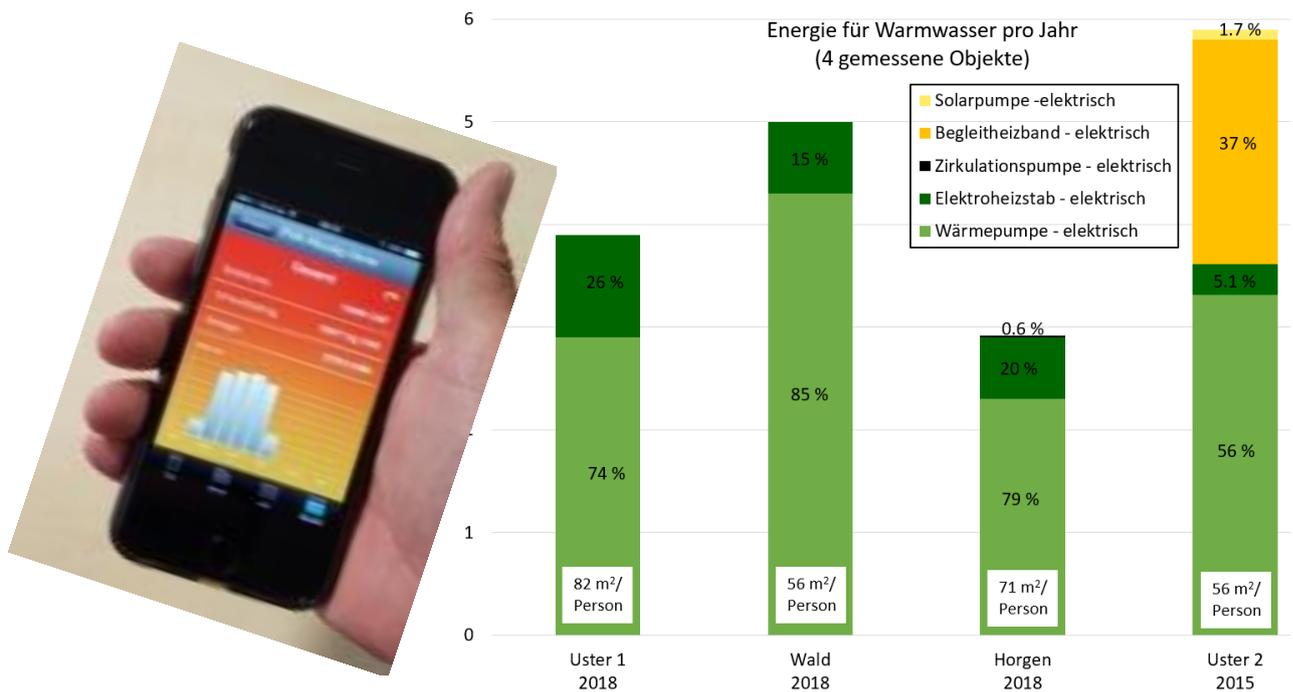


Bericht «Warmwasser-Energieverbrauch im Griff haben»

Der Energieverbrauch für die Warmwasserproduktion und Verteilung in Wohnbauten - Messkonzept und Methodik



Autoren

Werner Hässig, hässig sustech gmbh

Jan Staubli, hässig sustech gmbh

Carsten Wemhöner, Hochschule Rapperswil, HSR

**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

Nomenklatur	4
Zusammenfassung	5
Résumé	6
Riassunto	8
1 Einleitung	9
1.1 Ausgangslage	9
1.2 Untersuchungsfragen.....	9
1.3 Aufbau der Arbeit und Vorgehen	9
2 Grundlagen	10
3 Methodik	10
4 Ergebnisse Mess- und Darstellungskonzept	11
4.1 Mess- und Darstellungskonzept.....	11
4.2 Energiekennzahl Warmwasser	15
4.3 Fachinformationen für Planer und Systemanbieter	18
5 Ergebnisse Messobjekte	19
5.1 Ergebnisse der Testphase in der Praxis	19
5.2 Implementierung Messgeräte und Messmethodik in der Praxis	20
5.3 Auswertungen zu den Messobjekten	20
5.3.1 Objekt Einfamilienhaus in Uster (Uster 1).....	20
5.3.2 Objekt Mehrfamilienhaus in Wald (ZH).....	26
5.3.3 Objekt Mehrfamilienhaus in Horgen.....	32
5.3.4 Objekt Wohn- und Bürohaus in Uster (Uster 2)	38
6 Schlussfolgerungen	42
6.1 Schlussfolgerungen zum Messkonzept	42
6.2 Schlussfolgerungen zur Darstellung der Messresultate für Nutzer/Betreiber.....	43
7 Diskussion und Ausblick	44
Literatur	45
Anhang	46

Nomenklatur

Symbole

Symbol	Begriff	Einheit
A	Fläche	m ²
A _E	Energiebezugsfläche (EBF) nach SIA 380/1	m ²
c _p	Spezifische Wärmekapazität	J/(kgK)
d	Tag	s
E	Elektrische Energie	kWh
f	Faktor, Korrekturfaktor	-
f _p	Jahresgleichzeitigkeit	-
f _A	Abminderungsfaktor Armaturen MINERGIE®	-
f _w	Abminderungsfaktor Warmhaltung	-
MKZ _{ww}	MINERGIE®-Teilkennzahl Warmwasser	kWh/m ²
n	Anzahl	-
Q	Thermische Energie	kWh
V	Volumen	m ³
Δ	Differenz	K
η	Wirkungsgrad	-
ρ	Dichte	kg/m ³
θ	Celsius-Temperatur	°C

Indizes

Index	Begriff
C	Kalt
F	Endenergie
NGF	Netto-Geschossfläche
W	Warmwasser
ww	Warmwasser (Index MINERGIE)
el	elektrisch
g	Nationaler Gewichtungsfaktor nach EnDK
G	Geschoss
gen	Wärmeerzeuger
N	Netto
i	Zählvariable
P, p	Person
th	thermisch
u	Nutz-, genutzt

Zusammenfassung

Der Energieverbrauch für Warmwasser liegt bei modernen Wohnbauten in derselben Grössenordnung wie der Raumheizenergiebedarf. Dank Wärmepumpen wird Warmwasser heute mit einem Drittel der Energie produziert, als mittels elektrischer Widerstandsheizung (alte Elektroboiler) benötigt wurde. Andererseits wird festgestellt, dass für die Legionellen-Desinfektion und die Warmhaltung (mit Begleitheizband) immer noch viel Energie über elektrische Widerstandsheizungen verbraucht wird. In diesem Bereich – und im Bereich Nutzerverhalten - existiert ein Potential für Betriebsoptimierung.

Der Ansatz für eine Reduktion des Energieverbrauchs ist der Folgende: In jedem Gebäude mit Warmwasser sollen die wesentlichen Parameter zur Erfassung des Energieverbrauchs kontinuierlich automatisch gemessen, erfasst und dargestellt werden (Monitoring). Bis heute kennen weder die Nutzer noch die Betreiber den Warmwasserenergieverbrauch in Gebäuden.

Die Darstellung der Messwerte soll in einer weitgehend standardisierten Form über die Zeitachse erfolgen. Die verschiedenen Parameter, in verschiedenen Zeitauflösungen dargestellt, lassen Schlüsse zur Funktion, zur Energieeffizienz und auch zu Optimierungen zu. Als sinnvolle Zeitperioden wurden „Gesamt“, „Jahr“, „Monat“ und „Tag“ evaluiert. Auf der Ordinate wird die Energiekennzahl Warmwasser, also der spezifische Energieverbrauch (Elektrizität) pro Quadratmeter Energiebezugsfläche dargestellt. Für Vergleiche wird – dort wo sinnvoll - auch ein Grenzwert resp. Benchmark in den Grafiken wiedergegeben. Für eine gute Interpretierbarkeit sollten möglichst auch die Warmwassertemperatur und die Wassermenge gemessen und dargestellt werden. Jeder Bewohner/Nutzer/Betreiber kann so auf Knopfdruck seinen Warmwasser-Energieverbrauch sehen und anhand von Vergleichswerten auch optimieren.

Der Nutzen dieses Mess- und Darstellungskonzeptes wurde anhand von vier Gebäuden mit realen Daten untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass Unregelmässigkeiten und Optimierungsmöglichkeiten mit einem einfachen Mess- und Darstellungskonzept identifiziert werden können. Ebenso bietet die Darstellung dem Fachmann eine gute Basis, technische Probleme vertieft zu analysieren und einzugrenzen.

Substanziell konnte anhand der Messobjekte festgestellt werden: Kritisch sind der Einsatz von elektrischen **Heizstäben** und auch elektrische **Begleitheizungen**. Wenn diese Komponenten nicht gemessen und in ein Monitoring integriert werden, dann ist die Gefahr gross, dass damit unkontrolliert zu viel Energie verbraucht wird. Zudem weist die Legionellen-Desinfektion ein grosses Potential zur Optimierung auf. Einerseits wird die gewünschte Temperatur nicht erreicht, andererseits heizen die elektrischen Heizstäbe oft zum falschen Zeitpunkt. Hier sind vor allem die Hersteller von Wärmepumpensystemen gefordert. Denn das hier beschriebene Monitoring kann nur kostengünstig realisiert werden, wenn dieses direkt in Wärmepumpensteuerungen integriert wird.

Empfehlung: Organisationen wie MINERGIE und kantonale Vollzugsbehörden haben es in der Hand Monitoringlösungen verbindlich einzufordern und damit den Markt für mehr Transparenz im Warmwasser-Energieverbrauch zu ebnen.

Résumé

Dans les immeubles d'habitation modernes, la consommation d'énergie pour la production d'eau chaude est du même ordre de grandeur que le besoin en énergie pour le chauffage des locaux. Les pompes à chaleur permettent aujourd'hui de produire de l'eau chaude avec un tiers de l'énergie requise naguère avec les chauffages électriques à résistances (anciens chauffe-eau électriques). D'un autre côté, on constate une consommation d'énergie toujours élevée pour la lutte contre la légionellose et le maintien en température (avec ruban chauffant d'appoint) par le biais de chauffages électriques à résistances. Dans ce domaine, tout comme dans celui du comportement des utilisateurs, il existe un potentiel d'optimisation sur le plan de l'exploitation.

L'approche en vue de réduire la consommation d'énergie est la suivante: dans chaque bâtiment doté d'eau chaude, il s'agit de mesurer, de recenser et de représenter (monitorage) de façon permanent et automatique les paramètres essentiels de la saisie de la consommation d'énergie. À ce jour, ni les utilisateurs ni les exploitants ne connaissent la consommation d'énergie pour la production d'eau chaude dans les bâtiments.

Les valeurs mesurées doivent être représentées sur l'axe du temps sous une forme largement standardisée. Les divers paramètres, à des résolutions temporelles différentes, permettent de tirer des conclusions sur le fonctionnement, l'efficacité énergétique ainsi que les optimisations. Les périodes de temps utiles évaluées ont été celles du «temps total», de «l'année», du «mois» et du «jour». L'axe des ordonnées présente l'indice de dépense d'énergie pour l'eau chaude, c'est-à-dire la consommation d'énergie spécifique (électricité) par mètre carré de surface de référence énergétique. Là où cela s'avère utile, les graphiques intègrent également, à des fins de comparaison, une valeur limite ou un benchmark.

Pour que les données puissent être correctement interprétées, la température de l'eau chaude et la quantité d'eau devraient elles aussi être mesurées et représentées dans toute la mesure du possible. Chaque occupant/utilisateur/exploitant peut ainsi voir, en appuyant sur un bouton, sa consommation d'énergie pour la production d'eau chaude et l'optimiser à l'aide de valeurs de comparaison.

L'utilité de ce concept de mesure et de représentation a été étudiée à l'exemple de quatre bâtiments avec des données réelles. Les résultats montrent qu'un concept de mesure et de représentation simple permet d'identifier des irrégularités et des possibilités d'optimisation. De même, la représentation donne au spécialiste une bonne base pour analyser les problèmes en profondeur et les circonscrire.

Sur le fond, il a été possible de constater à l'aide des objets de mesure que l'utilisation de corps de chauffe électriques ainsi que de chauffages d'appoint électriques est critique. Si ces composants ne sont pas mesurés et intégrés au monitoring, le danger de consommer trop d'énergie de façon incontrôlée est grand. Par ailleurs, la lutte contre la légionellose présente un potentiel d'optimisation important. D'une part, la température souhaitée n'est pas atteinte, et d'autre part, les corps de chauffe électriques chauffent souvent au mauvais moment. Sur ce point, la balle est surtout dans le camp des fabricants de systèmes de pompes à chaleur. Car le monitoring décrit ici ne peut être réalisé à peu de frais qu'en étant intégré directement dans les commandes des pompes à chaleur.

Recommandation: des organisations telles que MINERGIE ainsi que les autorités cantonales d'exécution ont la possibilité de réclamer des solutions de monitoring contraignantes et ainsi d'égaliser le marché pour plus de transparence dans la consommation d'énergie pour la production d'eau chaude.

Riassunto

Negli edifici moderni il consumo di energia per la produzione di acqua calda si pone nello stesso ordine di grandezza del fabbisogno di energia necessario al riscaldamento. Attualmente con le pompe di calore l'acqua calda viene prodotta con un terzo dell'energia consumata al medesimo scopo dal riscaldamento elettrico a resistenza (i vecchi boiler elettrici). Allo stesso tempo tuttavia, per la disinfezione contro la legionella e il mantenimento della temperatura (con cavo riscaldante) si consuma ancora molta energia utilizzando i riscaldamenti elettrici a resistenza. In questo settore – e nell'ambito del comportamento degli utenti – esiste un potenziale di ottimizzazione dell'esercizio.

Per ridurre il consumo di energia occorre applicare il seguente principio: in ogni edificio in cui è prodotta acqua calda devono essere costantemente e automaticamente misurati, rilevati e raffigurati i principali parametri per la registrazione del consumo energetico (monitoraggio). Attualmente né gli utenti né i gestori conoscono il consumo di energia provocato dalla produzione di acqua calda negli edifici.

I valori misurati devono essere raffigurati in forma altamente standardizzata lungo l'asse temporale. I diversi parametri, presentati in alcune varianti temporali, consentono di trarre conclusioni in merito a funzione, efficienza energetica e ottimizzazioni. I periodi presi in esame sono «globale», «anno», «mese» e «giorno». Sull'asse delle ordinate viene raffigurato l'indice energetico «acqua calda», ossia il consumo di energia (elettrica) specifico per ogni metro quadrato di superficie di riferimento energetico. A fini comparativi, se sensato, nei grafici viene inserito anche un valore limite o un benchmark. Per semplificare l'interpretazione dovrebbero essere misurate anche la temperatura e la quantità di acqua calda. In tal modo, premendo semplicemente un pulsante ogni abitante/utente/gestore può visualizzare il proprio consumo di energia per la produzione di acqua calda e ottimizzarlo attraverso il confronto dei valori.

Il vantaggio di questo sistema di misurazione e raffigurazione è stato testato attraverso i dati reali di quattro edifici; dai risultati è emerso che è in grado di individuare irregolarità e possibilità di ottimizzazione. Inoltre la raffigurazione dei valori offre allo specialista una buona base per analizzare in modo approfondito e circoscrivere i problemi tecnici.

