- $c_p$  spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg K)], bzw. 4.181 kJ/(kg K)
- $\rho_{(T_{RL})}$  Dichte des Trägermediums beim Rücklauf [kg/m<sup>3</sup>]
- $V'$  Volumenstrom [m<sup>3</sup>/s]



Abbildung 32: Schaltschrank der Messanlage F004\_2017\_SW

Je nach Situation wird der Volumenstromzähler im Rücklauf bzw. im Vorlauf montiert. Sofern es möglich ist, wird für das Heizen und die Aufladung derselbe Zähler verwendet. Bei einer Anlage (F002\_SW\_2016) mussten für beide Hydraulikkreise je ein Zähler eingebaut werden. Die Temperaturen werden mithilfe eines PT-100 (4-Leiter-Technik) direkt gemessen. Dabei werden verschiedene Temperaturpositionen doppelt ermittelt, um die Redundanz zu gewährleisten. Ein Volumenstromzähler und die Temperaturmessung (Laboraufbau) sind in Abb. 2 3 ersichtlich.

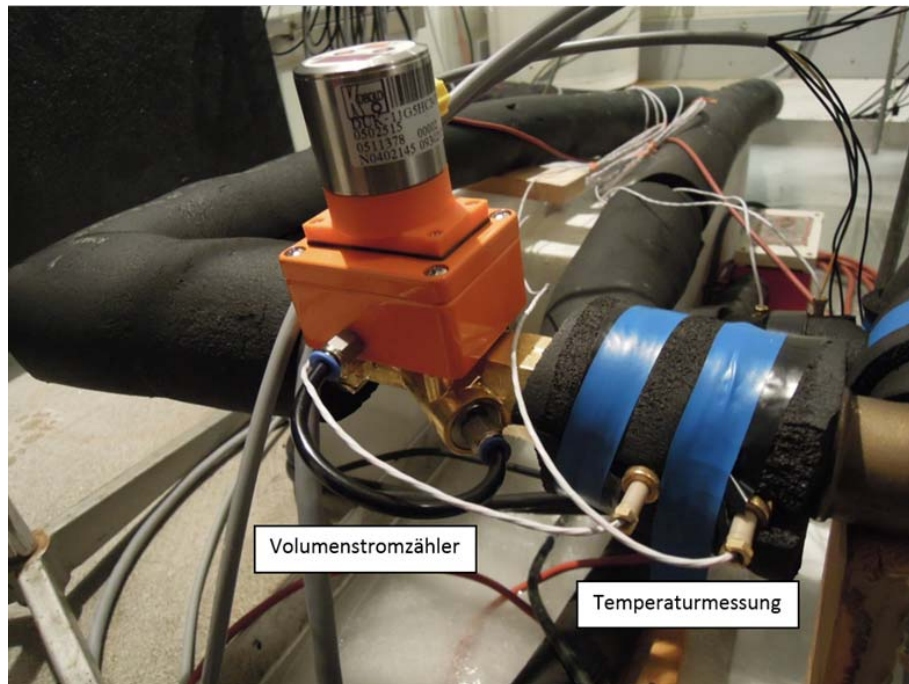


Abbildung 33: Volumenstromzähler und Temperaturmessung (Laboraufbau)

Die gesamten Daten werden auf einem Server in der Schweiz in 5 Datenbanken gespeichert (mySQL 5.5.40). Der Aufbau ist relational, d.h. jede Information ist nur einmal in einer der fünf Datenbanken bzw. deren Tabellen enthalten. Dadurch können die Daten sehr einfach aktuell und konsistent gehalten werden. Veränderbare Stammdaten enthalten noch zusätzlich eine Kennzeichnung, ab wann Sie jeweils gültig sind (z.B. „Anzahl Personen im Haushalt = x“ - „Valid Since: dd.mm.yyyy“). Aus Datenschutzgründen erfolgt die Verlinkung zu den personenbezogenen Daten über eigens generierte Id's, wodurch die personenbezogenen Daten in den anderen Datenbanken nicht im Klartext ersichtlich sind (siehe beispielhaft Abbildung 34).

