

Jahresbericht, 17. Dezember 2018

Bericht «WP-Feldmessungen Jahresbericht 2018»

Feldmessungen
Wärmepumpen-Anlagen 2015-2018
(Auswertung verlängert bis Dez.
2019)



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Manuel Prinzing, 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: CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444, www.infoline.energieschweiz.ch

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch, twitter.com/energieschweiz

Inhalt

Zusammenfassung	4
Résumé	5
1 Projektziele	7
1.1 Objektbeschreibungen	7
1.2 Systemgrenzen und Kennzahlen	12
2 Ergebnisse und Auswertungen der Wärmepumpenanlagen	15
2.1 Vergleich der Wärmenutzungsgrade (WNG)	15
2.1.1 Einfluss der Temperaturniveaus	18
2.2 Unterschied zwischen Jahresarbeitszahl JAZ+ und Wärmenutzungsgrad WNG.....	22
2.2.1 Einfluss der Nebenaggregate (Umwälzpumpen, Heizstäbe und Steuerungen)	23
2.2.2 Jahresarbeitszahlen JAZ+	26
3 Ergebnisse der Trinkwassererwärmung	28
3.1 Vergleich der Effizienzkennzahlen	28
3.2 Trinkwarmwassernutzung	30
3.3 Einfluss der Nebenaggregate	36
4 Optimierung	40
4.1 Heizkurve und Heizgrenze	41
4.2 Senkenumwälzpumpe.....	43
4.3 Trinkwassererwärmung.....	47
4.4 Luftführung bei Luft/Wasser-Wärmepumpen	49
4.5 WP-Grösse und hydraulische Einbindung	51
5 Energetische Auswertungen zu den Gebäuden	52
5.1 Heizwärme-, Gesamtwärmebedarf und Heizgradtage.....	52
6 Ausblick	55
7 Schlussfolgerung	55
8 Literatur	56
9 Anhang	57
9.1 Methodik und Messequipment	57

Zusammenfassung

Insgesamt werden in diesem Bericht 13 Wärmepumpen-Anlagen im Rahmen einer Feldmessung miteinander verglichen. Es handelt sich um 7 Luft/Wasser- und 6 Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen für Neubauten und Sanierungen. Davon sind 9 Wärmepumpen drehzahl-reguliert.

Bei allen Anlagen werden verschiedene Kenndaten wie JAZ+ (Jahresarbeitszahl) und WNG (Wärmenutzungsgrad für Heizen, Aufladung und Gesamt), Leistung-, Energie- und Temperaturwerte auf Tages-, Monats- und Jahresbasis ausgewertet.

Damit sind fundierte Aussagen und Analysen zum Auflade- und Heizverhalten der verschiedenen Objekte möglich.

Die Wärmenutzungsgrade WNG liegen 2018 bei den Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen um die 3, wobei eine Anlage eine 4.1 erreicht hat. Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen sieht es genau umgekehrt aus. Hier wurde eine Anlage mit 3 gemessen und alle anderen liegen bei über 4.

Aus den Messdaten sind bekannte Erkenntnisse ersichtlich wie z.B., dass die Senktemperatur (für Heizen und Aufladung) einen grossen Einfluss auf die Gesamteffizienz hat. Aber auch interessante Erkenntnisse wie, dass der Heizstab bis zu 12 % oder die Senkenumwälzpumpen bis zu 11 % des gesamten Energieverbrauches ausmachen können. Die Quellenumwälzpumpen der Sole/Wasser-Wärmepumpe spielen mit rund 3 % eher eine untergeordnete Rolle.

Im Kapitel Optimierung wird die vielfältige und hochauflösende Datenaufzeichnung für Detailbetrachtungen der Anlagen und dem Aufsuchen sowie Einschätzen von möglichen Optimierungspotentialen verwendet. Ein Hinterfragen der Heizungseinstellung und einfach durchzuführende Programmänderungen ohne Komforteinschränkungen im Bereich Heizkurve und Heizgrenze sind bei fast jedem Objekt angebracht. Ein erhebliches Einsparpotential besteht auch bei den Einstellungen der Heizungspumpen insbesondere bei Direktkreisanlagen und modulierender Verdichterleistung. In diesen Fällen laufen einige Pumpen unregelmäßig oder auf unnötig hohem Niveau während der Verdichter im Standby ist. Bei Luft/Wasser-Wärmepumpen kann ein Zeitprogramm zur Wasseraufladung über die wärmere Mittagszeit zu weiteren Einsparungen führen. Ein effizientes Legionellenprogramm mit ca. 50 % Energieeinsparung durch Unterstützung der Wärmepumpe zeigen nur 3 von 7 Wärmepumpen. Generelle Auffälligkeiten durch Fehler in der Planung, beispielsweise unpassende Leistungsdimensionierung oder Bauausführung können nicht bestätigt werden, dennoch ist bei Luft/Wasser-Wärmepumpen die Luftführung prüfenswert.

Der Heizwärmebedarf (HBW) variiert bei den untersuchten Anlagen im 2018 von 19 kWh/m²a bis 75 kWh/m²a. Der Trinkwasserwärmebedarf (TWWB) liegt über alle Anlagen zwischen 6 kWh/m²a und 19 kWh/m²a. Der Energiebezug (Stromverbrauch) der untersuchten Anlagen reicht von 8 kWh/m²a bis 33 kWh/m²a.

Bei jeder Wärmepumpenanlage ist ein Schaltschrank verbaut, in welchem eine SPS und Stromwandler für die Berechnung der Aufnahmeleistungen eingebaut ist. Ausserdem werden Durchflusszähler und Temperaturfühler bei der Anlage verbaut, 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.

Résumé

Dans le cadre de cette étude, 13 installations de pompes à chaleur ont été comparées grâce à des mesures faites sur le terrain. Il s'agit de 7 pompes à chaleur air/eau et de 6 pompes à chaleur sol/eau, se trouvant dans des bâtiments nouveaux ou des rénovations. 9 des 13 installations analysées sont munies d'un compresseur avec variateur de vitesse.

Pour toutes les installations, différentes valeurs caractéristiques importantes telles que le COPa (Coefficient de performance annuel), le taux d'utilisation de la chaleur (pour le chauffage, pour remplir le stockage de chaleur, et pour l'ensemble de l'installation), ainsi que les valeurs de puissance, d'énergie et de température sur une base journalière, mensuelle et annuelle ont été analysées.

Ceci permet de tirer des enseignements fondés par rapport au comportement de l'installation relativement au chauffage et au remplissage du stock d'eau chaude sanitaire.

Le taux d'utilisation de la chaleur se situe, pour 2018, autour de 3 pour les installations avec pompes à chaleur air/eau. Seule une installation air/eau a été mesurée à 4.1 Pour les installations avec pompes à chaleur sol/eau c'est le contraire, puisque toutes les installations se situent au-delà de 4, avec une seule installation mesurée à 3.

Les valeurs mesurées ont permis de mettre en évidence des éléments connus, tel que le fait, par exemple, que la température de la source chaude (pour le chauffage et le remplissage du stock) a une grande influence sur l'efficacité globale. Ces valeurs ont cependant aussi permis de mettre en évidence des éléments intéressants, tel que le fait, par exemple, que l'épingle électrique peut représenter jusqu'à 12% de l'énergie totale consommée, et la pompe de circulation de la source chaude jusqu'à 11%. Avec 3% de la consommation totale, les pompes de circulation de la source froide pour les pompes à chaleur sol/eau ne représentent qu'une faible consommation.

Dans le chapitre sur l'optimisation, on se sert des nombreuses données qui ont pu être collectées, avec une grande résolution temporelle, pour analyser les installations de manière très détaillée. Ceci afin d'essayer de mettre en évidence des potentiels d'optimisation, et de quantifier ces potentiels. Pour presque toutes les installations, il serait pertinent de revoir les réglages liés au chauffage et d'entreprendre des modifications simples du programme de régulation au niveau de la courbe de chauffe et de température limite de chauffage, sans que cela ne modifie pour autant le confort des utilisateurs. Un potentiel d'économie non négligeable se situe également au niveau du réglage des pompes de chauffage, surtout pour les installations avec comprenant un circuit de chauffage « en direct » (sans unité de stockage) et compresseur modulable. Il y a en effet des installations pour lesquelles des pompes fonctionnent soit sans être régulées, soit à des niveaux inutilement élevés alors que le compresseur est en mode standby. Pour les pompes à chaleur air/eau on pourrait également introduire un programme horaire qui permettrait de remplir le stock d'eau chaude durant les heures de midi, qui sont plus chaudes, et ainsi générer des économies supplémentaires. 3 pompes à chaleur sur 7 bénéficient d'un programme de légionellose efficace, qui permet d'économiser 50% de l'énergie, grâce à un pré-chauffage réalisé de la pompe à chaleur. Cette étude n'a pas permis de mettre en évidence des anomalies générales au niveau de la planification, par exemple des erreurs de dimensionnement, ou au niveau de l'installation de la pompe à chaleur. Ceci étant, pour les pompes à chaleur air/eau on recommande de vérifier les éléments liés à la circulation de l'air.

Les besoins de chauffage varient, pour 2018, de 19 kWh/m²/an à 75 kWh/m²/an sur l'ensemble des installations analysées. Les besoins en eau chaude sanitaire se situent dans une fourchette qui va de 6 kWh/m²/an à 19 kWh/m²/an pour l'ensemble des installations. La consommation d'énergie (électricité) varie de 8 kWh/m²/an à 33 kWh/m²/an pour l'ensemble des installations analysées.

Chacune des installations comprend une armoire électrique incluant un PLC et un transformateur, permettant de calculer la puissance absorbée. De plus, des débitmètres et des sondes de température sont installés, afin de faire des mesures et calculer la puissance utile (puissance délivrée). Toutes les valeurs mesurées et calculées sont enregistrées, avec une résolution temporelle de 10 secondes, dans une banque de données hébergées sur un serveur suisse.

1 Projektziele

Die Effizienz von Wärmepumpen reagiert sensibel auf die Einbindung in das Heizsystem sowie die Einstellungen des Wärmepumpenreglers. Dies wurde bereits in der langjährigen Feldmesskampagne «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
- Abtauungen
- Taktverhalten
- Detaillierte Aufschlüsselung nach unterschiedlichen Nutzungsgraden
- Messung an den unterschiedlichen Systemgrenzen
- Aussagen über das Gebäude
- Einfluss der Nebenaggregate auf die Effizienz (Umwälzpumpe, Heizstäbe, usw.)

Spezifische Ziele des Projekts «WP Feldmessung» 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. Jährlich sollen fünf neue Anlagen in die Messreihe aufgenommen werden und weiterbetreut werden. Durch diese Kontinuität kann auch in den Folgejahren ein Abgleich der neu ermittelten Kenngrößen mit den bisherigen Feldmessungen erfolgen.

Nach einem Auswertezeitraum 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.

Somit kann es im Projekt «WP Feldmessung» gelingen, die Ursachen für die Performance-Unterschiede zwischen Labor und Feld besser auf die Verursacher zurückzuführen (WP-Herstellung, Regler-Einstellungen, Installationen, usw.).

1.1 Objektbeschreibungen

Derzeit werden 13 Anlagen gemessen und in diesem Bericht dargestellt. Bei den Auswertungen für das Jahr 2017 ist zu beachten, dass nur bei 2 Anlagen (Objekt 2 und Objekt 3) bereits ein volles Kalenderjahr gemessen werden konnte. In den Grafiken wird dies mit dem Startmonat der Messung angezeigt (z.B. «1 (N) 05-17» steht für «Objekt 1, Neubau, Messdaten seit Mai 2017»).

Ausgewertet werden derzeit 7 Luft/Wasser- und 6 Sole/Wasser-Wärmepumpen. Vier Wärmepumpen werden dabei in Neubauten betrieben, 9 wurden bei Sanierungsobjekten eingebaut. Sechs Wärmepumpen verwenden drehzahlgeregelte Kompressoren. Die Objekte 8 und 14 haben zusätz-

lich eine eigene Trinkwarmwasser-Wärmepumpe, das Objekt 6 eine Solarthermie Anlage. Bei vier Wärmepumpen ist der Kühlbetrieb aktiviert (Objekte 2, 6 (hier aber unter 10 Stunden/Jahr), 13 und 15.

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"> • Viele Verdichter Starts im Heizbetrieb (über 20 Starts pro Tag, gilt nicht für die Aufladung) • Heizstäbe: WP und TWW-Speicher • SCOP₃₅ = 3.85 • SCOP₅₅ = 2.95
2	01.08.2016		X	X		X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Objekt wurde erst im Dez. 2016 bezogen. • Heitzt und kühlt immer wieder am gleichen Tag • Heizstäbe: Nur TWW-Speicher • SCOP₃₅ = 4.9 • SCOP₅₅ = n.a. – Energielabel A++
3	01.07.2016	X			X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Viele Verdichter Starts im Heizbetrieb (über 20 Starts pro Tag, gilt nicht für die Aufladung) • Seit Sept. 2016 kein Kühlbetrieb mehr aufgetreten • Heizstäbe: WP und TWW-Speicher • SCOP₃₅ = 4.78 • SCOP₅₅ = 3.68

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"> • Wärmepumpensystemmodul • Einbau der wärmeisolierten Fenster erst für den 4.12.17 geplant • WP läuft öfters 24h durch (z.B. vom 11. Nov. bis 11. Dez. 2017 durchgehend in Betrieb) • Heizstäbe: WP und TWW-Speicher • SCOP₃₅ = 5.23 • SCOP₅₅ = 4.13
5	25.10.2017 (Bewohnt seit 24.3.18)	X		X				<ul style="list-style-type: none"> • Messung seit dem 25.10.2017, aber erst seit dem 24.3.2018 bewohnt • Heizstäbe: WP und TWW-Speicher • SCOP₃₅ = 3.85 • SCOP₅₅ = 2.95
6	01.08.2017		X		X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Solarthermie Unterstützung für Heizen und Trinkwassererwärmung • Heizstab des Trinkwarmwasserspeicher jeden Samstag für 1 bis 2h in Betrieb (Der Elektroheizstab wird über eine Zeituhr eingeschaltet. Auffallend ist, dass der Elektroein-satz 2mal hintereinander einschaltet) • Heizstäbe: WP und TWW-Speicher • SCOP₃₅ = 5.20 • SCOP₅₅ = 4.20

Objektnummer	Beginn der Messung	Luft / Wasser WP	Sole / Wasser WP	Neubau	Sanierung	Drehzahl-Regelung	Kühlung aktiviert	Anmerkungen:
7	12.01.2017		X		X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Heitzt jeden Tag (auch wenn Tagesmittel der Umgebungstemperatur über 28 Grad C war) • Heizstab des Trinkwarmwasserspeicher jeden Samstag für 0.5 bis 1h in Betrieb (Der Elektroheizstab wird über eine Zeituhr eingeschaltet. Auffallend ist, dass der Elektroein-satz 2mal hintereinander einschaltet) • Heizstäbe: WP und TWW-Speicher • SCOP₃₅ = 5.43 • SCOP₅₅ = 4.03
8	12.01.2017	X			X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Separate WP für die Trinkwasseraufbereitung (Nur bei Objekt 8 und Objekt 14 vorhanden) • Aufgrund der zwei Wärmepumpen können die gemeinsamen Kennwerte JAZ+, COP+ nicht ermittelt werden => Es werden nur die Kennwerte der Betriebsziele JAZ+_Heizen und JAZ+_Aufladung betrachtet! • Viele Verdichter Starts im Heizbetrieb (20 bis 42 Starts pro Tag, gilt nicht für die Aufladung) • Heizstäbe: Pufferspeicher und Trinkwarm-wasser-Wärmepumpe • SCOP₃₅ = 4.20 • SCOP₅₅ = n.a.
11	01.08.2017	X			X	X		<ul style="list-style-type: none"> • 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) • Heizstäbe: WP und TWW-Speicher • SCOP₃₅ = 4.35 • SCOP₅₅ = 3.38

Objektnummer	Beginn der Messung	Luft / Wasser WP	Sole / Wasser WP	Neubau	Sanierung	Drehzahl-Regelung	Kühlung aktiviert	Anmerkungen:
13	01.08.2017		X		X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Heizstab des Trinkwarmwasserspeicher jeden Freitag für ca. 0.5 h bis 0.9 h in Betrieb (Der Elektroheizstab wird über eine Zeituhr eingeschaltet) • WP läuft am Wochenende öfters 24h durch (Unter der Woche häufig 22.9h aufgrund einer 1h EW Sperre der EKZ¹) • Heizstäbe: WP und TWW-Speicher • SCOP₃₅ = 5.20 • SCOP₅₅ = 3.95
14	01.12.2017		X		X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Separate WP für die Trinkwasseraufbereitung (Nur bei Objekt 8 und Objekt 14 vorhanden) • Aufgrund der zwei Wärmepumpen können die gemeinsamen Kennwerte JAZ+, COP+ nicht ermittelt werden => Es werden nur die Kennwerte der Betriebsziele JAZ+_Heizen und JAZ+_Aufladung betrachtet! Heizstäbe: Pufferspeicher und Trinkwarmwasser-Wärmepumpe • SCOP₃₅ = 5.20 • SCOP₅₅ = 3.95

¹ Details zur EW-Sperre des EKZ: https://www.ekz.ch/content/dam/ekz-internet/private/Bauen/WV-ZH-2015-01_zusaetzliche-Weisungen-EKZ.pdf

Objektnummer	Beginn der Messung	Luft / Wasser WP	Sole / Wasser WP	Neubau	Sanierung	Drehzahl-Regelung	Kühlung aktiviert	Anmerkungen:
15	01.01.2018	X			X		X	<ul style="list-style-type: none"> • Doppelhaushälfte mit Minergie-Standard, Baujahr 2005 • Wärmepumpe steht in der Tiefgarage des Objektes • TWW über Frischwasserstationen • Besitzer ist HLK-Ingenieur und Betriebsoptimierer (Eigenverbrauchsoptimierung mit der installierte PV-Anlage geplant, besonders auch für die Kühlfunktion) • Heizstäbe: Nur im TWW-Speicher • SCOP₃₅ = 4.83 • SCOP₅₅ = 3.98
16	01.11.2017	X			X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Heizstäbe: WP, TWW-Speicher und Pufferspeicher • Legionellen Schaltung: Heizstab des TWW-Speichers kommt jede Woche für ca. 0.5 bis 1.2 Stunden (Nacht Samstag auf Sonntag) • WP-Störung am 4.2.18 – danach war der Heizstab im Pufferspeicher aktiv. Nach entsprechender Information wurde der Heizstab-Einsatz dann wieder deaktiviert. • SCOP₃₅ = n.a. – Energielabel A++ • SCOP₅₅ = n.a. – Energielabel A++

1.2 Systemgrenzen und Kennzahlen

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

Die Jahresarbeitszahl JAZ+, der Wärmenutzungsgrad WNG und Systemnutzungsgrad SNG_{TWW} werden mit folgenden Formeln ermittelt:

$$JAZ+ = (Q_{\text{Heizen}} + Q_{\text{Aufladung}}) / (E_{\text{Tot}} - E_{\text{UP_Senke}} - E_{\text{ext_HS}})$$

$$WNG = (Q_{\text{Heizen}} + Q_{\text{Aufladung}}) / E_{\text{Tot}}$$

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

Bei der Jahresarbeitszahl JAZ+ wird hauptsächlich die Effizienz der Wärmepumpe ermittelt. In dieser Kennzahl werden nur die elektrischen Energien vom Verdichter, Gebläse (nur Luft/Wasser-Wärmepumpe), Quellenpumpe (nur Sole/Wasser-Wärmepumpen) und der Steuerelektronik der Wärmepumpe berücksichtigt. Im Wärmenutzungsgrad WNG werden auch die elektrischen Energien der Senkenumwälzpumpe und aller Elektroheizstäbe miteinbezogen, Dadurch wird die Effizienz der Heizungseinbindung abgebildet. Die dritte Kenngrösse SNG_{TWW} (Systemnutzungsgrad der Trinkwassernutzung) wurde noch herangezogen, damit einerseits der Warmwasserbedarf ersichtlich wird und andererseits Erkenntnisse über die Speicherdimensionierung gewonnen werden kann. Zusätzlich können mit dieser Grösse auch die Trinkwarmwasser-Wärmepumpen beurteilt werden. Um den Einfluss der «Nutzung» bzw. das Gebäude und dessen Standort einstufen zu können, werden noch folgende Kennwerte ermittelt und dargestellt:

$QH_HWB = Q_{\text{Heizen}} / EBF$	Heizwärmebedarf [kWh/m ²]
$GWB = (Q_{\text{Heizen}} + Q_{\text{Aufladung}}) / EBF$	Gesamtwärmebedarf [kWh/m ²]
HGT_20_12	Heizgradtage [°C]

Mit:

Q_{Heizen}	Thermische Energie im Heizbetrieb [kWh]
$Q_{\text{Aufladung}}$	Thermische Energie im Aufladebetrieb [kWh]
E_{Tot}	Elektrische Energie des gesamten Wärmepumpensystems [kWh]
$E_{\text{UP_Senke}}$	Elektrische Energie der Umlaufpumpe Senke [kWh]
$E_{\text{ext_HS}}$	Elektrische Energie der externen Heizstäbe [kWh]
EBF	Energiebezugsfläche [m ²]

Bei der Ermittlung der Heizgradtage HGT_20_12 wird eine Grenztemperatur von 12 °C und eine Soll-Innentemperatur von 20 °C verwendet. Heizgradtage werden nur gezählt, wenn die mittlere Tagestemperatur die Heizgrenze (hier 12 °C) nicht übersteigt. Die HGT ergeben sich dann aus der Differenz zwischen der mittleren Tagestemperatur und 20 °C.

Um den Einfluss der «Trinkwarmwassernutzung» einstufen 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_{TWW}	Thermische Energie der Trinkwarmwassernutzung [kWh]
$E_{\text{Aufladung}}$	Elektrische Energie des gesamten Wärmepumpensystems während der Aufladung [kWh]

T_{WWB} Trinkwasserwärmebedarf [kWh/m²] η_{TWW}

Wirkungsgrad der Trinkwarmwassernutzung [-]

Die Systemgrenzen sind in Abbildung 1 dargestellt.

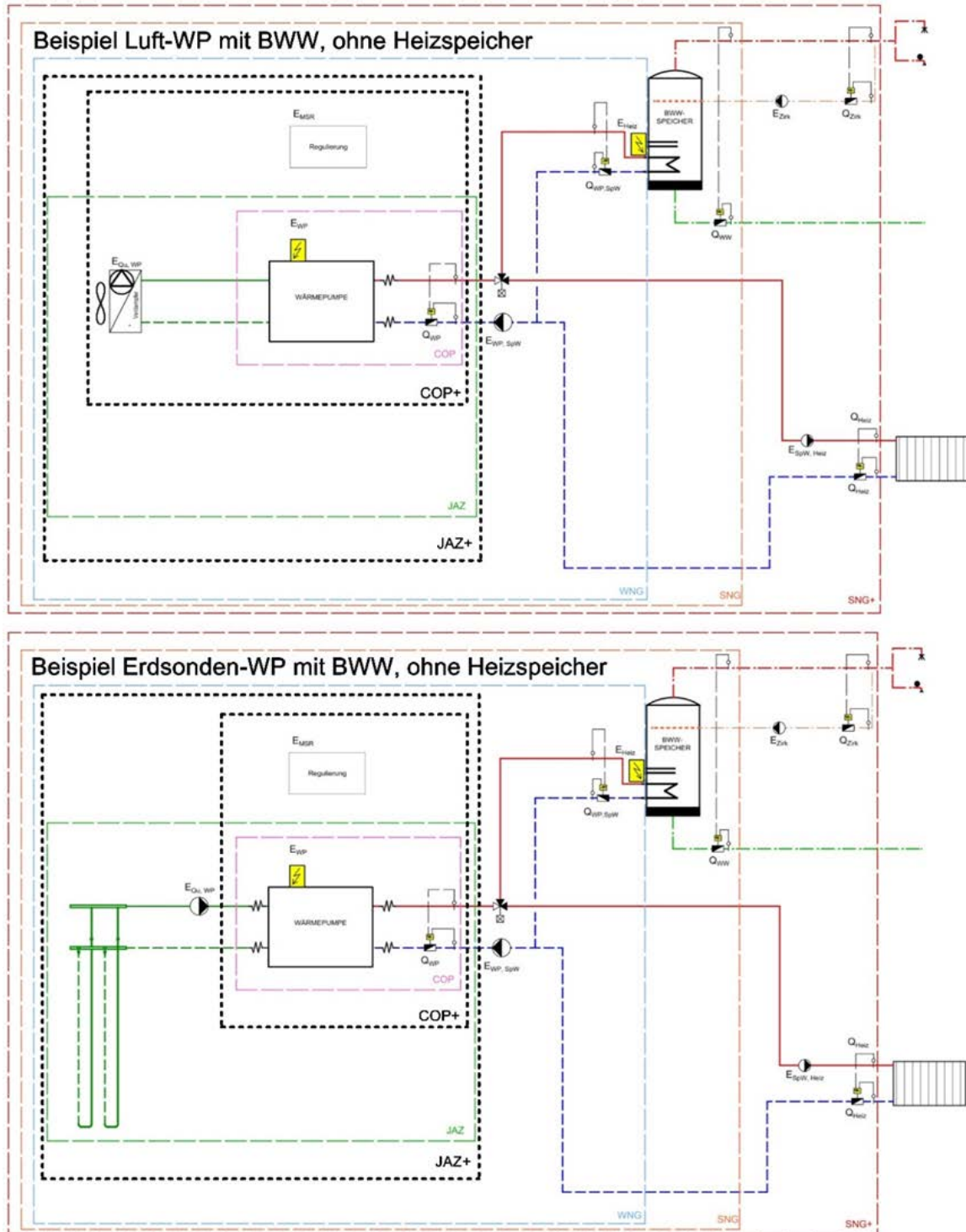


Abbildung 1: Systemgrenzen gemäss BFE für Luft- und Erdsonden-WP mit BWW, ohne Heizspeicher. Zu beachten sind insbesondere die Systemgrenzen zur Berechnung des COP+ und JAZ+. Bei der JAZ+ wird die Steuerung und der Bedarf der Quellen-Umwälzpumpe miteinbezogen.