Grazie alle misurazioni svolte negli edifici l'impiego di termoresistenze elettriche e riscaldamenti ausiliari elettrici risulta critico: se questi componenti non vengono misurati e integrati in un monitoraggio, vi è un elevato rischio di consumare troppa energia. Un ulteriore potenziale di ottimizzazione riguarda inoltre la disinfezione contro la legionella. Da un lato non viene raggiunta la temperatura desiderata, dall'altro spesso le termoresistenze elettriche riscaldano nel momento sbagliato. Questo sistema si rivolge principalmente ai produttori di pompe di calore: infatti il monitoraggio qui descritto può essere realizzato in modo conveniente se integrato direttamente nei sistemi di comando delle pompe di calore.

Una raccomandazione: organizzazioni quali MINERGIE e le autorità esecutive cantonali possono imporre l'adozione di soluzioni di monitoraggio, favorendo in tal modo una maggiore trasparenza sul mercato in merito al consumo di energia per la produzione di acqua calda.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Zunehmend nimmt der Energieverbrauch für Warmwasser bei Wohnbauten einen Anteil von über 50% des Wärmeverbrauchs an (BFE, 2017). Effizienzsteigerungen im Bereich des Warmwassers werden immer wichtiger. Bis heute haben weder Planer noch Nutzer eine genaue Kontrolle über den Warmwasserenergieverbrauch, da sich dieser nirgendwo direkt messen/ablesen lässt. Somit sind Optimierungen und Einsparungen erschwert. In der Regel wird der Warmwasserverbrauch in Mehrfamilienhäuser pro Nutzungseinheit (Wohnung) gemessen und abgerechnet. Im Hinblick auf einen effizienten Umgang mit Energie genügt dieses Vorgehen nicht. Denn mit heutigen Haustechniksystemen kann das Aufheizen von Warmwasser mit sehr unterschiedlichem Energieinput geschehen. Eine effiziente Wärmepumpe kann heute dieselbe Menge Warmwasser mit einem Drittel der Energie produzieren, welche mittels elektrischer Widerstandsheizung (Heizstab) benötigt wird. Mit solarthermischer Energie ist der Input an nicht erneuerbarer Endenergie sogar nahe bei Null. – Andererseits wird immer wieder festgestellt, dass die Legionellen-Desinfektion, die Warmhaltung und das Verteilen von Warmwasser einen grösseren Anteil am Gesamtenergieverbrauch für Warmwasser ausmachen. Diese Situation ist unbefriedigend.

Dies soll mit diesem Projekt geändert werden, indem der Energieverbrauch Warmwasser für jeden Wohnbau einfach ablesbar, kontrollierbar und vergleichbar gemacht wird. Dem Nutzer/Betreiber soll der gesamte Energieverbrauch für die Warmwassernutzung aufgezeigt werden und möglichst in Bezug zu einer relevanten Grösse gesetzt werden.

1.2 Untersuchungsfragen

1. Wie kann der Energieverbrauch von Warmwasser gemessen werden? Welche Parameter sind zu messen?
2. Wie könnten die Messresultate dem Nutzer/Betreiber dargestellt werden?
 - a. Welche Darstellung/ Auswertung ist für den Nutzer zu wählen?
 - b. Welche Darstellung/ Auswertung ist für den Betreiber/Techniker zu wählen?

1.3 Aufbau der Arbeit und Vorgehen

Zuerst werden Überlegungen zur Erfassung von Energieverbrauchswerten für Warmwasser aufgezeigt. Insbesondere wurden die zu erfassenden Messgrössen bezüglich Relevanz und Praktikabilität untersucht.

Ein zweiter Schwerpunkt liegt auf dem Monitoring und der Darstellungsform der Messwerte. Ziel ist eine schnell verständliche Form, welche ein Maximum an Interpretation zulässt.

In einem dritten Teil wird die postulierte Messmethodik auf vier Test-Gebäude angewendet.

2 Grundlagen

Basierend auf den neuen Planungsinstrumenten SIA 385/1 (In Revision. Der Entwurf geht bald in die 2. Vernehmlassung) und 385/2 (2015) kann heute die Warmwasserversorgung energieeffizient geplant werden. Das Messen des Verbrauchs ist jedoch nicht einfach und wird in diesen Normen (noch) nicht definiert. In der Norm 385/2 ist auch die Energiekennzahl Warmwasser definiert.

Für die Darstellung wird auf ein Konzept, das sich für die Erträge aus Photovoltaikanlagen bewährt hat, zurückgegriffen.

Die Idee der neuen Darstellungsform von Warmwasserenergie orientiert sich daran, wie die Erträge aus Photovoltaikanlagen in Monitoringsystemen (Apps, etc.) aufgezeichnet werden. Durch die mengenmässige Kenntnis der verschiedenen Parameter über die Zeit können Schlüsse zur Energieeffizienz und vor allem zur Verbesserung der Energieeffizienz gezogen werden. Zudem kann die Funktionsweise beurteilt werden. Die Schlüsse werden aus Vergleichen von verschiedenen Zeitreihen gezogen.

Vier Test-Gebäude dienen der Überprüfung des Messkonzepts. Bei diesen Gebäuden handelt es sich um drei kleine Mehrfamilienhäuser und ein Einfamilienhaus im Kanton Zürich.

3 Methodik

Anhand von Expertenbefragungen und Literatur wurde ein Messkonzept postuliert, welches anhand von realen Objekten getestet wurde.

Der Ansatz dieses Projektes für eine Reduktion des Warmwasser-Energieverbrauchs ist der folgende: In jedem Gebäude mit Warmwasser sollen die wesentlichen Parameter zur Erfassung des Energieverbrauchs automatisch gemessen, erfasst und dargestellt werden. Die Darstellung erfolgt in einer weitgehend standardisierten Form in Diagrammen über die Zeitachse.

Die dargestellten Daten werden bereits heute ohnehin in den meisten Wärmepumpensystemen erfasst. Das heisst diese Daten sind vorhanden. Bisher meistens nicht erfasst werden: Endenergie (Elektrizität) für die Warmwasserproduktion, aufgeteilt nach Wärmepumpe, Heizstab und Warmhaltung (Begleitheizband oder Zirkulationspumpe). Eine eigentliche (teure) Wärmemessung ist bei dieser Methodik nicht erforderlich. (Hinweis: damit kann auch keine Jahresarbeitszahl, JAZ ermittelt werden, was aber dem verfolgten Ziel nicht entgegensteht).

Das Projekt beschränkt sich auf **Warmwasser-Heizsysteme mittels Wärmepumpen**, sogenannte Kombiheizgeräte und reine Warmwassererwärmer (Warmwasserbereiter mit Wärmepumpe) respektive Elektrizität als Endenergie. Der Energieverbrauch für das Warmwasser setzt sich aus mehreren Teilsystemen zusammen. Je nach Art der Warmwasserproduktion wird auch mehr oder weniger Wasser verbraucht. Und je nach Wassertemperatur kann der Energieverbrauch ebenfalls variieren. Entsprechend sind auch die Wassermenge und die Warmwasser-Temperatur (im oberen Drittel innerhalb des Speichers gemessen) wichtige Grössen, die zu erfassen sind.

Zur Überprüfung des Messkonzepts wurden von vier Gebäuden die Energiedaten erfasst und ausgewertet.

4 Ergebnisse Mess- und Darstellungskonzept

4.1 Mess- und Darstellungskonzept

Die Hauptzielgrösse ist der Warmwasser-Energieverbrauch. Dieser Energieverbrauch kann aber nur interpretiert werden, wenn dieser in Bezug zu bestimmten anderen Parametern gesetzt wird. Im Gebäudebereich hat sich die Energiebezugsfläche sowie die zeitliche Dimension „Jahr“ in der Praxis seit vielen Jahren etabliert. Dieser spezifische Energieverbrauch pro Quadratmeter und Jahr wird auch Energiekennzahl (vgl. auch Kapitel 3.2) genannt und wird für dieses Projekt ebenfalls als die zentrale Grösse verwendet. Als Zielgrösse wird eine Kennzahl definiert, die alle elektrischen Energien, die für das „System Warmwasser“ benötigt werden, zusammengefasst.

Bei der Frage, welche Energien gemessen und dargestellt werden sollen, wurde nach verschiedenen Gesprächen entschieden, den Elektrizitätsverbrauch folgender Anwendungen einzu-beziehen:

Tabelle 1: Energieverbrauchsanteile

Nr.	Bezeichnung	beinhaltet	Messgrösse/-intervalle	Bemerkungen
B1	Aufheizen	a) Kompressor b) Erdsondenpumpe/ Aussenluft-Ventilator c) Steuerung	Elektrische Energie 15 Minuten	Energieaufwand für Warmwasser ist von der Raumheizung getrennt zu erfassen
B2	Zusatzheizung/ Speicherhaltung	Elektroheizstab	Elektrische Energie 15 Minuten	elektrische Widerstandsheizung als Legionellenschutz und Notheizung*)
B3	Begleitheizung	Begleitheizband	Elektrische Energie 15 Minuten	Für guten Warmwasserkomfort/ kurze Ausstosszeiten
B4	Zirkulation	Zirkulationspumpe	Elektrische Energie 15 Minuten	Für guten Warmwasserkomfort/ kurze Ausstosszeiten
B5	Solarpumpe	Solarkreispumpe	Elektrische Energie 15 Minuten	

*) gemäss kantonalen Vorschriften

Die Messgenauigkeit der Energieverbrauchsanteile muss sich auch nach den unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten technischen Möglichkeiten eines Massenprodukts richten. Die Festlegung der verlangten Messgenauigkeit soll im Rahmen einer Normenvereinbarung erfolgen. Die hier vorgeschlagenen Messschritte von 15 Minuten ermöglichen die Auflösung auf Stundenwerte, was für die angestrebte Zielsetzung als genügend erachtet wird.

Anmerkungen:

1. Bezugsgrösse: Fläche statt Personen wird bevorzugt, da die Fläche einfach messbar ist und die Personendichte einer Wohnung zusätzlich von vielen Faktoren abhängt, welche hier nicht behandelt werden sollen.
2. In Mehrfamilienhäusern mit zentraler Warmwasserproduktion: Zur Bestimmung der $E_{f,w}$ pro Wohnung soll die $E_{f,w}$ des Gebäudes im Verhältnis der effektiven Warmwassermengen pro Wohnung gewichtet werden.

Diese Kennzahl (auf Jahresbasis) lässt Vergleiche zwischen verschiedenen Jahren, Gebäuden, Haustechniksystemen und Betriebsweisen zu. Sie ist zudem direkt mit den MINERGIE®-Kennzahlen vergleichbar. Diese Kennzahl ist somit der Ausgangspunkt, aber auch die Zielgrösse für alle Effizienzbestrebungen.

Es ist von grosser Bedeutung, dass eine eindeutig definierte Kennzahl existiert und diese entsprechend auf jeder Anlage ermittelt wird.

Mit den heute relativ einfachen Mess- und Monitoring-Möglichkeiten ist es vertretbar, diese Kennzahl stets zu ermitteln und aufzuzeichnen. Dadurch entsteht ein Instrumentarium, um die Ergebnisse von Energieeffizienzbestrebungen sichtbar zu machen.

Zur Interpretation und damit als Beitrag zur Optimierung sollen zusätzliche Grössen erfasst werden. Die Interpretationsgrössen sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengestellt:

Tabelle 2: Interpretationsgrössen zum Warmwasserenergieverbrauch für ein Einfamilienhaus

Nr.	Bezeichnung	beinhaltet	Messgrösse/-intervalle	Bemerkungen
D1	Warmwasser-Verbrauchsmenge	Warmwasserdurchfluss direkt beim Speicherzufluss gemessen	Durchfluss 15 Minuten	Wichtige Grösse um Unregelmässigkeiten im Energieverbrauch erklären zu können
D2	Warmwassertemperatur	Temperatur direkt beim Speicher Austritt gemessen	Wassertemperatur 15 Minuten	Wichtige Grösse um Unregelmässigkeiten im Energieverbrauch erklären zu können
D3	Solarthermie	Wärmeenergie, die mittels Kollektoren produziert wird	Wärmezähler 15 Minuten	Je nach Vorhandensein
D4	Energiebezugsfläche, EBF	Beheizte Brutto-Geschossfläche	Quadratmeter konstant (wird festgelegt)	Für Energiekennzahl zwingend notwendig
D5	Anzahl Nutzer/ Bewohner	Personenzahl im Haushalt (üblicherweise anwesend)	Personenzahl konstant (wird festgelegt)	Für Interpretation der Verbrauchszahlen wichtig

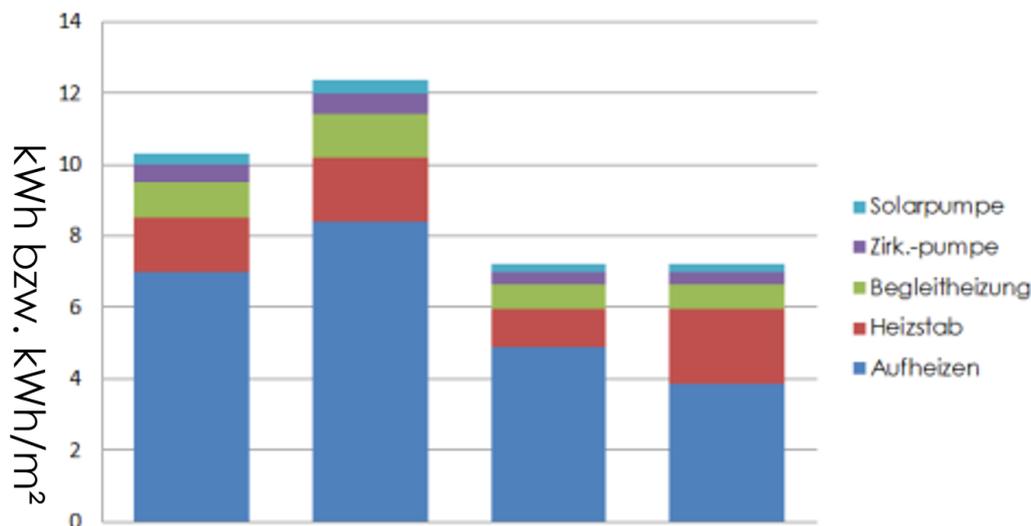
Bei Mehrfamilienhäusern mit zentraler Warmwasserproduktion soll in jeder Wohnung zusätzlich erfasst werden:

Tabelle 3: Zusätzliche Interpretationsgrößen zum Warmwasserenergieverbrauch für Mehrfamilienhäuser

Nr.	Bezeichnung	beinhaltet	Messgrösse/-intervalle	Bemerkungen
D1.x	Warmwasser-Verbrauchsmenge pro Whg	Warmwasserdurchfluss direkt vor dem Wohnungsverteiler	Durchfluss 15 Minuten	In m ³
D2.x	Warmwassertemperatur pro Wohnung	Temperatur direkt vor dem Wohnungsverteiler	Wassertemperatur 15 Minuten	

Die Darstellung des Verbrauchs soll in farbigen Säulen-Diagrammen erfolgen. Der Wert $E_{F,W}$ auf der Ordinate und die Zeitperioden auf der Abszisse. Es sollen 4 Diagramme abrufbar sein: $E_{F,W}$ pro Tag (mit 24 Säulen für alle 24 Stunden eines Tages); $E_{F,W}$ pro Monat (mit 31 Säulen für alle 31 Tage eines Monats); $E_{F,W}$ pro Jahr (mit 12 Säulen für alle 12 Monate eines Jahres); $E_{F,W}$ gesamt (mit 0 bis x Säulen für alle bisher gemessenen Jahre).