objectId	objectypeld	buildingId	ownerId	operatorId
2	1	cb8f24e9-fc9d-11e5-9e4e-e83935bf2820	cb8f24e9-fc9d-11e5-9e4e-e83935bf2820	cb8f24e9-fc9d-11e5-9e4e-e83935bf2820
3	1	72c04fe3-56e3-11e5-aa50-002564bce6f0	72c04fe3-56e3-11e5-aa50-002564bce6f0	72c04fe3-56e3-11e5-aa50-002564bce6f0
1205	1	1a9e0570-696d-46e1-9676-749fb57b339c	4b375b0f-b0cc-422f-b026-606f7226ee70	4b375b0f-b0cc-422f-b026-606f7226ee70
1206	1	4bf7ed88-14f6-4ed8-a03c-e882b6f9bdd2	e7735508-e761-4c48-acd4-48a609acb478	e7735508-e761-4c48-acd4-48a609acb478

Abbildung 34: Ausschnitt aus der Objekt-Datenbank „wfpeldme\_obj“. Personendaten erscheinen nicht im Klartext und können somit nicht direkt zugeordnet werden

Folgende 5 Datenbanken sind vorhanden:

- „wpfeldme\_persons“ enthält alle personenbezogenen Daten (Name, Anschrift, Tel., etc.)
- „wpfeldme\_obj“ enthält alle objektbezogenen Daten (Gebäude-Anschrift, Besitzer, WP-Typ, EBF, etc.)
- „wpfeldme\_users“ enthält alle userbezogenen Daten inklusive der Berechtigungen (z.B. Rolle „Admin“, „Beobachter“, etc.)
- „wpfeldme\_rohdata“ enthält alle gemessenen Sensordaten im Rohdatenformat. Hier erfolgen keine Anpassungen bzw. Adaptierungen (z.B. Umrechnungen mit den Sensorfaktoren auf die tatsächlichen Temperaturwerte lt. angegebener Einheit – Diese Umrechnung erfolgt in den Calcdaten – sowie bei der Ausgabe auf der wp-feldmessung.ch Homepage)
- „wpfeldme\_calcddata“ enthält alle berechneten Werte. Berechnungsvorschriften können hier in eigenen „Features“ vom User angelegt und anschliessend mit den jeweiligen Objekten und Sensor-Id's verlinkt werden. Hierfür stehen fixe Bausteine sowie allgemeine Funktionen zur Verfügung, welche je nach zugewiesenen Sensorwerten unterschiedliche Grössen berechnen können. Hierfür muss der Programmcode nicht geändert werden(!).

In Tabelle 4 werden zwei Beispiele angeführt: Die allgemeine Funktion „mean\_B7oB6\_1“ ermittelt die Mittelwerte gemässe der verlinkten Sensor-Id's S1 und S2, in den Zeitabschnitten, in welchen Bit 7 oder Bit 6 des digitalen Signales „47\_Dig“ gleich „1“ ist.

Tabelle 3: Beispiel von Funktionsnamen und Berechnungsvorschriften in der Datenbank „wpfeldme\_calcddata“

Funktion:	Berechnungsvorschrift:
mean_B7oB6_1	Mittelwert von (S1 und S2) jenes Zeitbereiches, wo Bit 6 oder Bit 7 des digitalen Signales 47_Dig = 1 sind (Kompressor 1 oder Kompressor 2 aktiv)
JAZ+	$JAZ+ = (38\_WtS + 40\_WtA) / (26\_WeiTot - 34\_WeUS)$

Der fixe Baustein „JAZ\_BFE“ ermittelt die Kenngrösse entsprechend der dargestellten Rechenvorschrift. Hier sind die Sensor-Id's bereits fix vorgegeben und im Programmcode hinterlegt.