2 Ergebnisse und Auswertungen der Wärmepumpenanlagen

In diesem Kapitel werden die Wärmepumpen-Anlagen miteinander verglichen. Nebst der allgemeinen Energieeffizienz wird auch auf den Effizienzeinfluss der Nebenaggregate (wie z.B. Heizstab, Umwälzpumpen) und der Quellen- bzw. Senktemperatur eingegangen. Während sich der erste Teil auf die neu ausgerüsteten Anlagen mit hochauflösendem Datenerfassungssystem konzentriert, befasst sich der zweite Teil mit den Bestandsanlagen mit Handablesung.

2.1 Vergleich der Wärmenutzungsgrade (WNG)

In Abbildung 2 und Abbildung 3 werden die Wärmenutzungsgrade WNG der gemessenen Objekte für das Jahr 2017 und 2018 dargestellt. Im Gegensatz zur Jahresarbeitszahl JAZ+ wird bei dem Wärmenutzungsgrad der elektrische Energiebedarf der Senkenumwälzpumpe sowie die externen elektrischen Heizstäbe mitberücksichtigt. Dementsprechend spiegelt diese Kennziffer die Effizienz der Wärmeerzeugung aus Nutzersicht besser als die Jahresarbeitszahl JAZ+ wider, welche eher die Effizienz der Wärmepumpe als einzelne Komponente widerspiegelt. Speziell beim Einsatz des elektrischen Heizstabes im Trinkwasserspeicher (z.B. wegen «Legionellenschaltungen», usw.) und der Umwälzpumpe sind grosse Unterschiede ersichtlich, welche beim Wärmenutzungsgrad berücksichtigt werden. Daher wird das Augenmerk in diesem Kapitel vor allem auf den Wärmenutzungsgrad gelegt. Die in der Abbildungs-Legende verwendeten Abkürzungen sind folgendermassen zu verstehen:

N	Neubau
Sa	Sanierung
Sa-ME	Sanierung mit Minergie-Standard
d	leistungsmodulierende Wärmepumpe

Die Objekte 2 und 3 wurden bereits 2016 in Betrieb genommen. Die restlichen Objekte gingen während des Jahres 2017 in Betrieb. Dementsprechend haben die Objekte im 2017 z.T. unterschiedliche Auswertezeiträume. Die Auswertedaten im 2018 beziehen sich auf die Monate Januar bis und mit Oktober.

In den Grafiken werden die Systeme zuerst entsprechend der Wärmequelle gruppiert (zuerst Luft/Wasser-, dann Sole/Wasser-Wärmepumpen) und dann entsprechend des Wärmenutzungsgrades aufsteigend gereiht.

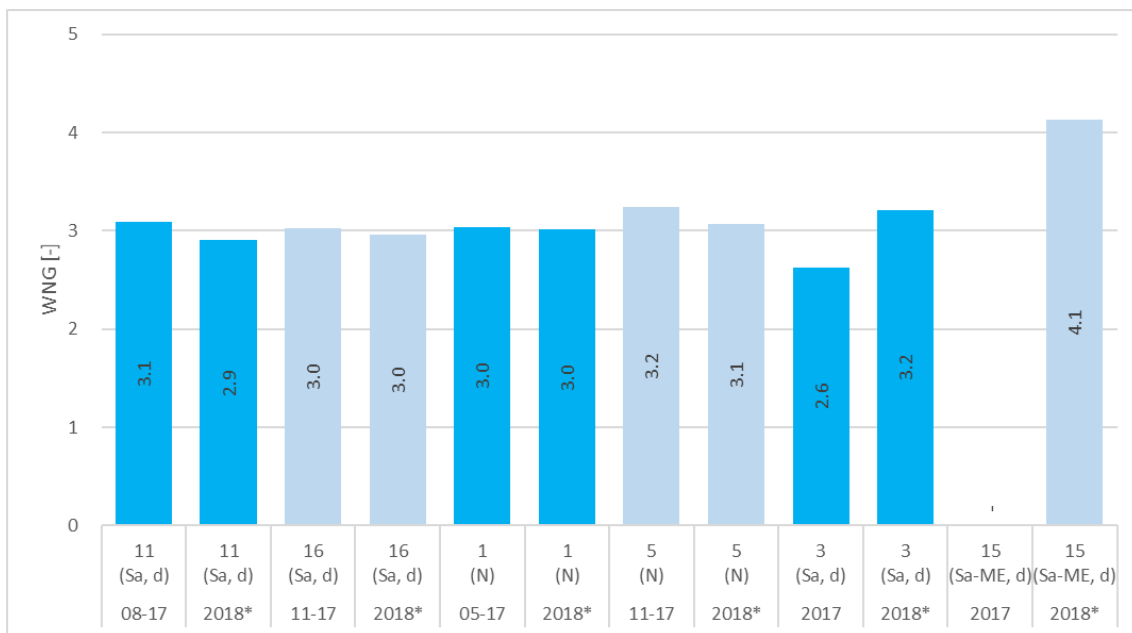


Abbildung 2: Wärmenutzungsgrad (WNG) unterschiedlicher Luft/Wasser-Wärmepumpensystemen der Jahre 2017 und 2018, ansteigend sortiert entsprechend den WNG-Werten des Jahres 2018

Die Wärmenutzungsgrade der Luft/Wasser-Wärmepumpen liegen im Jahr 2018 zwischen 2.9 (Objekt 11) und 4.1 (Objekt 15). Beim Objekt 8 wird nur das Gebäude mit der Wärmepumpe beheizt, die Warmwassererzeugung wird durch eine separate Trinkwarmwasser-Wärmepumpe erzeugt und kann daher in diesem Diagramm nicht aufgelistet werden. Die Gesamteffizienz des Objekts 3 konnte von 2017 auf 2018 stark erhöht werden. Die Gründe hierfür werden im Kapitel 2.1.1 aufgezeigt.

Bei der nächsten Abbildung 3 werden die Wärmenutzungsgrade WNG aller Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen gezeigt.

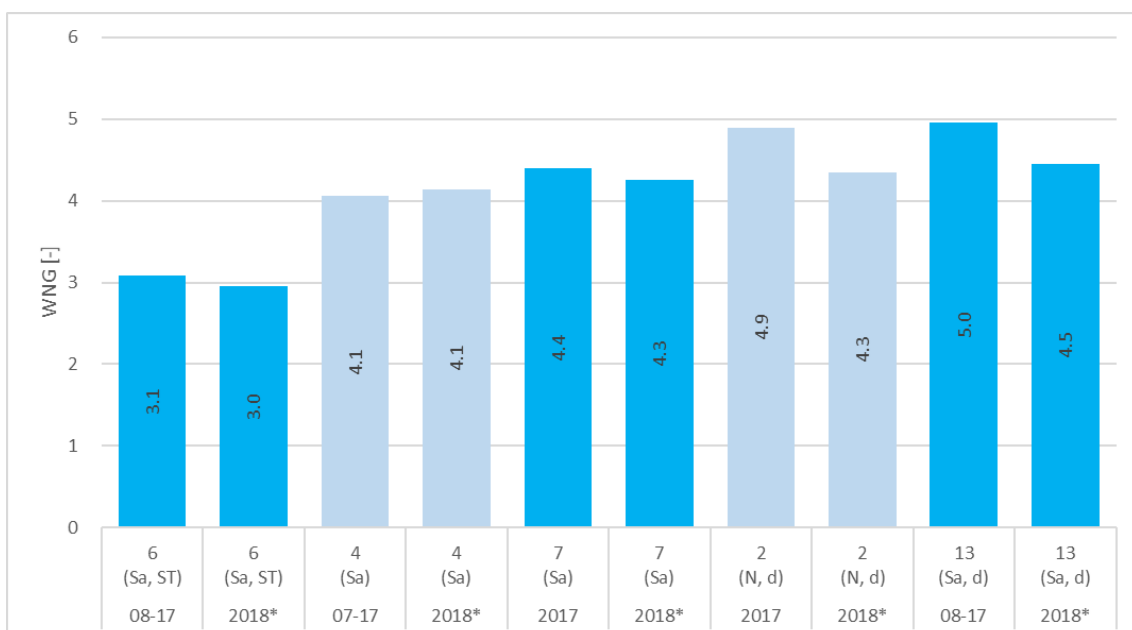


Abbildung 3: Wärmenutzungsgrad (WNG) unterschiedlicher Sole/Wasser-Wärmepumpensystemen der Jahre 2017 und 2018, ansteigend sortiert entsprechend den WNG-Werten des Jahres 2018

Der Wärmenutzungsgrad WNG variiert bei diesen Anlagen im 2018 zwischen 3.0 (Objekt 6) und 4.5 (Objekt 13). Beim Objekt 14 wird ebenfalls nur das Gebäude mit der Wärmepumpe beheizt, die Trinkwassererwärmung erfolgt durch eine separate Wärmepumpe. Deshalb kann in diesem Diagramm die Effizienz dieser Anlage nicht aufgezeigt werden. Die Objekte 2 und 7 können auch jahresübergreifend verglichen werden. Hier zeigt sich, dass sich die Effizienz des Objekts 7 kaum von 2017 und 2018 unterscheiden. Beim Objekt 2 wird im aktuellen Jahr sogar eine niedrigere Effizienz gemessen als noch im Vorjahr.

Damit auch die Anlagen, die eine separate Trinkwarmwasser-Wärmepumpe haben, mit allen anderen Objekten verglichen werden können, werden noch zusätzliche Systemgrenzen ausgewertet. In den folgenden beiden Abbildungen werden nebst des gesamten Wärmenutzungsgrades WNG, auch die Wärmenutzungsgrade im Heizbetrieb WNG_Heizen und während der Aufladung WNG_Aufladung und der Systemnutzungsgrad des Trinkwarmwassers SNG_TWW ausgewertet.

In der Abbildung 4 sind die Luft/Wasser-Wärmepumpen gegenübergestellt. Gut ersichtlich ist, wie erwartet, dass die Anlagen im Heizbetrieb effizienter laufen als während der Trinkwasser-Erwärmung. Einzig im 2017 war dies beim Objekt 3 umgekehrt. Die Gesamt-Effizienz der gemessenen Luft/Wasser-Wärmepumpen wird nicht nur entweder von einer effizienten Raumheizung oder Trinkwassererwärmung beeinflusst, sondern, es sieht so aus, als ob eine effizientere Raumheizung auch eine effizientere Trinkwassererwärmung mit sich bringt.

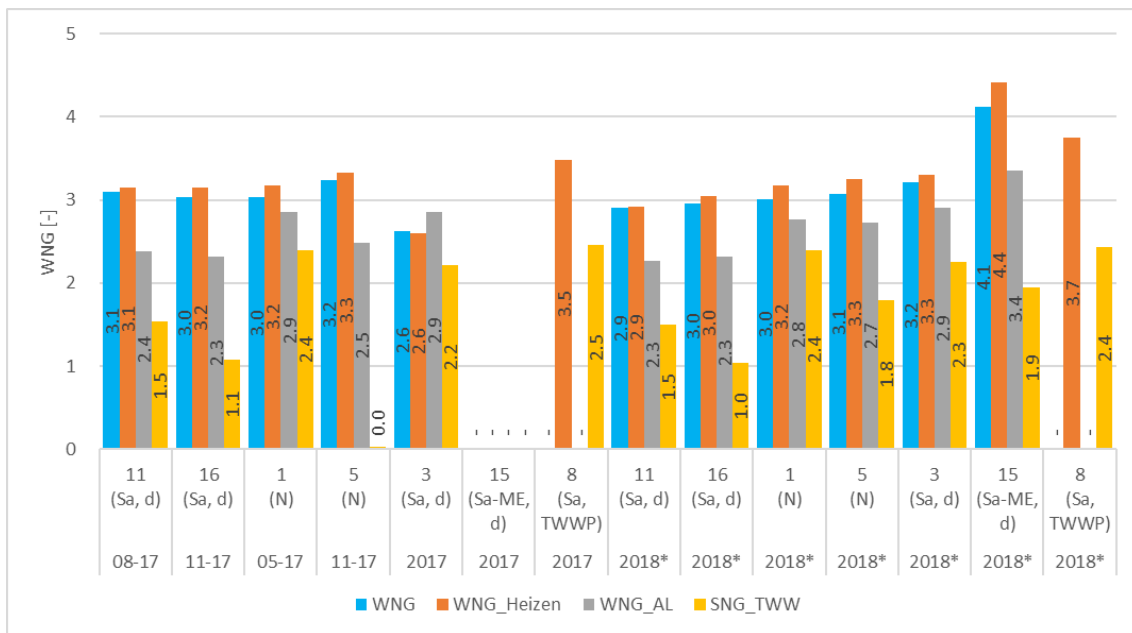


Abbildung 4: Darstellung des Wärmenutzungsgrades WNG der Luft/Wasser Wärmepumpen der Jahre 2017 und 2018 im Vergleich zu den Wärmenutzungsgrade im Heizbetrieb WNG_Heizen und während der Aufladung WNG_Aufladung und Systemnutzungsgrads des Trinkwarmwassers SNG_TWW

Die Wärmenutzungsgrade im Heizbetrieb variieren 2018 bei allen Luft/Wasser-Wärmepumpen-Anlagen zwischen 2.9 und 4.4. Das Objekt 8 liegt im Vergleich zu den anderen Anlagen auf dem 2. Platz. Im selben Zeitraum konnten auch die Wärmenutzungsgrade während der Aufladung ermittelt werden. Hier liegen die Werte zwischen 2.3 und 3.4. Da bei der Trinkwarmwasser-Wärmepumpe der WNG_Aufladung nicht ermittelt werden kann, wird für die Vergleichbarkeit aller Anlagen der Systemnutzungsgrad SNG_TWW genommen. Bei dieser Grösse wird direkt das Nutzerverhalten aufgezeigt. Bei dieser Grösse liegen die Werte im 2018 zwischen 1.0 und 2.4. Auffallend hier ist vor allem, dass der WNG_Aufladung und SNG_TWW nicht miteinander korrelieren. Eine effiziente Aufladung führt nicht direkt zu einer effizienten Nutzung, wie z.B. das Objekt 15 zeigt. Mit dieser Auswertungsgrösse liegen die Objekte 1 und 8 (Trinkwarmwasser-Wärmepumpe)

ganz vorne. Die Objekte 1 und 8 (Trinkwarmwasser-Wärmepumpe) weisen die höchste Warmwassernutzung auf mit jeweils einem SNG_TWW von 2.4.

In der folgenden Abbildung 5 werden die Nutzungsgrade der Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen gezeigt. Bei dieser Gegenüberstellung wird deutlich, dass nicht zwingend die Gesamteffizienteste Anlage auch die effizienteste Raumheizung oder Aufladung aufweist. Die effizienteste Anlage in der Gesamtbeurteilung weist nämlich im Vergleich zu den anderen Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen nur durchschnittliche Heiz- und Aufladeeffizienz auf. Das Objekt 2 heizt das Gebäude am effizientesten und die Trinkwassererwärmung wird beim Objekt 4 am effizientesten durchgeführt. Bei der Betrachtung des Systemnutzungsgrades SNG_TWW fällt jedoch das Objekt 4 sehr schlecht auf. Bei dieser Anlage wurde nur einen Wert von 0.3 im Jahr 2018 ermittelt. Dies kommt einerseits, da sehr wenig Warmwasser bezogen wird (hohe Wärmeverluste) und andererseits, eine Zirkulation im Betrieb ist (die einzige Anlage mit aktiver Zirkulation). Bei den anderen Anlagen liegt der SNG_TWW zwischen 1.6 (Objekt 14) und 2.0 (Objekt 6). Hier fällt auf, dass beim Objekt 6 der SNG_TWW höher ist als der SNG_Aufladung. Dies ist durch die Solarthermieanlage erklärbar.

Bei genauerer Betrachtung der Abbildung 5 wird erkennbar, dass die leistungsmodulierenden Luft/Wasser-Wärmepumpen vor allem im Heizbetrieb ihren Vorteil aufzeigen können. So liegen die WNG_Heizen bei Ein-/Aus-Wärmepumpen zwischen 3.0 und 4.5 und die der leistungsgeregelten Wärmepumpen bei 4.6 und 5.6.

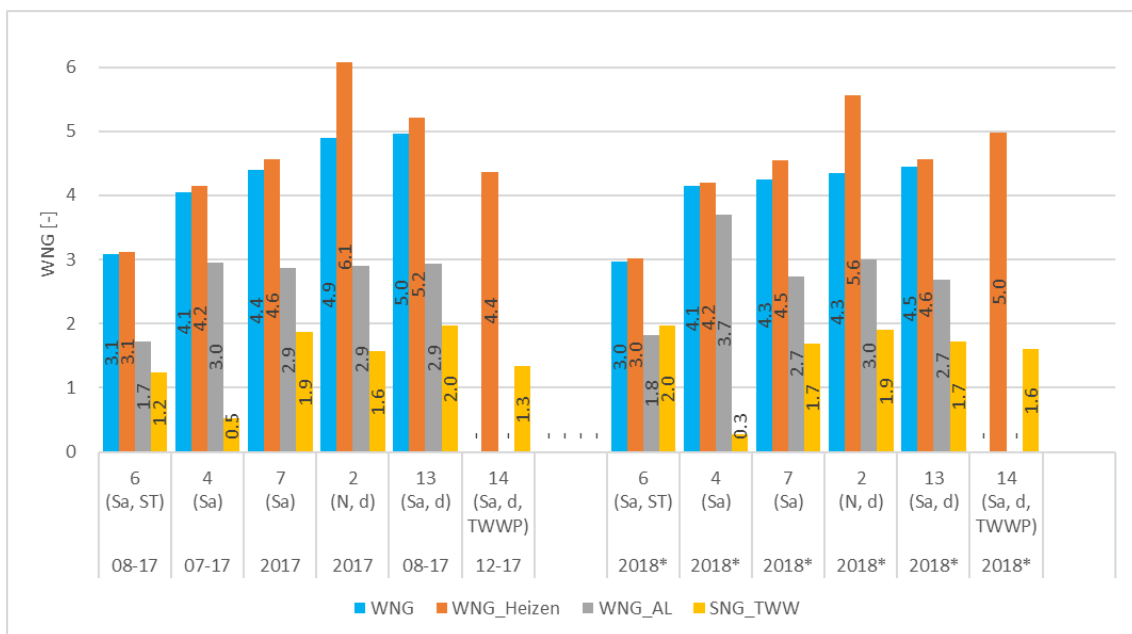


Abbildung 5: Darstellung des Wärmenutzungsgrades WNG der Sole/Wasser Wärmepumpen der Jahre 2017 und 2018 im Vergleich zu den Wärmenutzungsgrade im Heizbetrieb WNG_Heizen und während der Aufladung WNG_Aufladung und Systemnutzungsgrads des Trinkwarmwassers SNG_TWW

2.1.1 Einfluss der Temperaturniveaus

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Temperaturniveaus der Wärmepumpen gegenübergestellt. Herangezogen werden dabei nur jene Zeitbereiche, in welchen die Wärmepumpen in Betrieb waren. Entsprechend dem Betriebsziel der Wärmepumpe («Heizbetrieb» oder «Aufladebetrieb») erfolgte dann noch die entsprechende Zuordnung.

In den Abbildungen werden dabei folgende Abkürzungen verwendet:

- T_Qein_Heizen: Mittelwert der Quellen-Eingangstemperatur, während des «Heizbetriebes» der Wärmepumpe.
- T_Qein_AL: Mittelwert der Quellen-Eingangstemperatur, während des «Aufladebetriebs» der Wärmepumpe.
- T_VL_Heizen: Mittelwert der Senken-Vorlauftemperatur, während des «Heizbetriebes» der Wärmepumpe.
- T_VL_AL: Mittelwert der Senken-Vorlauftemperatur, während des «Aufladebetriebs» der Wärmepumpe.
- T_VL_AL(max): Maximalwert der Senken-Vorlauftemperatur, während des «Aufladebetriebs» der Wärmepumpe.

Aufgrund der kleinen Datenbasis wird auf einen Vergleich zwischen Carnot-Wirkungsgrad und JAZ+ in diesem Bericht verzichtet, obwohl dieser sehr aufschlussreich wäre, um die Wärmepumpen (ohne Einfluss der Einbindung) zu bewerten. Dies ist für zukünftige Auswertungen geplant.

In Abbildung 6 sind die Temperaturniveaus vom 2017 und in Abbildung 7 die Temperaturniveaus vom 2018 aller Luft/Wasser-Wärmepumpen dargestellt. Leider sind die eingestellten Speichersollwerttemperaturen nicht bekannt, da diese vom Endnutzer jederzeit geändert werden kann. Bei einigen Anlagen sind bei genauer Tagesanalyse auch die Temperatursprünge ersichtlich.

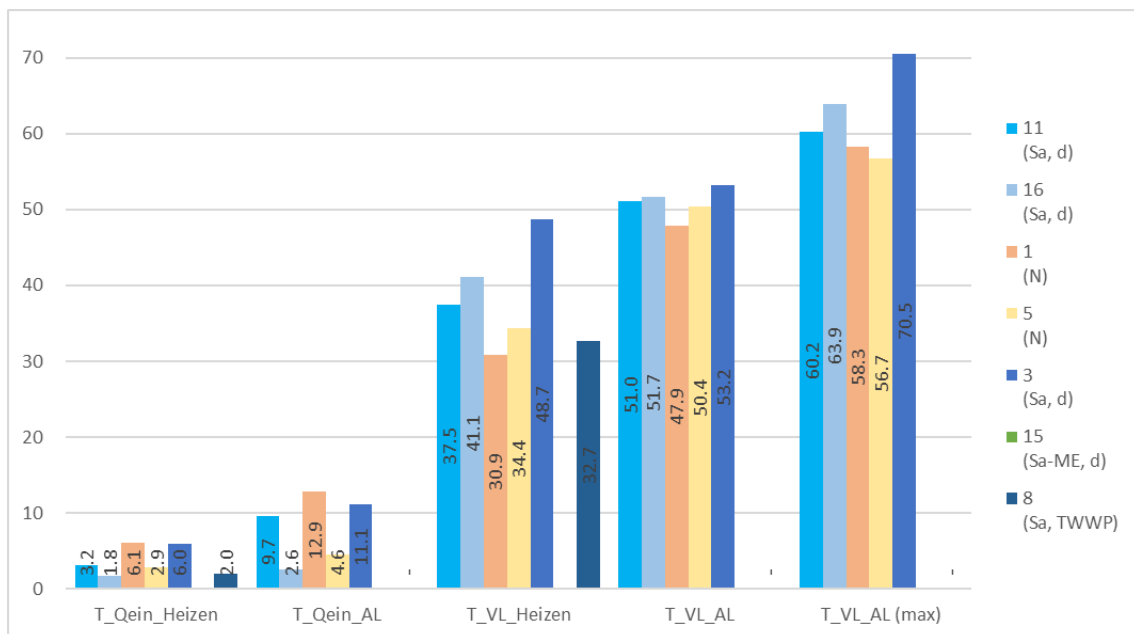


Abbildung 6: Darstellung der unterschiedlichen Temperaturniveaus im 2017 des Quellen-Einganges und des Senken-Vorlaufs während der unterschiedlichen Betriebsziele «Heizen» und «Aufladung». Die Reihung der Objekte erfolgt nach aufsteigendem Wärmenutzungsgrad WNG. Dargestellt wurden alle Luft/Wasser-Wärmepumpen. Das Objekt 8 läuft nur im Heizbetrieb

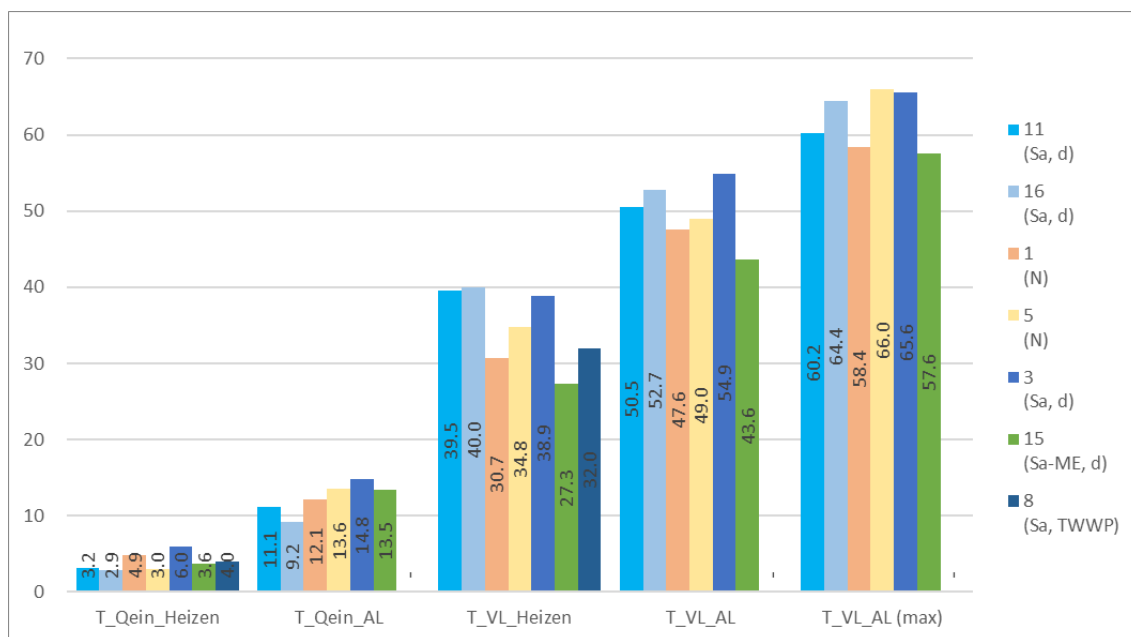


Abbildung 7: Darstellung der unterschiedlichen Temperaturniveaus im 2018 des Quellen-Einganges und des Senken-Vorlaufs während der unterschiedlichen Betriebsziele «Heizen» und «Aufladung». Die Reihung der Objekte erfolgt nach aufsteigendem Wärmenutzungsgrad WNG. Dargestellt wurden alle Luft/Wasser-Wärmepumpen. Das Objekt 8 läuft nur im Heizbetrieb

Eine schwache Tendenz ist ersichtlich, je höher der Wärmenutzungsgrad WNG ist, desto niedriger ist die Senken-Vorlauftemperatur. Trotzdem erstaunt es, dass die Effizienz der beiden Neubauten (Objekt 1 und 5) nicht höher ist als jene der Sanierungen. Auf die Ursache dieser Tatsache wird im Folgenden eingegangen.