Verallgemeinert könnte die Darstellung dann etwa wie in Abbildung 1 gezeigt aussehen.



pro Tag, bzw. pro Monat, pro Jahr, gesamt
[Grafiken für 4 Zeitperioden wählbar]

Abbildung 1: Warmwasserenergieverbrauch bezogen auf Zeitabschnitte (verallgemeinert dargestellt) und mit Aufgliederung der Verbrauchsanteile B1-B5

Zur besseren Interpretation der Energieverbräuche sollen auch die Zahlenwerte für den **Wasserverbrauch** und die **Warmwassertemperatur** in geeigneter Form dargestellt werden. Abbildung 2 zeigt ein exemplarisches Muster dazu.

Die Warmwasser-Temperatur soll möglichst weit oben (mindestens im oberen Drittel) innerhalb des Speichers gemessen werden. Eine Messung am Abgang, ausserhalb der Speichers führt zu nicht vernachlässigbaren, systematischen Fehlern und ist deshalb zu vermeiden (Grund: zu hohe Abkühlung in Zeiten ohne Warmwasserbezug).

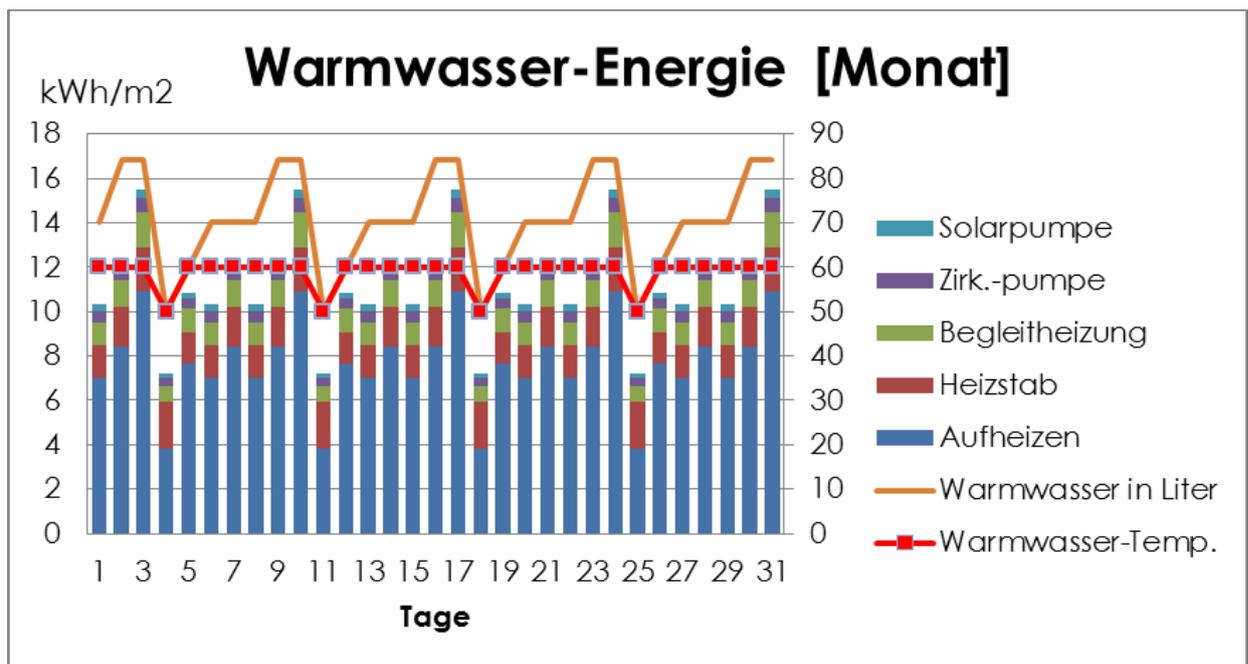


Abbildung 2: Exemplarische Darstellung Warmwasserenergieverbrauch bezogen auf den Zeitabschnitt „Monat“ mit den zusätzlichen Interpretationsgrößen „Warmwasser-Menge“ und „Warmwasser-Temperatur“ (Skalierung für Wassermenge und Temperatur auf der Ordinate rechts)

Zur besseren Übersicht und Verständlichkeit soll der Energieverbrauch für einen durchschnittlichen Nutzer optional nur gesamthaft (gemäss Tabelle 1, B1-B5 summiert) gezeigt werden können.

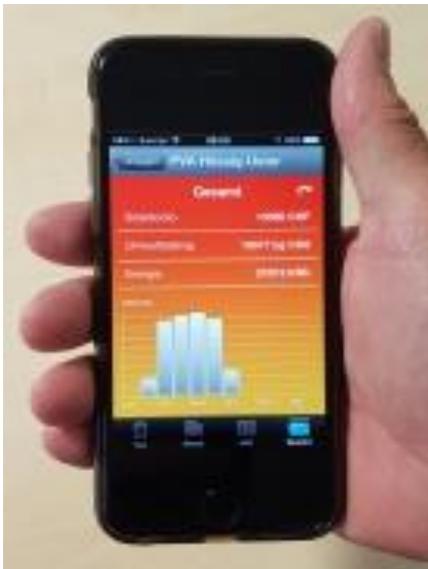


Abbildung 3: Beispiel einer App, die den Stromertrag einer Photovoltaikanlage in analoger Weise zeigt, wie der Warmwasser-Energieverbrauch dargestellt werden sollte

Ein Wunsch der Begleitgruppe ist es, auch sichtbar zu machen, wann Solarstrom eingesetzt wird/wurde. Hilfreich wäre, bei jedem Messwert eine Prozentangabe für den Solarstromanteil zu erhalten, eventuell auch in einer grafischen Form. – Diese Anregung wird auch vom Projektteam ausdrücklich begrüsst. Sie konnte in diesem Projekt jedoch nicht umgesetzt werden, da die Erfassung des Photovoltaikstrom-Anteils den Rahmen des Projektes gesprengt hätte.

4.2 Energiekennzahl Warmwasser

Als Zielgrösse wird eine Kennzahl definiert, die alle elektrischen Energien, die für das „System Warmwasser“ benötigt werden, zusammengefasst.

Definition der Kennzahl Warmwasser-Energieverbrauch ($E_{F,W}$): (Erklärung: Symbole, Indizes: S.4)

$$(1) \quad E_{F,W} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{el,i}}{A_E} \quad [\text{kWh}_{el}/(\text{m}^2\text{a})]$$

mit

$\Sigma_i E_{el,i}$ – Summe elektrischer Energien für Warmwassererzeugung, -speicherung, -verteilung, und -warmhaltung [kWh]

A_E – Energiebezugsfläche gemäss SIA 380 [m²]

Die Warmwasserkennzahl ist als Endenergiekennzahl als Aufwand von elektrischer Energie definiert. Sie kann damit aber auch als Grundlage zur Ermittlung der MINERGIE®-Teilkennzahl Warmwasser dienen, wenn mit dem Gewichtungsfaktor für Elektrizität f_p gewichtet wird.

Die MINERGIE®-Teilkennzahl Warmwasser kann durch die folgende vereinfachte Berechnung ermittelt werden:

$$(2) \quad MKZ_{ww} = Q_{ww} \cdot f_A \cdot f_w \cdot g / \eta \quad [-]$$

mit

f_A – Abminderungsfaktor Armaturen (Werte 0.9 oder 1)

f_w – Abminderungsfaktor Warmhaltung (Werte 0.9 oder 1)

Anstelle der vereinfachten Berechnung der MINERGIE®-Teilkennzahl kann auch eine differenziertere Berechnung nach SIA 385 erfolgen. Die Warmwasserkennzahl ist damit auch kompatibel zur detaillierteren SIA 385 Berechnung. (Hinweis: beide Normen werden derzeit überarbeitet).

4.2.1 Benchmarks für Warmwasserverbrauch und die Energiekennzahl Warmwasser

Als Benchmark für die Kennzahl Warmwasser-Energieverbrauch können die Standardnutzungen nach SIA 2024 zugrunde gelegt werden. In der SIA 2024 ist der Standardnutzungswert jedoch als thermische Energie angegeben. Um auf elektrischen Aufwand umzurechnen, können die in SIA 385/1 angegebenen Grenzwerte für den COP von Wärmepumpen im Warmwasserbetrieb für die jeweilige Wärmequelle zugrunde gelegt werden, die in Abbildung 4 abgebildet sind. Dabei ist zu beachten, dass sich die Werte noch auf die bei Erscheinen der SIA 385/1 gültige Wärmepumpenprüfnorm EN 255-3 (1997) beziehen, und inzwischen durch die EN 16147 (2017) ersetzt worden ist. Die SIA 385/1 ist ebenfalls derzeit in Revision, so dass mit Erscheinen der neuen Fassung auch allfällig die Benchmarkwerte überarbeitet werden. Mit den Werten aus Abbildung 4 ergeben sich für die Wohnnutzungen Ein- und Mehrfamilienhaus (EFH bzw. MFH) die in Tabelle 4 dargestellten Benchmarks für die Warmwasserkennzahl.

Systemtyp	Massgebende Leistungszahl	Grenzwert	Zielwert
Kompaktgeräte mit Wärmequelle Umgebungsluft sowie Systeme mit separat gelieferter und angeschlossener Wärmepumpe, die als vollständige Einheit angeboten werden ^{a)}	für die Entnahme von Warmwasser gemäss SN EN 255-3:1997	3,1 ^{b)}	3,5 ^{b)}
Separate Wärmepumpen für die alleinige Wassererwärmung, mit Wärmequelle Aussenluft	gemäss SN EN 14511-3:2007 (inkl. Corr. AC), Prüfbedingungen A7/W55	2,6	2,9
Separate Wärmepumpen für die alleinige Wassererwärmung, mit Wärmequelle Sole	gemäss SN EN 14511-3:2007 (inkl. Corr. AC), Prüfbedingungen B5/W55	2,9	3,2
Separate Wärmepumpen für die alleinige Wassererwärmung, mit Wärmequelle Wasser	gemäss SN EN 14511-3:2007 (inkl. Corr. AC), Prüfbedingungen W10/W55	3,2	3,5

a) Die Wärmepumpe ist fest auf- oder angebaut, mit oder ohne Luftkanalanschluss.
b) Diese Grenz- und Zielwerte beziehen sich auf Prüfungen nach SN EN 255-3:1997. Diese Norm ist in Revision und soll 2011 als SN EN 16147 publiziert werden; es liegen noch keine Prüfergebnisse vor.

Abbildung 4: Grenz- und Zielwerte von Leistungszahlen nach SIA 385/1

Der thermischen Energie Q_W als Nutzenergie liegt ein Warmwasserverbrauch in Normlitern (Erwärmung Warmwasser von 10 °C auf 60 °C) zugrunde. Ein Normliter entspricht damit einer thermischen Warmwasserenergie von 0.058 kWh/l. Die Berechnung der thermischen Jahresenergie nach SIA 2024 beruht auf der folgenden Gleichung unter Berücksichtigung einer Jahresgleichzeitigkeit von 0.8

$$(3) \quad Q_W = [V_W \cdot \rho_W \cdot c_p \cdot (\theta_W - \theta_{CW}) \cdot d_p \cdot f_p] / A_{P,NGF} \quad [\text{kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2\text{a})]$$

Entsprechend kann als weitere Interpretationsgrösse auch ein Benchmark für den Warmwasserverbrauch in Normlitern nach SIA 2024 angegeben werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass im realen Betrieb die Warmwassertemperaturen teils niedriger als 60 °C (im Speicher) gewählt werden, was einen höheren Volumenstrom bedingen kann als die angegebenen Normliter mit Bezug auf 60 °C Warmwassertemperatur. Bei Kenntnis der Warmwassertemperatur kann jedoch eine entsprechende Umrechnung des Warmwasserverbrauchs erfolgen.

Tabelle 4: Benchmarkwerte für die Warmwasserenergiekennzahl nach SIA 2024 und SIA 385/1

Nutzung	Personenfläche [m ² /p]	Warmwasserverbrauch [Normliter/p/d]	Thermische Energie Q_W [kWh _{th} /(m ² a)]	Bereich COP SIA 385/1 [-]	Bereich elektrische Energie [kWh _{el} /(m ² a)]
EFH	50	40	13.5	[2.6;3.2]	[4.2;5.2]
MFH	30	35	19.8	[2.6;3.2]	[6.2;7.6]

Die SIA 385/2 zur Planung von Warmwasseranlagen gibt an, dass die Nutzungsvereinbarung mit den Bauherrn ebenfalls auf Normliter umgerechnet werden soll.

In dieser Arbeit wird für die Benchmarks von den Werten für thermische Energie Q_w gemäss Tabelle 4 ausgegangen. Die Umrechnung auf elektrische Energie wurde mit einer angenommenen mittleren Arbeitszahl von 2.9 vorgenommen.

Der Wärmebedarf für Warmwasser wird für die Planung in Abhängigkeit der Personen pro Wohneinheit angegeben, die für jede Wohneinheit separat berechnet wird. Die nicht zwangsläufig ganzzahlige Personenanzahl wird nach der folgenden Gleichung berechnet

$$(4) \quad n_{P,i} = 3.3 - \frac{2}{1 + (A_{NF} / A_0)^3} \quad [-]$$

Abbildung 5 links zeigt eine graphische Darstellung der Personenzahl in Abhängigkeit der Nutzflächen und Abbildung 5 rechts zeigt eine Gegenüberstellung der Personenzahl für die SIA 2024 und SIA 385/2 für die Wohnnutzungen Einfamilienhaus und Mehrfamilienhaus. Während die Personenfläche in SIA 2024 konstant angesetzt wird und damit die Personenzahl linear mit der Fläche ansteigt, nähert sich die Personenzahl nach SIA 385/2 asymptotisch der Personenzahl von 3.3.

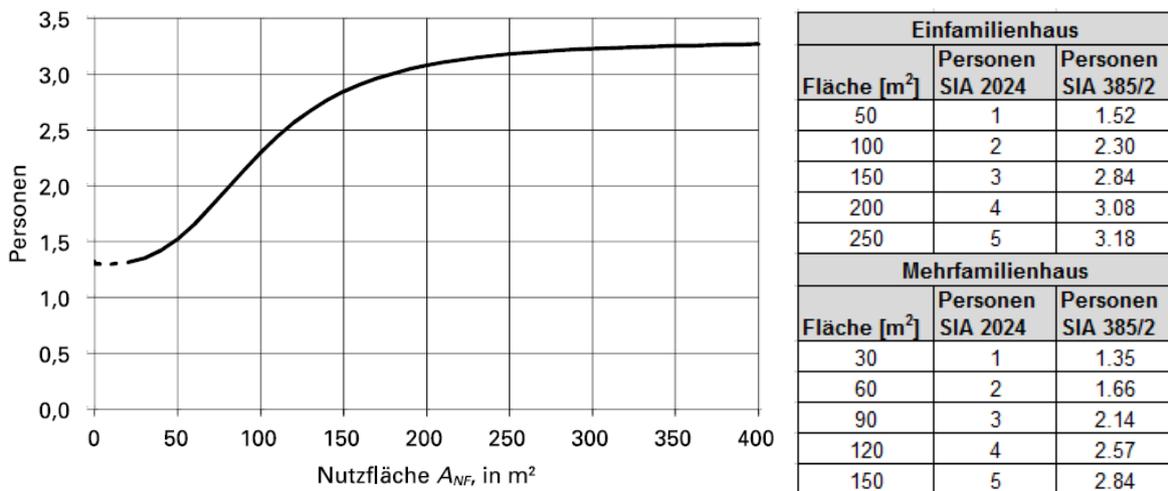


Abbildung 5: Personenzahl in Abhängigkeit der Nutzfläche A_{NF} nach SIA 385/2

Der Wärmebedarf für Warmwasser wird nach der folgenden Gleichung berechnet

$$(5) \quad Q_w = \sum_i (n_{P,i} \cdot V_{W,u,i}) \cdot (\Delta\theta_{gen} \cdot \rho \cdot c_p) \quad [\text{kWh}_h]$$

Wenn der Nutzwarmwasserbedarf $V_{w,u,i}$ in Normlitern angegeben wird, entspricht die thermische Energie $(\Delta\theta_{gen} \cdot \rho \cdot c_p)$ derjenigen eines Normliters 0.058 kWh/l. Für den Nutzwarmwasserbedarf werden eine Variation von drei Standards (einfach, mittel, gehoben) und zwei Bedarfe (Durchschnitts- und Spitzenbedarf) angegeben, die als Ausschnitt für die Wohnnutzung in Abbildung 6 abgebildet. Der Durchschnittsbedarf des einfachen Standards entspricht dabei den Standardnutzungen aus SIA 2024.

