

Schlussbericht, 12. Dezember 2019

Schlussbericht «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

Stefan Bertsch, 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

Projekt: SI/401617-01 und SI/402027-01

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	16
2.1 Vergleich der Energiekennziffern (JAZ, WNG, SNG)	16
2.2 Einfluss des Temperaturniveaus.....	17
2.3 Vergleich der Effizienzkennzahlen bei der Trinkwassererwärmung	20
2.4 Heizwärme-, Gesamtwärmebedarf und Heizgradtage.....	22
3 Optimierung	25
3.1 Übersicht der Objekte und Optimierungsmassnahmen	25
3.2 Einfluss von Massnahmen	26
4 Erkenntnisse	27
5 Ausblick und Schlussfolgerung	28
6 Anhang	29
6.1 Methodik und Messequipment	29

Zusammenfassung

Insgesamt sind im Zeitraum 2016 bis Ende 2019 15 Wärmepumpen-Anlagen im Rahmen einer Feldmessung vermessen, auf ihr Betriebsverhalten untersucht und teilweise optimiert worden. Es handelt sich um 8 Luft/Wasser- und 7 Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen für Neubauten und Sanierungen in Kleingebäuden. Davon sind 9 Wärmepumpen drehzahlreguliert.

Durch eine Verlängerung und Erweiterung des Projektes werden noch zusätzliche Wärmepumpen-Anlagen in die Feldmessung aufgenommen und ausgemessen. Zum Stand vom 01.12.2019 befinden sich insgesamt 20 Anlagen im Projekt.

Bei allen Anlagen werden verschiedene Kenndaten wie JAZ+ (Jahresarbeitszahl) und WNG (Wärmenutzungsgrad für Heizen, Aufladung und Gesamt), Leistungs-, 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 2019 bei den Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen um die 3, wobei eine Anlage eine 4.3 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 bis maximal 5.0.

Aus den Messdaten sind bekannte Erkenntnisse ersichtlich wie z.B., dass die Senktemperatur (für Heizen und Aufladung) einen grossen Einfluss auf die Gesamteffizienz hat.

Im Kapitel Optimierung wird die vielfältige und hochauflösende Datenaufzeichnung für Detailbetrachtungen der Anlagen und das Aufsuchen sowie Einschätzen von möglichen Optimierungspotentialen verwendet. Ein Hinterfragen der Heizungseinstellung und einfach durchzuführende Programmänderungen ohne Komforteinschränkungen im Bereich Heizkurve und Heizgrenze sind bei vielen Objekten 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 Tageszeit zu weiteren Einsparungen führen. Ein effizientes Legionellenprogramm mit ca. 50 % Energieeinsparung durch Unterstützung der Wärmepumpe zeigen nur wenige Wärmepumpen. Generelle Auffälligkeiten durch Fehler in der Planung, beispielsweise unpassende Leistungsdimensionierung oder Bauausführung können nicht bestätigt werden.

Der Heizwärmebedarf (HBW) variiert bei den untersuchten Anlagen in dem dreijährigen Zeitraum von 32 kWh/m²a bis 119 kWh/m²a. Der Trinkwasserwärmebedarf (TWWB) liegt über alle Anlagen zwischen 8 kWh/m²a und 26 kWh/m²a. Der Energiebezug (Stromverbrauch) der untersuchten Anlagen reicht von 9 kWh/m²a bis 51 kWh/m²a.

Bei jeder Wärmepumpenanlage ist ein Schaltschrank verbaut, in welchem eine SPS und Stromwandler für die Messung 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. Die Datenerfassung für den 10 Sekundenmittelwert erfolgt im 100 ms Intervall, somit sind auch kurze Trinkwarmwasserzapfungen und Betriebsumschaltungen auswertbar.

Résumé

Entre 2016 et fin 2019, 15 installations de pompes à chaleur ont été mesurées in situ. Leur mode opératoire a été analysé et partiellement optimisé. Sur les 15 installations, il y a 8 installations avec des pompes à chaleur air/eau, et 7 installations avec des pompes à chaleur sol/eau. Ces installations se trouvent toutes dans des petits bâtiments, soit nouveaux, soit rénovés. Sur les 15 installations, 9 installations ont des pompes à chaleur à vitesse variable.

Suite à une prolongation et à une extension du projet, des installations supplémentaires ont été ajoutées. Ainsi, au 01.12.2019, un total de 20 installations font partie du projet.

Les installations sont analysées en fonction de différents paramètres tels que : le COPa (coefficient de performance annuel), le taux d'utilisation de la chaleur (pour le chauffage, pour la préparation de l'ECS, ainsi que le taux d'utilisation global), la puissance, l'énergie, et la température, sur une base journalière, mensuelle et annuelle.

Il est ainsi possible d'analyser, pour les différentes installations, comment elles se comportent pour le chauffage et la préparation de l'ECS, et d'en tirer des conclusions fondées.

Les valeurs de taux d'utilisation de la chaleur se situent, en 2019, autour de 3 pour les pompes à chaleur air/eau. A noter qu'une seule installation a atteint un taux de 4,3. Pour les installations sol/eau c'est l'inverse, en ce sens qu'une seule installation a été mesurée à 3, alors que toutes les autres se situent au-delà de 4, et même jusqu'à 5 pour le maximum.

Les valeurs de mesure permettent de vérifier des éléments bien connus, comme par exemple le fait que la température de la source chaude (condenseur), pour le chauffage ou la préparation de l'ECS, a une grande influence sur l'efficacité globale.

Dans le chapitre lié à l'optimisation, les diverses données, qui présentent l'avantage d'être très détaillées, sont utilisées afin d'analyser de façon précise les installations. Ces données permettent de définir et de quantifier le potentiel d'optimisation de ces installations. Pour de nombreuses installations, un simple ajustement des paramètres de réglage du chauffage, ainsi que quelques petites modifications du programme au niveau de la courbe de chauffe et de la température limite de chauffe (sans pour autant affecter le confort), se sont déjà avérés bien utiles. Il existe aussi un potentiel d'économie considérable au niveau des réglages de la pompe du circuit de chauffage, plus particulièrement pour les installations sans accumulateur d'eau chaude, ou pour les installations avec puissance réglable du compresseur. Pour ces installations, il arrive que certaines pompes fonctionnent sans être régulées, ou à une puissance inutilement élevée, alors que le compresseur est en mode « stand-by ». Pour les pompes à chaleur air/eau, la mise en place d'un programme qui favorise la production d'eau chaude durant les périodes les plus chaudes de la journée, permettrait de réaliser des économies supplémentaires. Il n'y a que peu d'installations qui intègrent à la pompe à chaleur un programme anti-légionelle, qui viendrait en soutien de la pompe à chaleur, et qui permettrait d'économiser 50% d'énergie. On n'a en revanche pas trouvé des éventuels manquements ou des erreurs au niveau du dimensionnement ou de l'installation des pompes à chaleur.

Les besoins de chauffage varient entre les différentes installations, durant les trois ans du projet, de 32 kWh/m²/an à 119 kWh/m²/an. Les besoins en ECS se situent, toutes installations confondues, entre 8 kWh/m²/an et 26 kWh/m²/an. Les besoins en électricité des installations analysées oscillent entre 9 kWh/m²/an et 51 kWh/m²/an.

Chacune des installations est équipée avec une armoire électrique. Cette dernière comprend un API (automate programmable industriel), et un transformateur pour le calcul de la puissance absorbée. De plus, les installations sont équipées de plusieurs débitmètres et thermomètres, qui permettent de mesurer et de calculer les puissances utiles (puissances de sortie). Toutes les valeurs mesurées et calculées sont enregistrées dans une base de données sur un serveur suisse, avec une granularité de 10 secondes. Pour calculer les valeurs moyennes sur 10 secondes, des

valeurs sont mesurées toutes les 100 ms, puis la valeur moyenne a été calculée. Ceci permet de tenir compte également des petits (brefs) prélèvements d'ECS.

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.

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

Die 15 vermessenen Anlagen werden in diesem Bericht dargestellt. Als Änderung zu den vorherigen Jahresberichten der Feldmessung werden die Messergebnisse nicht mehr per Kalenderjahr, sondern per Heizperiode von September bis Ende August betrachtet. Somit können je nach Anlage maximal 3 Heizperioden (2016/17, 2017/18 und 2018/19) gemessen und ausgewertet werden. Liegt keine vollständige Periode vor, so wird dies in den Daten mittels Sternchen * gekennzeichnet.

Bis Ende Heizsaison 2018/19, also per 31.08.2019 können 8 Luft/Wasser- und 7 Sole/Wasser-Wärmepumpen ausgewertet werden. Vier Wärmepumpen werden dabei in Neubauten betrieben, 11 sind bei Sanierungsobjekten eingebaut. Neun Wärmepumpen verwenden drehzahlgeregelte Kompressoren. Die Objekte 8 und 14 haben zusätzlich eine eigene Trinkwarmwasser-Wärmepumpe, das Objekt 6 verfügt über eine zusätzliche solarthermische Anlage. Bei fünf Wärmepumpen ist der Kühlbetrieb aktiviert: Objekte 2, 6 (hier aber unter 10 Stunden/Jahr), 10, 13 und 15.

Tabelle 1 zeigt eine Kurzübersicht über die untersuchten Anlagen.