Tabelle 6: Beispiel von Funktionsnamen und Berechnungsvorschriften in der Datenbank „wpfeldme\_calcddata“

Funktion:                      Berechnungsvorschrift:

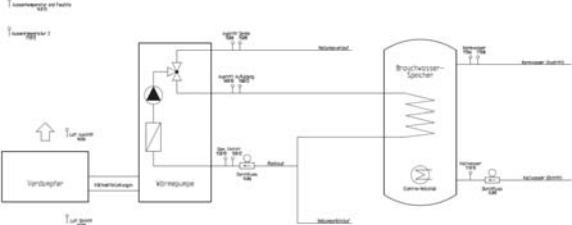
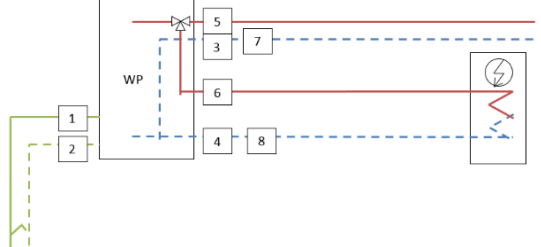
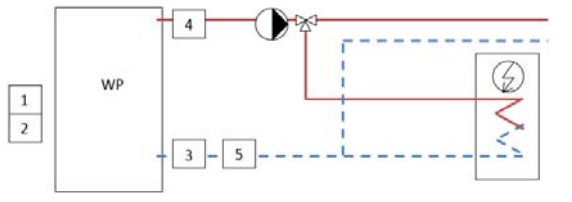
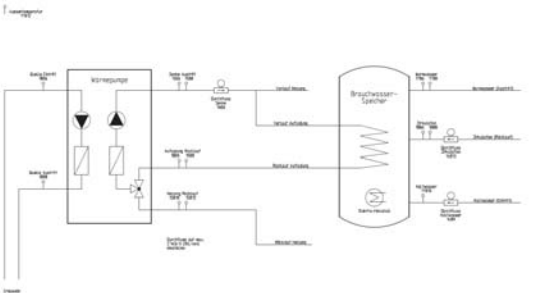
mean\_B7oB6\_1 Mittelwert von (S1 und S2) jenes Zeitbereiches, wo Bit 6 oder Bit 7 des digitalen Signales 47\_Dig = 1 sind (Kompressor 1 oder Kompressor 2 aktiv)

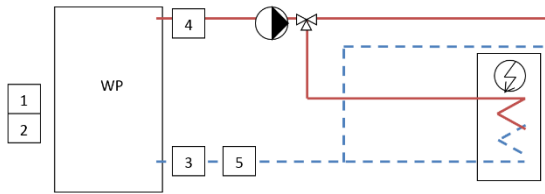
JAZ\_BFE                       $JAZ\_BFE = (38\_WtS + 40\_WtA) / (26\_WeiTot - 34\_WeUS)$

## 6.2 Schemas der Anlagen

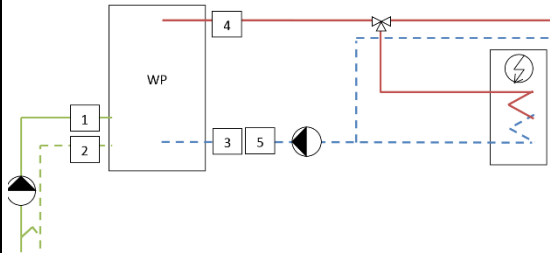
Der hydraulische Aufbau und die Sensorpositionen einiger Objekte sind in den folgenden Schemas im Detail dargestellt:

Tabelle 4: Hydraulik Schemas der WP Anlagen mit Position und Typ der verbauten Sensoren (S/W: Sole/Wasser, L/W: Luft/Wasser, BWW: Trinkwarmwasser).