Einheit	Gebäudeart und Zweckbestimmung	Hinweise	Nutzwarmwasserbedarf pro Bezugseinheit in Normlitern pro Tag ^{a)}		
			Bezugseinheit ^{b)}	Durchschnittsbedarf	Spitzenbedarf
	Wohngebäude Einfamilienhaus, Eigentumswohnung	einfacher Standard	P	40	50
		mittlerer Standard	P	45	60
		gehobener Standard	P	55	70
	Mehrfamilienhaus	allgemeiner Wohnungsbau	P	35	45
		gehobener Wohnungsbau	P	45	60

Abbildung 6: Warmwasserbedarf in Normlitern nach SIA 385/2

4.3 Fachinformationen für Planer und Systemanbieter

Das hier vorgestellte Messkonzept kann nur eine Anwendung finden, wenn es von Systemanbietern in der Praxis umgesetzt, d.h. angeboten wird. Ein Monitoring wie hier gezeigt, wird mit Vorteil bereits in den Steuerungen der Wärmepumpen integriert.

Dabei stellt sich folgende Frage:

Wie werden wichtige Energieverbraucher, welche normalerweise nicht über die Wärmepumpe laufen, ebenfalls eingebunden? Die Anbieter von Wärmepumpen zur Warmwassererzeugung sollten dazu Schnittstellen einrichten, damit diese extern gemessenen Verbrauchswerte (i.d.R. Heizstab und Begleitheizung) eingelesen werden können. Entweder durch einen Spannungsabgriff (z.B. für den Heizstab) oder durch Übernahme des Messsignals eines externen Elektrozählers. Die steuerungstechnische Verbindung der Wärmepumpen mit den Heizstäben und Begleitheizungen ist ohnehin wichtig, da nur so diese grossen Stromverbraucher richtig gesteuert und optimiert werden können. So soll insbesondere die Legionellenschaltung mittels Heizstab erst zugeschaltet werden, wenn die Einsatzgrenztemperatur des Verdichters erreicht ist.

Hinweis zu den Vorschriften: Gemäss EnFK, EN-3, Kapitel 7.1 (2009) gilt: *Der Neueinbau einer direkt-elektrischen Erwärmung des Brauchwarmwassers ist in Wohnbauten nur erlaubt, wenn*

- a. das Brauchwarmwasser während der Heizperiode mit dem Wärmeerzeuger für die Raumheizung erwärmt oder vorgewärmt wird oder*
- b. das Brauchwarmwasser primär mittels erneuerbarer Energie oder nicht anders nutzbarer Abwärme erwärmt wird.*

Die Verwendung dieser Methodik hat für die Systemanbieter den Vorteil, dass sich Nutzer relativ schnell und einfach zurechtfinden. Dadurch ist das System weitgehend selbsterklärend. Der Verzicht auf einen Wärmezähler bringt Kostenvorteile bei Anschaffung, Installation und Betrieb.

Die Planer sind aufgefordert nach solchen Monitoringlösungen zu fragen und diese auszuschreiben.

5 Ergebnisse Messobjekte

5.1 Ergebnisse der Testphase in der Praxis

Das in Kapitel 4.1 geschilderte Messkonzept wurde in vier Testgebäuden implementiert und über rund ein Jahr ausgewertet. Dabei wurde getestet:

- a. Ist die Messwerterfassung und Darstellung praxistauglich?
- b. Können die Kennzahlen in der vorgeschlagenen Darstellung genügend interpretiert werden? (genügen die Informationen? Welche fehlen allenfalls?)
- c. Welche Betriebsoptimierungen werden ermöglicht?

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus den einzelnen Arbeiten zusammenfassen:

Die Ergebnisse der einzelnen Gebäude fielen zum Teil sehr unterschiedlich aus. Konkrete Angaben zu den Gebäuden im speziellen folgen im Kapitel 5.3.

Insgesamt kann festgestellt werden:

Bei den Mess-Gebäuden wurde jeweils das Jahres-, Monats-, und Tagesdiagramm wie in Kapitel 4.1 vorgeschlagen ermittelt.

Der Interpretationsvorgang sieht vor, dass erstens im Jahres-Diagramm mit den Benchmarks (Energie und Wassermenge) verglichen wird und zweitens spezielle Unregelmässigkeiten identifiziert werden. (Eine Unregelmässigkeit ist beispielsweise ein sehr hoher oder sehr tiefer Wert einer Messgrösse). Zur Interpretation der Unregelmässigkeiten kann dann das Diagramm in der nächstgrösseren zeitlichen Auflösung aufgerufen werden. Kann die gefundene Unregelmässigkeit dann noch nicht genügend erklärt werden, wird die nächstgrössere zeitliche Auflösung aufgerufen.

Bsp. Jahres-Diagramm → Monats- Diagramm → Tages-Diagramm

Die Erfahrung zeigt, dass mit diesem Vorgehen und der letztendlich detaillierten zeitlichen Auflösung (Stundenwerte) sehr viele Erklärungen und Interpretationen möglich sind, welche die allermeisten Unregelmässigkeiten oder einen generell hohen Verbrauch erklären.

Die Darstellungsart empfiehlt sich für den interessierten Hauseigentümer wie auch für Techniker. Die Unterscheidung zwischen Tages-, Monats- und Jahres-, Gesamtansicht ist sehr nützlich. Die Benchmarks ermöglichen einen sehr wünschenswerten Vergleich zu den Durchschnittsverbräuchen vom Energieverbrauch und dem Warmwasserverbrauch. Benchmarks zu den Stundenwerten sind jedoch nicht bekannt. Daher wird für die Tagesgang-Darstellung auf Benchmarks verzichtet. Im Tagesgang können jedoch detailliertere Einblicke zum Verbrauch oder zur Funktionalität der Legionellenschaltung gewährt werden.

Das Vorgehen wird anhand der vier Mess-Objekte im Kapitel 5.3 aufgezeigt.

5.2 Implementierung Messgeräte und Messmethodik in der Praxis

Als sehr wertvoll hat sich die Verwendung von Messgeräten mit Internetanbindung erwiesen. Somit können die Aufzeichnungen jederzeit ohne Besuch der Anlage überprüft werden. Die Messungen der smart-me Energiezähler funktionierten wie gewünscht. Die smart-me Cloud zeichnet bei Wärmezählern den Warmwasserverbrauch jedoch nicht direkt auf und die Temperaturmessungen können nicht als CSV exportiert werden. Bei der in dieser Arbeit vorgestellten Auswertungsmethodik wird aber grundsätzlich auf einen Wärmezähler verzichtet. Die Investitionskosten der Messungen sind aber sicher noch zu hoch. Eine serienmässig, direkt in den Wärmepumpen integrierte Messung ist für ein Monitoring unerlässlich. Da die Industrie den Nutzen solcher Messsysteme aktuell nicht sieht, müsste ein gewisser öffentlicher Druck entstehen.

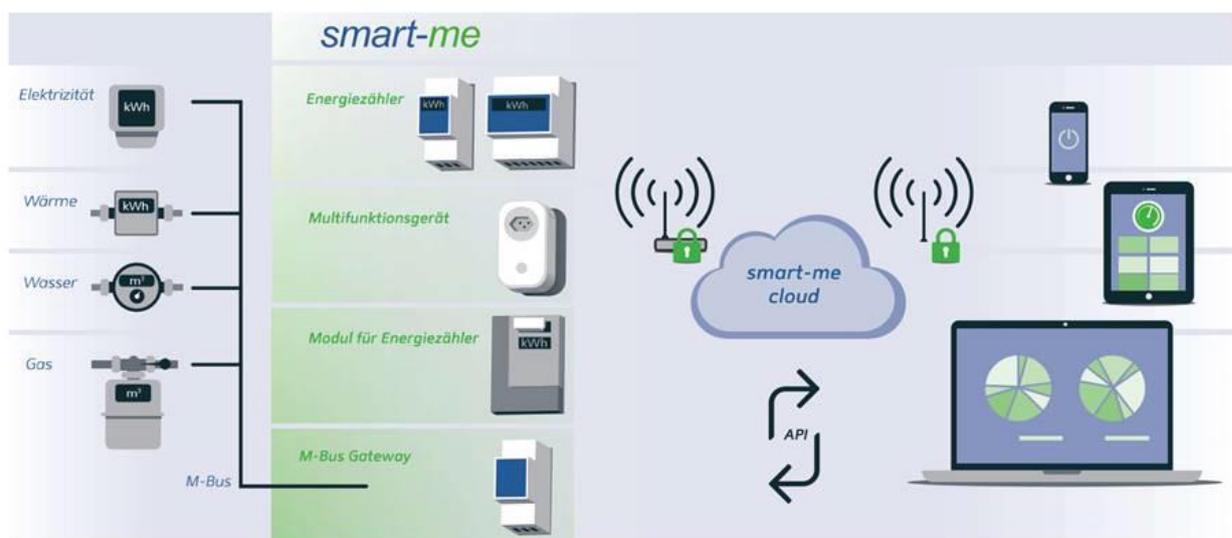


Abbildung 7: Konfiguration des eingesetzten smart-me Messdatenaufzeichnung und Speicherung

5.3 Auswertungen zu den Messobjekten

5.3.1 Objekt Einfamilienhaus in Uster (Uster 1)

Das Objekt „Uster 1“ ist ein Doppelhaus in Uster, ZH, mit einer Energiebezugsfläche von 245 m², das von 3 Personen bewohnt wird und mit erdgekoppelter Wärmepumpe ausgestattet ist. Der Leistungsbereich der mit Inverter leistungsgeregelten Wärmepumpe hat am Prüfpunkt B0/W55 die Heizleistungen 2.95 kW und der SCOP bei 55 °C beträgt 3.95. Die Wärmequelle besteht aus einer 185 m tiefen Duplex-Erdwärmesonde. Die Wärmepumpe deckt den Heizbetrieb und den Warmwasserbetrieb im Alternativbetrieb ab. Das zentrale Warmwassersystem ist mit einem 430 l Warmwasserbereiter ausgestattet, in den ein Elektroheizstab eingebaut ist. Im Warmwasserbetrieb wird die Wärmepumpe eingeschaltet, sobald die Temperatur im Speicher unter 45 °C sinkt. Bei Erreichen einer Speichertemperatur von 55 °C wird die Wärmepumpe wieder ausgeschaltet. Der Elektroheizstab schaltet jeden Samstag um 0:00 Uhr ein und führt einmal wöchentlich eine thermische Desinfektion durch.

Dabei erwärmt er das Wasser so lange, bis eine Temperatur von 60 °C erreicht werden sollte.

Daten Uster 1 in Uster	
Energiebezugsfläche	245 m ²
Anzahl Personen	3
Wärmepumpe	Sole-Wasser
Heizleistung SCOP55	5.5 kW / 3.95
B0/W55 (Teillast)	2.95 kW / 3.13
Erdwärmesonde	Duplex 185 m
Elektroheizstab	2-10 kW
Warmwasserspeicher	Zentral, 430 l
Messperiode	12.12.2017-12.12.2018
Datenlogger	smart-me M-BUS Gateway



Abbildung 8: Daten des Messobjekts in Uster (links) und Frontansicht des Gebäudes (rechts)

Abbildung 9 zeigt das Messkonzept für Objekt Uster 1. Das Messsystem umfasst die Messungen des elektrischen Energieverbrauchs der Wärmepumpe (B1) und des Heizstabs (B2). Die elektrischen Daten werden mit Messgeräten von smart-me aufgezeichnet und in Minutenaufösung gespeichert. Die Wärmepumpe gibt ein Signal für Heizbetrieb (Tarif 1) und Warmwasserbetrieb (Tarif 2), so dass die Betriebsart klar unterschieden werden kann. Des Weiteren wird die Wärmemenge mit einem GWF-Wärmezähler aus der Kalt- und Warmwassertemperatur (D2) und des Warmwasservolumenstroms (D1) berechnet. Diese Messdaten werden in 5 min Auflösung gespeichert und an die smart-me Cloud übertragen. Die Messperiode umfasst ein vollständiges Jahr. Während der Messperiode gab es Ende Oktober bis Mitte November einen Unterbruch beim Betrieb des Elektroheizstabes, da eine neue Software installiert wurde. Die Messung der Warmwassertemperatur erfolgte direkt nach dem Speicher bis Ende Sept. 2018. Am 1. Oktober 2018 wurde die Position des Temperaturfühlers der Warmwassertemperatur geändert und befindet sich nun direkt oben im Speicher, womit die Warmwassertemperatur präziser ausgewertet werden kann.

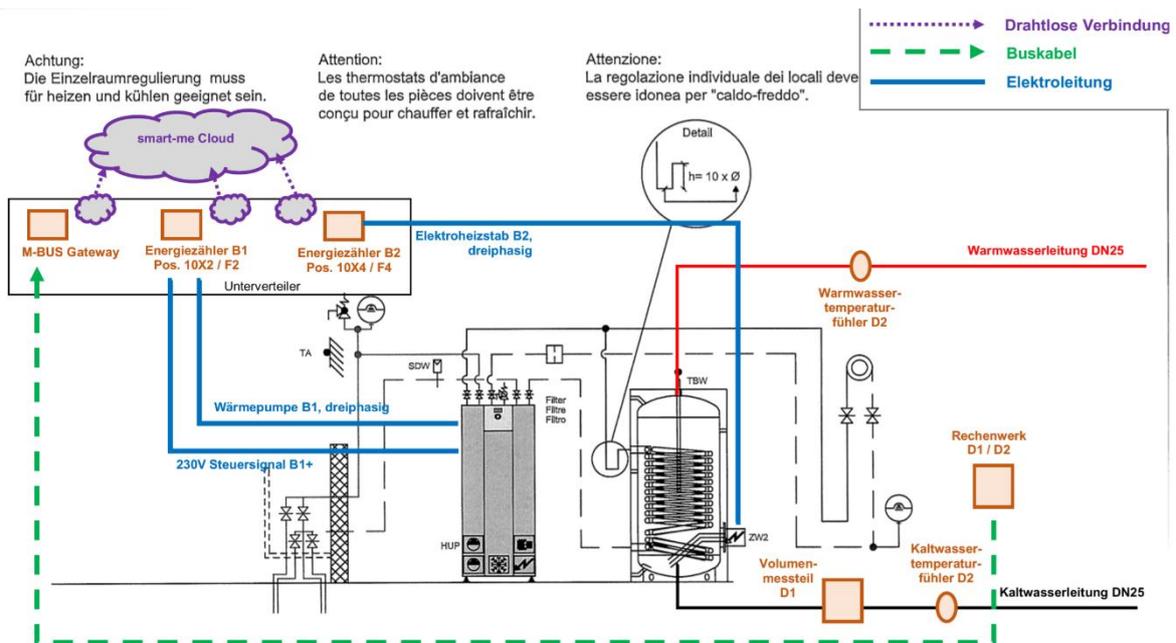


Abbildung 9: Messkonzept zum Einfamilienhaus Uster 1

Auswertung der Messdaten

Die Auswertung kann für eine vollständige Jahresperiode durchgeführt werden, da die Messdaten für die Messperiode vom 12.12.2017 – 12.12.2018 vorliegen.