Die Wärmepumpenanlage des Objektes 1 weist gegenüber den anderen Anlagen einen niedrigen Wärmenutzungsgrad von 3.0 auf. Umso erstaunlicher ist es, dass die Vorlauftemperatur mit 30.7 °C sehr tief, also in einem günstigen Bereich liegen. Und trotzdem läuft die Anlage nicht überdurchschnittlich effizient. Das Gebäude weist auch im Vergleich einen sehr niedrigen Heizwärmebedarf von rund 23 kWh/m² auf. Der Gesamtwärmebedarf liegt bei etwa 36 kWh/m². Der Trinkwarmwasserbedarfsanteil ist entsprechend hoch (36 %). Bei keiner anderen Luft/Wasser-Wärmepumpenanlage liegt der TWWB im Verhältnis so hoch. Dieses Verhältnis führt natürlich zu einem tieferen Gesamtwärmenutzungsgrad, wobei dies nicht alleine Verantwortlich für das ermittelte Ergebnis ist. Ein ähnliches Phänomen wird auch beim Objekt 5 ersichtlich. Auch hier liegen die durchschnittlichen Vorlauftemperaturen mit 34.8 °C eher tief. Der Heizwärmebedarf mit 19 kWh/m² und der Gesamtwärmebedarf mit 28 kWh/m² sogar noch tiefer als beim Objekt 1. Und trotzdem weist auch diese Anlage einen nicht sehr hohen Gesamtwärmenutzungsgrad auf.

Speziell hier ist zu erwähnen, dass es sich bei den Objekten 1 und 5 um eine Ein/Aus-Wärmepumpe handelt, die die Wärmeleistung nicht an den Bedarf des Gebäudes anpassen kann. Alle anderen Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen werden mit leistungsmodulierenden Wärmepumpen betrieben. Es ist erstaunlich, dass für die beiden Neubauten nicht auch eine solche Wärmepumpe installiert wurde. Die Effizienz könnte bei beiden Anlagen wesentlich höher sein, da die leistungsgeregelten Wärmepumpen vor allem im Teillastbereich eine höhere Effizienz aufweisen als die Ein/Aus-Wärmepumpen.

Beim Objekt 3 wurde die durchschnittliche Vorlauftemperatur von 48.7 °C (2017) auf 38.9 °C (2018) reduziert. Dies ist der Hauptgrund weshalb diese Anlage im aktuellen Berichtsjahr eine deutliche Effizienzsteigerung im Heizbetrieb von über 27 % aufweisen kann. Die Prüfstands-These [2], dass die Effizienz pro 1 K tiefere Vorlauftemperatur um rund 2.5 bis 3 % steigt, stimmt in diesem Fall auch sehr gut mit der Praxis (2.7 %/K) überein. Die Parametrierung der Trinkwasserer-

wärmung wurde nicht verändert. Deshalb werden im Jahr 2018 auch dieselben Effizienzwerte (WNG_Aufladung) wie im Vorjahr gelistet.

Das Objekt 15 hat im Heizbetrieb einen durchschnittlichen Temperaturhub von 23 K (Senktemperatur von 27 °C und Quelltemperatur von 4 °C), das Objekt 11 einen von 36 K. Dies entspricht einem Hubunterschied von rund 13 K. Geht man davon aus, dass eine Wärmepumpenanlage rund 3 % Effizienz einbüsst pro 1 K höherer Vorlauftemperatur, so entspricht dies 39 % Effizienzunterschied der beiden Anlagen. Der gemessene Unterschied zwischen diesen beiden Anlagen liegt sogar bei gut 50 %. Nach dieser Korrektur kann davon ausgegangen werden, dass die Wärmepumpe des Objektes 15 um etwa 10 % effizienter ist als jene des Objekt 11. Nach den ausgewiesenen SCOP-Werten der einzelnen Wärmepumpen (siehe Kapitel 1.1) ist dies auch der Fall.

Da das Objekt 8 eine zusätzliche Trinkwarmwasser-Wärmepumpe besitzt, können hier nur die Werte für den Heizbetrieb ausgewiesen werden. Mit einer Vorlauftemperatur von 32.0 °C weist sie für eine Heizungssanierung einen niedrigen Wert auf (Neubau-Niveau).

In Abbildung 8 sind die Temperaturniveaus der Sole/Wasser-Wärmepumpen dargestellt. Die Reihung der Sole/Wasser-Wärmepumpen erfolgte wieder entsprechend ihrer Wärmenutzungsgrade in aufsteigender Reihenfolge.

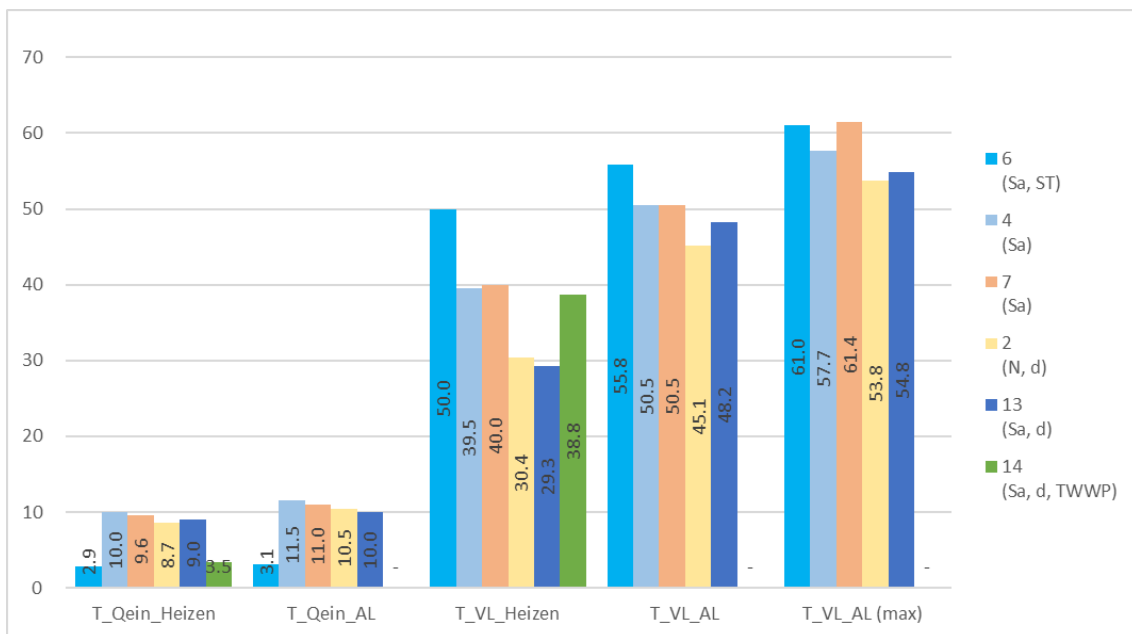


Abbildung 8: Darstellung der unterschiedlichen Temperaturniveaus des Quellen-Einganges und des Senken-Ausganges während der unterschiedlichen Betriebsziele «Heizen» und «Aufladung» im 2017. Die Reihung der Objekte erfolgt nach aufsteigendem Wärmenutzungsgrad WNG. Dargestellt sind alle Sole/Wasser-Wärmepumpen. Das Objekt 14 läuft nur im Heizbetrieb

Auffallend sind die tiefen Quellentemperaturen der Objekte 6 und 14. Hier liegen die mittleren jährlichen Wärmepumpen-Eintrittstemperaturen um die 3 °C. Bei dieser durchschnittlichen Eintrittstemperatur liegt die Gefahr nahe, dass die Wärmepumpen-Austrittstemperatur unter den Gefrierpunkt gerät. Bei diesen Anlagen scheint die Erdsonde zu klein dimensioniert oder falsche Annahmen für die Auslegung der Erdsonde wurden getroffen.

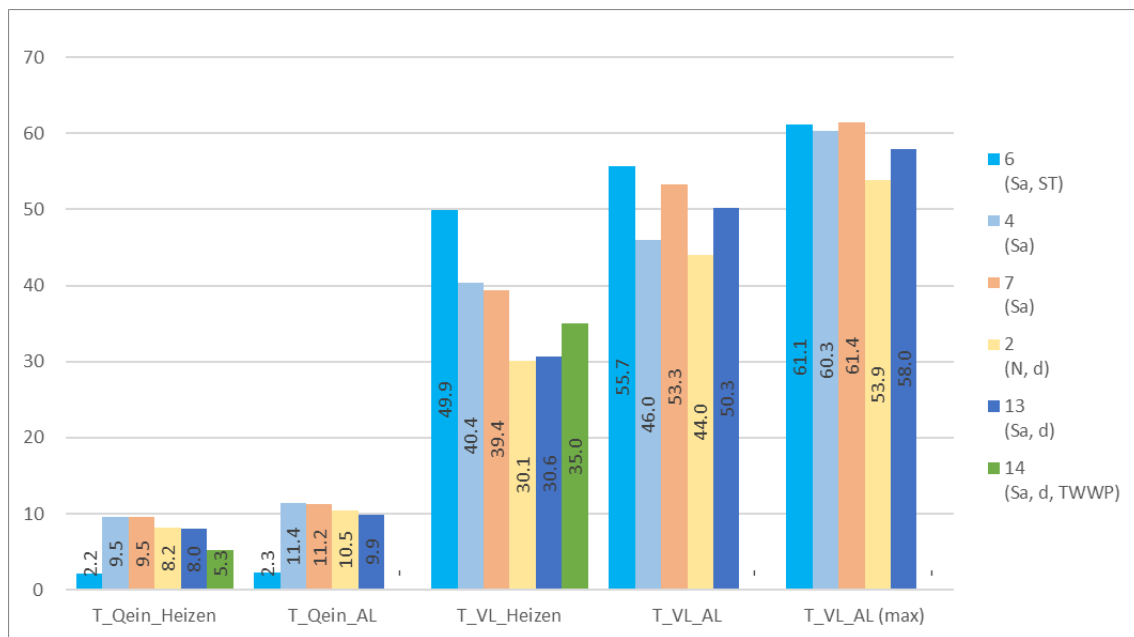


Abbildung 9: Darstellung der unterschiedlichen Temperaturniveaus des Quellen-Einganges und des Senken-Ausganges während der unterschiedlichen Betriebsziele «Heizen» und «Aufladung» im 2018. Die Reihung der Objekte erfolgt nach aufsteigendem Wärmenutzungsgrad WNG. Dargestellt sind alle Sole/Wasser-Wärmepumpen. Das Objekt 14 läuft nur im Heizbetrieb

Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen ist die Tendenz, je niedriger die Vorlauftemperatur umso höher die Effizienz, ersichtlich.

Die Sondendimensionierung der Objekte 6 und 14 sind knapp ausgelegt, da die mittleren Eintrittstemperaturen knapp über dem Gefrierpunkt liegen. Bei allen anderen Sole/Wasser-Wärmepumpen liegen diese Temperaturen bei über 8 °C, was einem guten Wert entspricht. Sehr schön ersichtlich ist auch, dass die mittlere Eintrittstemperatur während der Trinkwassererwärmung um ca. 2 K höher liegt als während dem Heizbetrieb. Dies kommt daher, dass die Trinkwassererwärmung gegenüber dem Heizbetrieb, ganzjährig läuft. In den Sommermonaten ist auch die Temperatur der Erdsonde tendenziell etwas höher.

Erstaunlich ist, dass die mittlere Aufladetemperatur (T_{VL_AL}) im Vergleich zu den Luft/Wasser-Wärmepumpen nicht höher liegt. Obwohl die Sole/Wasser-Wärmepumpe im ganzen Jahr auf hohe Temperaturen fahren kann (ausser Objekt 6 und 14).

Auch bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen wurden die Korrekturberechnung zwischen zwei Wärmepumpenanlage durchgeführt. Hier handelt es sich um eine leistungsgeregelten (Objekt 2) und eine Ein/Aus-Wärmepumpe (Objekt 4). Der durchschnittliche Temperaturhub des Objektes 4 liegt bei 30 K, der des Objektes 2 bei 22 K. Der resultierende Hubunterschied der beiden Anlagen liegt bei ca. 8 K. Somit müsste die Wärmepumpenanlage des Objekt 2 einen WNG_Heizen von rund 5.2 aufweisen. Mit einem WNG_Heizen von 5.6 liegt dieser sogar rund 8 % höher. Hier zeigt die Leistungsmodulierung in Kombination mit einer wassergefüllten (anstelle Glykol) Erdwärmesonde seine Vorteile ausdrücklich, da laut SCOP-Werte die Wärmepumpe des Objekts 4 sogar um ca. 7 % effizienter sein soll.

2.2 Unterschied zwischen Jahresarbeitszahl JAZ+ und Wärmenutzungsgrad WNG

Der Wärmenutzungsgrad WNG und die Jahresarbeitszahl JAZ+ haben unterschiedliche Systemgrenzen. Die elektrische Energie für den Betrieb der Senkenumwälzpumpe und für die Heizstäbe

im Trinkwasser- und Pufferspeicher sind beim Wärmenutzungsgrad WNG berücksichtigt, jedoch bei der Jahresarbeitszahl JAZ+ nicht.

2.2.1 Einfluss der Nebenaggregate (Umwälzpumpen, Heizstäbe und Steuerungen)

Wie viel Einfluss die Hilfs- und Nebenaggregate auf die Effizienz haben, wird in diesem Kapitel beschrieben. In Abbildung 10 sind die prozentualen Anteile der elektrischen Hilfsaggregate aller Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen dargestellt, welche nicht dem Verdichter und dem quellenseitigen Ventilator zugeordnet sind. Darunter fallen die energetischen Anteile der Umwälzpumpen (Quelle und Senke), der Heizstäbe der Wärmepumpe, des Trinkwasserspeichers und/oder Pufferspeichers, sowie der WP-Steuerung. Durch die detailreiche Erfassung der jeweiligen Wärmepumpenanlagen ist es mit der aktuellen Feldmessung möglich, diese Fragestellung zu beantworten.

In der Abbildung 10 sind die energetischen Anteile und deren Zugehörigkeit der gemessenen Hilfs- und Nebenaggregate aller Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen aufgezeigt. Der höchste energetische Anteil der Nebenaggregate weist mit 11.2 % das Objekt 5 auf. Beim Objekt 8 liegt dieser Wert im gleichen Zeitraum bei nur 4.0 %. Auffallend ist, dass im 2018 nur bei 2 Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen (Objekt 11 und 16) der elektrische Heizstab im Betrieb war. Alle anderen Anlagen kamen im 2018 ohne elektrischen Heizstab aus.

Die in der Abbildung verwendeten Abkürzungen werden in der Tabelle 2 erklärt.

Tabelle 2: Erläuterung der Abkürzungen

UP-Senke (Heizen & AL)	Energetischer Anteil der Senkenumwälzpumpe während dem Heiz- und Aufladebetrieb
UP-Senke (Kühlen)	Energetischer Anteil der Senkenumwälzpumpe während dem Kühlbetrieb
UP-Quelle (Heizen & AL)	Energetischer Anteil der Quellenpumpe während dem Heiz- und Aufladebetrieb
UP-Quelle (Kühlen)	Energetischer Anteil der Quellenpumpe während dem Kühlbetrieb
Steuerung	Energetischer Anteil der Wärmepumpensteuerung
HS_WP Anteil	Energetischer Anteil des internen Wärmepumpenheizstabs
HS_TWW_Anteil	Energetischer Anteil des externen Heizstabs, der im Trinkwarmwasserspeicher montiert ist
HS_Puffer_Anteil	Energetischer Anteil des externen Heizstabs, der im Pufferspeicher montiert ist
Rest (z.B. Ölumpfhheizung)	Energetischer Anteil von restlichen Verbrauchern, die noch in der Systemgrenze erfasst werden.

Der energetischen Anteil der Senkenumwälzpumpen variiert je nach Anlage zwischen 0.5 (Objekt 11 und 16) und 6.5 % (Objekt 15). Beim Objekt 16 liegt der energetische Anteil der elektrischen Heizstäbe bei 7.2 %, wobei 3.2 % auf den Heizbetrieb und 4.0 % auf die Trinkwassererwärmung zurückzuführen sind. Der WP-Heizstab beim Objekt 5 hat einen energetischen Anteil von 5.6 %.

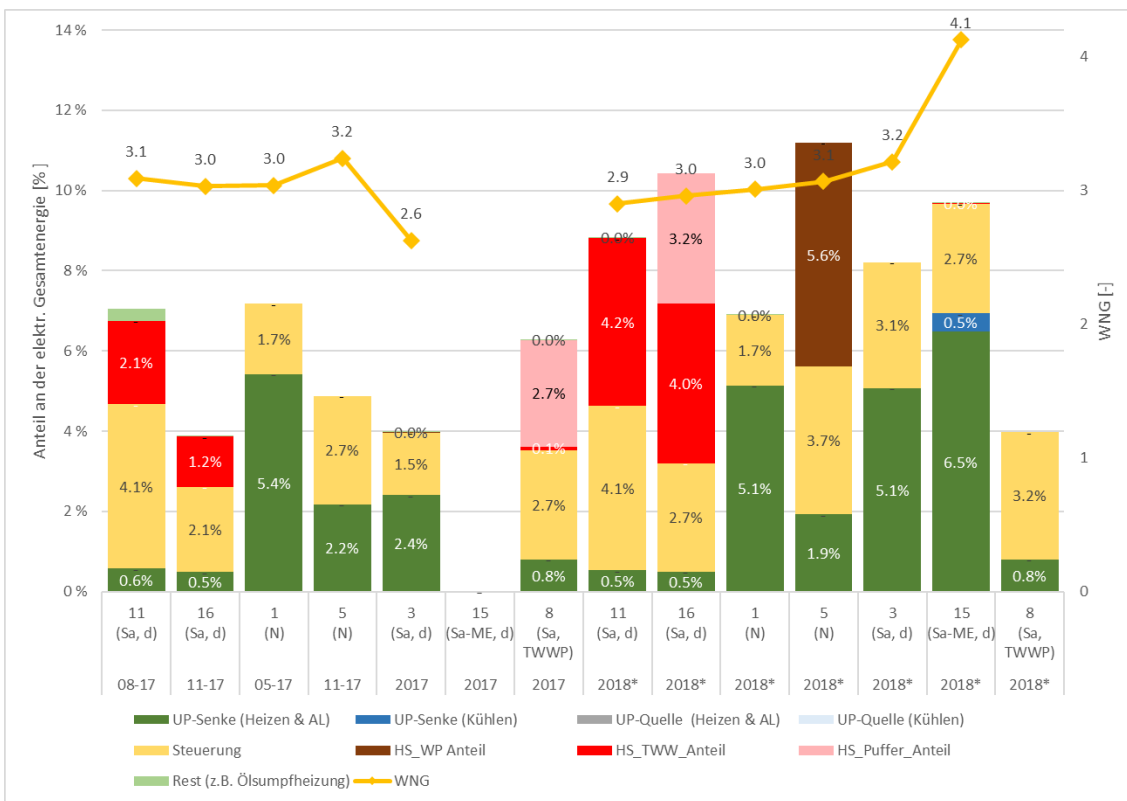


Abbildung 10: Darstellung des Wärmenutzungsgrads WNG und der energetischen Anteile der jeweiligen Hilfsaggregate bei allen Luft/Wasser-Wärmepumpensystemen in den Jahren 2017 und 2018

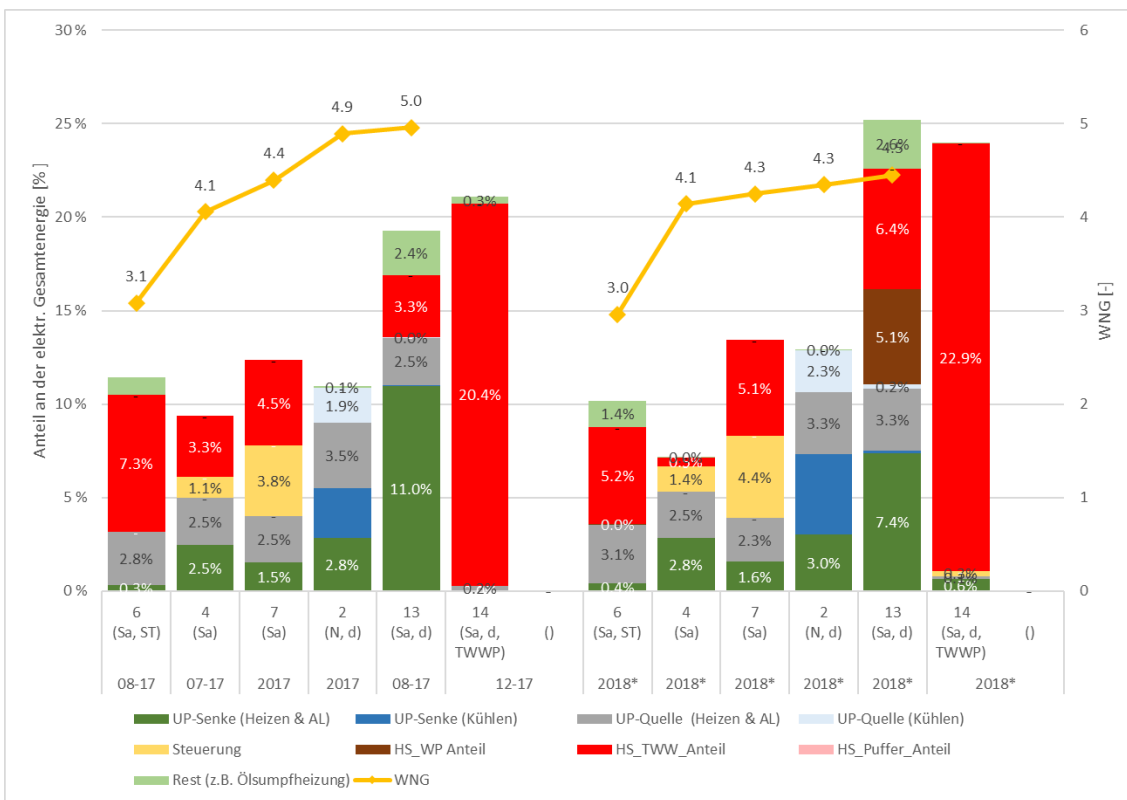


Abbildung 11: Darstellung des Wärmenutzungsgrads WNG und der energetischen Anteile der jeweiligen Hilfsaggregate bei allen Sole/Wasser-Wärmepumpensystemen in den Jahren 2017 und 2018

Sehr schön in Abbildung 11 ist ersichtlich, dass der energetische Anteil der Quenumwälzpumpen zwischen 2.3 und 3.3 % liegen. Diese Primärpumpen beeinflussen in diesem Fall die Gesamteffizienz nur gering. Anders sieht dies bei der Umwälzpumpe im Sekundärkreis aus. Hier variieren die Anteile zwischen 0.4 und 7.4 %. Bei den einen Wärmepumpen fällt diese Pumpe kaum ins Gewicht, beim Objekt 13 mit 7.4 % jedoch stark.

Bei allen Anlagen, ausser bei Objekt 2, wird der Elektroeingang im Trinkwarmwasser genutzt. Bei den Objekten 4 und 6 wurde dieser Einsatz gegenüber dem Vorjahr reduziert und bei den Anlagen 7 und 13 stieg sogar dessen Einsatz. Ausserdem ist noch zu erwähnen, dass die Wärmepumpe des Objekts 13 für 8 Tage ausser Betrieb war, da im Februar 2018 dem Medium der Erdsonde 25prozentiges Glykol beigemischt wurde. Deshalb ist auch der energetische Anteil des Wärmepumpenheizstabs mit 5.1 % sehr hoch.

Der hohe energetische Anteil beim Objekt 14 ist darauf zu führen, dass die Trinkwarmwasser-Wärmepumpe immer wieder im Notbetrieb (WP-Störung) läuft. Hier wird eine Lösung gesucht.

In Abbildung 12 werden noch die Betriebsstunden des Verdichters («tBh_V1»), der Senkenumwälzpumpe («tBh_Pu_Se») sowie der Quenumwälzpumpe («tBh_Pu_Qu») dargestellt. Wie Abbildung 10 aber bereits gezeigt hat, weisen diese Energieanteile nur einen untergeordneten Einfluss auf den Wärmenutzungsgrad WNG der Anlagen auf.