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) • Seit Servicewartung 24.09.2019 wöchentliches Legionellenprogramm aktiv • Heizstäbe: WP und TWW-Speicher • SCOP₃₅ = 3.85 • SCOP₅₅ = 2.95
2	01.01.2017		X	X		X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Objekt wurde im Dez. 2016 bezogen. • Heizt 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
4	01.07.2017		X		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

Objektnummer	Beginn der Messung	Luft / Wasser WP	Sole / Wasser WP	Neubau	Sanierung	Drehzahl-Regelung	Kühlung aktiviert	Anmerkungen:
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
7	12.01.2017		X		X			<ul style="list-style-type: none"> Heizt 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

Objektnummer	Beginn der Messung	Luft / Wasser WP	Sole / Wasser WP	Neubau	Sanierung	Drehzahl-Regelung	Kühlung aktiviert	Anmerkungen:
8	12.01.2017	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 Trinkwarmwasser-Wärmepumpe • SCOP₃₅ = 4.20 • SCOP₅₅ = n.a.
10	10.11.2018		X		X		X	<ul style="list-style-type: none"> • Gebäude noch im Umbau, nicht bewohnt, aber beheizt • Erdsonde mit 280 m zunächst mit Wasser geplant, WP-Hersteller schreibt jedoch Glykollmischung vor. • SCOP₃₅ = n.a. • 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
12	25.01.2019	X			X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Zunächst fehlender Temperatursensor im Trinkwarmwasserspeicher führt zur aus-

Objektnummer	Beginn der Messung	Luft / Wasser WP	Sole / Wasser WP	Neubau	Sanierung	Drehzahl-Regelung	Kühlung aktiviert	Anmerkungen:
								<p>schliesslichen Aufladungen mittels Elektroheizstab</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1/3 der Aufladeenergie für Legionellenprogramm mittels Elektroheizstab • SCOP₃₅ = n.a. • SCOP₅₅ = n.a.
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	X	<ul style="list-style-type: none"> • Doppelhaushälfte mit Minergie-Standard, Baujahr 2005 • Wärmepumpe steht in einem Gerätehaus (Aussenklima) • 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 werden folgende Kennzahlen pro Wärmepumpenanlage dargestellt. Die Systemgrenzen sind in der Abbildung 2 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) wird 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} bzw. HGT_{20_16}	Heizgradtage [°C]

Mit:

Q_{Heizen}	Thermische Energie im Heizbetrieb [kWh]
$Q_{\text{Aufladung}}$	Thermische Energie im Aufladebetrieb [kWh]
Q_{TWW}	Thermische Energie des gezapften Trinkwarmwassers
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} für Neubauobjekte 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. Für sanierte Objekte wird die Heizgrenze gewöhnlich bei 16 °C gesetzt, sodass hier die Kennzahl der Heizgradtage HGT_{20_16} angewendet wird.

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

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

Mit:

Q_{TWW}	Thermische Energie der Trinkwarmwassernutzung [kWh]
$E_{\text{Aufladung}}$	Elektrische Energie des gesamten Wärmepumpensystems während der Aufladung [kWh]

TWWB

Trinkwasserwärmebedarf [kWh/m²]

Die Unterscheidung der Systemgrenzen insbesondere mit und ohne den Energiebedarf für die Steuerung sind in Abbildung 1 exemplarisch für eine Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Direktkreisheizung und Trinkwarmwasserspeicher dargestellt.

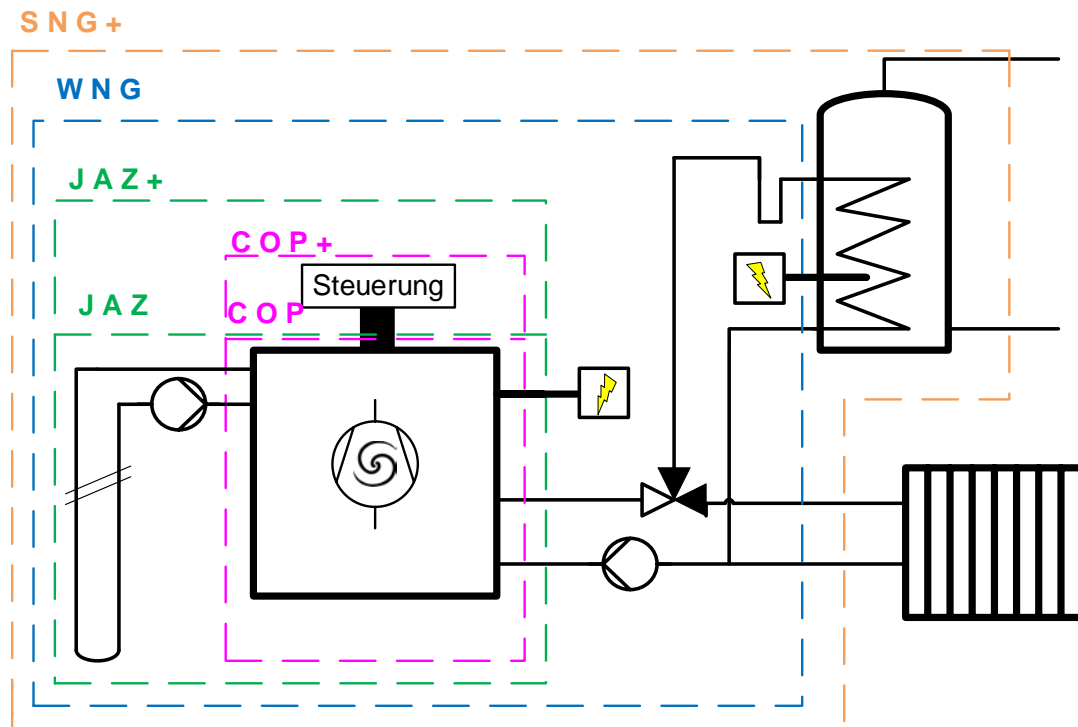


Abbildung 1: vereinfacht dargestellte Systemgrenzen einer Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Direktkreisheizung und Trinkwassererwärmung mittels Speicher.

Die detaillierten Systemgrenzen gemäss Abstimmung mit dem BFE können in Abbildung 2 entnommen werden.

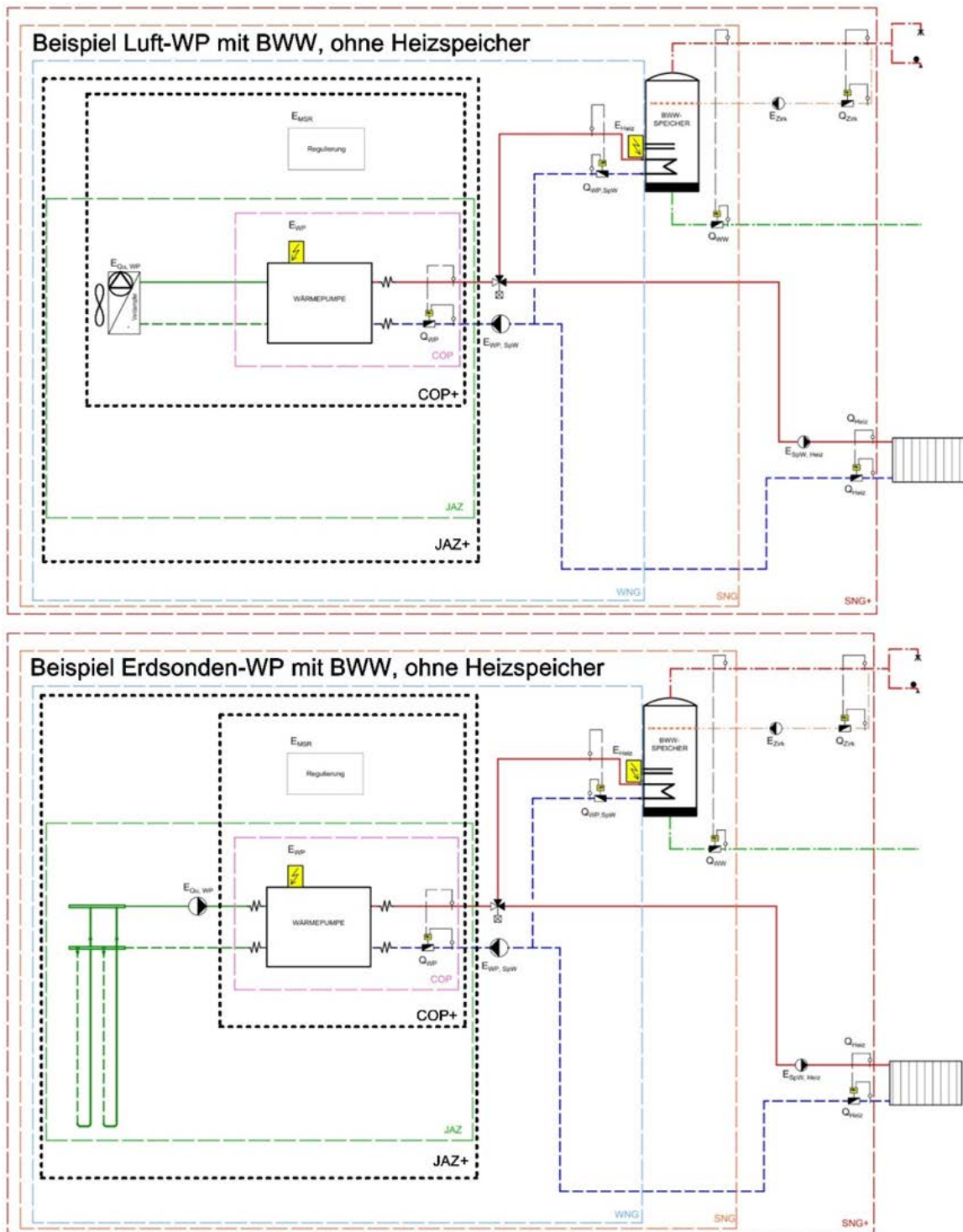


Abbildung 2: Systemgrenzen gemäss BFE für Luft- und Erdsonden-WP mit BWW, ohne Heizspeicher. Zu beachten sind insbesondere die Systemgrenzen zur Berechnung des COP+ und JAZ+. Bei der JAZ+ wird die Steuerung und der Bedarf der Quellen-Umwälzpumpe miteinbezogen.