Der Jahresverbrauch an thermischer Energie für die Warmwasserproduktion auf Ebene Nutzenergie beträgt 2'447 kWh bzw. 10.0 kWh/(m²a). Der thermische Energiebedarf liegt damit unter dem Benchmark nach SIA 2024 von 13.5 kWh/(m²a) für Einfamilienhäuser. Allerdings ist die Energiebezugsfläche von 245 m² nur von 3 Personen bewohnt, während mit einer Personenfläche von 50 m²/P im Einfamilienhaus das Haus nach Standardnutzung von 5 Personen bewohnt sein müsste. Hochgerechnet ergibt sich daher ein Verbrauch von 16.7 kWh/(m²a), was über dem Benchmark liegt.

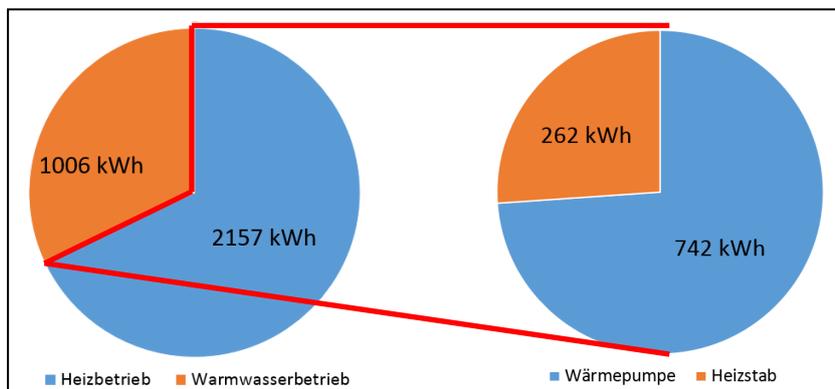


Abbildung 10: Elektrische Anteile für Heiz- und Warmwasserbetrieb, Total 3'163 kWh (links) und Aufteilung der gesamten elektrischen Energie im Warmwasserbetrieb auf Wärmepumpe und Heizstab, Total 1'004 kWh (rechts) der Anlage in Uster

Abbildung 10 zeigt die Anteile an elektrischer Energie im Heiz- und Warmwasserbetrieb. Trotz des überdurchschnittlichen Warmwasserverbrauchs beträgt der Anteil an elektrischer Energie für Wärmepumpe und Heizstab mit 1'006 kWh nur ca. 32% der gesamten elektrischen Energie, so dass der Heizbetrieb dominant ist. Da anzunehmen ist, dass im Heizbetrieb eine höhere Arbeitszahl als im Warmwasserbetrieb erreicht wird, ist der thermische Anteil des Heizbetriebs sogar noch grösser. Dies kann aber nicht genau angegeben werden, da nur die Warmwasserenergie gemessen wurde. Die Relation ist auch aufgrund der grossen Fläche und niedrigen Personenbelegung zu erklären. Abbildung 10 (Grafik rechts) zeigt die Anteile der elektrischen Energie für Wärmepumpe und Heizstab im Warmwasserbetrieb. Obwohl der Heizstab nur einmal pro Woche das Speicherwasser für die thermische Desinfektion auf 60 °C erwärmen soll, ist der Anteil mit 262 kWh bzw. 26% der für die Trinkwarmwassererwärmung aufgewendeten elektrischen Energie sehr hoch.

Für ein detaillierteres Verständnis der Vorgänge können nun Monats- und Tagesdiagramme betrachtet werden. Abbildung 11 zeigt das Jahresdiagramm von Uster mit den monatlichen elektrischen Energien.

In Abbildung 12 und Abbildung 13 sind die Monatsdiagramme für den Januar 2018 und den August 2018 dargestellt. Im Januar ist deutlich sichtbar, dass der Heizstab jeden Samstag einschaltet. Obwohl der Heizstabeinsatz auf 4 Tage begrenzt ist, beträgt der Energieanteil 24.6%. Im August ist der hohe Energieverbrauch des Heizstabs noch deutlicher. Während der letzten drei Tage des Heizstabeinsatzes lieferte die Wärmepumpe keinen Beitrag zur Warmwassererwärmung, was den hohen Heizstabanteil von 34.2% erklärt.

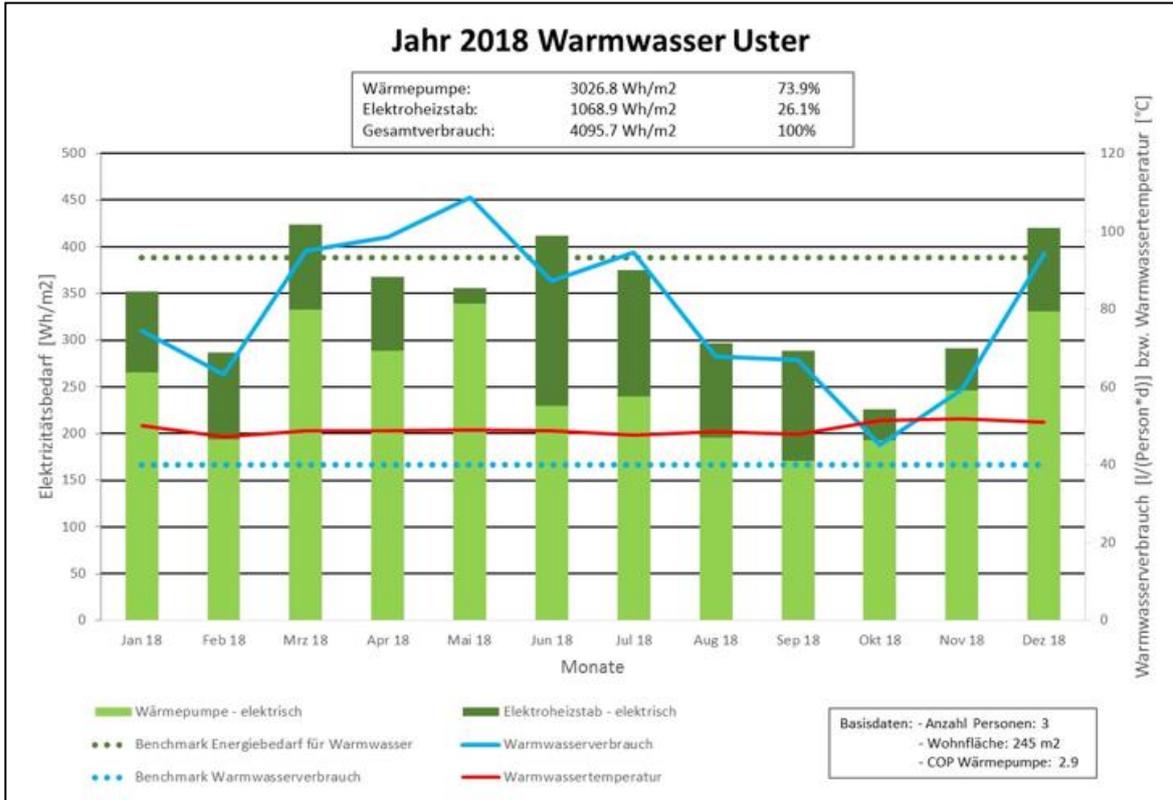


Abbildung 11: Jahresdiagramm mit monatlichem Elektrizitätseinsatz für Wärmepumpe und Heizstab sowie Warmwasserverbrauch und Warmwassermitteltemperaturen im Jahr 2018

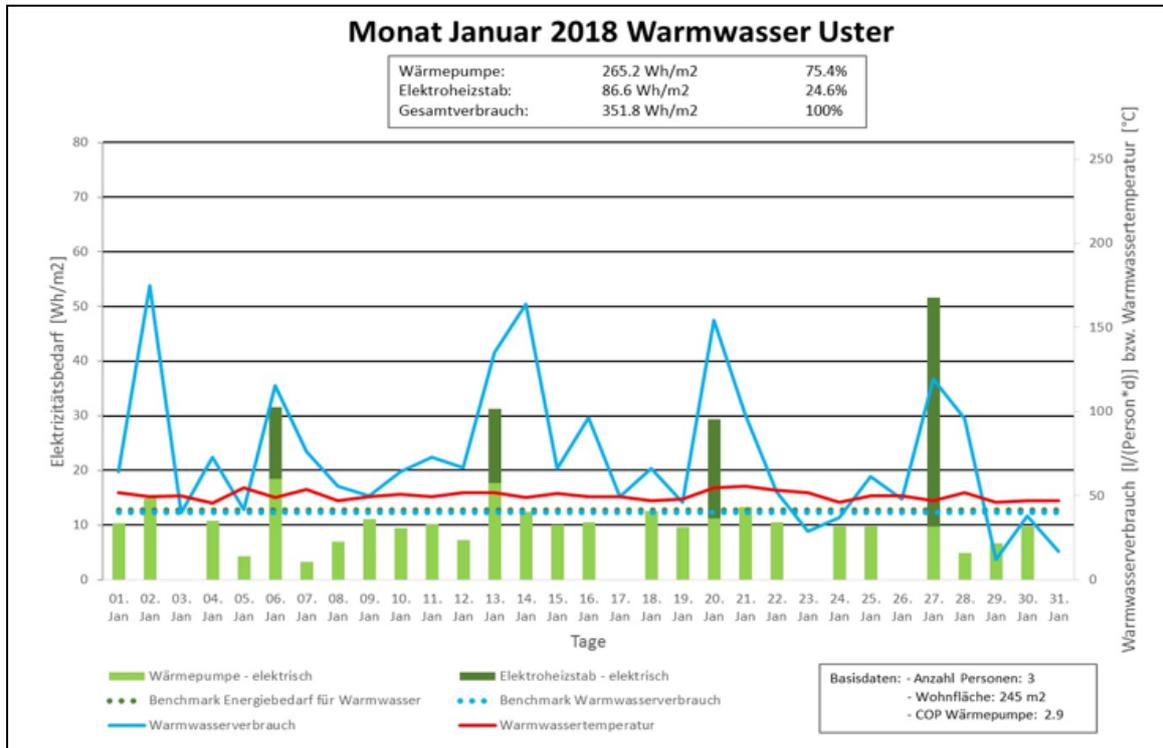


Abbildung 12: Monatsdiagramm mit täglichem Elektrizitätsbedarf für Wärmepumpe und Heizstab, sowie Warmwasserverbrauch und Warmwassermitteltemperaturen im Januar 2018

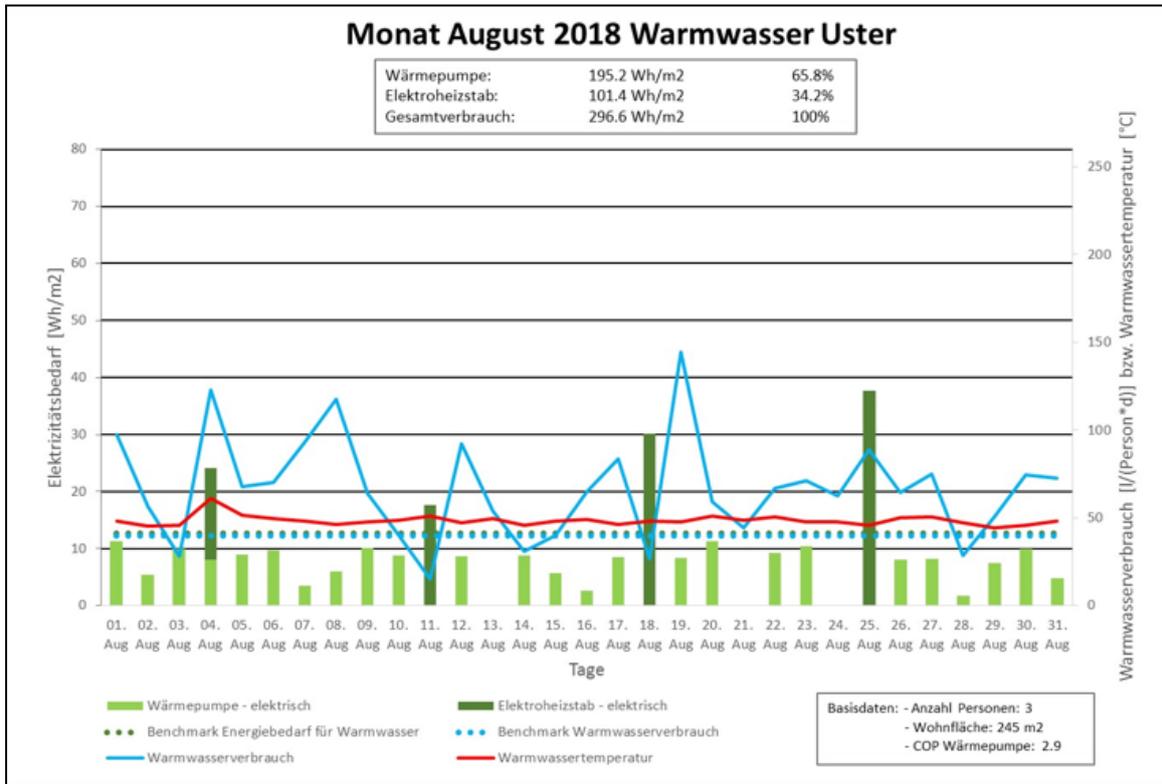


Abbildung 13: Monatsdiagramm mit täglichem Elektrizitätseinsatz für Wärmepumpe und Heizstab sowie Warmwasserverbrauch und Warmwassermitteltemperaturen im August 2018