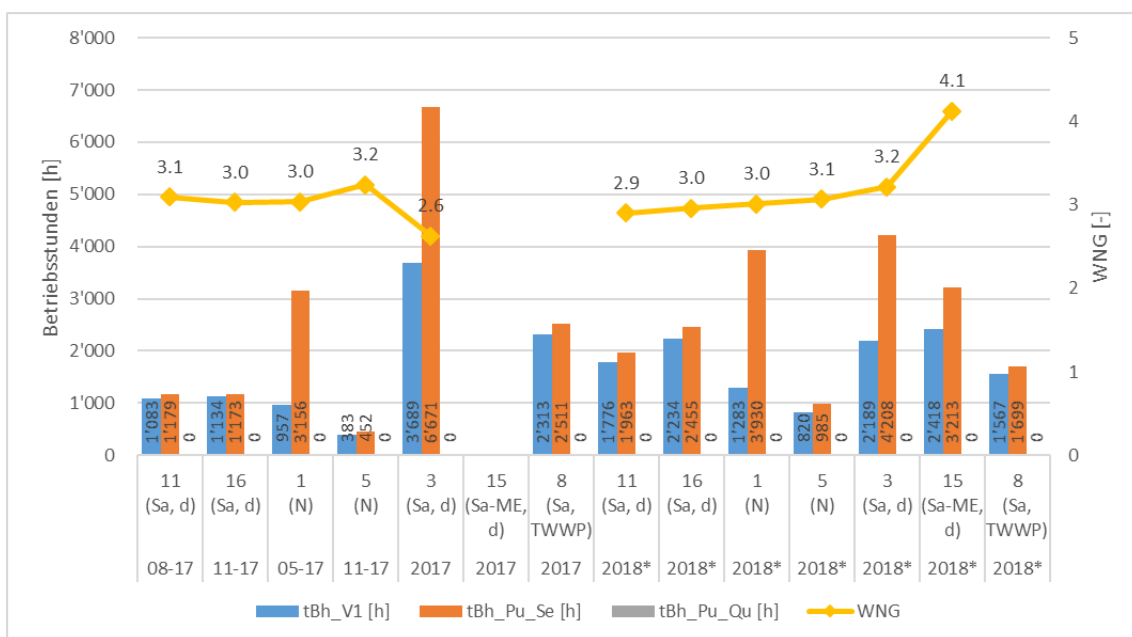


Abbildung 12: Darstellung der Jahresarbeitszahl JAZ+ und der Betriebsstunden von Kompressor und Umwälzpumpen bei unterschiedlichen Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpensystemen

Vor allem bei den Objekten 1 und 3 liegen die Betriebsstunden der Umwälzpumpen weit über der Betriebszeit des Verdichters. Im Kapitel 4 wird auf das Sparpotential einer optimierten Laufzeit der Senkenumwälzpumpe eingegangen.

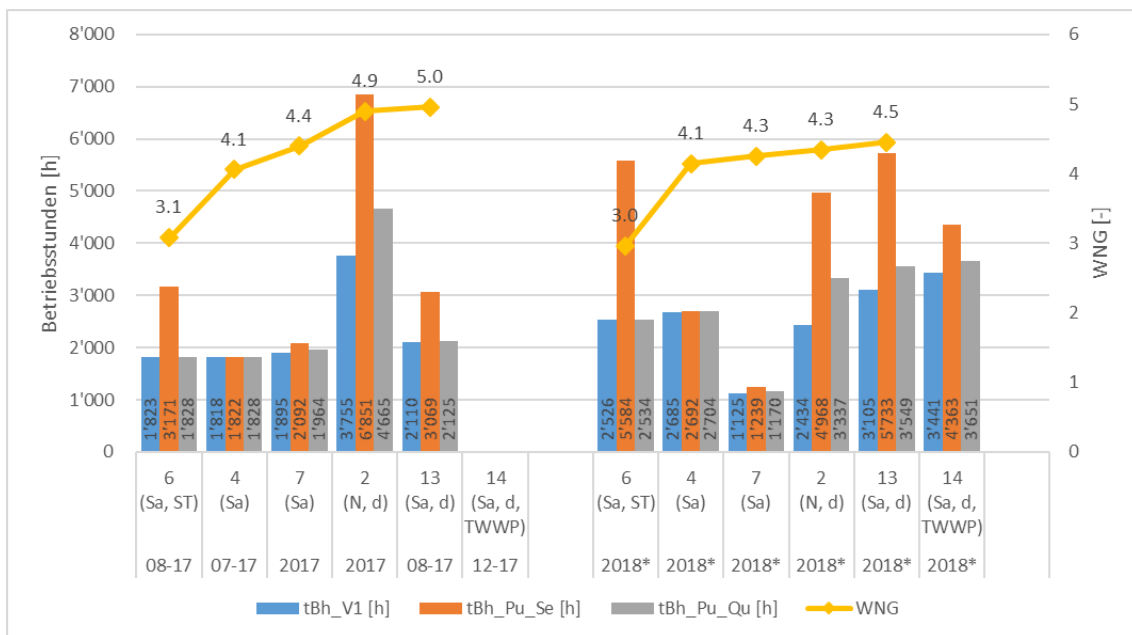


Abbildung 13: Darstellung der Jahresarbeitszahl JAZ+ und der Betriebsstunden von Kompressor und Umwälzpumpen bei unterschiedlichen Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpensystemen

Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen wird ein ähnliches Bild gezeigt (Abbildung 13). Hier laufen die Senkenumwälzpumpen der Objekte 2, 6 und 13 wesentlich länger als der Verdichter. Die Quellenpumpen werden so angesteuert, dass diese nur dann im Betrieb sind, wenn auch der Verdichter im Betrieb ist. So wird auf der Primärseite keine zusätzliche Energie «vergeudet».

2.2.2 Jahresarbeitszahlen JAZ+

Bisher wurden die Leistungsaufnahmen der Senkenumwälzpumpen und des Heizstabes eines Speichers für die Berechnung des Wärmenutzungsgrads WNG mitberücksichtigt. Je nach Laufzeit und Leistung dieser Verbraucher können diese den gesamten Energieverbrauch stark beeinflussen. Möchte jedoch nur die Effizienz der Wärmepumpe angeschaut werden, wird die Jahresarbeitszahl JAZ+ herbeigezogen. Hier werden weder der Energieaufwand der Umwälzpumpe noch des externen Elektroheizstabes berücksichtigt. Daher wird die JAZ+ höher ausfallen als der WNG beim direkten Vergleich.

Im ersten der beiden nachfolgenden Diagramme werden die WNG und JAZ+ der Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen grafisch dargestellt. Hier zeigt sich, dass die Senkenumwälzpumpe und die externen Elektroheizstäbe die Effizienz der Anlage um ca. 2 (Objekt 5) bis 8 % (Objekt 15) mindern.

Beim Objekt 5 sind die beiden Kennzahlen praktisch identisch. Dies kommt daher, dass die bereits im Kapitel 2.2.1 beschriebenen Nebenaggregate (Senkenumwälzpumpe und el. Heizstab) nur einen sehr kleinen Anteil (rund 1.9 %) vom gesamten elektrischen Energieaufwand haben. Die Differenz dieser beiden Grössen ist beim Objekt 15 mit 0.3 Punkten wesentlich grösser. Hier liegt der energetische Anteil der Umwälzpumpe auch bei 6.5 %.

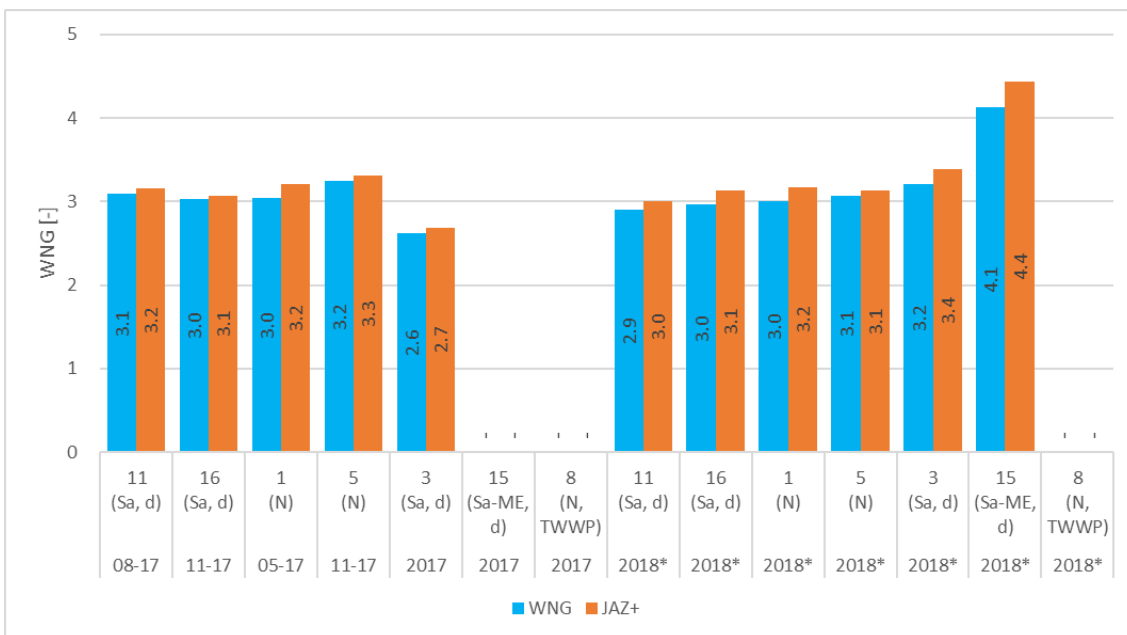


Abbildung 14: Darstellung der Jahresarbeitszahl JAZ+ und des Wärmenutzungsgrades WNG bei unterschiedlichen Luft/Wasser-Wärmepumpensystemen.

Bei der Betrachtung der Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen ergibt sich folgendes Bild. Auch hier wird ersichtlich, dass der Unterschied der beiden Kenngrößen steigt, je effizienter die Anlage läuft.

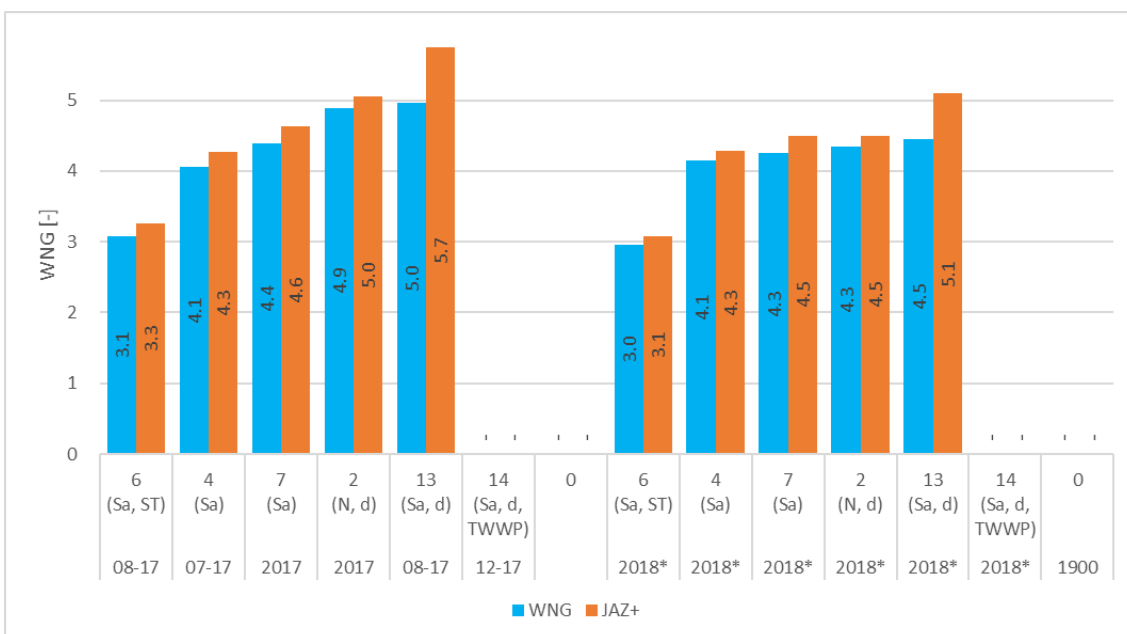


Abbildung 15: Darstellung der Jahresarbeitszahl JAZ+ und des Wärmenutzungsgrades WNG bei unterschiedlichen Sole/Wasser-Wärmepumpensystemen.

Auffallend ist, dass sowohl der WNG als auch die JAZ+ beim Objekt 2 um rund 10 % gegenüber dem Vorjahr sank. Eine Erklärung hierfür ist, dass die Wärmepumpe im 2018 gegenüber 2017 in den wärmeren Monaten weniger läuft.

3 Ergebnisse 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.

3.1 Vergleich der Effizienzkennzahlen

In der Abbildung 16 werden die drei Effizienzkennwerte (JAZ_{+AL} , WNG_{AL} und SNG_{TWW}) der gemessenen Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen für die Jahre 2017 und 2018 dargestellt. In diesem Kapitel wird jedoch nur auf das Jahr 2018 bezogen, da hier alle Anlagen zeitlich vergleichbar sind.

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.

In den Grafiken werden die Objekte entsprechend des gesamten Wärmenutzungsgrads WNG aufsteigend gereiht, damit die Reihenfolge dieselbe bleibt, wie bei den vorherigen Kapiteln.

Die Jahresarbeitszahlen JAZ_{+} für die Trinkwassererwärmung liegen bei den untersuchten Anlagen zwischen 2.7 und 3.4. Bei genauer Betrachtung der unterschiedlichen Systemgrenzen fällt auf, dass die Wärmenutzungsgrade WNG im Schnitt 8.8 % (2.1 bis 17.6 %) 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 2.3 bis 3.4.

Die Effizienz des Nutzerverhaltens SNG_{TWW} variiert bei den Anlagen zwischen 1.0 und 2.4. Den höchsten Systemnutzungsgrad SNG_{TWW} von 2.4 haben die Objekte 1 und 8. Den tiefsten SNG_{TWW} wurde beim Objekt 16 mit 1.0 ermittelt.

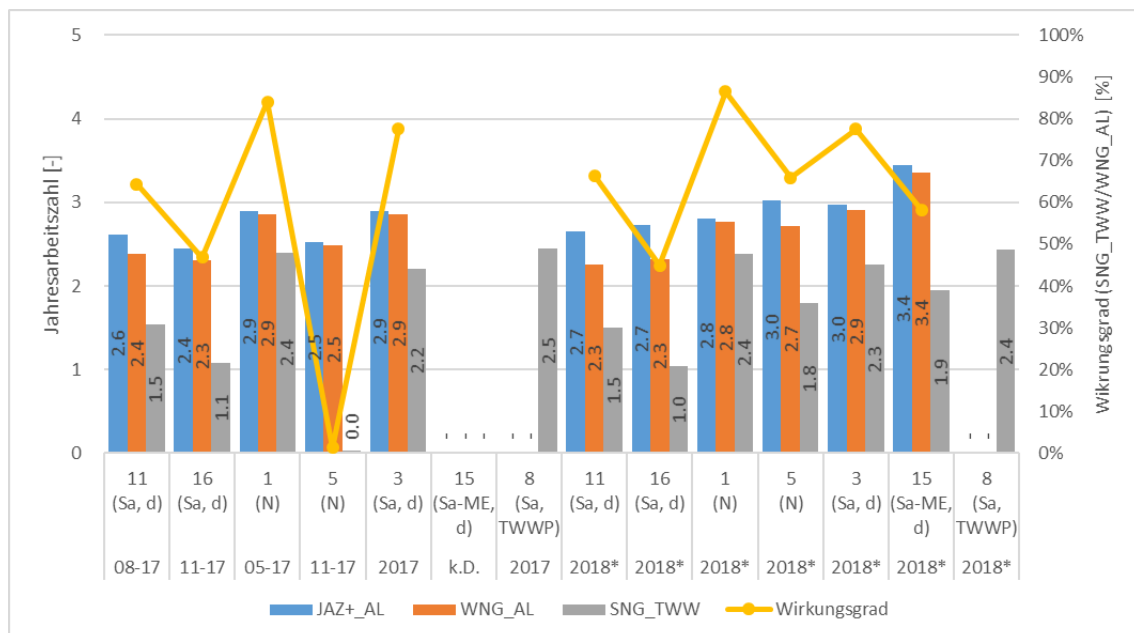


Abbildung 16: Die Jahresarbeitszahl JAZ_{+} , der Wärmenutzungsgrad WNG , Systemnutzungsgrad SNG und der Gesamtwirkungsgrad für die Trinkwassererwärmung sind für die Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen dargestellt.

- 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 und nicht über die Wärmepumpe angesteuert wird.

3.2 Trinkwarmwassernutzung

In diesem Kapitel soll auf den Trinkwarmwasserbedarf der einzelnen Anlagen eingegangen werden. In der Tabelle 3 sind die Speichervolumen und Registerflächen aller Anlagen ersichtlich. Die Speichervolumina reichen von 276 bis 785 Liter. Das Objekt 6 mit einem Trinkwarmwasserspeicher von 785 Liter hat auch eine zusätzliche Solarthermieeinspeisung. Bei allen anderen Wärmepumpenanlagen wird das Trinkwarmwasser ausschliesslich durch die Wärmepumpe bzw. einen elektrischen Heizstab erwärmt.

Tabelle 3: Trinkwasserspeichervolumina und Registerflächen aller Anlagen

Objekt	Speichervolumen [m ³]	Registerfläche [m ²]
1	388	4.6
2	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>
3	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>
4	276	3.5
5	408	4.3
6	785	4.5 + 1.5 für Solarthermie
7	388	4.6
8 (TWW-WP)	250	-
11	423	5.0
13	362	5.0
14 (TWW-WP)	307	-
15 (Frischwassermodul)	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>
16	476	5.9

In der Abbildung 18 werden die durchschnittlichen Energien pro Tag für die Aufladung und Nutzung für die Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen dargestellt.

Die durchschnittliche elektrische Aufladeenergie pro Tag variiert bei den Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen zwischen 1.5 (Objekt 15) und 5.7 kWh (Objekt 16). Demgegenüber stehen 2.8 (Objekt 15) bis 10.6 kWh (Objekt 1) Warmwasserbedarf pro Tag an. Die Anlage mit der durchschnittlich höchsten Aufladeenergie von 5.7 kWh/d, weist einen Warmwasserbedarf von 5.9 kWh/d auf. Dies ergibt einen SNG_{TWW} von rund 1.0.

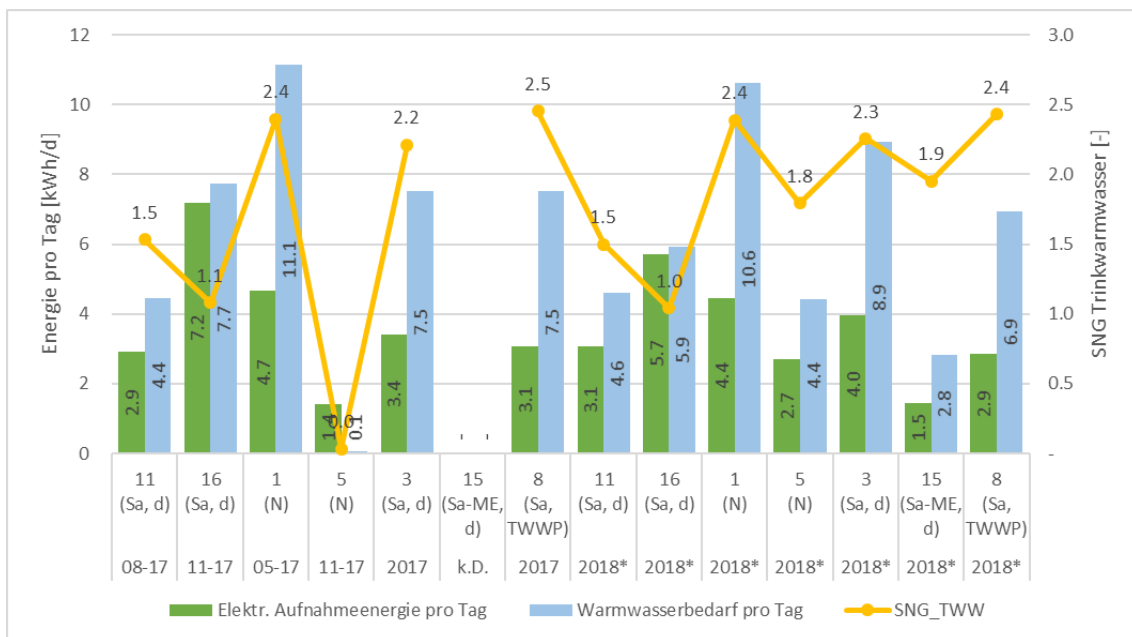


Abbildung 18: Darstellung der Energien pro Tag für die Aufladung und den Warmwasserbedarfs aller Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen

In Abbildung 19 sind die energetischen durchschnittlichen Aufwände und Erträge von den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen dargestellt. Der energetische Aufwand pro Tag reicht von 1.9 (Objekte 4 und 13) bis 5.1 kWh (Objekt 2), dabei liegt der Warmwasserbereich durchschnittlich bei 0.5 (Objekt 4) und 9.8 kWh pro Tag (Objekt 2).

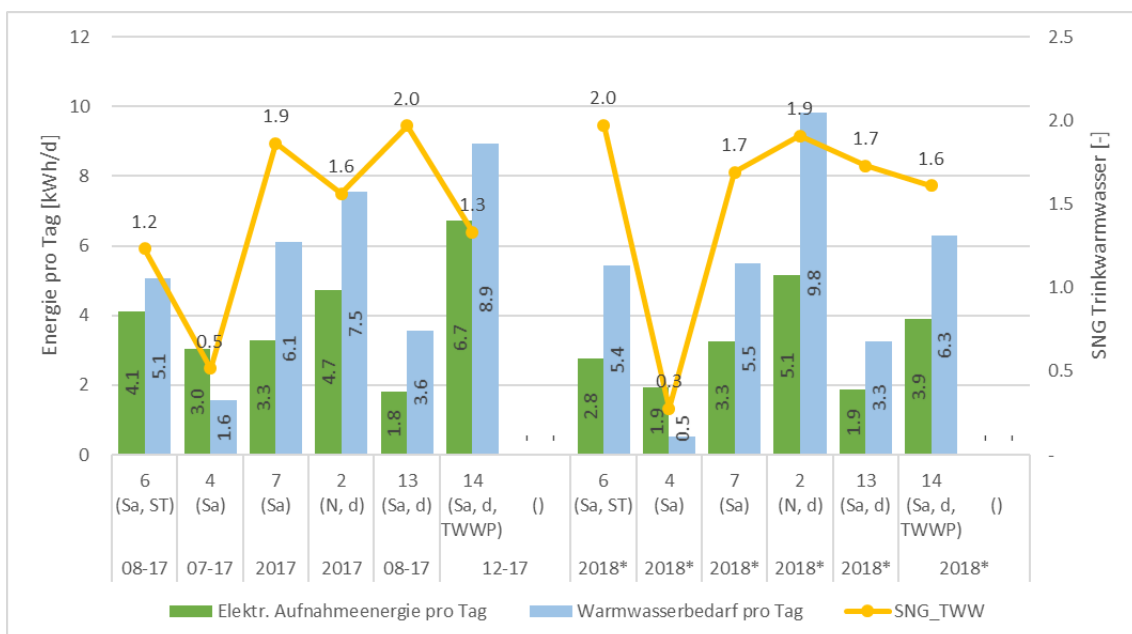


Abbildung 19: Darstellung der Energien pro Tag für die Aufladung und den Warmwasserbedarfs aller Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Um ein Gespür zu erhalten, was diese Werte bedeuten, wird die Normmessung [3] für Trinkwarmwasser-Wärmepumpen herangezogen. In dieser Norm sind mehrere unterschiedliche Entnahme-

mengen bzw. Zapfprofile definiert, die einen täglichen Bedarf von Trinkwarmwasser simuliert. Die in der Norm definierten Entnahmemengen bzw. Zapfprofile sind in der Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4: Zapfprofile nach EN 16147:2017

Zapfprofil	Tägliche Entnahmeenergie in kWh	ausgewertete Objekte
S	2.100	4, 13, 15
M	5.845	5, 6, 7, 8, 11, 14, 16
L	11.655	1, 2, 3
XL	19.070	-
XXL	24.530	-

Damit z.B. 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 M entsprechen. Bei 3 Anlagen würde sogar das kleinste Zapfprofil S herangezogen werden und bei 3 Anlagen das Zapfprofil L. Bei keiner Anlage wird durchschnittlich so viel Warmwasserbezogen, dass es dem Prüfprofil XL entsprechen würde.

Mit Abbildung 20 wird die Warmwassermenge, die pro Tag durchschnittlich verwendet wird, ersichtlich. Hier zeigt sich natürlich ein ähnliches Bild wie bei Abbildung 18. Je höher der Warmwasserbedarf ist, umso höher liegt auch die Warmwassermenge. Die tägliche Warmwassermenge liegt im 2018 bei den untersuchten Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen zwischen 95 und 261 Liter.

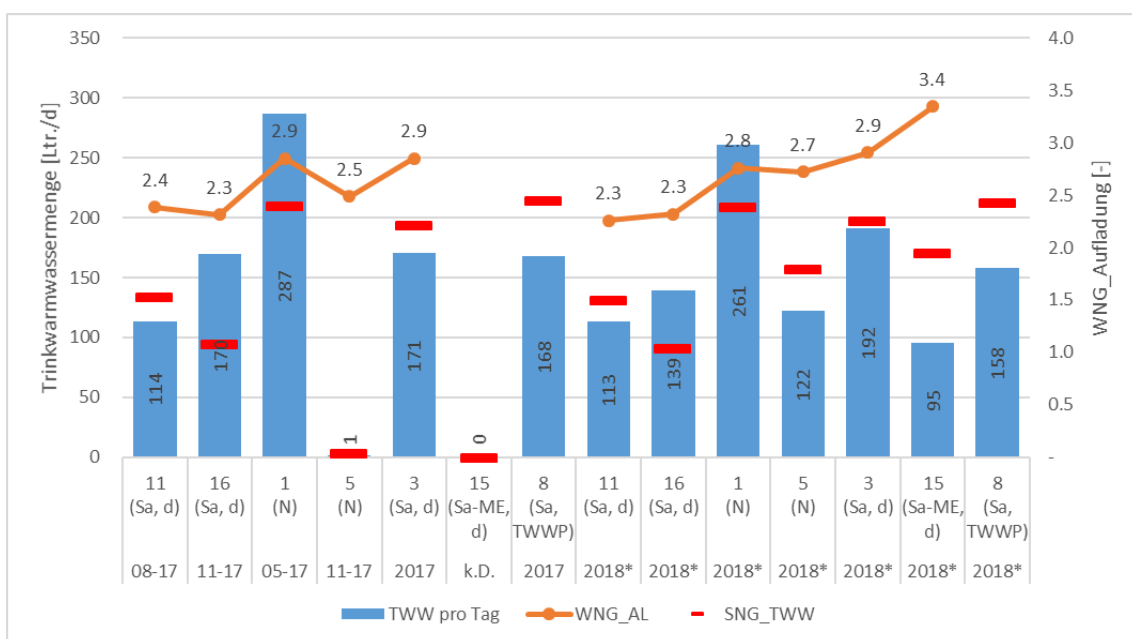


Abbildung 20: Darstellung der täglichen durchschnittlichen Warmwassermenge aller Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen

In Abbildung 21 werden die Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen miteinander verglichen. Das Objekt 4 verbraucht im Schnitt 15 Liter Warmwasser pro Tag. Bei dieser Menge Warmwasser könnte ein Durchlauferhitzer durchaus sinnvoll sein.