2 Ergebnisse und Auswertungen der Wärmepumpenanlagen

In diesem Kapitel werden die Wärmepumpen-Anlagen im Verlauf der maximal drei aufgezeichneten Heizsaisons miteinander verglichen. Nebst der allgemeinen Energieeffizienz wird auch auf den Effizienzeinfluss der Quellen- bzw. Senktemperatur eingegangen. Die Auswertedaten beziehen sich auf die Heizsaisons vom Anfang September bis Ende August. Liegt für ein Objekt keine vollständige Periode aufgrund späterer Inbetriebnahme vor, so ist dies in den Grafiken mit einem Sternchen in der Jahreszahl vermerkt, z.B. Objekt 1 2016*. Diese Werte sind dann nur begrenzt aussagekräftig und dürfen nicht ohne Weiteres mit den Folgeperioden verglichen werden. Insgesamt sind maximal drei Heizsaisons für ein Objekt von September 2016 bis Ende August 2019 gemessen worden

2.1 Vergleich der Energiekennziffern (JAZ, WNG, SNG)

In Abbildung 3 und Abbildung 4 werden die Jahresarbeitszahlen JAZ+ und Wärmenutzungsgrade WNG kombiniert für Heizen und Aufladung der gemessenen Objekte 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+ wieder. Die JAZ+ verdeutlicht hingegen die Effizienz der Wärmepumpe als einzelne Komponente. 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. Der Einfluss der unterschiedlichen Quellen- und Senktemperaturen in den jeweiligen Heizperioden wird im folgenden Kapitel betrachtet. Bei den Objekten 8 und 14 wird das Trinkwarmwasser mittels eines zusätzlichen Wärmepumpenboilers bereitgestellt. Dadurch können bei diesen beiden Systemen nicht alle Kennziffern gebildet werden, die JAZ+ für diese Objekte bezieht sich deshalb nur auf den Heizbetrieb.

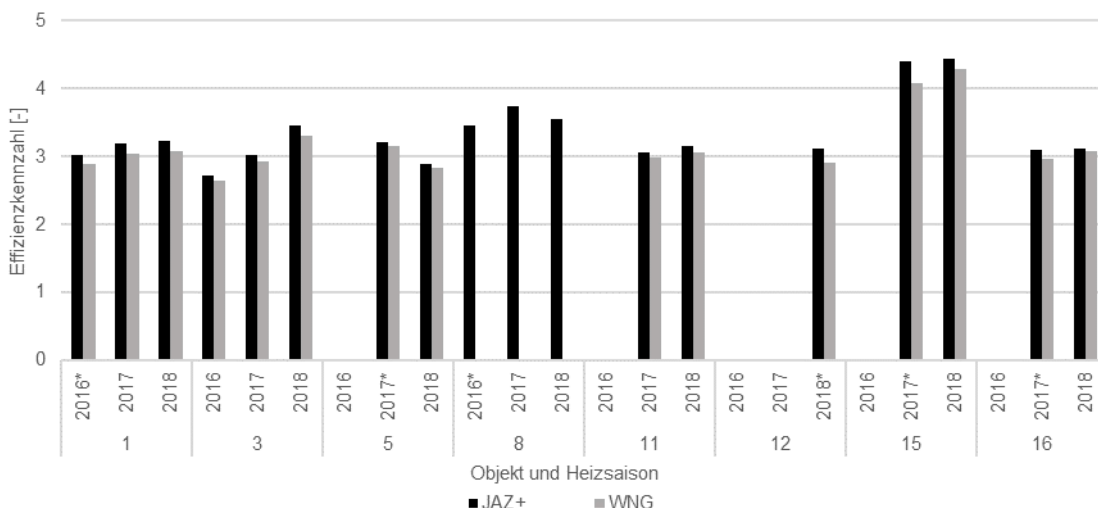


Abbildung 3: Jahresarbeitszahl (JAZ+) und Wärmenutzungsgrad (WNG) der Luft/Wasser-Wärmepumpensystemen

Wie bereits im Jahresbericht 2018 erwähnt, ist der deutliche Effizienzvorsprung der Wärmepumpenanlage 15 mit einer JAZ+ von 4.4 und einem WNG von 4.3 erkennbar. Objekt 3 konnte über alle Heizperioden stets eine messbare Effizienzsteigerung aufweisen. Unberücksichtigt der verwen-

deten Wärmepumpentechnik und der benötigten Vorlauftemperaturen können die Luft/Wasser-Wärmepumpen meistens eine Effizienz grösser 3 erreichen.

Mit der nächsten Abbildung 4 werden dieselben Effizienzkennzahlen für die Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen gezeigt. Hierbei sind insbesondere die Objekte 4 und 7 mit einer über die Heizperioden verbesserten Effizienz erwähnenswert. Die deutlich geringeren Werte bei Objekt 6 finden im Folgekapitel unter Berücksichtigung der Temperaturen eine Erklärung.

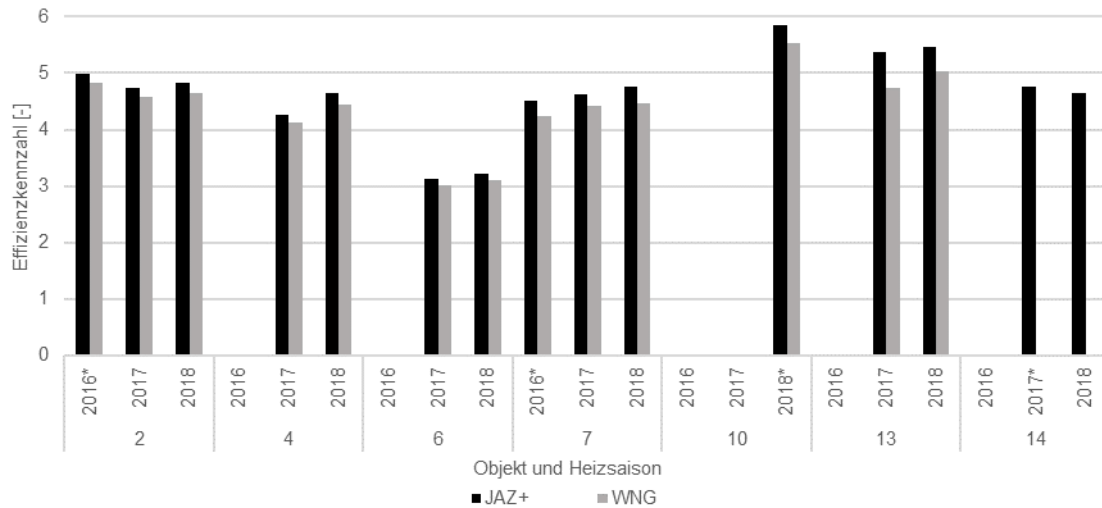


Abbildung 4: Jahresarbeitszahl (JAZ+) und Wärmenutzungsgrad (WNG) der Sole/Wasser-Wärmepumpensystemen

Mit der Auswertung der Sole/Wasser-Wärmepumpen wird die grosse Varianz der Effizienz von 3 bis fast 6 sichtbar, je nach Technologie der Wärmepumpe und das benötigte Temperaturniveau des Objektes.

2.2 Einfluss des 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») erfolgt die entsprechende Zuordnung.

In den Abbildungen werden dabei folgende Abkürzungen verwendet:

- T_{Qein_Heizen} : Mittelwert der Quellen-Eingangs-Temperatur, während des «Heizbetriebes» der Wärmepumpe.
- T_{Qein_AL} : Mittelwert der Quellen-Eingangs-Temperatur, während des «Aufladebetriebes» der Wärmepumpe.
- T_{VL_Heizen} : Mittelwert der Senken-Vorlauftemperatur, während des «Heizbetriebes» der Wärmepumpe.
- T_{VL_AL} : Mittelwert der Senken-Vorlauftemperatur, während des «Aufladebetriebes» der Wärmepumpe.

In Abbildung 5 sind die Temperaturniveaus der Luft/Wasser-Wärmepumpen und in Abbildung 6 die der Sole/ Wasser-Wärmepumpen dargestellt.