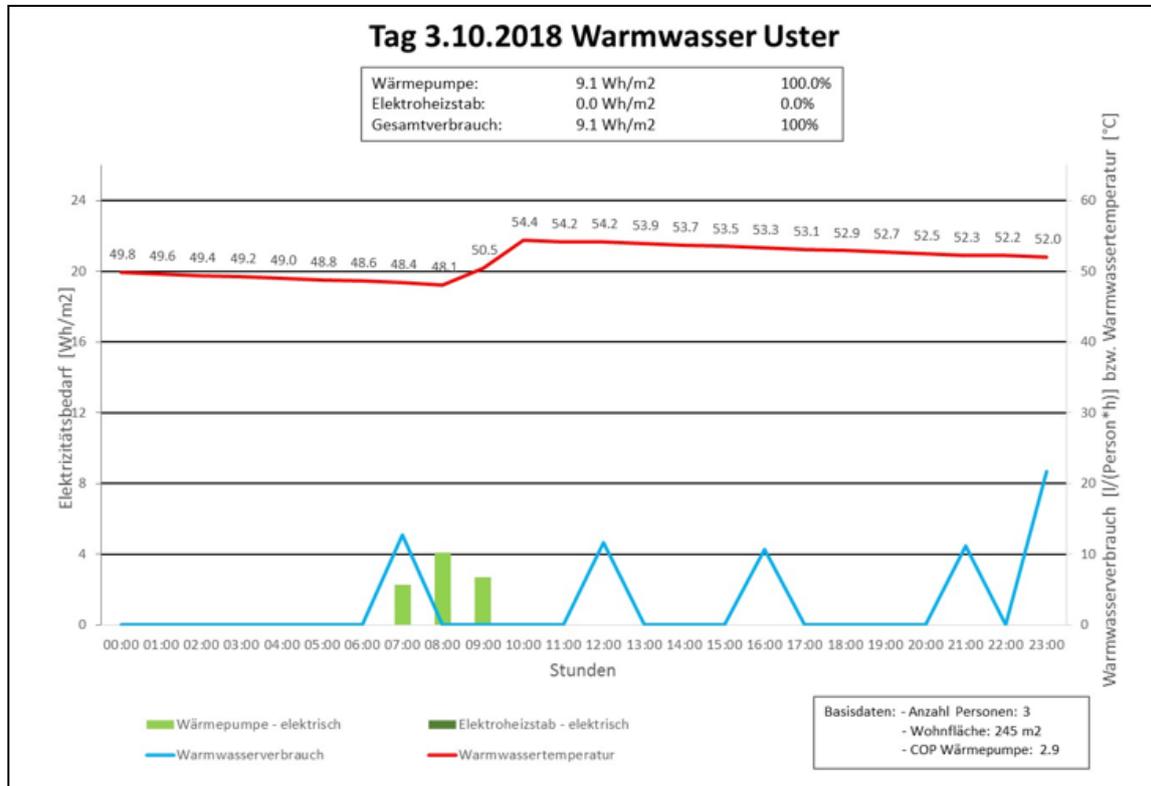


Abbildung 14: Tagesdiagramm mit stündlichem Elektrizitätseinsatz für Wärmepumpe und Heizstab sowie Warmwasserverbrauch und Warmwassermitteltemperaturen am 3. Oktober 2018

In Abbildung 14 ist anhand eines Tagesdiagramms das Temperaturverhalten im Speicher erkennbar. Die Wärmepumpe lädt nach der Abendzapfung den Speicher bis auf die Solltemperatur von ca. 55 °C auf. Aufgrund des Speichervolumens von 430 l kann die Morgenzapfung des darauffolgenden Tages aus dem Speicher bereitgestellt werden, ohne dass die Temperatur wesentlich absinkt. Die Solltemperatur wird also allein mit der Wärmepumpe erreicht. Aus Auswertungen bei den anderen Gebäuden kann auch festgestellt werden, dass der Elektroheizeinsatz keine nennenswert höheren Temperaturen als die Wärmepumpe allein erreicht, insbesondere nicht die 60 °C für die thermische Desinfektion.

Fazit zu diesem Objekt

Messmethodik: Die Darstellung der Messwerte in Form von Jahres-, Monats- und Tagesdiagrammen ermöglicht ein gutes Verständnis der vorliegenden Verhältnisse. Der Vergleich mit den Benchmarks ist hilfreich. Die aufgezeigten Warmwassertemperaturen zeigen, dass der Heizstab wohl beträchtlich Energie verbraucht, aber Wassertemperaturen von > 60°C (= eine Bedingung für Legionellenschutz) nicht erreicht werden.

Die Auswertungen zeigen, dass die Anlage entsprechend der Einstellungen läuft. Der aussergewöhnlich hohe Energieanteil des Heizstabs, der monatlich zwischen 20-40% und im Jahresmittel 26% der gesamten Elektrizität für den Warmwasserbetrieb beträgt, ist ineffizient. Temperaturentwertungen zeigen jedoch, dass das für die thermische Desinfektion notwendige Temperaturniveau von 60 °C im Speicher nicht erreicht werden kann, was den Heizstabeinsatz generell in Frage stellt.

So wie die Anlage läuft, könnte der Heizstab komplett deaktiviert werden, wie dies im Mai und Ende Oktober bis Mitte November auch jeweils für 3 Wochen durchgeführt wurde. Das Temperaturniveau und die Energie konnten in diesen Zeiträumen problemlos bereitgestellt werden. Trotzdem könnte bei einer Arbeitszahl von über 3 und einem Heizstabanteil von 25% knapp 20% der elektrischen Energie eingespart werden. Die Empfehlung für diese Anlage ist daher, den Heizstab generell zu deaktivieren oder die Einstellungen so zu modifizieren, dass das Temperaturniveau der thermischen Desinfektion auch tatsächlich erreicht wird. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Wärmepumpe auch für die thermische Desinfektion den Grossteil der Energie liefert, und der Heizstab nur für das mit der Wärmepumpe nicht erreichbare Temperaturniveau eingesetzt wird. Im Idealfall wird der Heizstab direkt nach der WP eingeschaltet. Dies ist für eine Optimierung sehr wichtig.

Was kann aus dieser Messung für ein kostengünstiges Monitoring für den Warmwasser-Verbrauch gelernt werden und welche Auswertungen sind für Nutzer/Techniker wichtig zur Garantie eines effizienten Betriebs?

1. Bereits mit einem kostengünstigen Monitoring (ohne kalorische Messung) und einer standardisierten Aufzeichnung/Darstellung können wichtige Rückschlüsse auf suboptimalen Betrieb respektive Nutzerverhalten gezogen werden.
2. Das Vorgehen lässt auch Verbesserungsmöglichkeiten erkennen (wie in diesem Beispiel, dass der Heizstab immer direkt nach der Aufheizphase durch die Wärmepumpe einschalten soll). Gemäss Abbildung 13 ist ersichtlich, dass an den Tagen mit Heizstab (alle 7 Tage) die Wärmepumpe nur am 4. August lief. Entsprechend ist der Energieverbrauch für „Heizstab“ an diesem Tag tiefer.

5.3.2 Objekt Mehrfamilienhaus in Wald (ZH)

Das Objekt in Wald (ZH) ist eine Wohnung innerhalb eines neueren Mehrfamilienhauses (MFH), mit einer Energiebezugsfläche von 167 m², welche von 3 Personen bewohnt wird.

Daten Objekt MFH in Wald	
Energiebezugsfläche	167 m ²
Anzahl Personen	3
Wärmepumpe	Sole-Wasser
Heizleistung/ COP	1.7 kW / 3.4
Erdwärmesonde	Duplex 150 m
Elektroheizstab	2 kW
Warmwasserspeicher	200 l
Messperiode	1.6.-12.12.2018
Datenlogger	smart-me M-BUS Gateway



Abbildung 15: Daten des Messobjekts in Wald (links) und Frontansicht des Gebäudes (rechts)

Obwohl dieses Gebäude ein Mehrfamilienhaus ist, wird die Wohnung als „Einfamilienhaus“ betrachtet, denn jede Wohnung hat seine eigene Wärmepumpe und seinen eigenen Warmwasserspeicher. Die Heizung und Warmwassererwärmung erfolgt über eine erdgekoppelte Wärmepumpe. Die Sole-Wasser-Wärmepumpe hat eine Heizleistung von 1.7 kW. Die Wärmequelle besteht aus einer 150 m tiefen Duplex-Erdwärmesonde. Diese Wärmepumpe nutzt immer auch die Heissgase für die Warmwassererwärmung. Die Heissgasnutzung erfolgt durch einen Wärmetauscher, der den Warmwasserbereiter umläuft. Im Warmwasserbetrieb gibt das Kältemittel seine Wärme ans Trinkwarmwasser.

Im Heizbetrieb wird die Wärme noch immer an das Warmwasser abgegeben. Nach Passieren des Warmwasserbereiters wird jedoch die restliche Wärme zum Heizen genutzt. Das Warmwassersystem ist mit einem 200 l Warmwasserbereiter ausgestattet, in den ein Elektroheizstab eingebaut ist. Der Elektroheizstab sei in dieser Wohnung nicht eingeschaltet (wurde so kommuniziert; die Messung zeigte etwas anderes).

Messung

Der dafür notwendige Elektrizitätsbedarf kann mit Smart-me getrennt aufgezeichnet werden. Dazu wird beim Erwärmen des Trinkwassers mittels eines Relais auf Tarif 1 geschaltet. Analog wird beim Heizen auf Tarif 2 geschaltet. Die Wärmepumpe soll die Temperatur des Speichers auf 47 °C halten. Wird diese Temperatur um 5 °C unterschritten, so schaltet die Wärmepumpe ein. Diese erwärmt das Wasser bis auf 52 °C. Der Temperaturfühler des Warmwassers befindet sich direkt im Speicher auf halber Höhe.

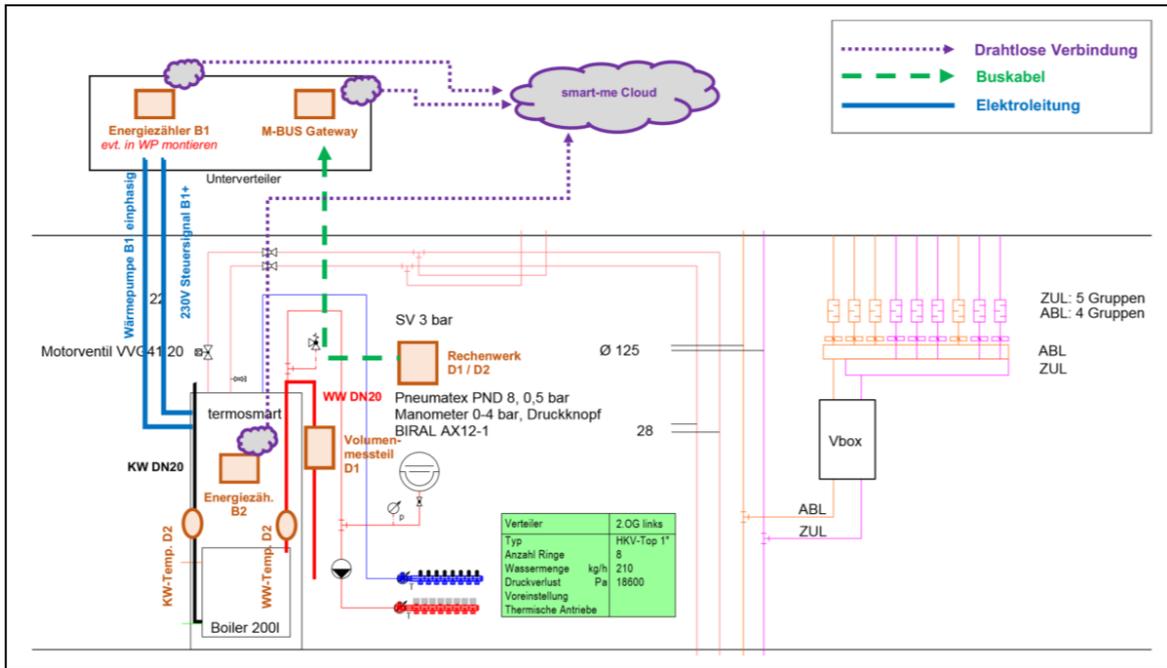


Abbildung 16: Messsystem des Messobjekts MFH Wald

Auswertung der Messdaten

Die Installation der Messgeräte von Smart-me erfolgte am 4.4.2018. Da es Probleme bei der Aufzeichnung des Warmwasserenergieverbrauchs gab, wurden für die Auswertungen die Messdaten vom 1.6.2018 – 30.11.2018 zugrunde gelegt.

Abbildung 17 links zeigt die elektrischen Anteile von Wärmepumpe und Heizstab für den Heiz- und Warmwasserbetrieb. Da hier nur die Messdaten des Monats November Heizbetrieb aufweisen, fällt hier der Warmwasseranteil mit 70% deutlich grösser aus. Die thermische Energie des Warmwasserbetriebs für 6 Monate erreicht 5.1 kWh/(m²a). Wird der Wert auf ein Jahr hochgerechnet, so liegt der Warmwasserbedarf tendenziell unter dem Benchmark des SIA Merkblatts 2024.

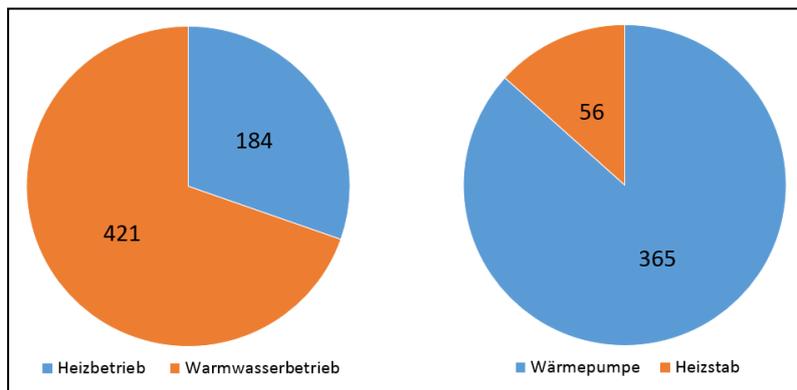


Abbildung 17: Elektrische Anteile für Heiz- und Warmwasserbetrieb (links) und Aufteilung der gesamten elektrischen Energie im Warmwasserbetrieb auf Wärmepumpe und Heizstab (rechts) der Anlage in Wald für die Monate Juni – November.

Die Auswertung der Monatswerte (Abbildung 18) zeigt, dass der gesamte Elektrizitätsverbrauch zur Erwärmung des Wassers in der Nähe des Benchmarks für ein Einfamilienhaus liegt. Die einzige Ausnahme stellt der Monat Oktober dar. Der Gesamtverbrauch wird unterteilt in den Anteil der Wärmepumpe und jenen des Elektroheizstabes. Dabei ist zu beobachten, dass die Wärmepumpe 86% des Gesamtanteils ausmacht, der Elektroheizstab nur 14%.

Wird der Verbrauch der bisher gemessenen Daten auf ein Jahr hochgerechnet, so wird eine Warmwasserkennzahl von $14.6 \text{ kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2\text{a})$ erreicht. Diese liegt $1.1 \text{ kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2\text{a})$ über der Kennzahl aus der SIA 2024. Im Monat Oktober und November ist aus dem Diagramm ersichtlich, dass der Anteil des Elektroheizstabes stark erhöht ist.