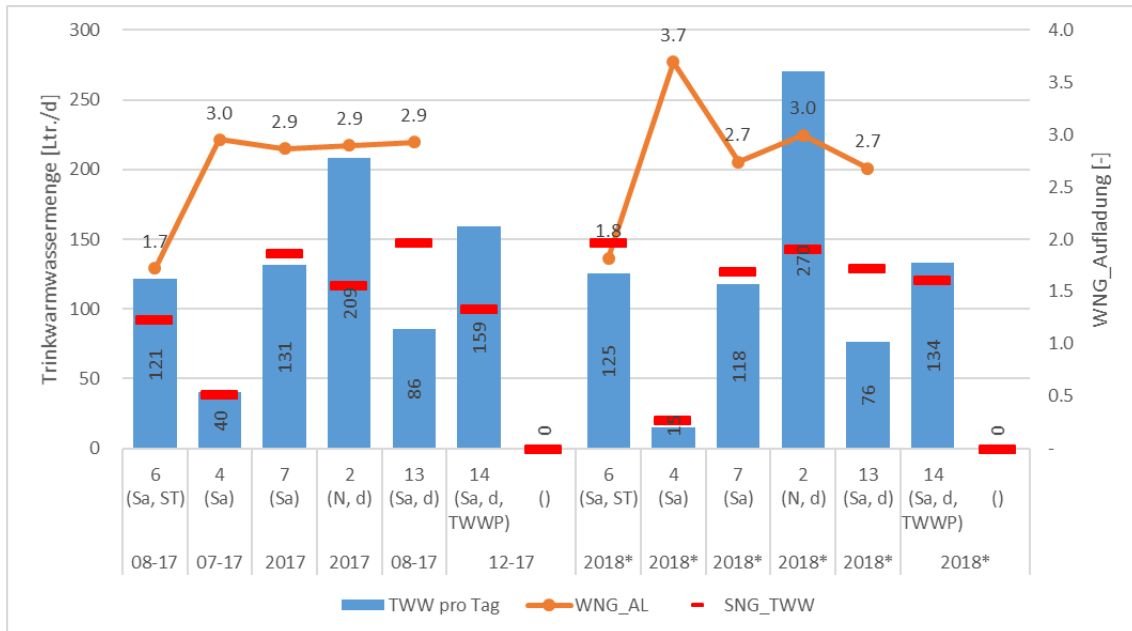


Abbildung 21: Darstellung der täglichen durchschnittlichen Warmwassermenge aller Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

In der nächsten Abbildung 22 sind jeweils die maximal und minimal entnommenen Trinkwassermengen der Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen aufgelistet. Hier zeigt sich, dass die maximalen Entnahmemengen stark vom durchschnittlichen Tageswert abweichen.

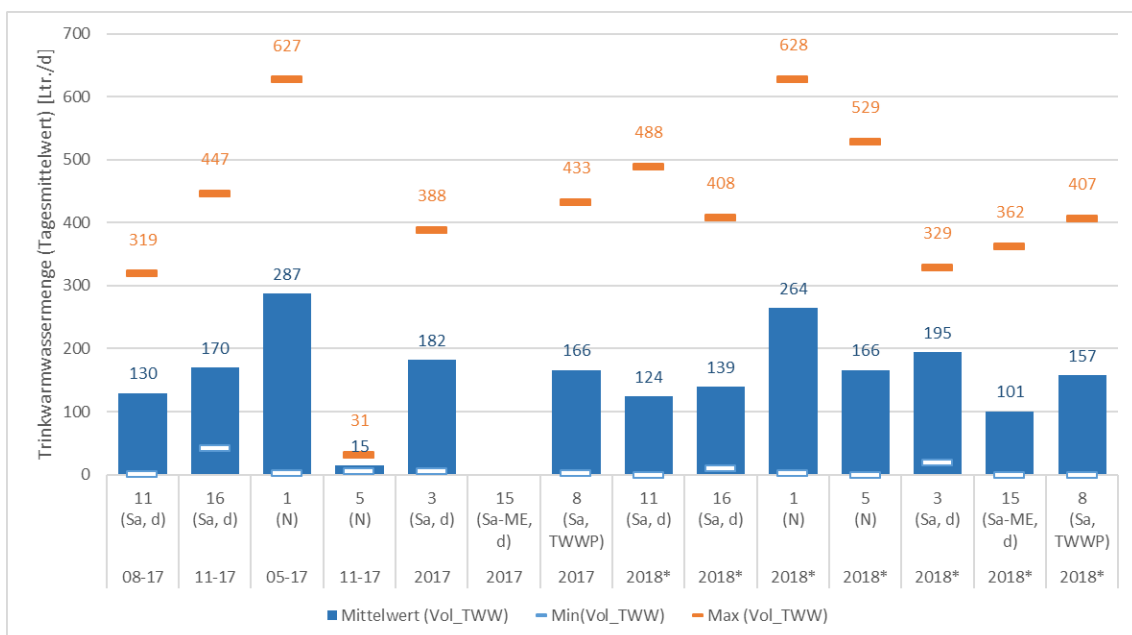


Abbildung 22: Darstellung der täglichen durchschnittlichen, minimalen und maximalen Entnahmemengen aller Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Beim Objekt 1 wurde an einem Tag 628 Liter Warmwasser bezogen, der durchschnittliche Wert liegt jedoch lediglich bei 264 Liter. Spannend ist auch, dass beim Objekt der Maximalwert um Faktor 4 höher ist als der Durchschnittswert.

Im nächsten Diagramm werden die Entnahmemengen der Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen gegenübergestellt werden. Auch hier liegen die maximalen Bezugswerte wesentlich höher als die durchschnittliche Bedarfsmenge an Warmwasser. So liegt der Maximalwert beim Objekt 2 bei 767 Liter, wobei der Durchschnittswert bei 271 Liter liegt. Ob nun ein Durchlauferhitzer beim Objekt 4 genügen würde, könnte mit dieser Abbildung widerlegt werden, da die maximale Bedarfsmenge bei 206 Liter liegt. Dieser Spitzenwert wurde jedoch nur einmal in der gesamten Messzeit gemessen. Nur noch zweimal wurden noch Werte über 100 Liter Warmwasser verbraucht. An allen anderen Tagen im 2018 lag die Bezugsmenge unterhalb von 100 Liter pro Tag. Für diesen Warmwasserbedarf würde es sich durchaus lohnen einen Durchlauferhitzer zu installieren.

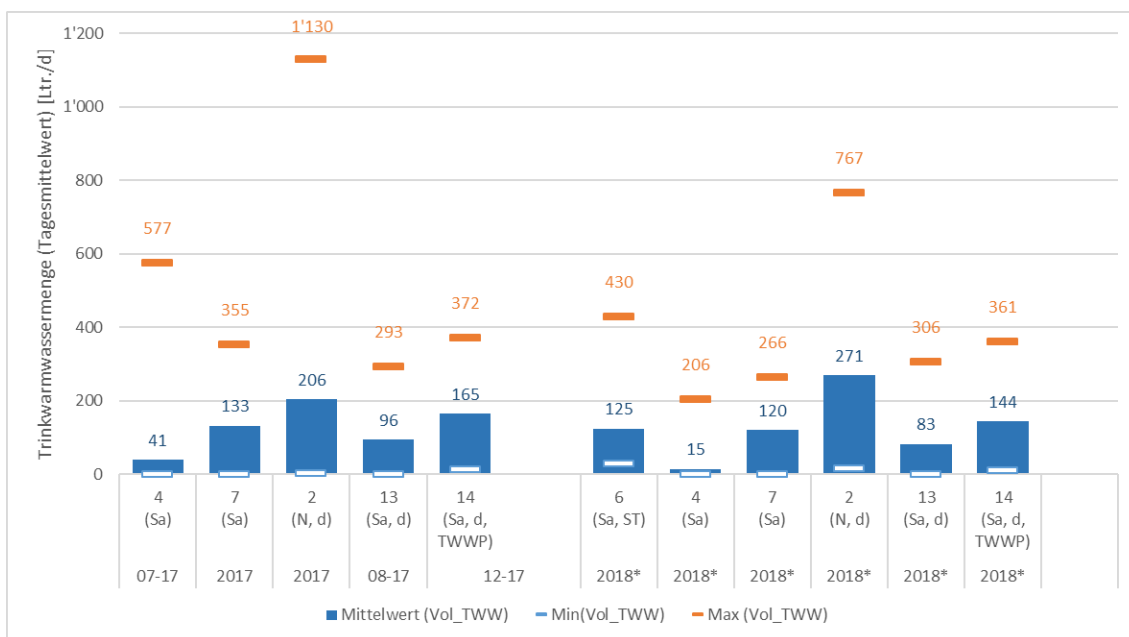


Abbildung 23: Darstellung der täglichen durchschnittlichen, minimalen und maximalen Entnahmemengen aller Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Möchte man die Feldmessungen mit den Prüfstandmessungen vergleichen, so machen die folgenden Abbildungen Sinn. In Abbildung 24 sind, nebst der durchschnittlichen Entnahmeenergie, auch die minimalen und maximalen Entnahmeenergie aller Luft/Wasser-Wärmepumpen-anlagen aufgezeigt. Auffallend ist, dass bei den Objekten 23, 5, 8, 11 und 16 die maximale Entnahmemenge etwa dem Zapfprofil XL entspricht. So wurde bei denen an Spitzentagen zwischen 17 und 22 kWh Warmwasser aus dem Speicher entnommen. Der maximale Bedarf an Warmwasser liegt beim Objekt 1 mit 30.4 kWh pro Tag sehr hoch. Beim Frischwassermodul lag der maximale Trinkwarmwasserbezug bei 12 kWh pro Tag, was einem Zapfprofil L entsprechen würde.

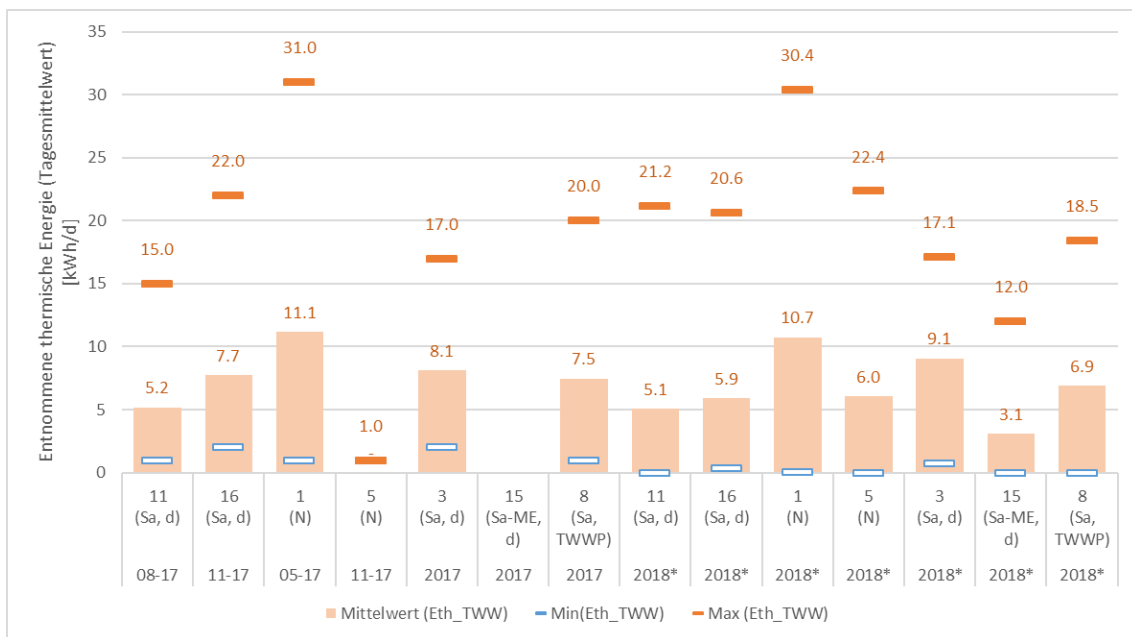


Abbildung 24: Darstellung der täglichen durchschnittlichen, minimalen und maximalen Aufnahme- und Abgabeenergien aller Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen

In Abbildung 25 sind die Werte der Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen dargestellt. Bei den Anlagen 4, 7, 13 und 14 liegen die maximalen Werte zwischen 10 bis 16 kWh pro Tag.

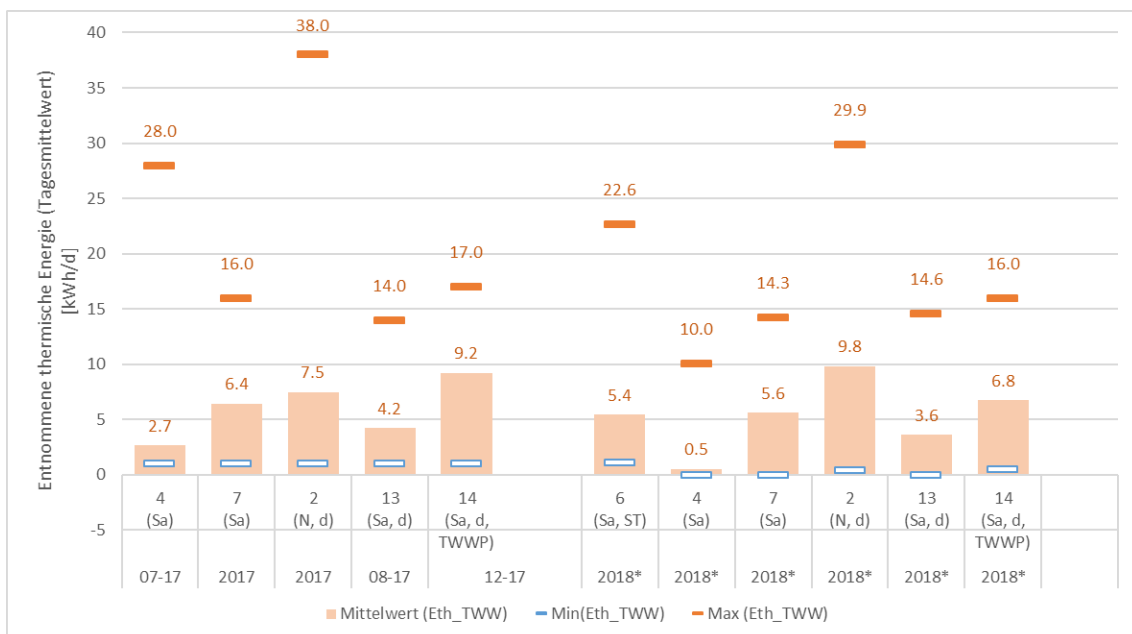


Abbildung 25: Darstellung der täglichen durchschnittlichen, minimalen und maximalen Aufnahme- und Abgabeenergien aller Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

3.3 Einfluss der Nebenaggregate

Interessant ist, wie viel Einfluss der energetische Aufwand des Heizstabs auf die Effizienz hat. In Abbildung 26 und Abbildung 27 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 detaillierte Erfassung der jeweiligen Wärmepumpenanlagen ist es mit der aktuellen Feldmessung möglich, diese Fragestellung zu beantworten.

Bei Abbildung 26 fällt auf, dass bei drei Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen der Elektroheizstab einen grossen Teil der gesamten elektrischen Energieaufnahme für die Aufladung übernimmt. Bei den Objekten 11 und 16 handelt es sich um den externen Elektroheizstab, beim Objekt 5 um den in der Wärmepumpe installierten Heizstab. Bei diesen 3 Anlagen liegt der energetische Anteil des Heizstabs bei beachtlichen 15 bis 23 %. Bei den anderen Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen liefert keiner der installierten Heizstäbe im Jahr 2018. Der energetische Anteil der Senkenumwälzpumpe liegt während der Aufladung zwischen 0.3 und 2.7 %. Diese Werte sind auf jeden Fall zu vernachlässigen, da diese kaum Potential zum Energiesparen bieten. Bei der Trinkwarmwasser-Wärmepumpe (Objekt 8) liegen die energetischen Anteile der Nebenaggregate bei 0 %. Einzig 2017 lief deren interner Heizstab während einem grösseren Warmwasserbedarf.

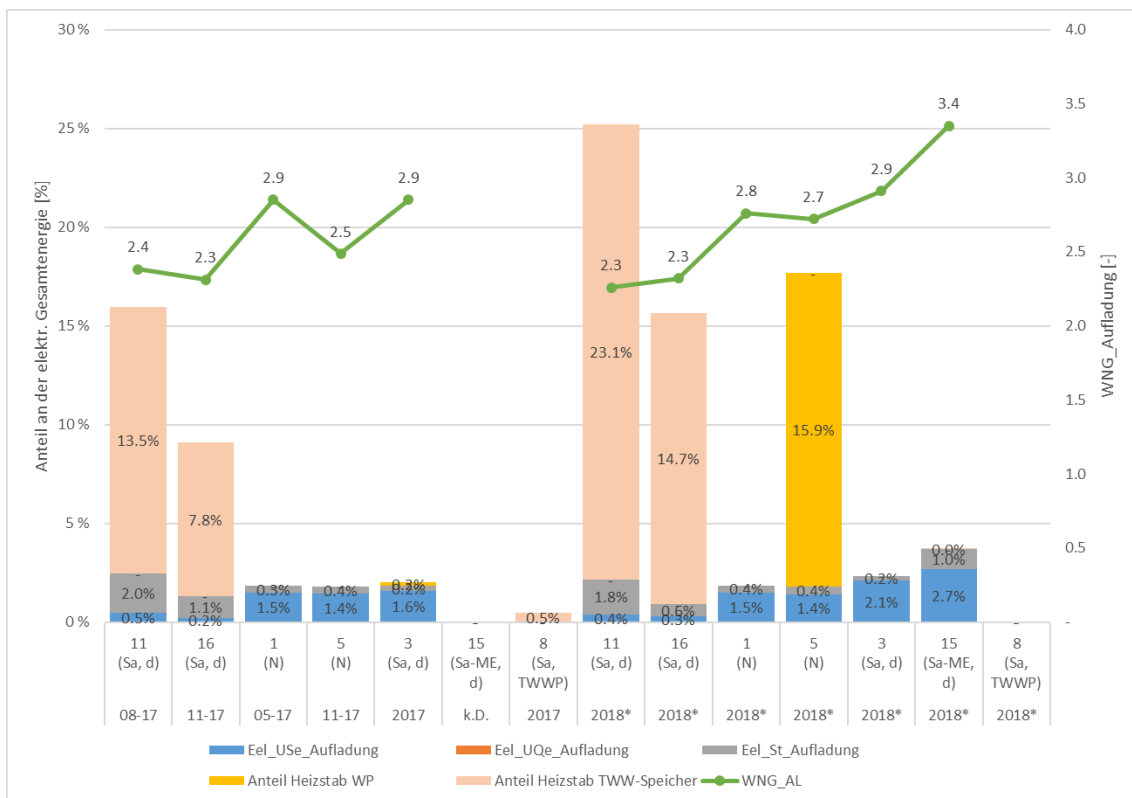


Abbildung 26: Darstellung des Wärmenutzungsgrades WNG und der energetischen Anteile der jeweiligen Hilfsaggregate während der Trinkwassererwärmung aller Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Nun stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Nebenaggregate bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen haben. In der folgenden Abbildung 27 sind diese energetischen Anteile ersichtlich. Hier sticht vor allem ins Auge, dass bei allen Anlagen bis auf die des Objekts 2 der externe Elektroheizstab im Betrieb ist. Der energetische Anteil variiert von nur 3.2 % bis auf beachtliche 50.8 %. Es ist beim Objekt 14 (Trinkwarmwasser-Wärmepumpe) darauf hinzuweisen, dass diese mehrheitlich im Notfallbetrieb läuft, da die Wärmepumpe eine Störung aufweist. Hier wird nach einer Lösung gesucht, diese ist noch in Abklärung. Bei den anderen Anlagen liegt keine Störung vor. Es ist

zu erwähnen, dass der Einsatz des Elektroheizstabes unterschiedliche Funktionen hat. Bei der Anlage 4 wird dieser während eines erhöhten Warmwasserbedarfs eingeschaltet und bei den Objekten 6, 7 und 13 für die Legionellenschaltung.

Auch hier sind die einzelnen energetischen Anteile der Umwälzpumpen (sowohl quellen- als auch senkenseitig) zu vernachlässigen. Einzig beim Objekt 2 fällt der gesamte energetische Anteil bei der Umwälzpumpen von fast 9 % etwas ins Gewicht.

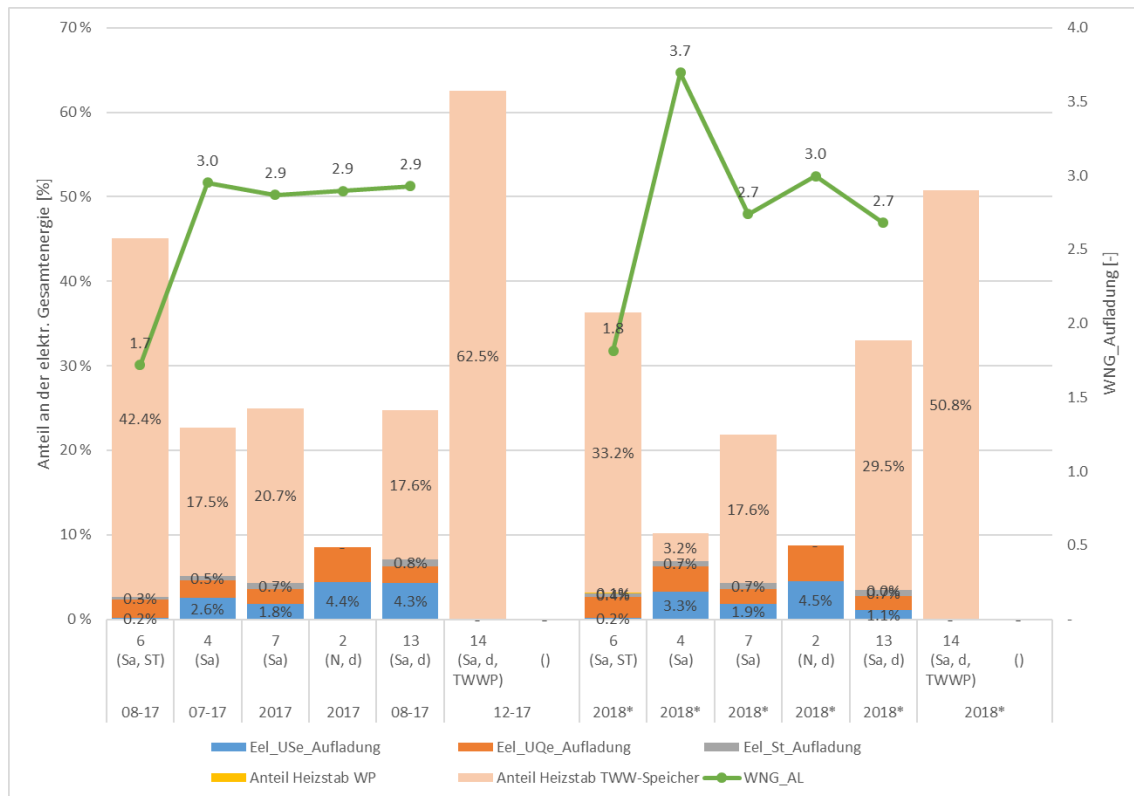


Abbildung 27: Darstellung des Wärmenutzungsgrades WNG und der energetischen Anteile der jeweiligen Hilfsaggregate während der Trinkwassererwärmung aller Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

In der Abbildung 28 und Abbildung 29 sind die durchschnittlichen Laufzeiten des Verdichters und Heizstabes während der Aufladung ersichtlich.

Zuerst wird auf das erste der beiden Diagramme eingegangen, wo die Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen thematisiert werden. Bei dieser Abbildung wird ersichtlich, dass die Verdichterlaufzeit der Trinkwarmwasser-Wärmepumpe (über 1500 h) wesentlich länger ist als bei den anderen Anlagen, die die Trinkwassererwärmung mit einer Heizungswärmepumpe machen. Je nach Anlage beläuft sich diese Verdichterlaufzeit auf 183 bis 439 h. Die Laufzeit des Elektroheizstabes beträgt bei den Objekten 11 und 16 um die 33 h. Diese werden nur für die Legionellenschaltung eingesetzt. Bei den anderen Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen wurde der Elektroinsatz für die Trinkwarmwassererwärmung oder Legionellenschaltung nicht verwendet.