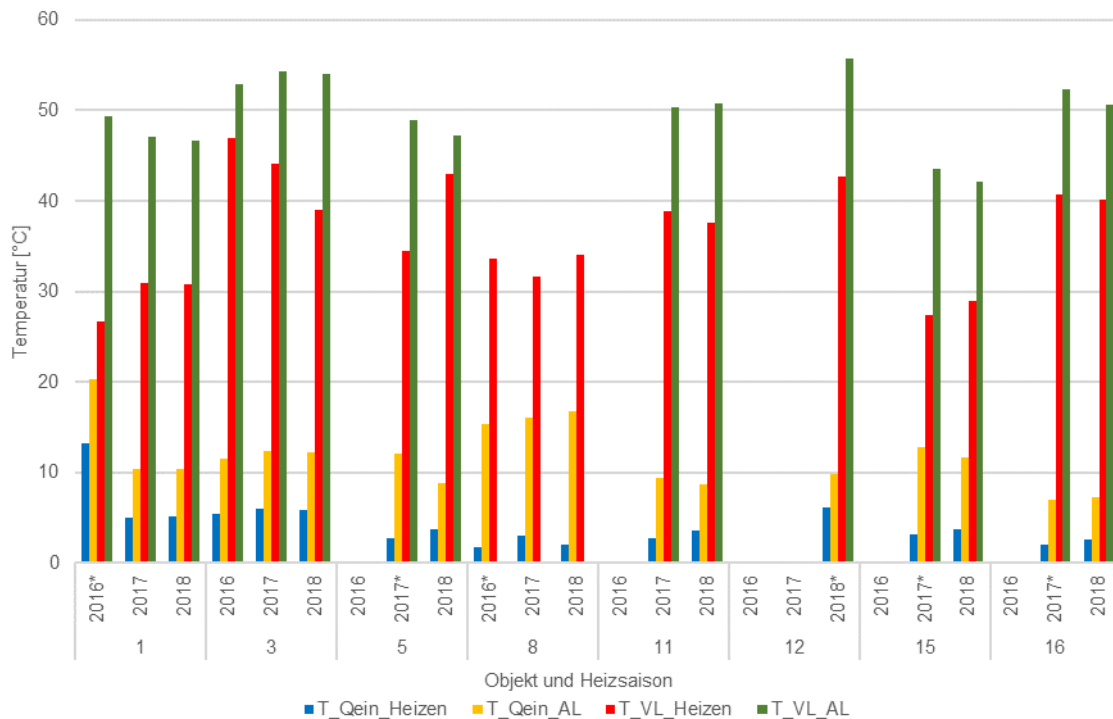


Abbildung 5: Darstellung der unterschiedlichen Temperaturniveaus des Quellen-Einganges (Luftansaugung) und des Senken-Vorlaufs während der unterschiedlichen Betriebsziele «Heizen» und «Aufladung» für Luft/Wasser Wärmepumpen. Das Objekt 8 verfügt über eine zusätzliche Trinkwarmwasser-Wärmepumpe.

Die bemerkenswerte Effizienzsteigerung von Objekt 3 ist eindeutig mit einer kontinuierlichen Absenkung der Vorlauftemperatur erklärbar. Gründe für die Möglichkeit dieser Reduzierung sollen im nächsten Jahresbericht der Feldmessungen geprüft werden. Die hohen Quellentemperaturen für Objekt 8 bei der Trinkwasseraufladung sind durch die Trinkwarmwasser-Wärmepumpe in Keller-aufstellung erklärbar. Auffallend sind die tiefsten Vorlauftemperaturen im Heizbetrieb als auch in der Aufladung für Objekt 15. Diese begründen somit die besten Effizienzzahlen. Bei diesem Objekt wird das Trinkwasser mittels Frischwasserstation erwärmt.

Bei Objekt 6 muss die Sole/Wasser-Wärmepumpe den grössten Temperaturhub überwinden. Hier liegen niedrige Quellentemperaturen der Erdsonde mit sehr hohen Vorlauftemperaturen in der Senke vor. Bei den Objekten 4 und 7 wird in der letzten Heizperiode mit einer etwas niedrigeren Vorlauftemperatur gefahren. Somit tragen auch kleine Temperaturabsenkungen für eine messbare Effizienzverbesserung bei.

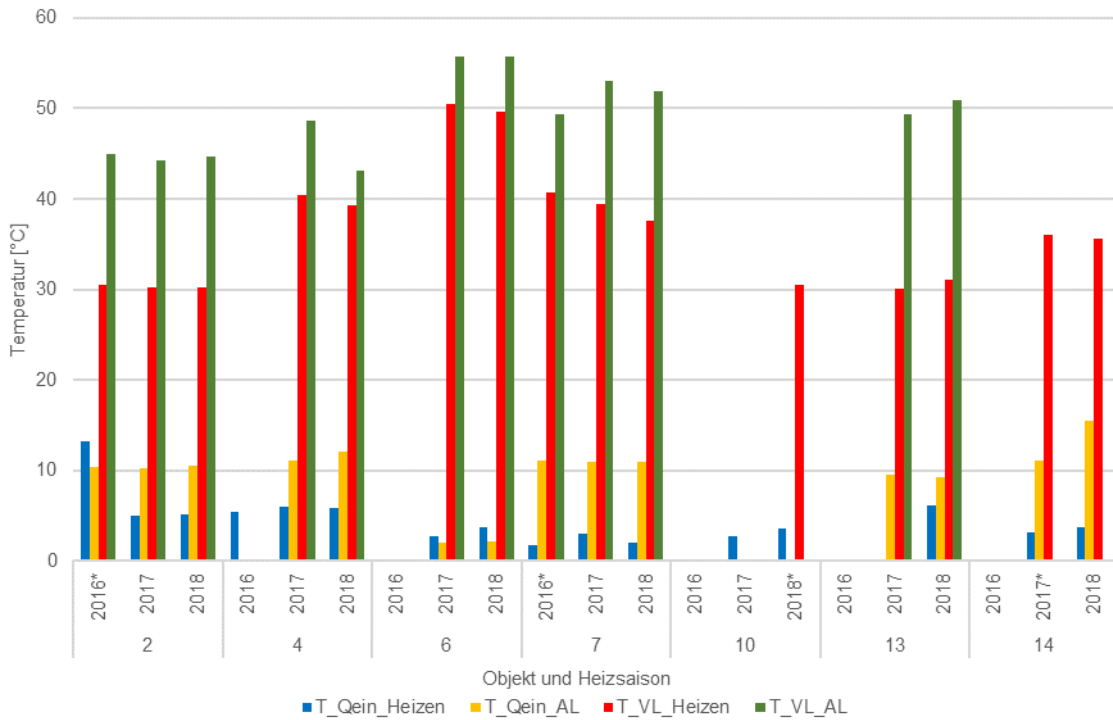


Abbildung 6: Darstellung der unterschiedlichen Temperaturniveaus des Quellen-Einganges (Erdsondenvorlauf) und des Senken-Vorlaufs während der unterschiedlichen Betriebsziele «Heizen» und «Aufladung» für Sole/Wasser Wärmepumpen. Das Objekt 14 verfügt über eine zusätzliche Trinkwarmwasser-Wärmepumpe.

Mit Abbildung 7 und Abbildung 8 soll nochmals der Einfluss des Temperaturniveaus der Quelle und Senke auf den Wärmenutzungsgrad ausschliesslich im Heizbetrieb veranschaulicht werden.

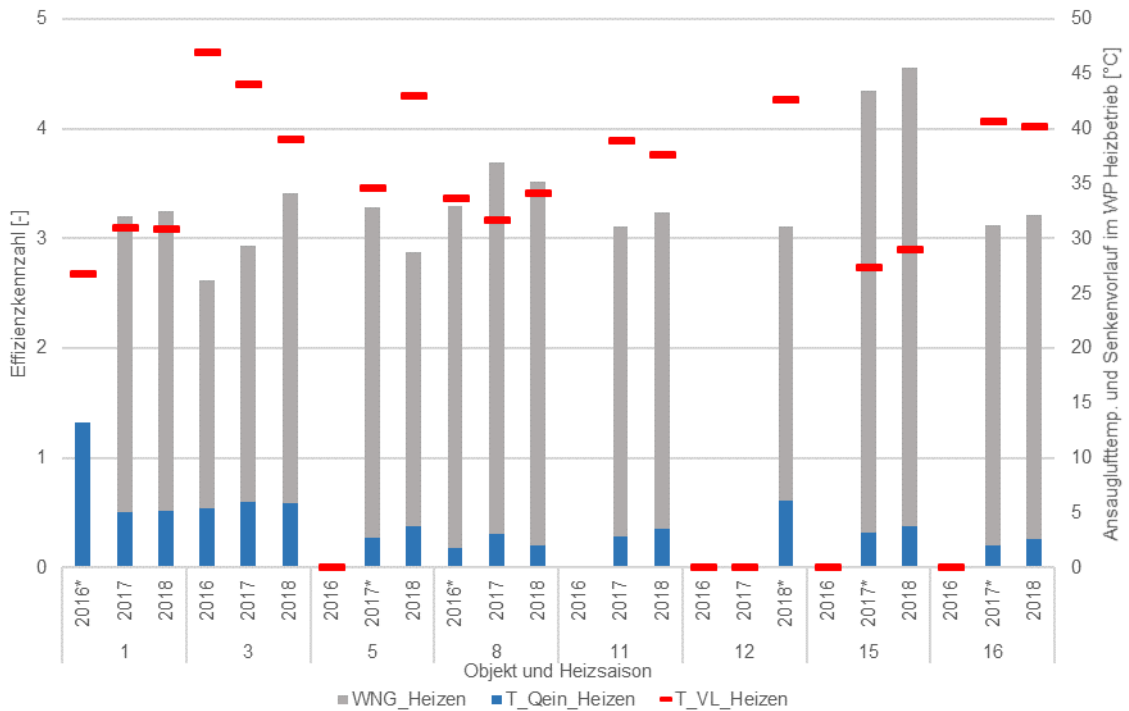


Abbildung 7: Wärmenutzungsgrad der Luft/Wasser Wärmepumpen und die Temperaturen der Ansaugluft sowie des Senkenvorlaufs während des Heizbetriebs