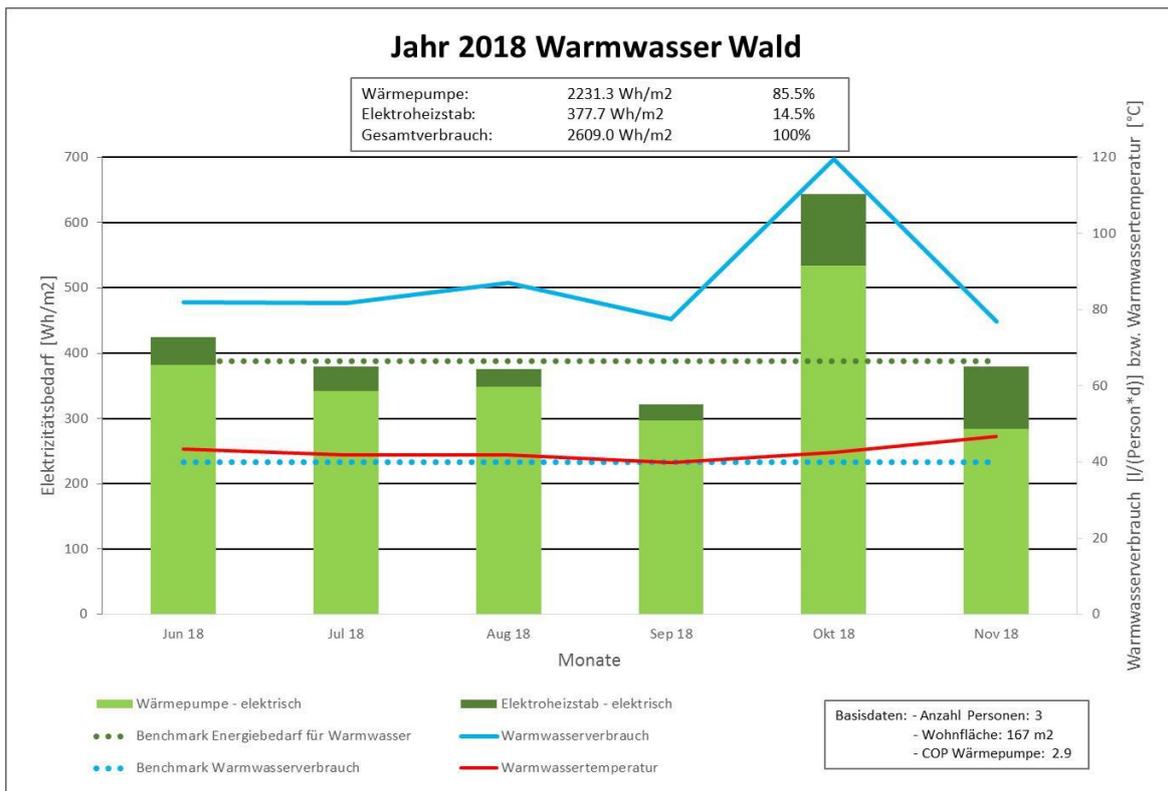


Abbildung 18: Jahresdiagramm des Messobjekts MFH Wald (nur sieben Monate vorhanden)

Der Warmwasserverbrauch liegt mit durchschnittlich $80 \text{ l}/(\text{Person}\cdot\text{d})$ doppelt so hoch wie der Benchmark. Dieser hohe Verbrauch könnte darauf zurück zu führen sein, dass die Temperatur des Warmwassers nur bei ca. 40°C liegt. Um bei der Zapfung die gleiche Warmwassertemperatur bereitzustellen muss praktisch nur noch wenig Kaltwasser zugemischt werden, was die Warmwassermenge erhöht. Beim Vergleich der einzelnen Monate erkennt man, dass der Warmwasserverbrauch einigermaßen konstant ist. Wiederum im Oktober ist der Warmwasserverbrauch erhöht. Die monatlich gemittelte Warmwassertemperatur im Monat liegt bei ca. 40°C . Für ein detaillierteres Verständnis der Vorgänge können nun Monats- und Tagesdiagramme betrachtet werden.

Die Monatsdiagramme mit dem deutlich höheren Elektrizitätsverbrauch zeigen, dass der erhöhte Verbrauch vor allem an 4 Tagen (Oktober) und an nur einem Tag im November entsteht. Interessanterweise korrelieren die Warmwassermengen an diesen Tagen nicht mit dem Verbrauch.

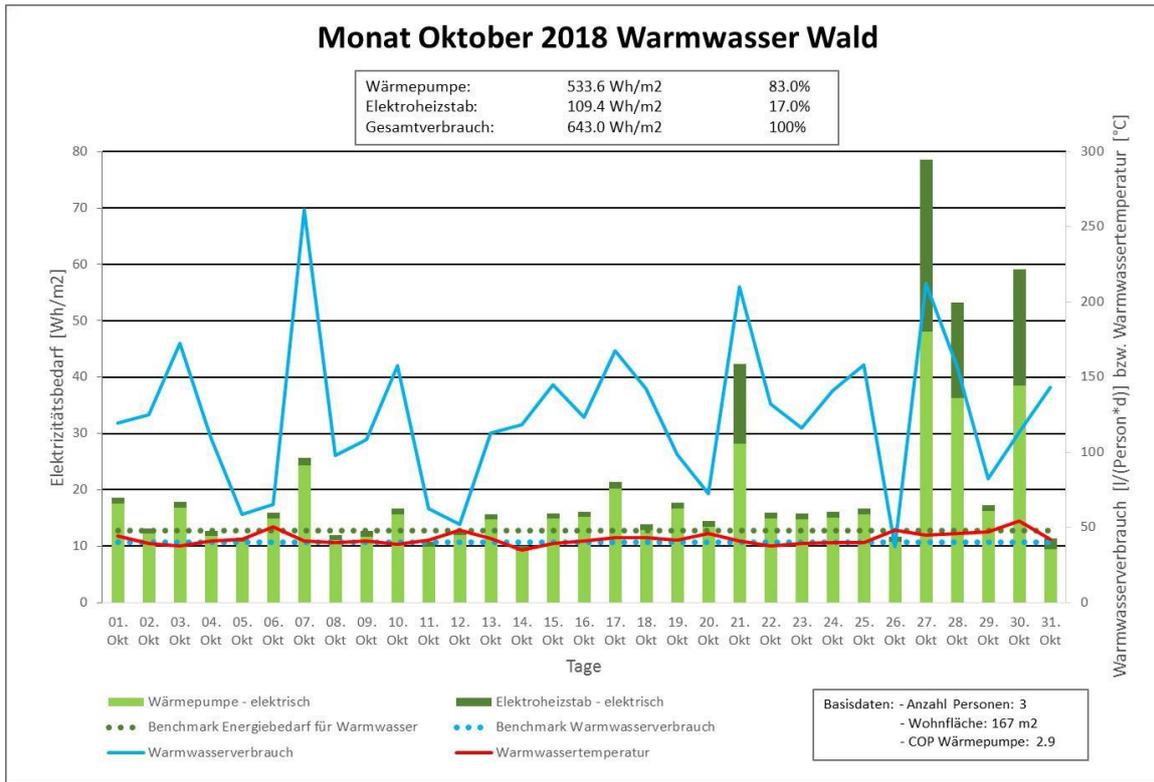


Abbildung 19: Monatsdiagramm Oktober des Messobjekts MFH Wald

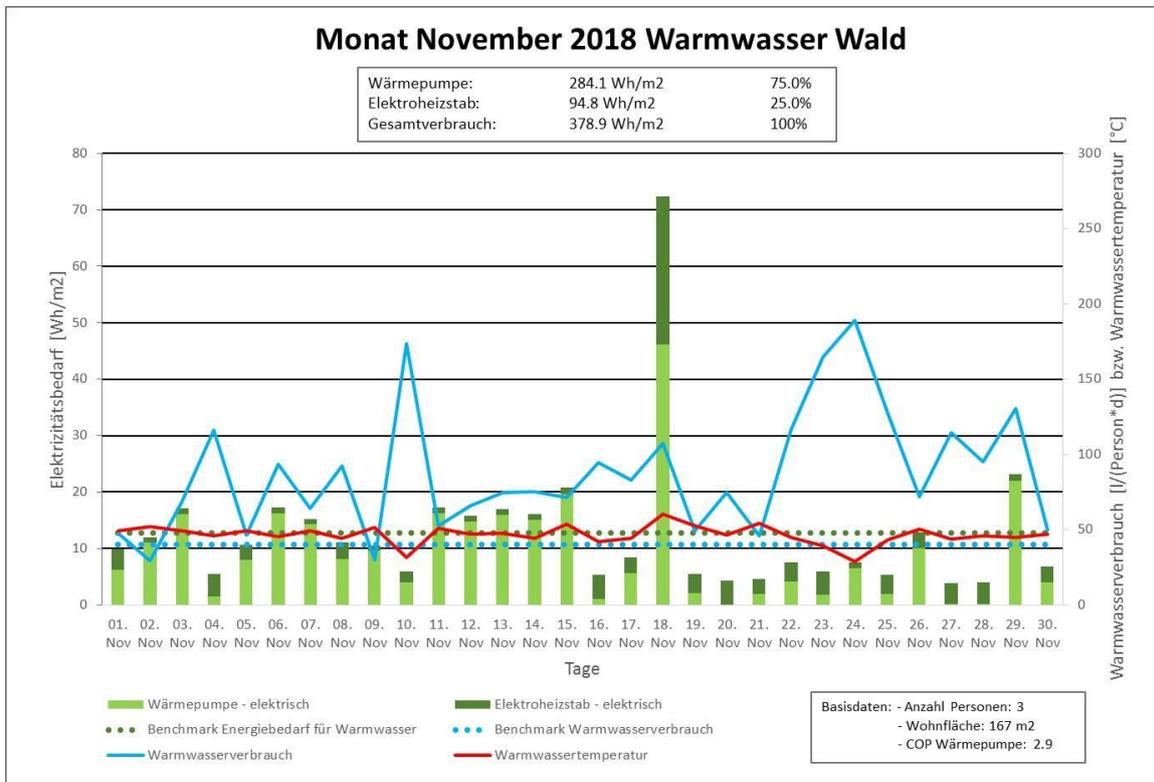


Abbildung 20: Monatsdiagramm November des Messobjekts MFH Wald

Auch die Warmwassertemperaturen korrelieren nicht (oder nur im November) mit dem Stromverbrauch. Interessant ist zudem, dass der Elektroheizstab täglich aktiviert ist, aber der anteilige Stromverbrauch sehr unterschiedlich hoch ist.

Auf Grund eines Gesprächs mit dem Systemlieferant wird vermutet, dass der Heizstab einen Stand-by-Verbrauch hat. Die Tage mit dem hohen Elektroheizstabanteil sind jene, wo die Bewohner den Heizstab manuell aktiviert hatten. Zu erkennen ist zudem, dass an Tagen mit hohem Elektroheizstabanteil auch der Verbrauch der Wärmepumpe höher ist. Dafür könnte der hohe Warmwasserverbrauch und die damit verbundene Temperatursenkung verantwortlich sein. Denn bei einer Unterschreitung der Speichertemperatur von 35°C wird die Raumheizsperre aktiv.

Für weitere Erklärungen wird das Tagesdiagramm beigezogen.

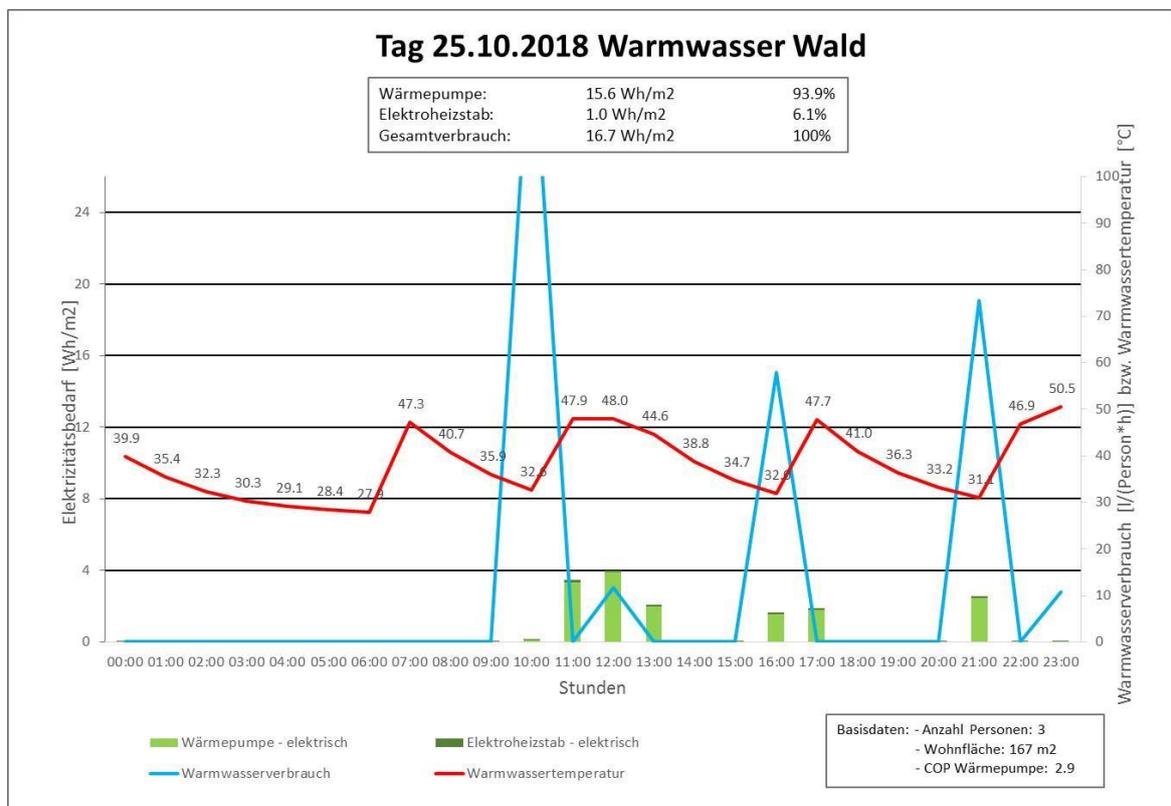


Abbildung 21: Tagesdiagramm 25.10.18 des Messobjekts MFH Wald

Der Wasserverbrauch war gemäss Monatsdiagramm an diesen zwei Tagen (25. und 28.10.18) weitgehend gleich hoch. Der Stromverbrauch aber 3x höher als am 28.10.18. Der Grund ist, dass am einen Tag mit Heizstab und am anderen Tag ohne Heizstab geheizt wurde. Zudem wurde eine deutlich höhere Temperatur (58.5 °C) beim Betrieb mit Heizstab erreicht.

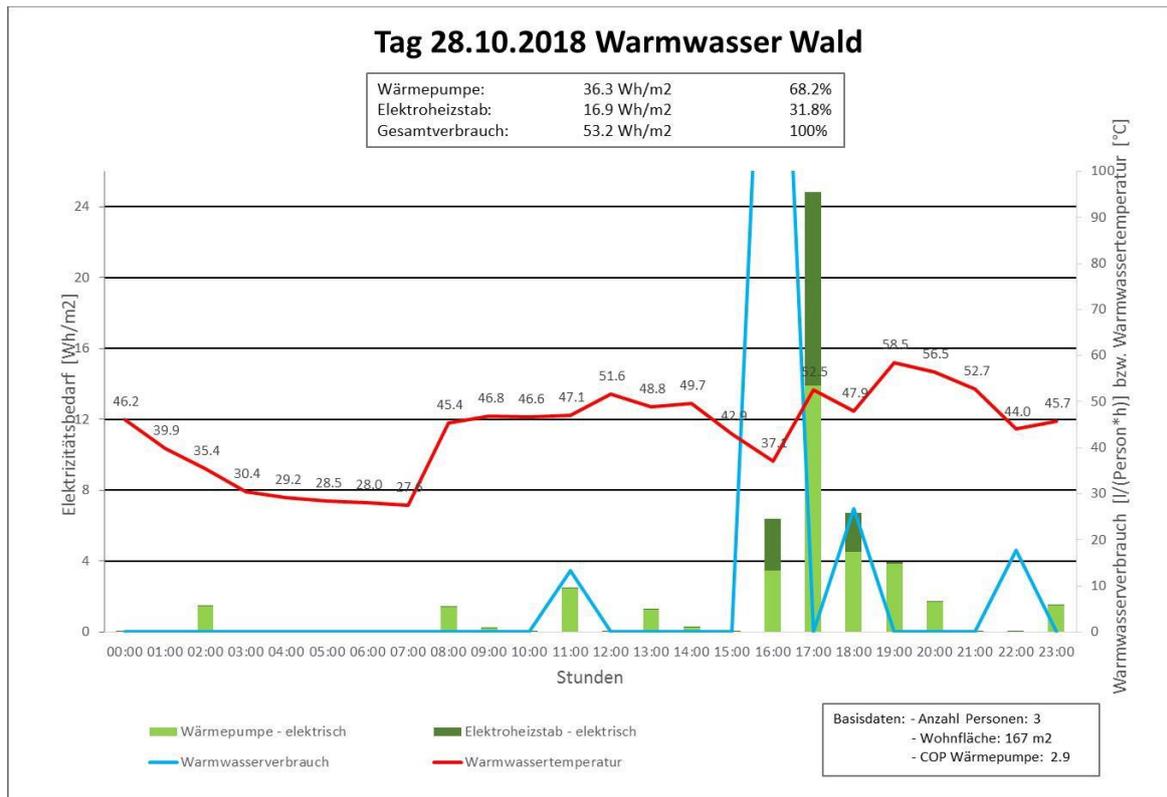


Abbildung 22: Tagesdiagramm 28.10.18 des Messobjekts MFH Wald

Fazit zu diesem Objekt:

Die Diagramme ermöglichen sehr vielschichtige Erkenntnisse und Interpretationen. Bei dem hier eingesetzten Wärmepumpensystem konnte der Energieverbrauch für Warmwasser und für Heizung systembedingt messtechnisch nicht sauber getrennt werden. Das heisst es besteht eine Unsicherheit zur Genauigkeit der Messwerte. Dies ist zu beachten. Insgesamt weist dieses Objekt trotz häufigem Einsatz des Heizstabes einen Energieverbrauch für Warmwasser im Bereich des Benchmarks auf. Hingegen muss auch gesagt werden, dass durch eine Optimierung des Heizstabsbetriebs sehr viel Energie gespart werden könnte. Dazu sollte die Speichertemperatur etwas erhöht werden.