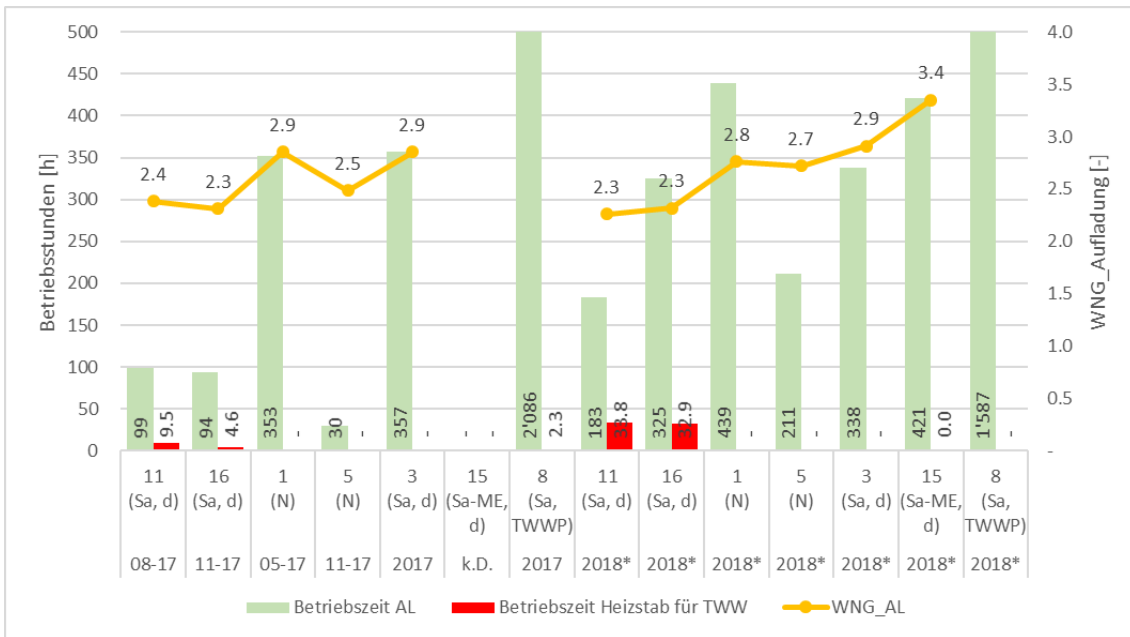


Abbildung 28: durchschnittliche Laufzeit des Verdichters und Heizstabs während der Aufladung bei den Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Auch bei der Betrachtung des Diagramms für die Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen wird deutlich, dass die Verdichterlaufzeit der Trinkwarmwasser-Wärmepumpe von über 1300 h wesentlich höher liegt als jene der Heizungswärmepumpe (231 bis 498 h).

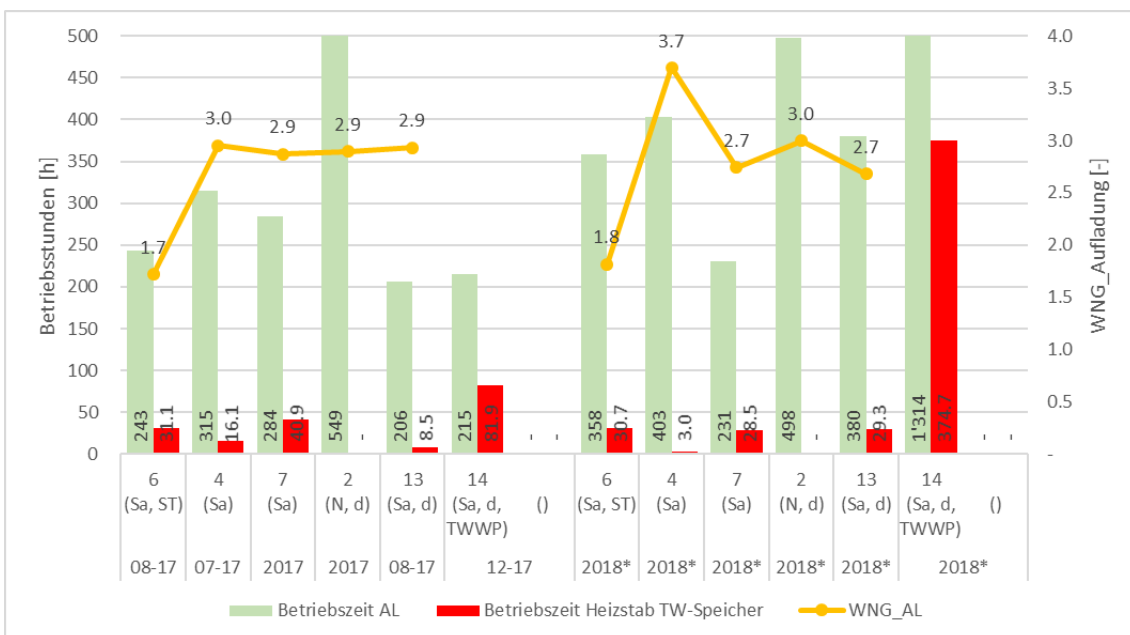


Abbildung 29: durchschnittliche Laufzeit des Verdichters und Heizstabs während der Aufladung bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Die Laufzeiten der Elektroheizstäbe belaufen sich bei den Anlagen, die die Trinkwassererwärmung durch die Heizungswärmepumpe durchführen, um die 30 h. Dieser Wert entspricht auch etwa denen, der Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen. Auffallend ist hier, dass die Heizstablaufzeit der

Trinkwarmwasser-Wärmepumpe (Objekt 14) mit 375 h sehr hoch ausfällt. Dies wird, wie bereits erwähnt, durch den Notbetrieb des Geräts verursacht.

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:

- T_VL_AL: Mittelwert der Senken-Vorlauftemperatur, während der Trinkwassererwärmung der Wärmepumpe.
- T_VL_AL(max): Maximalwert der Senken-Vorlauftemperatur, während der Trinkwassererwärmung der Wärmepumpe.
- T_TWW: Mittelwert der Entnahmetemperatur des Trinkwarmwassers
- T_TWW (max): Maximalwert der Entnahmetemperatur des Trinkwarmwassers
- T_KW: Mittelwert des Kaltwassers

In Abbildung 30 sind die Temperaturniveaus der Trinkwassererwärmung aller Luft/Wasser-Wärmepumpen dargestellt. Die Reihung der Luft/Wasser-Wärmepumpen erfolgte wieder entsprechend ihres Wärmenutzungsgrades WNG in aufsteigender Reihenfolge.

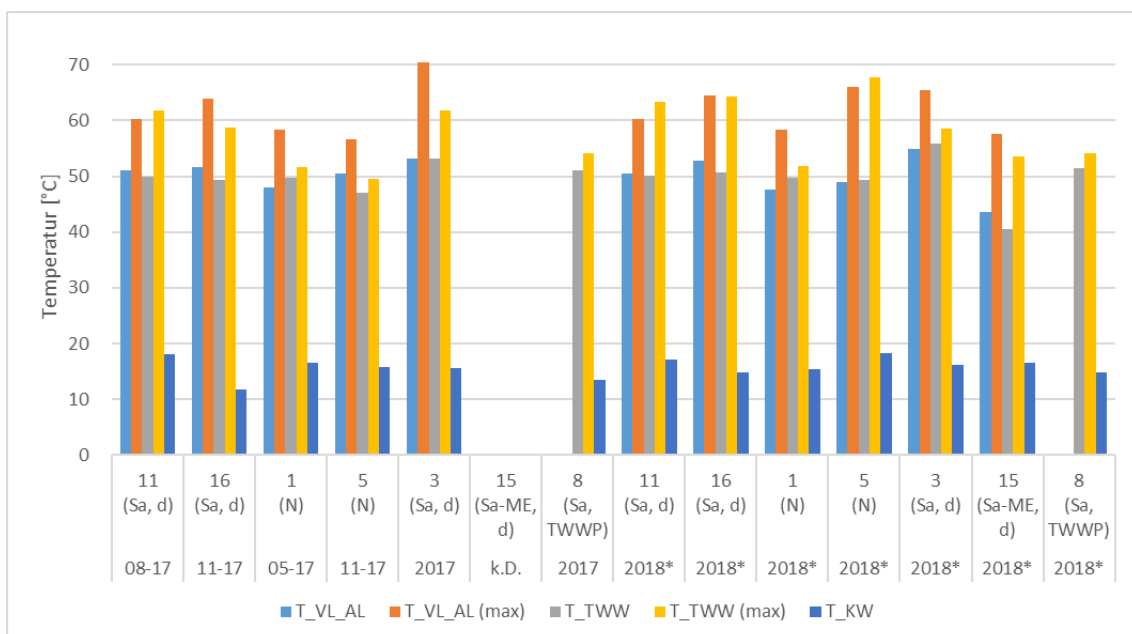


Abbildung 30: Darstellung der unterschiedlichen Temperaturniveaus der Senke und der Trinkwarmwasserentnahme aller Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Auf den ersten Blick ist sehr gut sichtbar, dass die durchschnittliche Trinkwarmwassertemperatur bei rund 50 °C liegt. Nur die beiden Anlagen 3 (56 °C) und 15 (40 °C) weichen hier etwas ab. Beim Objekt 15 ist zu erwähnen, dass es sich um eine Frischwasserstation handelt. Zum Teil liegt die

maximale Trinkwarmwassertemperatur höher als die maximale Aufladetemperatur, was auf die Legionellenschaltung zurückzuführen ist, die durch den Elektroeingang durchgeführt wird. Dies trifft vor allem auf die Objekte 11 und 5 zu. Die Kaltwassereintrittstemperatur schwankt bei den Anlagen zwischen 13 und 18 °C im Jahresmittel.

In der Abbildung 31 sind die unterschiedlichen Temperaturniveaus der Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen aufgezeichnet. Interessant ist, dass die maximale Trinkwarmwassertemperatur des Objekts 6 bei über 90 °C liegt. Dies ist natürlich auf die Solarthermie zurückzuführen. Diese Temperatur wurde weder mit der Wärmepumpe noch mit dem Heizstab erreicht. Im Schnitt liegen auch hier die Trinkwarmwassertemperaturen um die 50 °C, wobei die Unterschiede der einzelnen Anlagen gross ist (von 43 bis 61 °C).

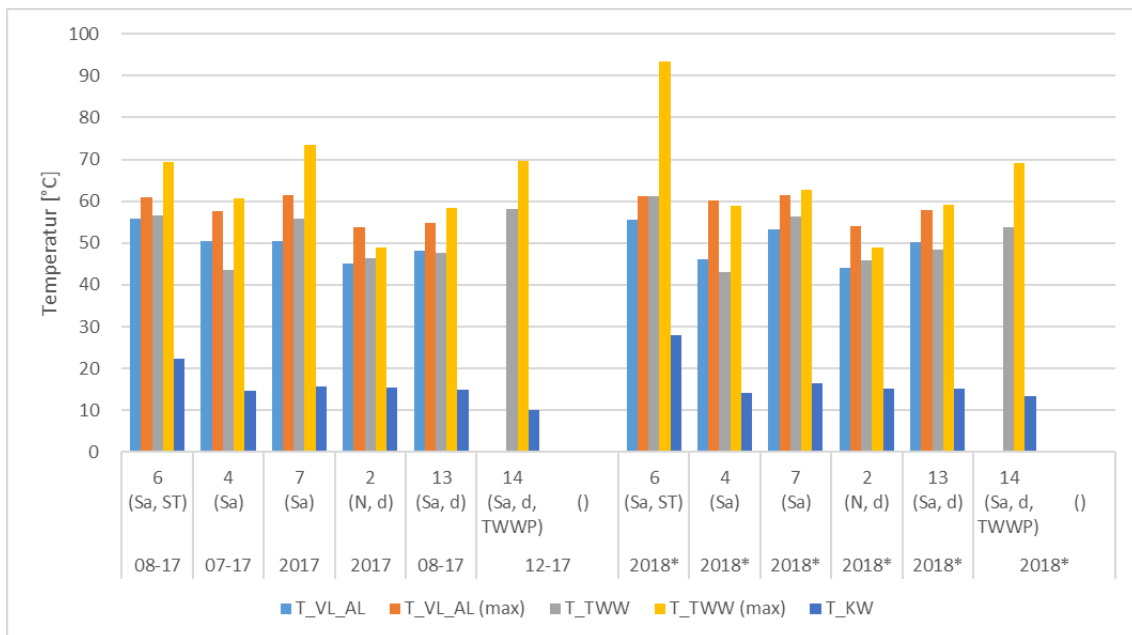


Abbildung 31: Darstellung der unterschiedlichen Temperaturniveaus der Senke und der Trinkwarmwasserentnahme aller Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Die Temperaturen des Kaltwassers variieren zwischen 13 und 28 °C. Die hohe Kaltwassertemperatur des Objekts 6 scheint ein Ausreisser zu sein, da allen anderen im Bereich von 13 und 16 °C liegen.

4 Optimierung

Die detaillierte Datenaufzeichnung über mehr als eine Heizperiode bei mehreren Objekten sowie das kurze Messintervall von 10 Sekunden bieten diverse Möglichkeiten zum Auffinden von verschiedenen Optimierungsmöglichkeiten und auch der Vergleich verschiedener Objekte in Bezug auf die Heizungseinstellung.

Im Folgenden soll in verschiedenen Kategorien mögliches Optimierungspotential exemplarisch anhand eines Objekts aufgezeigt werden bzw. auch der Vergleich mit sog. best-practise Beispielen veranschaulicht werden.

4.1 Heizkurve und Heizgrenze

Ohne die Aufzeichnung der einzelnen Raumtemperaturen und den genauen Kenntnisstand der Gebäudedämmung ist die Einschätzung der korrekten Heizkurve und Heizgrenze nur indirekt möglich. Dennoch zeigen sich bei ähnlichen Gebäudestandards zum Teil erhebliche Unterschiede auf, insbesondere ein zu hohes Niveau der Heizkurve und der Heizgrenze nach Aussentemperatur bei Neubauten. Zusätzlich ist eine hydraulische Einbindung der Wärmepumpe mit Speicher und Mischerguppe durch die Schalthysteresen anfälliger für hohe Wärmepumpenvorlauftemperaturen.

Ersichtlich aus der Datenhistorie ist die Anpassung der Heizkurve. Von den 13 beobachteten Anlagen ist nur in drei Fällen die Heizkurve gesenkt worden (3, 14, 15) und zwei (8, 11) angehoben worden. Bei den anderen 8 Anlagen waren die Bewohner entweder mit den Voreinstellungen zufrieden oder die Regelung einer unnötig hohen Vorlauftemperatur ist durch die Regelung der Raumthermostate oder Mischerguppe erfolgt.

Objekt 1 als Neubau zeigt in Abbildung 32 eine sehr hohe Heizgrenze. Die Einschaltgrenze der Wärmepumpe ist durch eine Aussentemperatur von 16 °C ohne Mittelung bestimmt. So wird auch bei einem kalten Sommermorgen mit späteren Tageshöchsttemperaturen von über 25 °C geheizt. Bei einer intelligenten Heizgrenze ab 12°C und einem vorherigen Maximalwert von grösser 20 °C könnte bei diesem Objekt über 600 kWh thermisch (ca. 150 kWh_{elektrisch} Verdichter) bzw. über 6 % vom Gesamtjahresheizwärmebedarfs eingespart werden (01.11.2017 – 31.10.2018). Zusätzlich ergibt sich eine Einsparung von fast 100 kWh elektrische Energie durch die geringeren Betriebszeiten der Heizungspumpe.

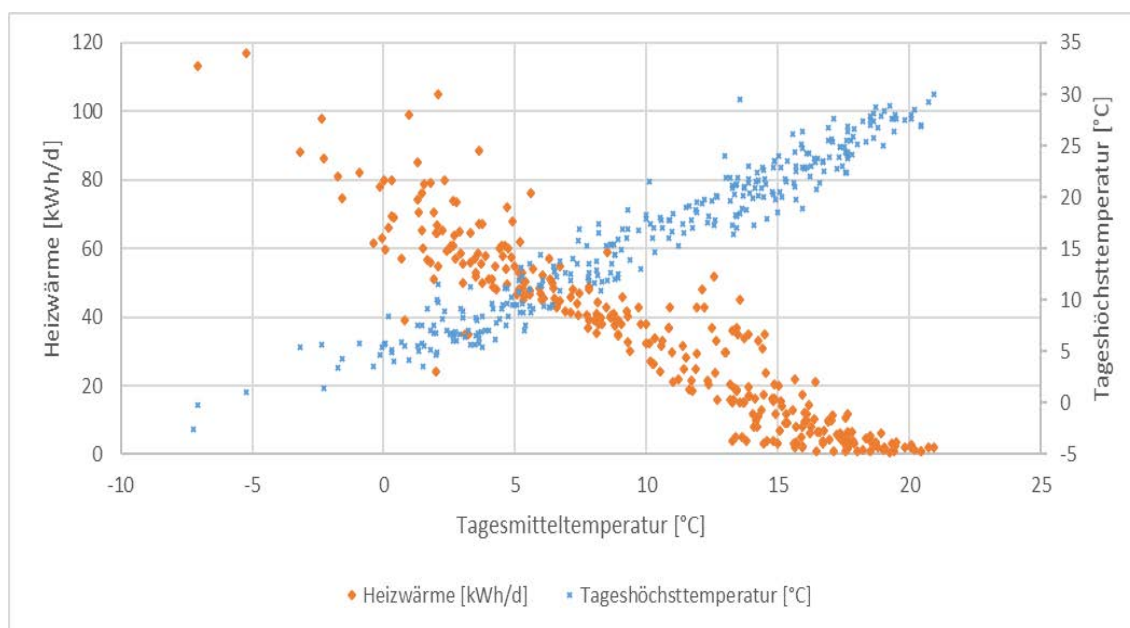


Abbildung 32: Heizwärmebedarf Objekt 1 vom 11.05.2017 bis 31.10.2018

Die Möglichkeit zur Umsetzung einer intelligenten Heizgrenze in Form einer gemittelten Aussentemperatur zeigt Objekt 15 in Abbildung 33. Hier ist die neue Software im Juni 2018 implementiert worden. Trotz des kurzen Betrachtungszeitraumes von Januar bis Mai mit nur einer Übergangszeit sind einige Heiztage bei mittleren Tagestemperaturen von über 15 °C erkennbar. Im Herbst 2018 konnten diese Heiztage verhindert werden. Der grosse Unterschied zum Objekt 1 in der vorherigen Abbildung ist ebenfalls erkennbar. Bemerkenswert ist auch die sehr tiefe mittlere Vorlauftemperatur von ca. 28 °C/d bei Tagesmitteltemperaturen von 5 °C.

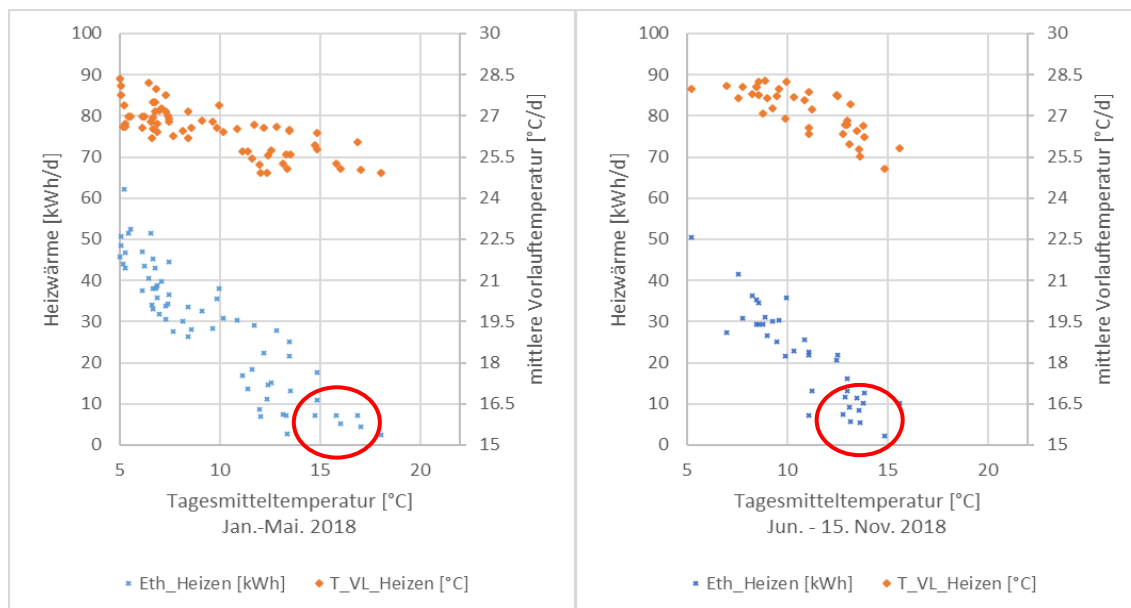


Abbildung 33: Heizwärmebedarf Objekt 15 vom 01.01.2018 bis 15.11.2018, Temperaturbereich nur ab 5 °C. Anpassung der Heizgrenze im Juni 2018

In Abbildung 34 wird die Bedeutung der mittleren Vorlauftemperatur der Wärmepumpe hinsichtlich ihrer Effizienz veranschaulicht. Bei Objekt 3 wurde die Heizkurve ca. am 18.12.2017 deutlich gesenkt. Die tiefe JAZ von 2.6 bei 7 °C/d mittlerer Tagestemperatur im ersten Zeitraum vom 01.10.2017 bis 17.12.2017 stieg so im zweiten Betrachtungszeitraum bis 31.10.2018 auf 3.7 bei gleicher Aussentemperatur. Weiteres Einsparpotential bei dieser Anpassung der Heizungssteuerung wäre sicherlich noch in der Heizgrenze vorhanden. Es wird selbst bei mittleren Tagestemperaturen von über 20 °C/d geheizt. Da sich der tägliche Heizwärmebedarf bei gleicher Tagesmitteltemperatur durch die Senkung der Heizkurve nicht erkennbar verändert hat, kann vermutet werden, dass die zuvor zu hohe Vorlauftemperaturen durch die Mischergruppe oder Raumthermostat heruntergeregelt worden sind. Somit hat diese deutliche Anpassung mit grossem Einsparpotential keine reduzierten Komfortbedingungen zur Folge.

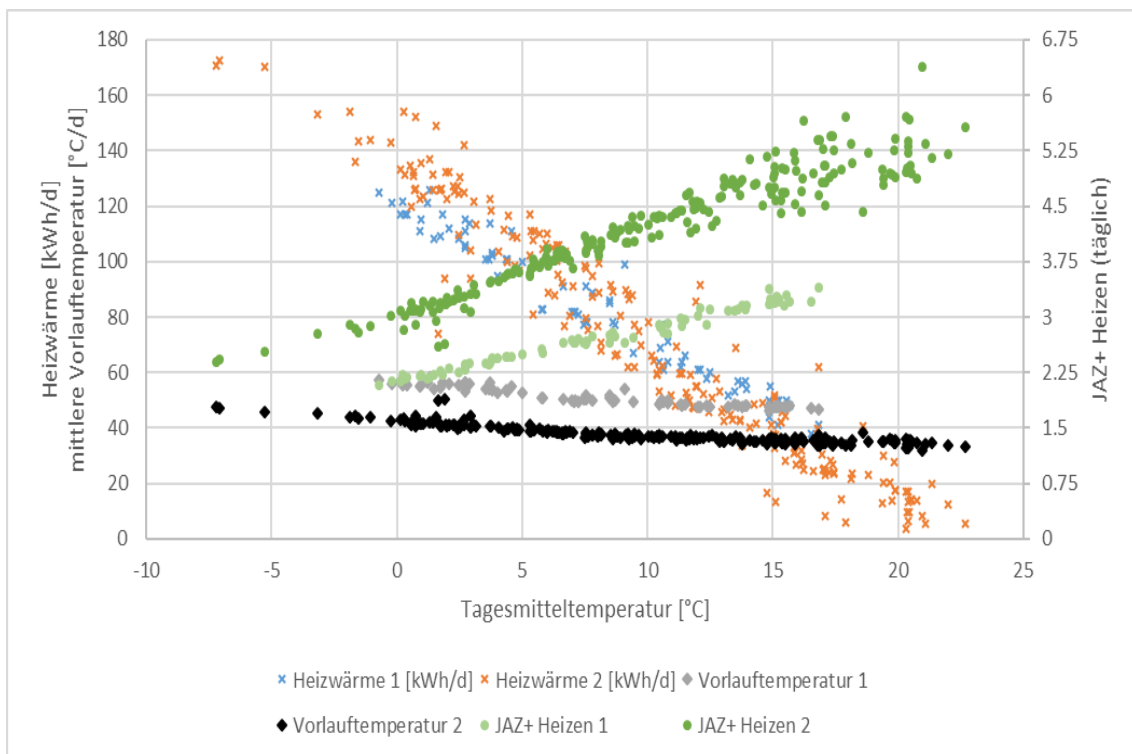


Abbildung 34: Heizwärmebedarf, Vorlauftemperatur und JAZ von Objekt 3. Anpassung der Heizkurve am 18.12.2017 (Zeitraum 1 davor, Zeitraum 2 danach)

4.2 Senkenumwälzpumpe

Deutliche Unterschiede sind auch in der Einstellung der internen Umwälzpumpen im Wärmepumpenvorlauf sichtbar. Insbesondere bei Wärmepumpen mit hydraulischem Direktkreis gibt es grosses Einsparpotential beim Betriebsverhalten in der Heizperiode bei Verdichter im Standby (Vorlauftemperatur über Soll-Wert), beispielsweise Objekt 1. Ist die Wärmepumpe zusätzlich drehzahlreguliert, ergeben sich hohe Verdichterbetriebsstunden mit unterschiedlichen und auch niedrigen Heizleistungen. Der Einsatz von unregulierten Pumpen führt zu einem Miss-Match und einem relativ hohen Pumpstrombedarf (Anlage 3 und 4). Aber auch fehlerhafte Einstellungen bei der Inbetriebnahme können zu hohen Energieverbräuchen der Pumpen führen. So ist der Volumenstrom bei Anlage 6 im Verdichterbetrieb wesentlich kleiner als im Standby. Hier scheinen in Abbildung 35 die zwei Betriebsarten vertauscht zu sein und somit ist die hohe Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf von ca. 15 K und die damit verbundene hohe Kondensationstemperatur im Verdichterbetrieb erklärbar. Da Anlage 6 mit einer parallelen Speichereinbindung aufgebaut ist, ist ein Betrieb der Pumpe im Verdichterstandby generell nicht nötig.

In der Periode von November 2017 bis Oktober 2018 lief der Verdichter im Objekt 6 3300 h im Heizbetrieb, die Pumpe im Heizbetrieb jedoch nur 3130 h. Aufgrund der Hocheffizienzpumpe und der reinen Speicherbeladung ergeben sich elektrisch keine nennenswerten Einsparungen durch eine Reduzierung von 170 Pumpenbetriebsstunden, vielmehr jedoch können thermische Einsparungen durch Zirkulation und eventueller Beeinflussung der Schichtung im Speicher bewirkt werden.