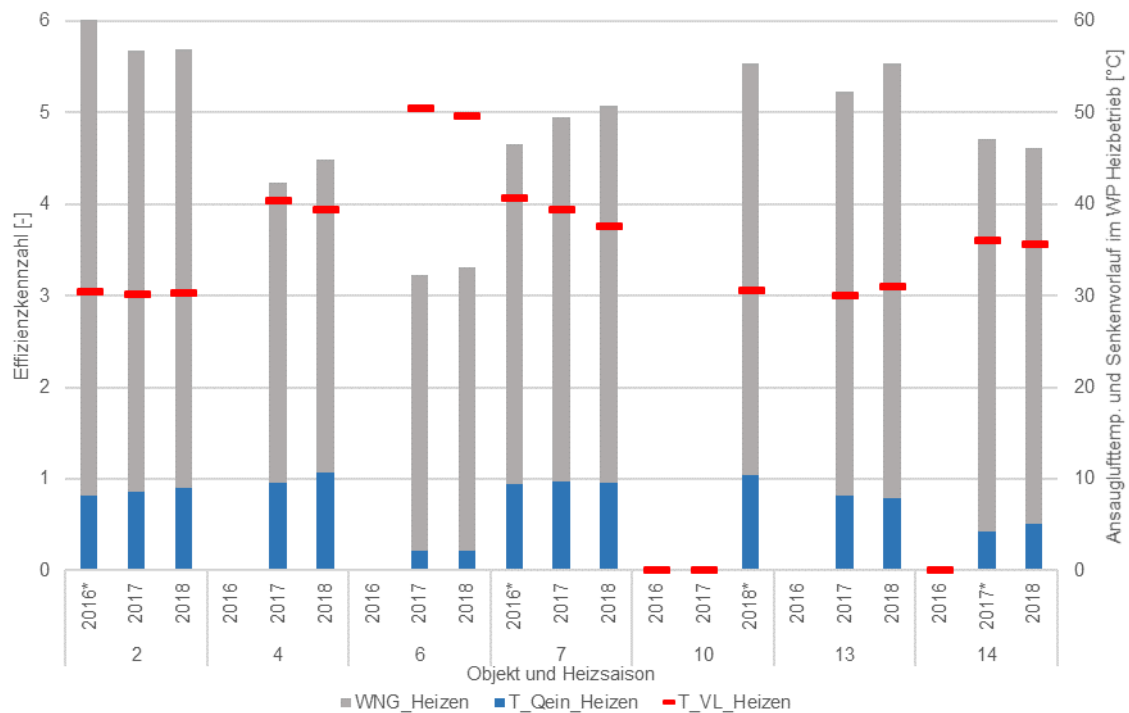


Abbildung 8: Wärmenutzungsgrad der Sole/Wasser Wärmepumpen und die Temperaturen der Erdsonde sowie des Senkenvorlaufs während des Heizbetriebs

2.3 Vergleich der Effizienzkennzahlen bei der Trinkwassererwärmung

In der Abbildung 9 werden die drei Effizienzkennwerte (JAZ_{+AL} , WNG_{AL} und SNG_{TWW}) der gemessenen Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen dargestellt.

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. Im $SNG_{Aufladung}$ sind somit die Wärmeverluste im Trinkwarmwasserspeicher, der Zirkulationsleitung und der heizungsseitigen Hydraulik erkennbar.

Die Jahresarbeitszahlen für die Trinkwassererwärmung liegen bei den untersuchten Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen zwischen 2.5 und 3.4 bei einer vollständig gemessenen Heizperiode. Bei genauer Betrachtung der unterschiedlichen Systemgrenzen fällt auf, dass die Wärmenutzungsgrade WNG im Schnitt 4.6 % niedriger liegen als die Jahresarbeitszahlen JAZ_{+} . Die Maximale Abweichung erreicht Objekt 11 mit 12 %. 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 2.2 bis 3.3.

Die Effizienz des Nutzerverhaltens SNG_{TWW} variiert bei den Anlagen zwischen 1.4 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 1.4 ermittelt.

Leider kann der Wärmenutzungsgrad sowie im nächsten Kapitel der Trinkwarmwasserwärmebedarf bei der Trinkwarmwasserwärmepumpe in Objekt 8 und 14 nicht ohne grösseren Umbau und Eingriff in den Kältekreis des Messobjekts ermittelt werden, weshalb er nicht gemessen wurde.

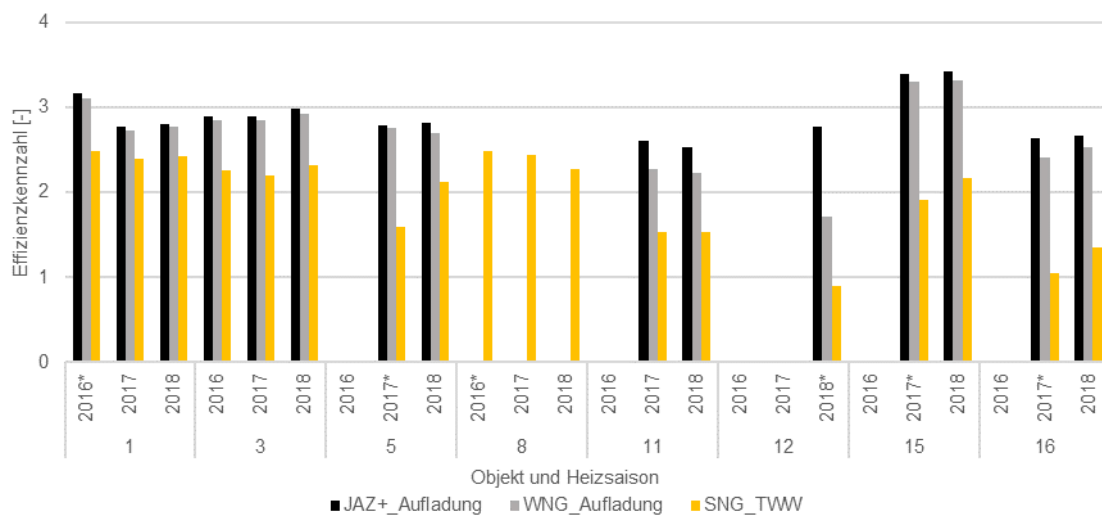


Abbildung 9: Jahresarbeitszahl JAZ+_Aufladung, Wärmenutzungsgrad WNG_Aufladung und Systemnutzungsgrad SNG der Trinkwassererwärmung der Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen.

Wie es um die Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen steht, soll Abbildung 10 zeigen. Hier liegen die Jahresarbeitszahl JAZ+_Aufladung zwischen 2.2 und 4.4. Die Wärmenutzungsgrade WNG sind im Schnitt entweder 5 % ohne Heizstabeinsatz oder 18 % mit elektrischer Nachheizung tiefer als die JAZ+ und variieren zwischen 1.8 und 4.0. Auffallend ist, dass der Unterschied dieser beiden Kenngrössen bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen fast doppelt so hoch ausfällt wie bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen. Die Effizienz des Nutzerverhaltens SNG_{TWW} variiert bei den Anlagen zwischen 0.3 und 1.8. Auffallend ist, dass das Objekt 4 zwar die effizienteste Aufladung (WNG_{AL} bis zu 4.1) aufweist, jedoch beim Nutzerverhalten am ineffizientesten (SNG_{TWW} von 0.3) ist. Dieser tiefe SNG_{TWW} beruht auf einem sehr sparsamen Warmwasserbedarf von 28 l/d im Jahr 2018 und nur noch 13 l/d in 2019.

Klarzustellen bleibt jedoch, dass ein sparsamer Warmwasserverbrauch trotz geringerer Effizienz die grösste Energieeinsparung bewirkt.

Beim Objekt 5 ist noch zu erwähnen, dass das Gebäude erst im März 2018 bezogen wurde.

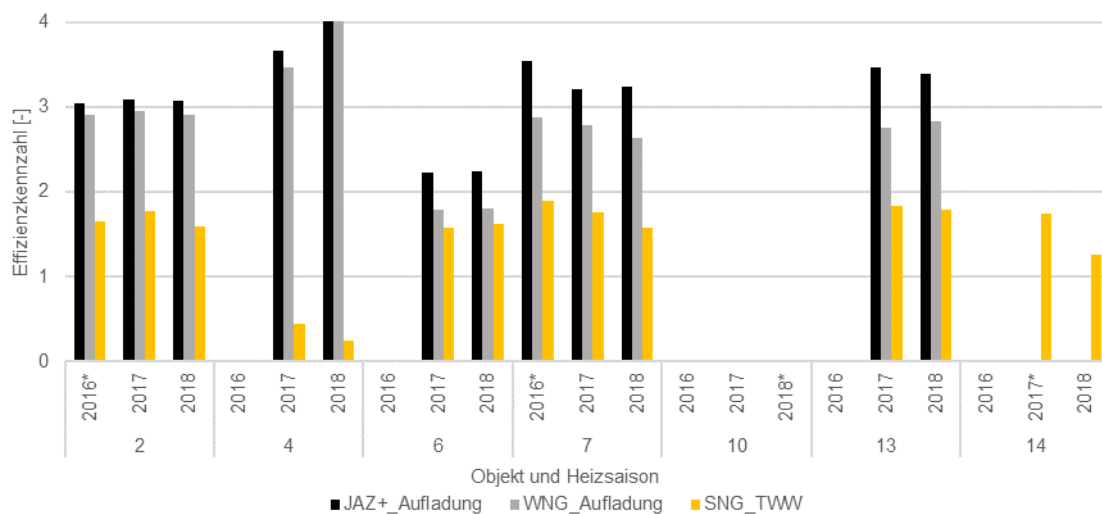


Abbildung 10: Jahresarbeitszahl JAZ+_Aufladung, Wärmenutzungsgrad WNG_Aufladung und Systemnutzungsgrad SNG der Trinkwassererwärmung der Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen.