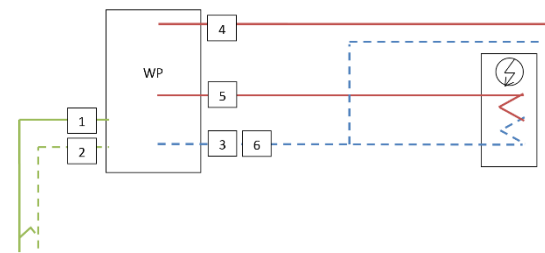
<p><b>F001_LW_2017 (L/W, Neubau)</b></p>  <p>1 Aussentemperatur (2x) 2 Feuchtefühler 3 Rücklauftemperatur/Temperatur Aufladung Eintritt (2x) 4 Vorlauftemperatur/Temperatur Aufladung Austritt (2x) Volumenstromzähler</p>	<p><b>F002_SW_2016 (S/W, Neubau)</b></p>  <p>1 Eintrittstemperatur Quelle 2 Austrittstemperatur Quelle 3 Rücklauftemperatur (2x) 4 Temperatur Aufladung Eintritt (2x) 5 Vorlauftemperatur (2x) 6 Temperatur Aufladung Austritt (2x) 7 Volumenstromzähler Heizen 8 Volumenstromzähler Aufladung</p>
<p><b>F003_LW_2016 (L/W, Sanierung)</b></p>  <p>1 Aussentemperatur (2x) 2 Feuchtefühler 3 Rücklauftemperatur/Temperatur Aufladung Eintritt (2x) 4 Vorlauftemperatur/Temperatur Aufladung Austritt (2x) 5 Volumenstromzähler</p>	<p><b>F004_2017_SW (S/W, Sanierung)</b></p>  <p>1 Quelltemperatur (1x Austritt, 1x Eintritt) 2 Aussentemperatur (1x) 3 Rücklauftemperatur/Temperatur Aufladung Eintritt (2x) 4 Vorlauftemperatur (2x) 5 Temperatur Aufladung Austritt (1x) 6 Volumenstromzähler (1x für Senke, 1x für Kaltwasser) 7 Schwerkraft-Zirkulation (1x Volumenstromzähler- Rücklauf)</p>

**F005\_2018\_LW** (L/W, Neubau)

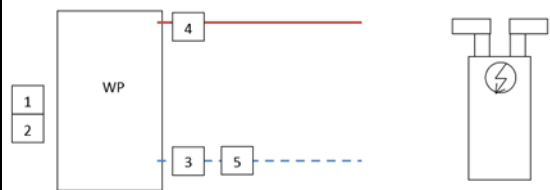
- 1 Aussentemperatur (2x)
- 2 Feuchtefühler
- 3 Rücklauftemperatur/Temperatur Aufladung Eintritt (2x)
- 4 Vorlauftemperatur/Temperatur Aufladung Austritt (2x)
- 5 Volumenstromzähler

**F006\_2017\_SW** (S/W, Sanierung)

- 1 Eintrittstemperatur Quelle
  - 2 Austrittstemperatur Quelle
  - 3 Rücklauftemperatur (2x)
  - 4 Vorlauftemperatur Heizen und Aufladung Eintritt (2x)
- Volumenstromzähler Heizen und Aufladung

**F007\_SW\_2017** (S/W, Sanierung)

- 1 Eintrittstemperatur Quelle
- 2 Austrittstemperatur Quelle
- 3 Rücklauftemperatur (2x)
- 4 Vorlauftemperatur Heizen (2x)
- 5 Aufladung Eintritt (2x)
- 6 Volumenstromzähler Heizen und Aufladung

**F008\_LW\_2017** (L/W u. BWW, Neubau)

- 1 Aussentemperatur (2x)
- 2 Feuchtefühler
- 3 Rücklauftemperatur/Temperatur Aufladung Eintritt (2x)
- 4 Vorlauftemperatur/Temperatur Aufladung Austritt (2x)
- 5 Volumenstromzähler