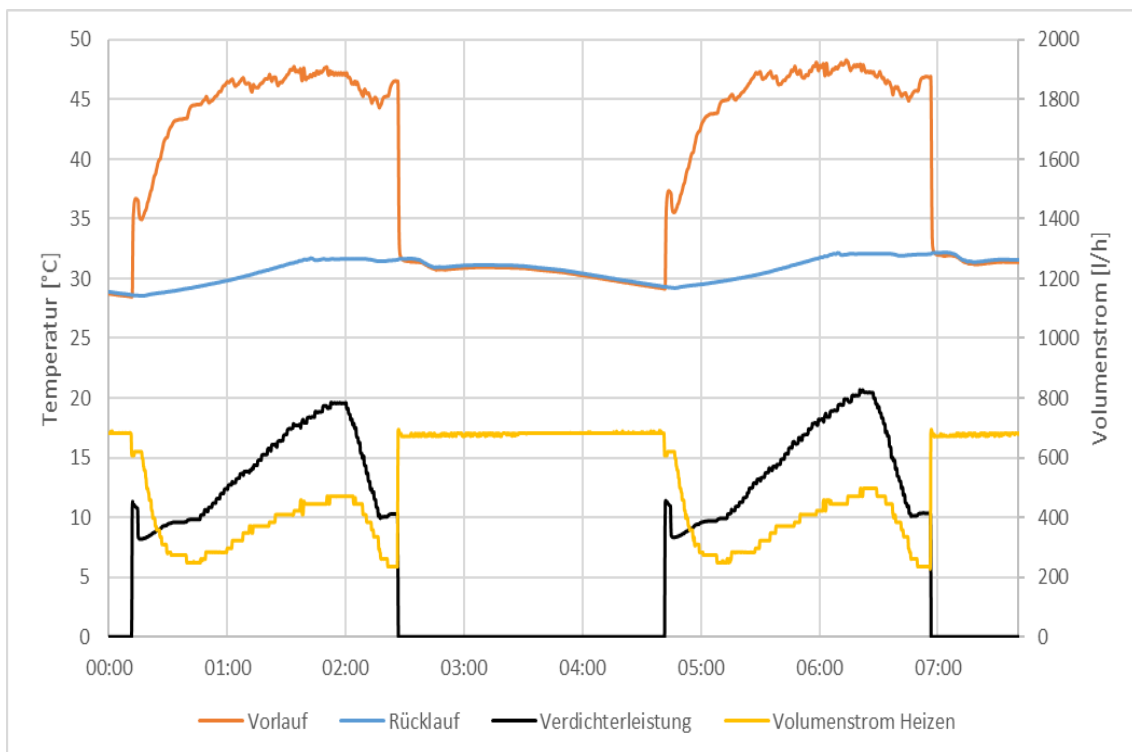


Abbildung 35: Regelung des Senkenvolumenstroms bei 8°C Aussentemperatur, Objekt 6

Objekt 1 weist 2017/18 nur 1300h Heizstunden im Verdichterbetrieb auf. Durch die sehr hohe Heizgrenze lief die Umwälzpumpe im Heizbetrieb jedoch 5000 Stunden mit konstanten 44 Watt auch im Verdichterstandby, Abbildung 36. Zur internen Pumpe ist noch eine Direktheizkreispumpe als Unterstützung installiert. Deren Verhalten und Energiebedarf wird aufgrund der definierten Systemgrenze nicht betrachtet, führt aber zu einem zusätzlich und nicht unerheblichen Pumpstrombedarf.

Eine energiesparende Lösung im Verdichterstandby während der Heizperiode kann das Takten der Pumpe (beispielsweise Objekt 15, Abbildung 40) oder eine deutliche Volumenstromabsenkung mit einer Drehzahlregulierung ohne Komforteinschränkungen sein. So könnten ohne Anpassung der Heizgrenze die 3700 Betriebsstunden der Pumpe im Verdichterstandby auf 1/6 reduziert werden (5 min Pumpbetrieb je 30 min Verdichterstandby). Dies führt zu einer elektrischen Energieeinsparung von 135 kWh. Alternative könnte evt. auch die interne Pumpe bei Verdichterstandby komplett abstellen und die Vorlauftemperatur nur durch die Direktkreispumpe überwacht werden.

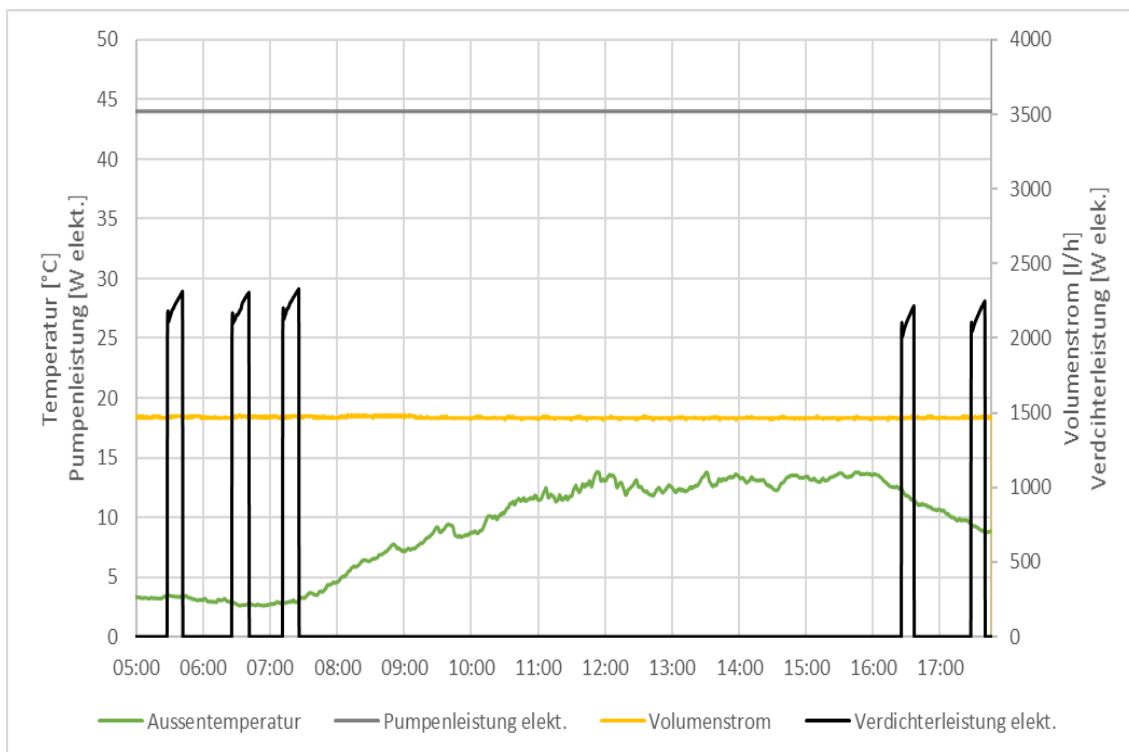


Abbildung 36: Betriebsverhalten Pumpe in der Übergangszeit, Objekt 1

Bei Objekt 13 ist die reduzierte Anpassung des Volumenstrom im Verdichterbetrieb im Dezember 2017, vermutlich durch einen Servicefachmann, auf eine Temperaturspreizung von über 4 K interessant, Abbildung 37. In einer Heizperiode mit ca. 4000 Verdichterbetriebsstunden im Heizen können durch diese Reduzierung von mehr als 40 Watt über 160 kWh elektrisch eingespart werden. Warum jedoch nicht auch der deutlich höhere und nicht benötigte Volumenstrom im Verdichterstandby, siehe Abbildung 38, angepasst worden ist, lässt Fragen aufkommen. So lief die Pumpe in der Heizperiode über 2630 Stunden im Verdichterstandby mit einer Leistung von konstant 58 Watt und benötigte 150 kWh elektrische Energie. Durch eine weitere Anpassung mit einer Reduzierung auf 10 W und einem Taktbetrieb wie bei Objekt 15 könnte dieser elektrische Energiebedarf auf 5 kWh reduziert werden.

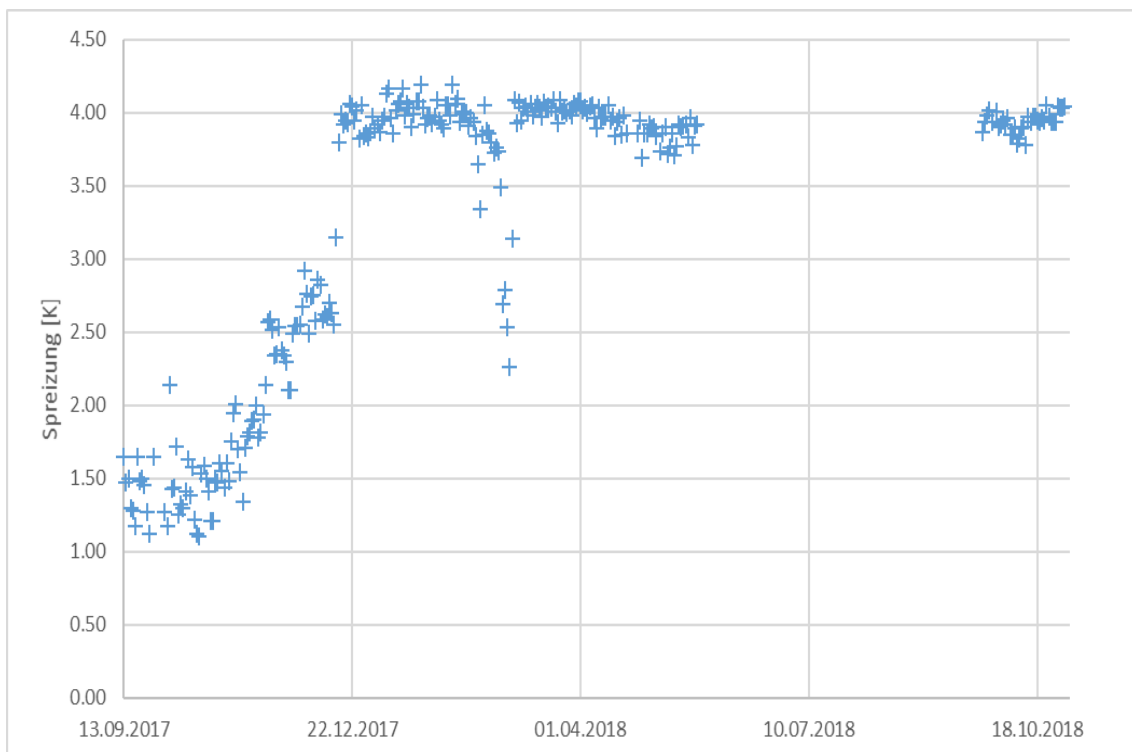


Abbildung 37: Erhöhung der Spreizung und somit Senkung des Volumenstroms Mitte Dezember, Objekt 13 (Tagesmittelwerte)

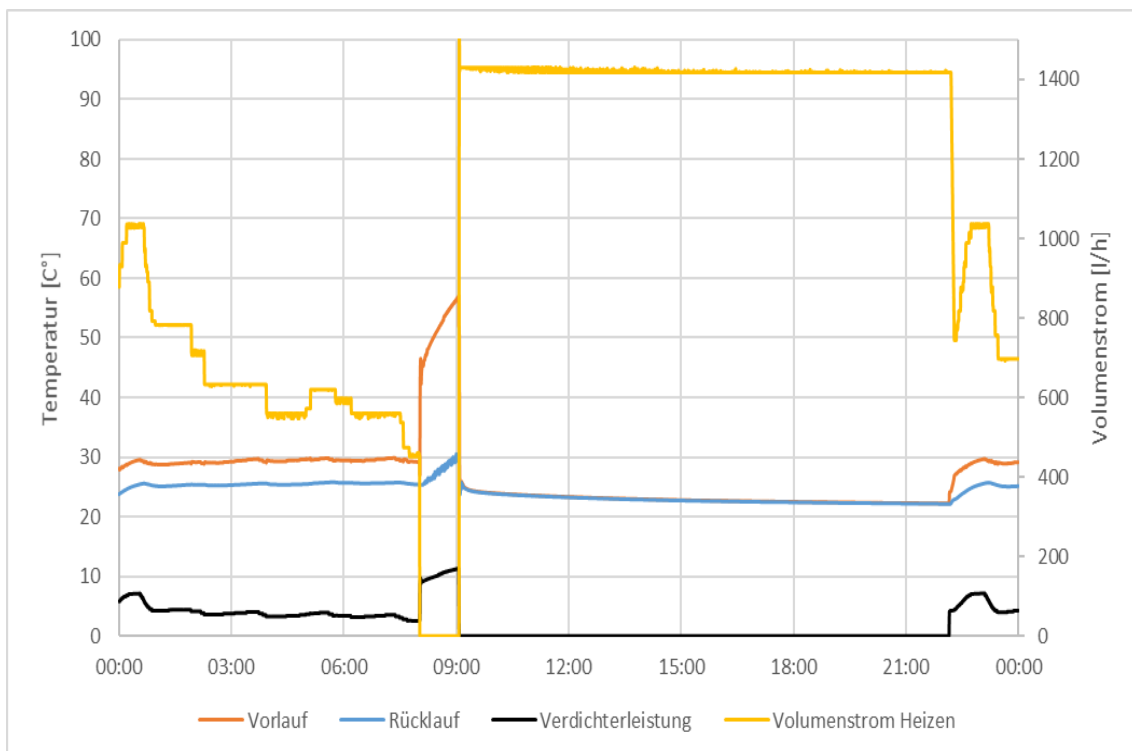


Abbildung 38: Hoher Standby Volumenstrom Umwälzpumpe, Objekt 13

Eine baugleiche Wärmepumpe in Objekt 14 ist in Abbildung 39 ersichtlich mit einem schwachen Volumenstrom im Verdichterstandby effizienter eingestellt.

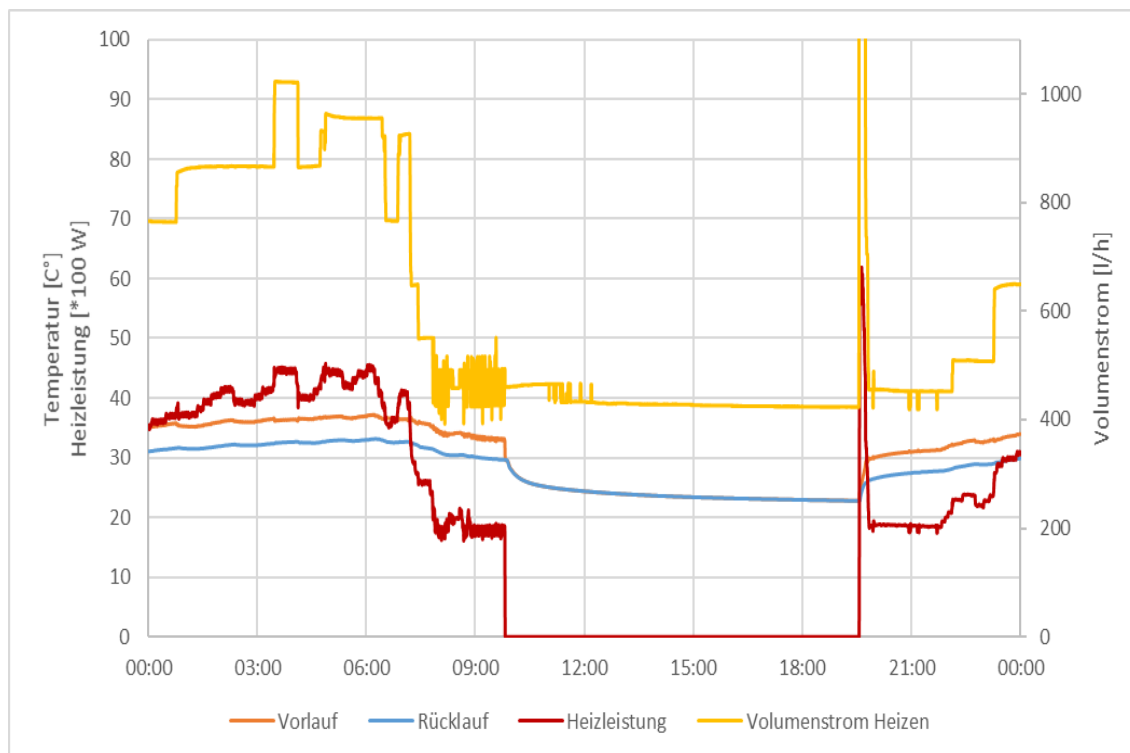


Abbildung 39: Modulation Verdichterleistung und Pumpe, Objekt 14

Zusammenfassend sollte insbesondere bei Wärmepumpen mit hydraulischem Direktheizkreis die Einstellung der Pumpe überprüft werden. Auch wenn dies einen erhöhten Zeitaufwand bei der Installation oder späteren Optimierung benötigt, kann nur so das Potential der Hocheffizienzpumpen auch genutzt werden.

4.3 Trinkwassererwärmung

Eine grosse Varianz kann auch bei den Wärmestillstandsverlusten der Wassererwärmer festgestellt werden. Von geringen 2.0 kWh/24h werden auch Werte über 5 bis 10 kWh/24h festgestellt. In dieser Berechnung sind die beabsichtigte oder auch nichtgewollte Schwerkraft- oder Pumpenzirkulation sowie die Verluste der Hydraulik zwischen Wärmepumpe und Wassererwärmer enthalten. Einige Anlagen sind ohne den nach Wärmepumpensystemmodul vorgeschriebenen Siphon am Warmwasservorlauf ausgeführt, ein direkter Zusammenhang zu den Verlusten kann aufgrund der Anlagenanzahl jedoch nicht eindeutig hergestellt werden. So weist Anlage 7 mit Siphon hohe Zirkulationsverluste über die Heizungshydraulik (vermutlich nicht dicht schliessendes Drei-Wege-Umstellventil) auf.

Bei sieben Anlagen (5, 6, 7, 11, 13, 14, 16) wird ein wöchentliches Legionellenprogramm mit Verwendung des Heizstabes ausgeführt. Bei drei Anlagen (11, 13, 16) unterstützt zuvor der Verdichter die Aufladung und der Heizstabeinsatz kann verringert werden. Durch diese einfache Softwareimplementierung durch den Wärmepumpenhersteller können so zum Beispiel bei Objekt 11 je Legionellenaufladung durch verringerten Heizstabeinsatz im Mittel ca. 3.5 kWh elektrisch eingespart werden, im Jahr 180 kWh. Die Wärmepumpe heizt mit einer Vorlauftemperatur von maximal 60 °C den Speicher vor. Die Ermittlung des Einsparpotentials erfolgt durch Vergleichswerte mit reinem Heizstabeinsatz ohne Wärmepumpe an den Tagen 22.01, 07.04 und 15.09, siehe folgende Tabelle 5 als Auszug aus der Datenbank. Die Verifizierung der Analyse ist nur mit der hochauflösenden Datenaufzeichnung möglich, um die Unterstützung der Wärmepumpe unmittelbar vor dem Heizstabeinsatz feststellen zu können. Es findet keine Aufladung ausserhalb des Le-

gionellenprogramms an diesem Tag statt und somit kann Eth_AL [kWh] der Wärmepumpe vollumfänglich dem Legionellenprogramm gutgeschrieben werden.

Tabelle 5: Energievergleich Legionellenprogramm mit/ohne Wärmepumpenunterstützung beim Objekt 11

Datum	Eel_HS_TWW [kWh]	Eth_AL [kWh]	tBh_Heizstab_TWW [h]	T_VL_AL (max) [°C]
22.01.2018	6.88	6.88	1.08	0
07.04.2018	7.47	7.47	1.17	0
15.09.2018	7.67	7.67	1.21	0
29.09.2018	3.87	9.86	0.61	59.88
22.09.2018	3.71	9.06	0.58	59.83
14.07.2018	3.83	6.47	0.6	59.71
03.03.2018	3.54	7.76	0.57	58.76
12.05.2018	3.37	6.84	0.53	60.15
06.10.2018	3.63	7.04	0.56	59.99

Ein Ferienprogramm der Warmwasseraufbereitung wird nur in den seltensten Fällen eingeschaltet. Das mögliche Einsparpotential ist direkt von den Wärmestillstandsverlusten abhängig. Häufig kann sich ein Ferienprogramm ab 3 Absenktagen lohnen, wobei die absolute Einsparung mit Berücksichtigung der Wiederaufladung bei Rückkehr eher bescheiden ist. So ergeben 3 Wochen Sommerurlaub beim Objekt 11 bei 3 kWh/24d Wärmeverlusten = 20 d * 3 kWh/d – 9 kWh Wiederaufladung von 25 auf 50°C bei einem 300 l Speicher nur ca. 50 kWh thermische Einsparung, mit einem COP von 3 könnten 16 kWh elektrisch eingespart werden.

Ein höheres Optimierungspotential bei Luft/Wasser-Wärmepumpen ergibt die Einstellung eines grösseren Aufladefensters in der Mittagszeit mit vorheriger Aufladeverzögerung (Absenkung Soll-Temperatur). Während der Mittagszeit sind die Aussentemperaturen zum Teil zweistellig höher als in den Morgenstunden. Somit kann die Aufladeeffizienz um 10 bis 20 % erhöht werden, insbesondere wenn Abtauungen dadurch vermieden werden können. Diese benutzerdefinierte Einstellung des Aufladeprogramms wird nur bei Anlage 15, ersichtlich in Abbildung 40, umgesetzt. Diese Anlage verfügt über eine Frischwasserstation mit Stufenladung. Die genaue Funktionsweise und Einspareffekte durch die niedrige Wärmepumpenvorlauftemperatur soll im nächsten Bericht genauer analysiert und ausgewertet werden. Ebenfalls sieht man das energiesparende Taktverhalten der Umwälzpumpe bei Verdichterstandby in den frühen Morgenstunden bis ca. 3 Uhr (kein permanentes Durchlaufen der Pumpe). Obwohl die Aussentemperatur am Nachmittag höher ist als am Morgen, wird vermutlich der effizientere Betriebsmodus durch die höhere Aussentemperatur genutzt (Trägheit der Bausubstanz) und um den Energiehaushalt der Absenkung am Morgen auszugleichen.

Durch dieses benutzerdefinierte Aufladeprogramm über die Mittagszeit und die Anpassung des Heizbetriebs kann der Eigenstromverbrauch von Photovoltaikanlagen zusätzlich erhöht und die Netzbelastung durch ansonsten hohe Einspeisungen verringert werden.

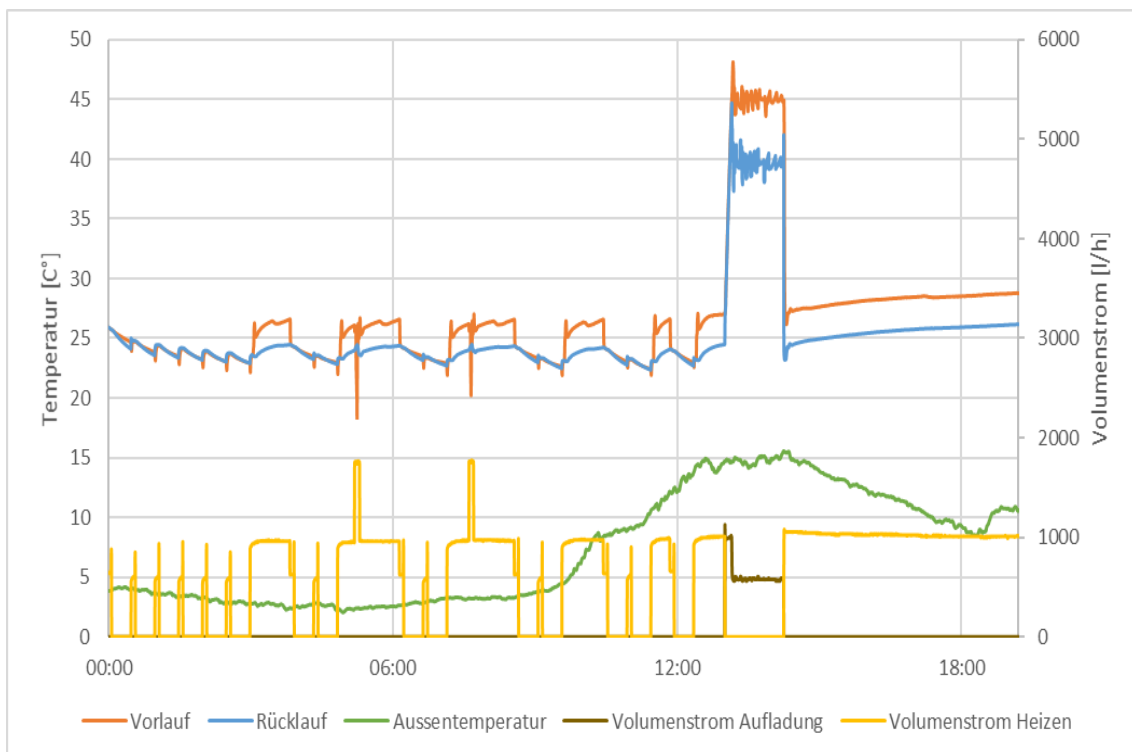


Abbildung 40: Aufladeprogramm Warmwasser über Mittagszeit, Objekt 15 mit Frischwasserstation. Um 5 Uhr und 7.40 Uhr zwei Abtauungen im Heizbetrieb, Aussentemperatur von Minimum 2.2 °C am Morgen auf Höchstwerte von über 15 °C am Mittag

4.4 Luftführung bei Luft/Wasser-Wärmepumpen

Bei zwei Luft/Wasser-Wärmepumpen (Anlage 5 und 8) konnte anhand der 10 s Aufzeichnungen eine nicht optimale Luftführung bzw. -verteilung erkannt werden.