Entsprechend der bisherigen Analyse haben folgende Faktoren einen grossen Einfluss auf die Höhe des Systemnutzungsgrades SNG_{TWW} :

- Trinkwarmwassernutzung: Deren Einfluss auf die SNG_{TWW} scheint sehr gross zu sein. Auf den ersten Blick fällt auf, dass die Effizienz der Trinkwassererwärmung ($WNG_{Aufladung}$) nur einen untergeordneten Einfluss auf den Systemnutzungsgrad hat.
- 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.

2.4 Heizwärme-, Gesamtwärmebedarf und Heizgradtage

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

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

Heizwärmebedarf [kWh/m²]

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

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 Standortskenngrösse abgebildet.

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 während den drei Heizperioden zwischen 35 und 119 kWh/m² bei einer Betrachtung von ausschliesslich vollständig gemessenen Jahresperioden. Dieser Wert hängt natürlich stark von der Bausubstanz ab. Der Trinkwarmwasserbedarf hängt weniger von der Bausubstanz, sondern mehr vom Nutzerverhalten und der Bewohnung ab. So variiert dieser Wert von 8 bis 26 kWh/m².

Abbildung 11 sagt nichts über die Effizienz der Heizungsanlage aus, sondern beschreibt das Gebäude. Von Interesse könnte natürlich auch sein, wie viel Energie das Gebäude aus der «Steckdose» bezieht, dies ist in Abbildung 12 dargestellt. 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 müssen, damit viel Energie eingespart werden kann.

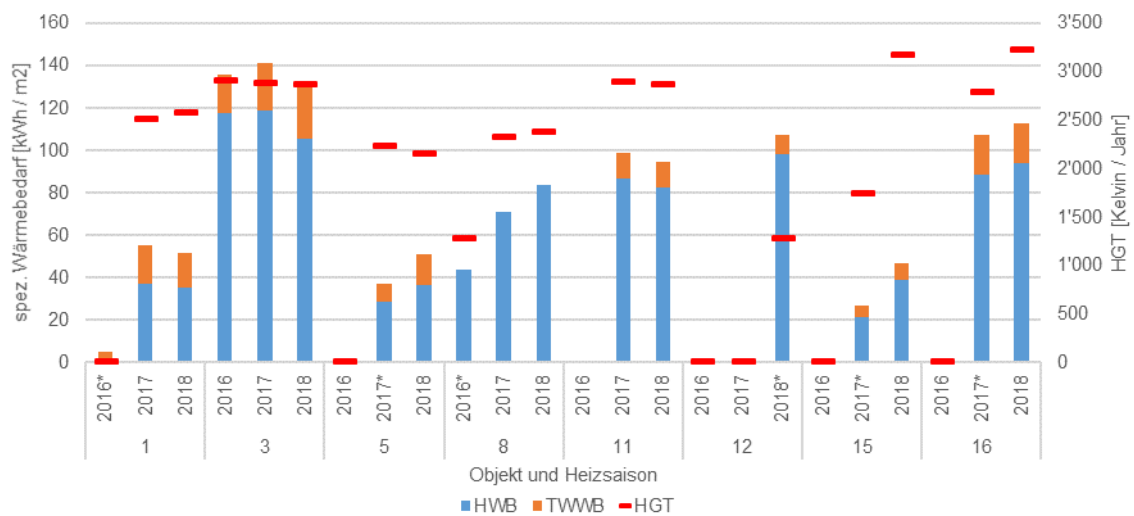


Abbildung 11: Darstellung des Heizwärmebedarfes (HWB), des Trinkwarmwasserbedarfs (TWWB) sowie der Heizgradtage aller Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen

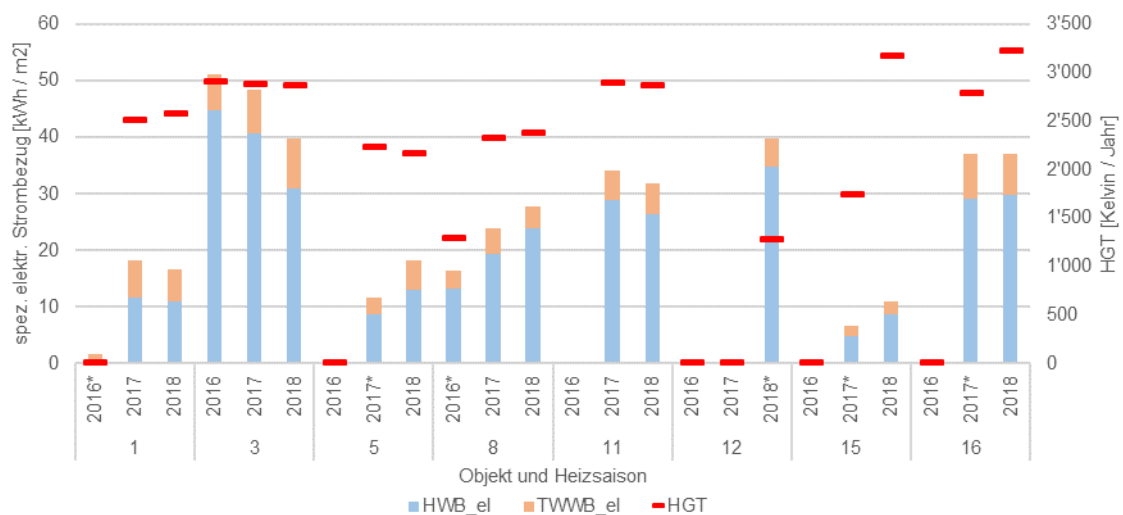


Abbildung 12: Darstellung des elektrischen Strombezugs für Heizen und Trinkwarmwassererzeugung pro m², sowie der Heizgradtage aller Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Ab Abbildung 13 werden die Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen untersucht. Hier liegen die Wärmebedarfswerte zwischen 32 und 103 kWh/m² innerhalb der drei vollständig gemessenen Heizperioden. Der Trinkwarmwasserbedarf aller dieser Anlagentypen liegen im Bereich von 9 und 14 kWh/m². Bei den Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen wird nur ein Neubau ausgemessen, bei allen anderen handelt es sich um ein Sanierungsobjekt. Auch hier zeigt sich, dass der Bedarf an Heizungswärme im Neubau um mindestens Faktor 2 geringer ist als bei den Altbauten.

Objekt 2 hat in der vergangenen Heizsaison mit 33 kWh/m²a die Grenzwerte von Minergie (38 kWh/m²a) einhalten kann. Der Grenzwert für Minderergie-P liegt bei 30 kWh/m²a. Alle anderen Objekte sind Sanierungen und benötigen einen wesentlich höheren Wärmebedarf. Der Strombedarf der Gebäude ist in Abbildung 14 ersichtlich. Auffallend ist der hohe Energiebedarf der Trinkwassererwärmung beim Objekt 14. Durch einen Defekt der Trinkwarmwasserpumpe war der Elektroheizeinsatz als Ersatz im Einsatz. Im Frühjahr 2019 ist ein neues Gerät installiert worden.

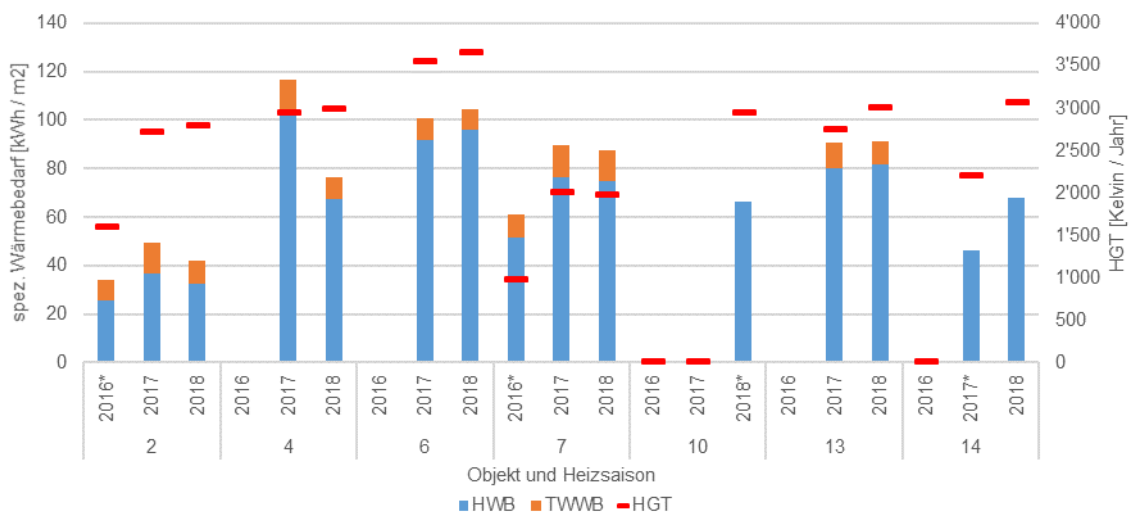


Abbildung 13: Darstellung des Heizwärmebedarfes (HWB), des Gesamtwärmebedarfes (GWB) sowie der Heizgradtage aller Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

In Abbildung 14 wird für Sole/Wasserwärmepumpen der elektrische Energiebedarf und die Heizgradtage dargestellt.

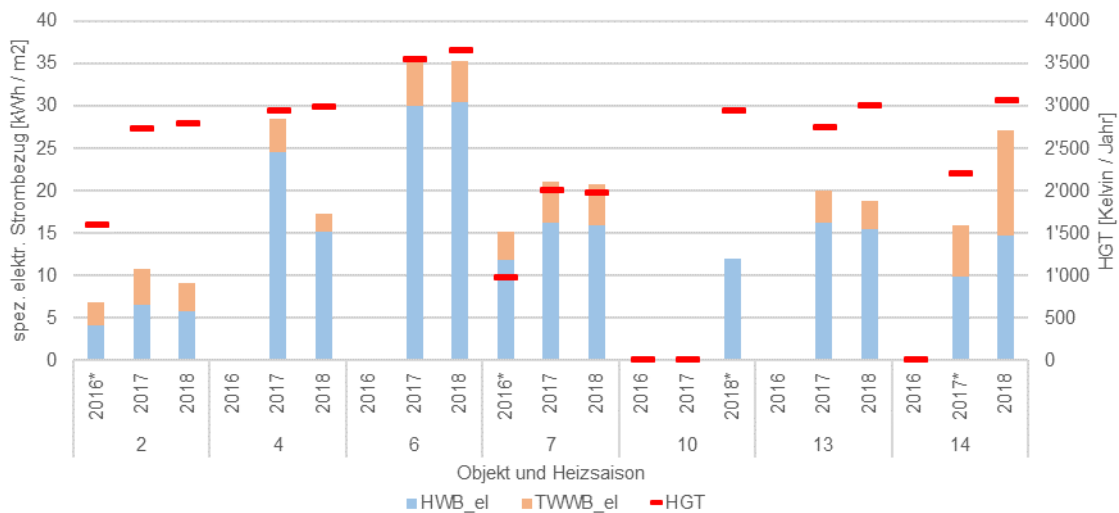


Abbildung 14: Darstellung des elektrischen Strombezugs für Heizen und Trinkwarmwassererzeugung pro m², sowie der Heizgradtage aller Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

3 Optimierung

Insgesamt konnte mit 10 Anlagenbetreibern erfolgreich Kontakt aufgenommen und die Unterstützung zur Durchführung von diversen Optimierungsmassnahmen durch Veränderungen an den Regelungseinstellungen gewonnen werden. Bei den anderen Anlagen ist entweder kein Optimierungsbedarf festgestellt worden oder die Bereitschaft für Anpassungen fehlte von Seiten Bewohner oder Anlagenbetreiber.

Durch das in Kontakt treten mit den Bewohnern oder Anlagebetreibern konnte oft ein fehlendes Grundlagenverständnis über die Möglichkeiten zur Energieeinsparung festgestellt werden. In den seltensten Fällen findet ein Einarbeiten in den Regler der Wärmepumpe statt und solange der Komfort nicht eingeschränkt ist, wird die Anlage meistens nicht betrachtet. So war z.B. auch den Bewohnern in Objekt 12 nicht bewusst, dass die Wärmepumpe keine Aufladung des Trinkwarmwassers durchführt, sondern dass diese wegen eines mangelnden Speicherfühlers durch den Elektroheizstab durchgeführt wird.

Andererseits gibt es bereits fortschrittliche Reglersysteme, auf die ein Anlagenbetreiber von extern zugreifen und über Zugriffsrechte zum Ändern von Einstellungen verfügt. So konnte u.a. die Hysterese der Trinkwarmwasseraufladung angepasst und die Anzahl der täglichen Aufladungen reduziert werden.

3.1 Übersicht der Objekte und Optimierungsmassnahmen

Die einzelnen Massnahmen sind in Tabelle 2 zusammengefasst und werden im Folgenden kurz erklärt. Die Auswertung und Erkenntnisse der Massnahmen erfolgt nach Abschluss einer vollständigen Messperiode in einem folgenden Bericht.

Tabelle 2: Übersicht der durchgeführten Optimierungsmassnahmen

Objekt	1	3	5	6	7	10	12	13	15	16
Heizgrenze	18 -16		18 -16	20 -16					x	
Heizkurve			(x)							
Senkenpumpe	III -> II					x			x	
Quellenpumpe						x		x		
Pumpenoptimierung	x		x	x					x	
Verdichterstillstandszeit						x				
Softwareupdate Service				x						x
PV-Eigenverbrauch			x			x			x	
Hysterese TWW			x						x	x
Fühlerposition TWW	x			x						
sonstiges			x	x	x		x	x		x
nicht möglich		x								

Bei vier Objekten konnte ein langer Heizbetrieb in der Übergangszeit festgestellt werden. Zum grössten Teil werden die Anlagen mit den Standardeinstellungen der Hersteller in Betrieb genommen. Beim Objekt 6 mit solarunterstützter Heizung konnte so der Wert für die Heizgrenze um 4 K abgesenkt werden. Der Anlagenbetreiber im Objekt 15 hat eine Heizgrenze programmiert, welche die Maximaltemperatur der letzten Tage berücksichtigt. Andererseits war nach einer Besprechung

mit den Bewohnern in Objekt 3 ein ermitteltes Optimierungspotential bei der Heizgrenze nicht umsetzbar, da eine Anliegerwohnung in Hanglage länger beheizt werden muss.

Einstellungen an der Heizkurve waren nicht möglich, da die Feldmessung keine Auskunft über Komfort und Wohnraumtemperatur besitzt. Somit konnte kein Lösungsansatz zur Optimierung der Heizkurve gefunden werden. Ein Versuch bei Objekt 5 wurde aufgrund von Komforteinbussen eingestellt.

Neben der Heizgrenze bieten die internen Umwälzpumpen der Wärmepumpen ein Optimierungspotential. Einstellungen auf das Regelverhalten von drehzahlgeregelten Pumpen waren selbst mit Einsatz eines Servicetechnikers bei einem Objekt nicht möglich oder nicht befriedigend. Dennoch konnte oft die Leistung der Pumpe reduziert werden oder die Pumpenbetriebszeiten bei Verdichter im Standby durch ein sog. Abtast- statt Dauerbetrieb (Pumpenoptimierung) deutlich reduziert werden; dies ohne jegliche Komfortänderung für die Bewohner. Bei der Betrachtung der internen Senkenpumpe in der Wärmepumpe ist die Unterscheidung der Anlagenhydraulik in Direktheizkreis oder Betrieb mit einem Pufferspeicher essentiell. Bei einem Direktheizkreis muss die Senkenpumpe auch die Wärmeverteilung im Gebäude effizient sicherstellen.

Bei der leicht überdimensionierten nicht drehzahlgeregelten Sole/Wasser-Wärmepumpe in Objekt 10 konnte durch die Erhöhung der Verdichterstillstandszeit eine deutliche Reduzierung der Verdichterstarts bewirkt werden. Hier ist auch auffällig, dass dieser Parameter oft unberührt in der Standardeinstellung belassen wird.

Bei drei Objekten mit einer PV-Anlage sind Einstellungen für einen erhöhten Eigenstromverbrauch vorgenommen worden. So ist z.B. das Legionellenprogramm von Mitternacht auf den frühen Nachmittag gelegt worden oder die Heiztemperaturen über die sonnenreiche Tageszeit leicht erhöht.

Grosses Optimierungspotential bietet oft auch die Trinkwarmwasseraufladung. Diese wird, wie viele andere Funktionen auch, meistens in der Standardeinstellung belassen. Diese ist auf höchsten Komfort ausgerichtet und führt zu einer raschen Nachladung bei geringer Trinkwarmwasserzapfmenge. Ist der Speicher zur Bewohneranzahl bzw. zum Verbrauch grösser dimensioniert, kann durch eine grössere Hysterese und / oder ein Heraufsetzen des Fühlerspeichers im Puffer eine Nachladung reduziert werden. Damit wird der untere Speicherteil stärker abgekühlt, die Wärmepumpe kann mit durchschnittlich niedrigerer Temperatur und damit höherer Effizienz betrieben werden. Ausserdem verringern sich die Wärmeverluste für das Aufheizen der Rohrhydraulik im Sommer ohne Heizbetrieb durch eine reduzierte tägliche Aufladeanzahl. Sonstige Massnahmen betreffen die Reinigung eines verstopften Filtersiebes im Anlagenrücklauf des Objektes 6, die Untersuchung der erhöht gemessenen Wärmeverluste im Trinkwarmwasserspeicher bei Objekt 7, die zunächst rein elektrisch erfolgte Aufladung des Trinkwarmwassers durch einen fehlenden Speicherfühler, die Optimierung der Aufladung bei Objekt 15 und eine festgestellte ungewollte Zirkulation im Objekt 16. Bei Objekt 5 wurde im vorherigen Jahresbericht 2018 ein Luftkurzschluss anhand der Messdaten vermutet, dies konnte jedoch bei einer Begehung vor Ort nicht bestätigt werden.