Bei Objekt 5 handelt es sich um eine Kelleraufstellung mit Luftansaug und – ausblas über Lichtschächte. Beide Kanäle sind über das Hauseck angeordnet, sodass sich ein Kurzschlussluftstrom ergeben kann. Durch einen ansteigenden Hang und Mauerabgrenzung fällt zusätzlich kalte Luft in den Lichtschacht. Dieses Verhalten zeigen Abbildung 41 f. Befindet sich der Verdichter in den Morgenstunden im Standby, gleichen sich Aussentemperatur und Quelltemperatur an, im Heizbetrieb ergibt sich aber eine Abkühlung von 2 K. Die warmen Mittagstemperaturen können durch den entstandenen Kaltluftsee von der Wärmepumpe nur bedingt genutzt werden.

Als Optimierungsmöglichkeit könnte hier ein Brett oder ähnliches Abgrenzung am Lufteintritt montiert werden. Der Einfluss einer veränderten Luftströmung soll dann im Folgebericht genauer analysiert werden.



Abbildung 41: Vermuteter Luftkurzschluss zwischen Luftansaug- (links) und -ausblaskanal rechts mit zusätzlichem Kaltluft-effekt durch abfallenden Hang, Objekt 5

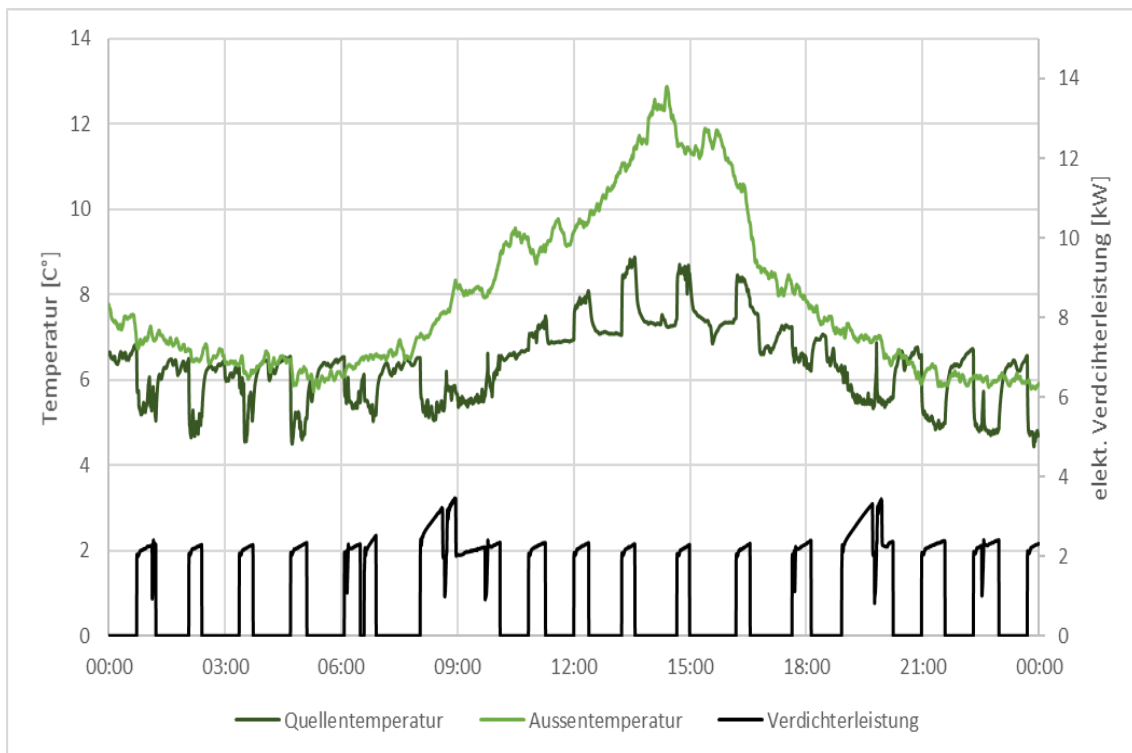


Abbildung 42: Verhalten Quelltemperatur am Luftansaugkanal, Objekt 5 am 26.03.2018. Luftkurzschluss zwischen den Luftkanälen am Luftansaug und -ausblas, Kaltluftsee am Mittag

Bei Anlage 8 handelt es sich um eine gesplittete Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Tischverdampfer. Der senkrecht nach oben ausgeblasene Luftstrom wird durch ein Wetterschutzdach umgelenkt und gelangt so verstärkt durch eine angrenzende Gartenmauer wieder an den bodenseitigen Luftansaug des Verdampfers.



Abbildung 43: Aufstellung Ausseneinheit mit Ventilator und Gartenmauer, Objekt 8

4.5 WP-Grösse und hydraulische Einbindung

Eine generelle Überdimensionierung der Wärmepumpenleistung konnte anhand der 13 Anlagen nicht bestätigt werden. Dennoch gibt es Beispiele einer weniger geeigneten Auslegung. Die Erkenntnis, dass eine aufwändige Hydraulik anfälliger für eine nicht optimale Betriebsweise ist, konnte ebenfalls bestätigt werden.

Das isolierte Neubauobjekt 1 wird mit einer überdimensionierten und nicht drehzahlregulierten Wärmepumpe mit einem integrierten 120 l Pufferspeicher beheizt. In der Periode vom 01.11.2017 – 31.10.2018 sind 1730 Verdichterbetriebsstunden gemessen worden, davon 1300 h für Heizen.

Das sanierte Objekt 7 ist mit einer Sole/Wasser-Wärmepumpe und einem 1000 l parallel geschalteten Speicher ausgestattet. Dies in Kombination mit einer hohen Hysterese führt zu unnötig hohen Vorlauftemperaturen, grossen Wärmeverlusten und sehr langen Betriebspausen bzw. Betriebszeiten des Verdichters. Hier kann die Herabsetzung der Hysterese zu niedrigeren Vorlauftemperaturen und damit zu einer effizienteren Betriebsweise der Wärmepumpe ohne Komforteinbussen für die Bewohner führen.

Objekt 16 mit einer modulierenden Luft/Wasser-Wärmepumpe und einem 500 l Pufferspeicher zeigt selbst bei einstelligen Aussentemperaturen ein starkes Taktverhalten auf. Hier wäre die hydraulische Einbindung und die Einstellung der Schalthysterese zu hinterfragen und zu prüfen. Da der Speicher im nicht isolierten Keller platziert ist, sind dessen Wärmeverluste ungenützt. Falls der Speicher nur für die Abtauung benötigt ist, wäre hier evtl. elektrische Zuheizten in Ausnahmefällen effizienter.

Ein weiterer Einfluss durch die hydraulische Einbindung ergibt sich für das Betriebsverhalten der Heizungspumpe, welches in Kapitel 4.2 betrachtet wird.

5 Energetische Auswertungen zu den Gebäuden

Um den Einsatz der Wärmepumpensysteme näher beschreiben zu können, werden hier mit den drei Kenngrössen:

$$QH_HWB = Q_{\text{Heizen}} / EBF$$

Heizwärmebedarf [kWh/m²]

$$GWB = (Q_{\text{Heizen}} + Q_{\text{Aufladung}}) / EBF$$

Gesamtwärmebedarf [kWh/m²]

$$HGT_{20_16}$$

Heizgradtage [°C] mit Heizgrenze 16 °C und Raumtemperatur von 20 °C (Sanierung)

$$HGT_{20_12}$$

Heizgradtage [°C] mit Heizgrenze 12 °C und Raumtemperatur von 20 °C (Neubau)

noch eine Gebäude-, eine Verbrauchs- und eine Standortkenngrösse abgebildet. Diese Kennwerte werden über das ganze Jahr aufsummiert, weshalb aufgrund der Datenlage nur das Jahr 2018 aussagekräftig ist.

5.1 Heizwärme-, Gesamtwärmebedarf und Heizgradtage

Der Grenzwert vom Gesamtwärmebedarf von Minergie liegt bei 55 kWh/m²a und von Minergie A liegt bei 35 kWh/m²a. Für diese Bilanz sind bereits Heizwärmebedarf und Trinkwasserwärmebedarf miteinander aufsummiert. Bei den Sanierungen werden die Heizgradtage auf 20/16 und bei den Neubauten auf 20/12 bezogen.

Die Heizwärmebedarfe der einzelnen Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen variiert im 2018 zwischen 19 und 75 kWh/m². Dieser Wert hängt natürlich stark von der Bausubstanz ab. Der Trinkwarmwasserbedarf hängt weniger von der Bausubstanz, sondern mehr vom Nutzerverhalten ab. So variiert dieser Wert von 7 bis 19 kWh/m² im Jahr 2018.

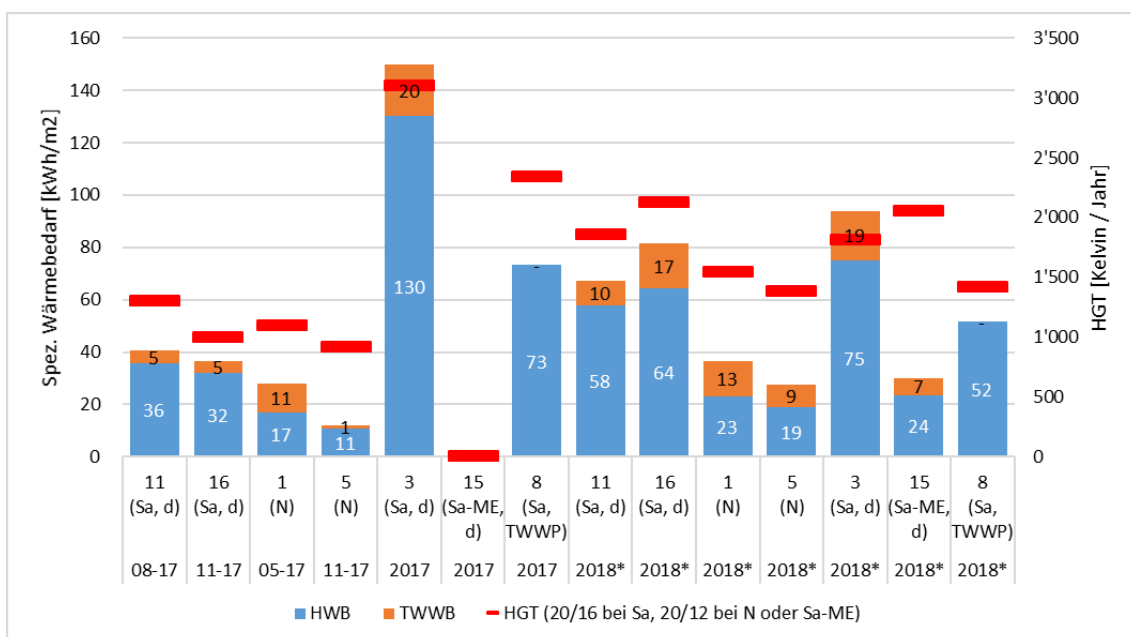


Abbildung 44: Darstellung des Heizwärmebedarfes (HWB), des Trinkwarmwasserbedarfs (TWWB) sowie der Heizgradtage aller Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Abbildung 44 sagt nichts über die Effizienz der Anlage aus. Von Interesse könnte natürlich auch sein, wie viel Energie das Gebäude aus der «Steckdose» bezieht. Diesen Aufschluss sollte die Abbildung 45 geben. Nun zeigt sich, dass das Objekt 3 zwar immer noch am meisten Energie pro m² verbraucht, jedoch hat sich dieser zu den Objekten 11 und 16 angenähert. Erfreulich ist, dass bei diesem Gebäude der Energiebezug fürs Heizen vom 2017 auf das 2018 praktisch halbiert wurde. Allgemein sieht der Unterschied zwischen Neubau und Altbau frappant aus. Bei den Neubauten (bezieht sich nur auf dieses Feldmessprogramm) von den Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen ist der Bezug von Energie rund 3 mal kleiner als bei den Sanierungsobjekten. Daraus darf auf jeden Fall geschlossen werden, dass vor allem Wärmepumpen-Anlagen in Sanierungsobjekten möglichst effizient umgesetzt werden, damit viel Energie eingespart werden kann.

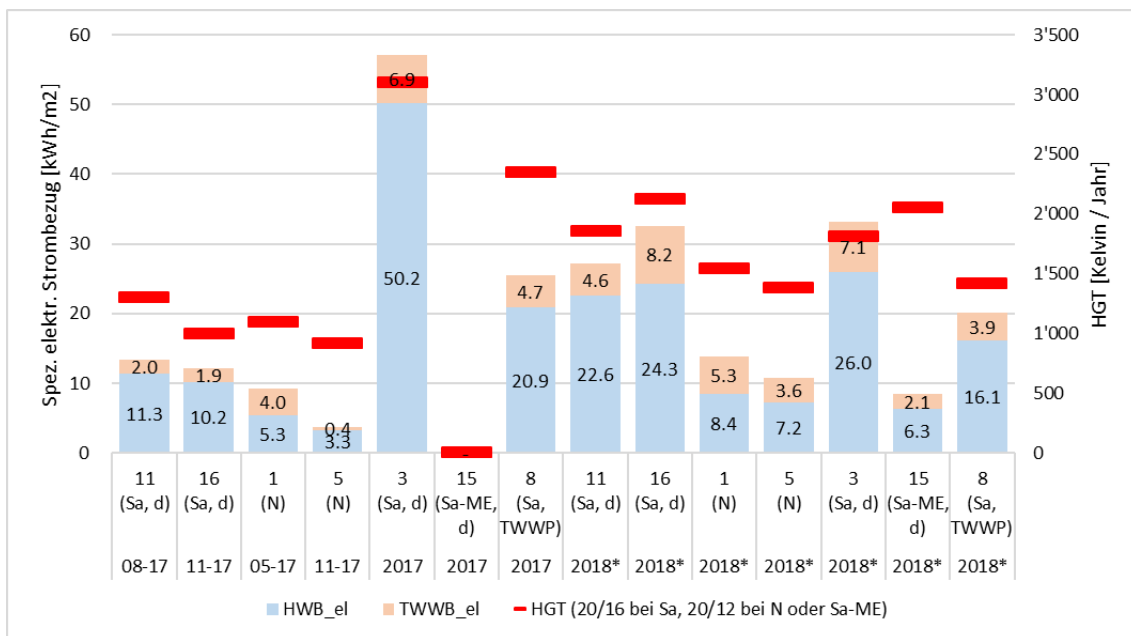


Abbildung 45: Darstellung des elektrischen Strombezugs für Heizen und Trinkwarmwassererzeugung pro m², sowie der Heizgradtage aller Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Ab Abbildung 46 werden die Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen untersucht. Hier liegen die Wärmebedarfswerte zwischen 22 und 61 kWh/m² im Jahr 2018. Der Trinkwarmwasserbedarf aller dieser Anlagentypen liegen im Bereich von 6 und 11 kWh/m². Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen-anlagen wird nur ein Neubau ausgemessen, bei allen anderen handelt es sich um ein Sanierungsobjekt. Auch hier zeigt sich, dass der Bedarf an Heizungswärme um mindestens Faktor 2 geringer ist als bei den Altbauten.

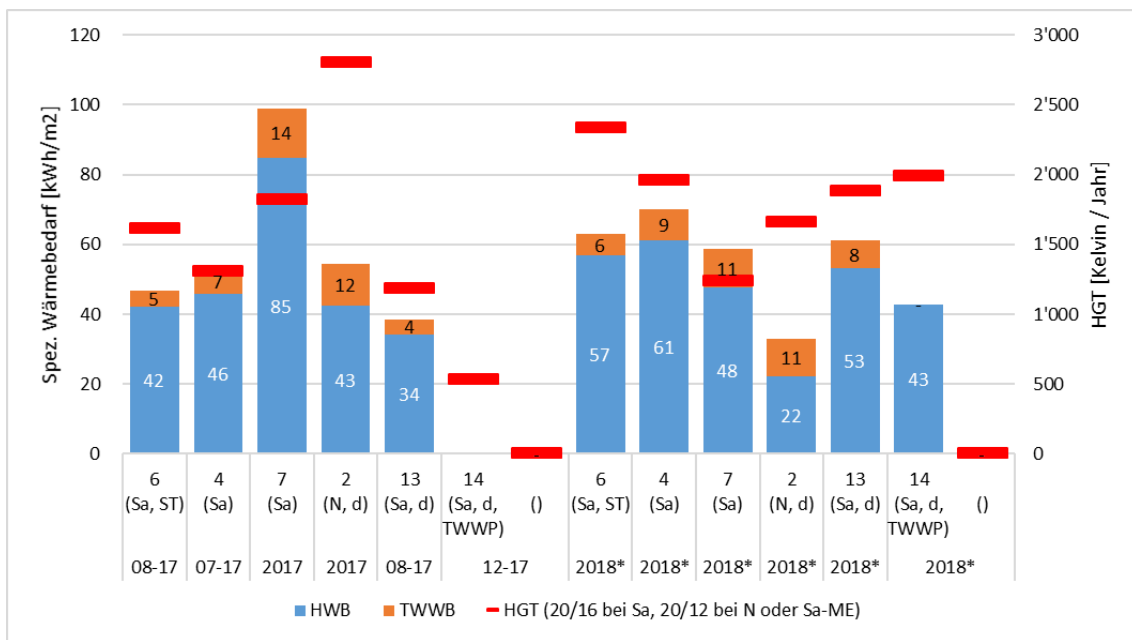


Abbildung 46: Darstellung des Heizwärmebedarfes (QH_HWB), des Gesamtwärmebedarfes (GWB) sowie der Heizgradtage aller Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

In Abbildung 46 ist ersichtlich, dass das Objekt 2 im aktuellen Berichtsjahr mit 33 kWh/m²a die Grenzwerte von Minergie (38 kWh/m²a) einhalten kann. Der Grenzwert für Mindergie-P liegt bei 30 kWh/m²a. Alle anderen Objekte sind Sanierungen und benötigen einen wesentlich höheren Wärmebedarf. Der Strombedarf der Gebäude ist in Abbildung 47 ersichtlich. Auffallend ist, der hohe Energiebedarf der Trinkwassererwärmung beim Objekt 14. Dies weil es zum Grossteil über den Elektroheizeinsatz erwärmt wird (siehe Kapitel 3.3). Zwar läuft die Anlage 2 ineffizienter als im Jahr 2017 und dennoch konnte Energie eingespart werden, da der Wärmebedarf drastisch sank.

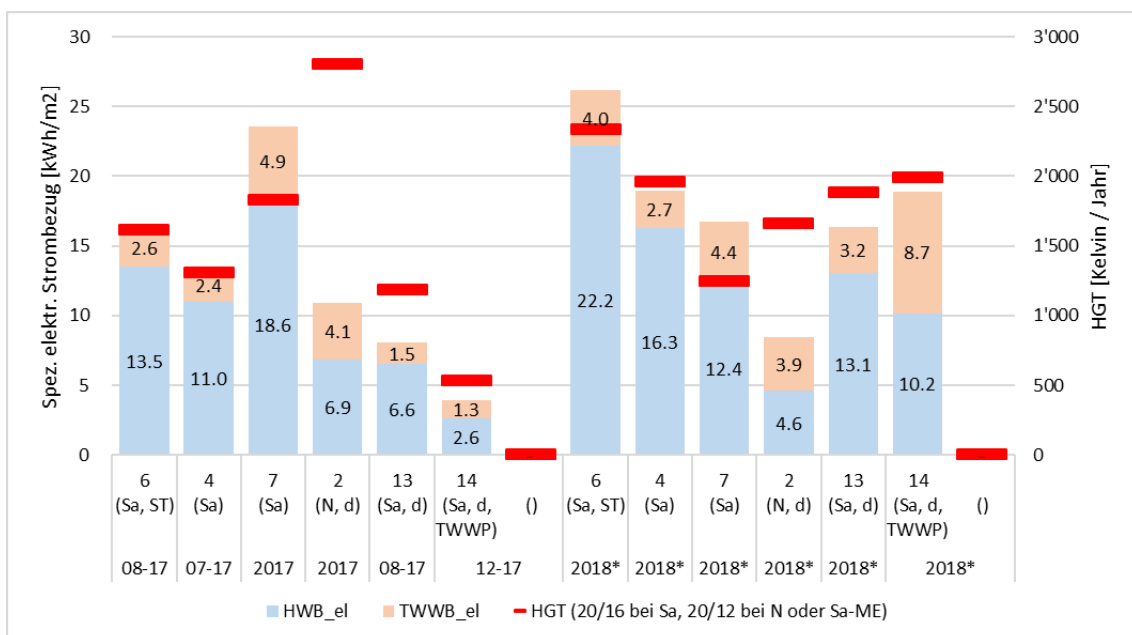


Abbildung 47: Darstellung des elektrischen Strombezugs für Heizen und Trinkwarmwassererzeugung pro m², sowie der Heizgradtage aller Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

6 Ausblick

Für die nächsten beiden Jahre werden für dieses Projekt noch 4 weitere Anlagen aufgenommen, die bereits seit November und Dezember 2017 in Betrieb sind. Somit werden im Jahr 2018 insgesamt 13 Anlagen mit der automatisierten Datenerfassung überwacht werden. Alle diese Wärmepumpen-Anlagen werden weiterhin ausgemessen, um im nächsten Schritt etwaige Optimierungsarbeiten durchführen zu können.

Um das Potential der Messdaten besser ausnutzen zu können, sollen 2018 vertiefte Analysen für spezielle Fragestellungen durchgeführt werden. Diese sollen unter anderem auch als Semesterarbeiten im Bachelor- und/oder Masterstudiengang der NTB ausgeschrieben werden, um eine möglichst breite Perspektive zu präsentieren. Mögliche Fragestellungen hierfür sind:

- Analyse des Abtauens der Luft/Wasser-Wärmepumpen
- Analyse des Taktverhaltens
- Detailanalyse jener Anlagen, die bereits mehr als ein Jahr Laufzeit haben
- Einfluss der Nebenaggregate
- Erarbeitung von Optimierungsmassnahmen für einzelne Objekte
- etc.

Die Ergebnisse dieser Analysen sollen einerseits branchenintern, aber auch für das breite Publikum aufbereitet werden. Hierfür sind Präsentationen geplant, aber auch Publikationen in «Planer&Installateur», «Friscaldo», etc.

7 Schlussfolgerung

Das Projekt «WP_Felmessungen» entwickelt sich in die richtige Richtung. Die Aufbauphase im Hinblick auf Messkonzept, Datenerfassungssystem, Anlagen-Akquise, Datenbank und Grobauswertungen ist abgeschlossen. Die Auswertungen aller 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. Mit den Optimierungsarbeiten wird Anfang 2019 begonnen.

Die hohe Datenqualität verspricht auch die Möglichkeit von spannenden Auswertungen mit unterschiedlichsten Fragestellungen, wie im Kapitel «Ausblick» aufgezeigt.

Erste Erkenntnisse bei diesem Projekt sind, dass nicht nur die Senken- bzw. Quellentemperatur einen grösseren Einfluss auf die Effizienz hat, sondern auch der energetische Anteil der Hilfsaggregate. Beim Wärmenutzungsgrad WNG wird dies sehr schön ersichtlich. Ausserdem ist ersichtlich, dass die Regelung einzelner Wärmepumpenanlagen noch Potential haben in Bezug auf:

- Leistungsmodulierung
- Aufladung des Trinkwasserspeichers
- Abtauung

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

8 Literatur

- [1] Definition von Nutzungsgraden von Wärmepumpen-Anlagen des BFE
- [2] Eschmann M: Qualitätsüberwachung von Kleinwärmepumpen und statistische Auswertungen der Prüfergebnisse 2012, Jahresbericht. Bundesamt für Energie BFE
- [3] EN 16147:2017: Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Prüfungen und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwarmwasser

9 Anhang

9.1 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 48 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/m³]
- V' Volumenstrom [m³/s]



Abbildung 48: 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.

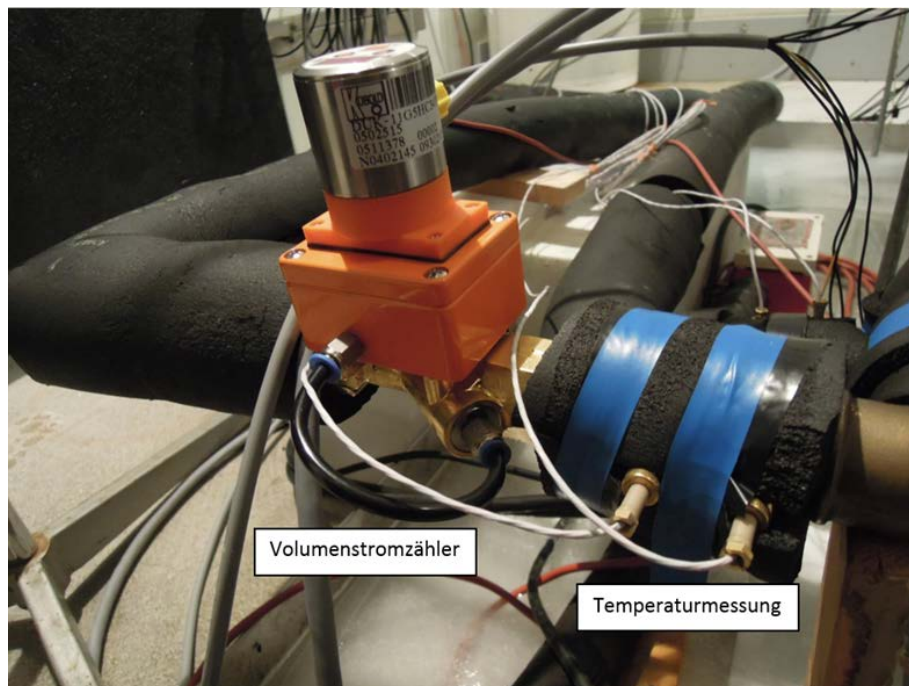


Abbildung 49: Volumenstromzähler und Temperaturmessung (Laboraufbau)

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 50).

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 50: Ausschnitt aus der Objekt-Datenbank „wpfldme_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 6 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 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+	$JAZ+ = (38_WtS + 40_WtA) / (26_WeiTot - 34_WeUS)$

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 $JAZ_BFE = (38_WtS + 40_WtA) / (26_WeiTot - 34_WeUS)$