3.2 Einfluss von Massnahmen

Die messtechnisch erfassten Auswirkungen der einzelnen Massnahmen für eine Optimierung der Wärmepumpenanlage werden nach Abschluss einer gesamten Heizperiode in einem nächsten Bericht betrachtet. Bereits jetzt soll angemerkt werden, dass manche Massnahmen mit einer Effizienzverschlechterung einhergehen, jedoch den Energiebedarf ab Steckdose verringern. Kann z. B. insbesondere bei Luft/Wasserwärmepumpen die Stromaufnahme durch eine tiefere Heizgrenze in der Übergangszeit reduziert werden, verschlechtert sich jedoch die Effizienz im Heizbetrieb, da der Heizanteil bei hohen Aussentemperaturen und niedrigen Senktemperaturen abnimmt. Ähnlich kann beim Trinkwarmwasser durch einen sparsamen Verbrauch oder eine tiefere Belegung der Wohnung der Systemnutzungsgrad SNG deutlich sinken, da die konstant bleibenden Wärmeverluste prozentual stärker ins Gewicht fallen. Trotzdem sind solche Massnahmen eindeutig sinnvoll.

4 Erkenntnisse

Sämtlich Wärmepumpenanlagen weisen bei den Einsatzbedingungen der verschiedenen Gebäudetypen die zu erwartenden Effizienzwerte auf. Selbst eine Luft/Wasser-Wärmepumpe kann im Altbau noch fast eine Jahresarbeitszahl von 3 erreichen. Dennoch bleibt der um ein Vielfaches höhere Energiebedarf je Bezugsfläche gegenüber Neubauten frappant. Über die maximal drei gemessenen Heizperioden ist eindrücklich der Zusammenhang zwischen Effizienz und Temperaturniveau der Wärmepumpen erkennbar. Dass eine effizient arbeitende Wärmepumpe nicht per se eine hohen Systemnutzungsgrad aufweist, veranschaulicht die Thematik des Trinkwarmwassers mit den ständigen Wärmeverlusten. Im Allgemeinen kann durch die Feldmessung auch die bereits bekannte Erkenntnis bestätigt werden, dass je einfacher die Hydraulik umgesetzt ist, desto weniger anfällig ist die Anlage für eine ineffiziente Betriebsweise.

In Tabelle 3 sind die gemessenen Jahresarbeitszahlen aus allen verwertbaren Heizperioden der Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen entsprechend den Gebäudetypen «Neubau», «Sanierung» und «Altbau» dargestellt. Die Einteilung nach Gebäudetyp erfolgt dabei nach der benötigten Vorlauftemperatur des Gebäudes im Auslegepunkt. Bei diesen Anlagen liegt dieser zwischen -7 und -9 °C.

Tabelle 3: Übersicht Jahresarbeitszahlen der verschiedenen Gebäude- und Wärmepumpentypen

Vorlauftemperatur im Auslegepunkt	Neubau		Sanierung		Altbau	
	35-30 °C		45-40 °C		55-50 °C	
	Heizen	Heizen & TWW	Heizen	Heizen & TWW	Heizen	Heizen & TWW
Luft/Wasser-WP	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.8
Sole/Wasser-WP	5.7	4.9	5.0	4.6	4.4	4.3

Die Optimierungspotentiale der Wärmepumpenanlagen sollen in einem nächsten Bericht analysiert werden. Die häufigsten Möglichkeiten für eine Energieeinsparung entstehen bei der Inbetriebnahme mit der Einstellung der Regelung der Wärmepumpenanlage. Des Weiteren wird im folgenden Betrieb durch mangelndes Wissen oder Interesse der Betreiber bzw. Bewohner mögliches Einsparpotential nicht genutzt. Insbesondere der Kontakt mit Anlagenbetreibern hat das Verständnis sowie das Bewusstsein für Optimierungsmassnahmen gestärkt. Oft ist ein Zusammenhang der Reglereinstellungen und deren Auswirkung auf die Energieeffizienz und den Energieverbrauch nicht klar.

Obwohl ein Interesse zum Energieeinsparen vorhanden ist, haben sich nur wenige Personen vor der Optimierung mit der Wärmepumpe und der Reglereinstellungen eigenständig damit befasst. Im Tagesalltag gerät die Wärmeerzeugung im Gebäude in Vergessenheit oder wird als Selbstverständlichkeit angenommen. In den meisten Fällen wird die Anlage mit den Standardeinstellungen betrieben, insbesondere gilt dies für die Heizgrenze und die Einstellungen für die Aufladung des Trinkwarmwassers, welche herstellerseitig stets auf höchste Sicherheit (sofortige und leistungsstarke Nachladung nach geringen Zapfmengen) ausgelegt ist. Fehlerhafte Einstellungen oder Installationen bleiben nach der Inbetriebnahme ohne ein Monitoring unentdeckt, sofern der Komfort für die Bewohner nicht beeinträchtigt wird.

Mittels der hochauflösenden und genauen Messtechnik kann bei diesen Anlagen eine Fehlfunktion oder ungenutztes Energieeinsparpotential erkannt werden. So zeigen auch später durchgeführte Softwareupdates manchmal unerwünschte Veränderungen des Anlagenverhaltens, die dem Bewohner nicht auffallen (können).

5 Ausblick und Schlussfolgerung

Im Jahresverlauf von 2019 konnten sechs weitere Wärmepumpen-Anlagen in die Feldmessung mitaufgenommen werden. Alle bisher bestehenden Wärmepumpen-Anlagen werden weiterhin ausgemessen. Dadurch können in einem nächsten Bericht die durchgeführten Optimierungsmassnahmen analysiert und bewertet werden. Ebenfalls kann mit der Aufzeichnung von mehreren Betriebsjahren das Anlageverhalten auf mögliche Veränderungen (Legionellenprogramm, veränderte Einstellungen oder Softwareupdates, etc.) beobachtet werden.

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

6 Anhang

6.1 Methodik und Messequipment

Die Messausrüstung für die 15 geplanten Anlagen des Projektes (5 Anlagen je für die Jahre 2015, 2016 und 2017) ist bis auf wenige Details identisch. Bei jeder Wärmepumpenanlage wird ein Schaltschrank verbaut, der u.a. eine SPS (Speicherprogrammierte Steuerung) und Stromwandler für die Berechnung der Aufnahmeleistungen eingebaut hat. Die Abbildung 15 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 15: 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.

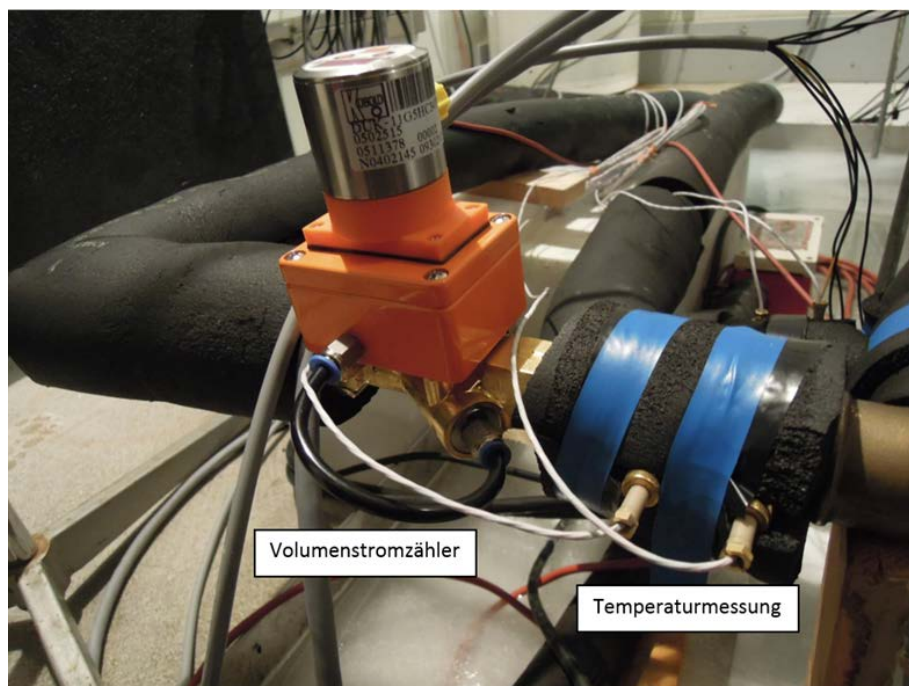


Abbildung 16: Volumenstromzähler und Temperaturmessung (Laboraufbau)

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 17).

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 17: Ausschnitt aus der Objekt-Datenbank „wpfeldme_obj“. Personendaten erscheinen nicht im Klartext und können somit nicht direkt zugeordnet werden

Folgende 5 Datenbanken sind vorhanden:

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

In Tabelle 4 werden zwei Beispiele angeführt: Die allgemeine Funktion „mean_B7oB6_1“ ermittelt die Mittelwerte gemässe der verlinkten Sensor-Id's S1 und S2, in den Zeitabschnitten, in welchen Bit 7 oder Bit 6 des digitalen Signales „47_Dig“ gleich „1“ ist.

Tabelle 4: 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 $JAZ_BFE = (38_WtS + 40_WtA) / (26_WeiTot - 34_WeUS)$