5.3.3 Objekt Mehrfamilienhaus in Horgen

Das Objekt in Horgen ist ein neueres Mehrfamilienhaus (MFH), mit einer Energiebezugsfläche von 500 m², welche von 8 Personen bewohnt wird.

Daten Objekt MFH Horgen ZH	
Energiebezugsfläche	500 m ² (4 Wohnungen)
Anzahl Personen	7 + 1 Kleinkind
Wärmepumpe	Sole-Wasser
Heizleistung	
Erdwärmesonde	Duplex 2x220 m
Elektroheizstab	ja
Warmwasserspeicher	650 l
Messperiode	2. Mai bis Mitte Nov. 2018
Datenlogger	M-Bus Master MultiPort 250D



Abbildung 23: Daten des Messobjekts in Horgen (links) und Ansicht des Gebäudes (rechts)

Die Heizung und Warmwassererwärmung erfolgt über eine zentrale erdgekoppelte Wärmepumpe. Das Warmwassersystem ist mit einem 650 l Warmwasserspeicher ausgestattet, in den ein Elektroheizstab eingebaut ist. Damit eine Legionellenbildung verhindert werden kann, wird der Speicher auf 60 °C erwärmt. Dazu bekommt der Elektroheizstab jeden Mittwoch und Sonntag von 14:00 – 15:30 Uhr das Signal zum Heizen. Während dieser Zeit heizt der Elektroheizstab und hält die Temperatur über 60 °C.

Für die Warmhaltung des Wassers in den Leitungen wurde eine Zirkulationspumpe eingebaut. Diese kann auf drei verschiedenen Stufen betrieben werden. Zur Bestimmung des exakten Elektrizitätsbedarfs jeder Stufe wurden Messungen durchgeführt. Die thermischen Verluste der Zirkulation müssen mit der Wärmepumpe und dem Elektroheizstab zusätzlich produziert werden. Dieser zusätzliche Elektrizitätsbedarf wird der Zirkulationspumpe belastet. (Dieses Vorgehen ist jedoch zu aufwändig. Der Strombedarf der Zirkulationspumpe ist klein und soll deshalb in Zukunft nicht erfasst werden; siehe weiter unten)

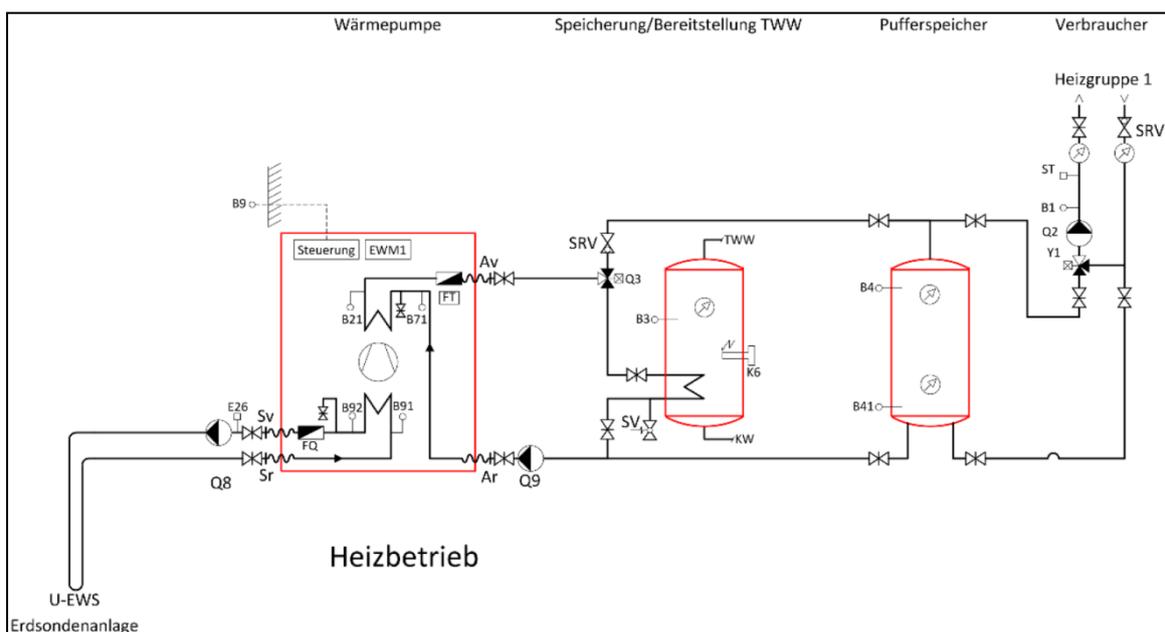


Abbildung 24: Heizungsschema des Messobjekts MFH Horgen

Auswertung der Messdaten

Diese Anlage verfügt über ein eigenes, fest installiertes Messsystem. Die Messtechnik wurde im April 2018 installiert, der Mai wurde zur Inbetriebnahme genutzt. Die Messperiode dauerte vom 1.6.2018 – 30.11.2018.

Die Auswertung der Monatswerte (Abbildung 25) zeigt, dass der gesamte Elektrizitätsverbrauch zur Erwärmung des Wassers nur die Hälfte des Benchmarks ausmacht.

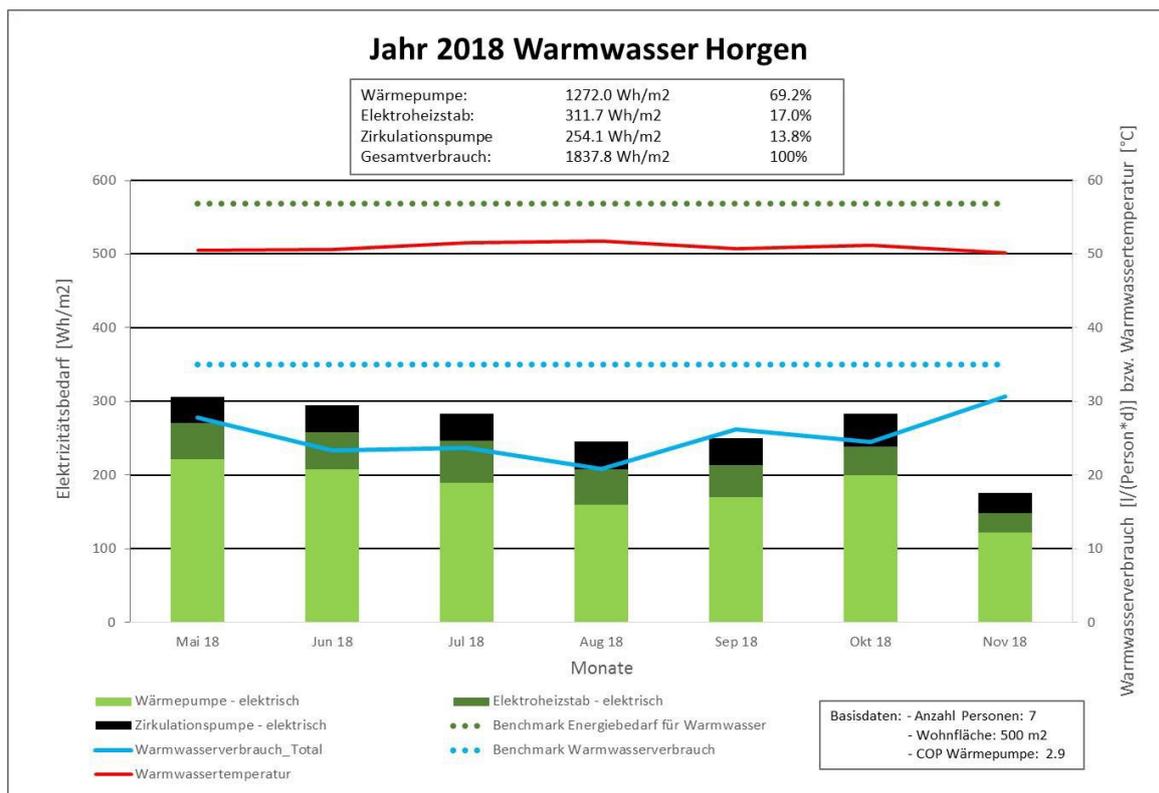


Abbildung 25: Jahresdiagramm des Messobjekts MFH Horgen (Die Werte „Zirkulationspumpe“ sind hier inklusive thermische Verluste der Zirkulation, was für diese Darstellung grundsätzlich nicht beabsichtigt ist!)

Durch die Hochrechnung der bisherigen Messdaten wird eine Warmwasserkennzahl von 9.7 kWh_{th}/(m²a) erreicht. Betrachtet man den Gesamtverbrauch der elektrischen Energie, so ist zu erkennen, dass die Wärmepumpe mit 69% den grössten Anteil des Verbrauchs ausmacht. Der zweitgrösste Verbraucher ist der Elektroheizstab mit 17%. Beachtet man, dass der Elektroheizstab nur mittwochs und sonntags für zwei Stunden in Betrieb ist, so ist dieser Energieverbrauch sehr hoch. Am geringsten ist mit 14% der Energieverbrauch der Zirkulation. Dabei ist der elektrische Energieverbrauch der Zirkulationspumpe vernachlässigbar klein.

Ins Gewicht fallen die durch die Zirkulation erhöhten thermischen Verluste. Aus dem Liniendiagramm ist zu erkennen, dass der gesamte Warmwasserverbrauch aller Wohnungen zusammen unter dem Benchmark liegt. Pro Person werden nur 25 l/d verbraucht. Vergleicht man die einzelnen Monate miteinander, so sind nur geringe Schwankungen zu erkennen. Tendenziell ist der Warmwasserverbrauch in den Sommermonaten leicht tiefer. Grund dafür könnte sein, dass bei warmen Tagen weniger warm oder weniger lang geduscht wird.

Die Warmwassertemperatur liegt bei durchschnittlich 51 °C, was deutlich unter dem Sollwert von 60 °C liegt. Hier werden jedoch nur die Monatsmittelwerte betrachtet. Es kann also durchaus sein, dass die Solltemperatur von 60 °C während einer Stunde erreicht wird. Dies kann in den Tagesdiagrammen überprüft werden.

Für ein detaillierteres Verständnis der Vorgänge können nun Monats- und Tagesdiagramme betrachtet werden.

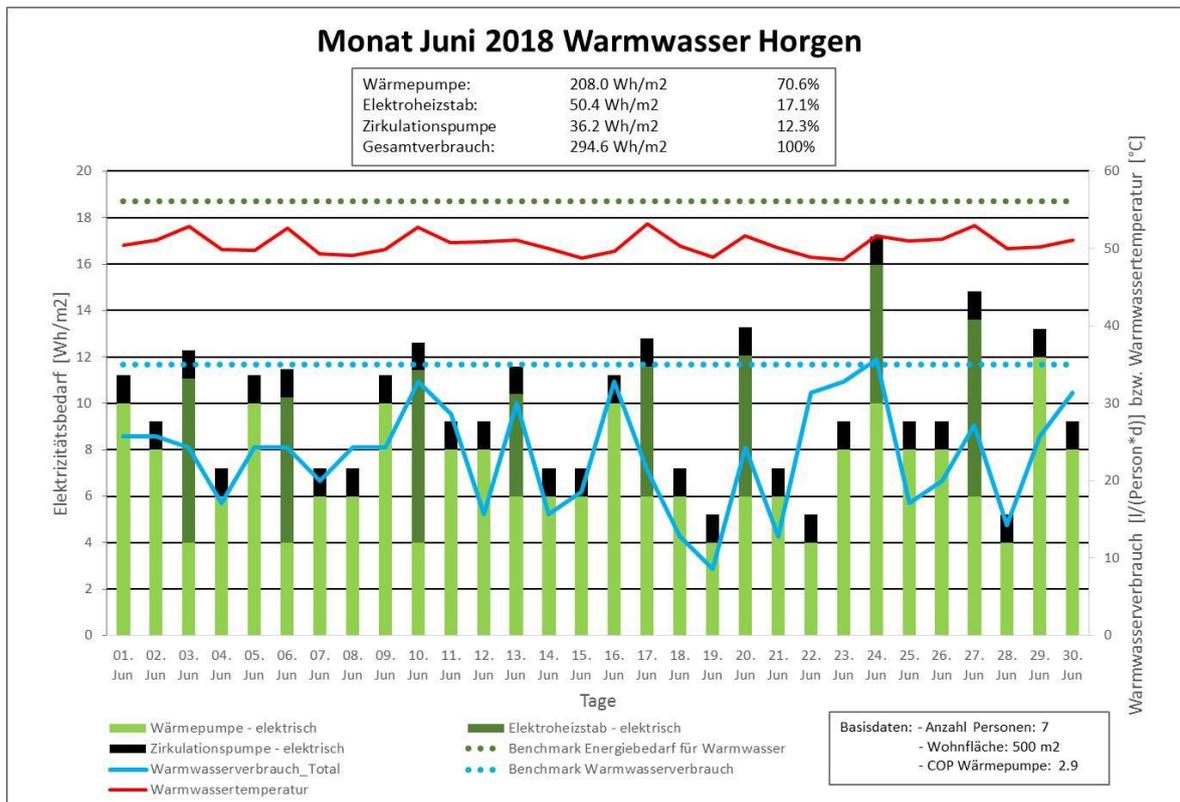


Abbildung 26: Monatsdiagramm Juni des Messobjekts MFH Horgen

Die Monatsdiagramme Abbildung 26 und Abbildung 27 zeigen, dass die Anteile der einzelnen Komponenten am elektrischen Energieverbrauch prozentual zum Gesamtverbrauch nahezu gleich verteilt sind, wie in Abbildung 25. Ein grösserer Unterschied ist im Oktober zu erkennen. Im Vergleich zu den anderen Monaten, in denen der Elektroheizstab jeweils mittwochs und sonntags gleich viel elektrischen Energiebedarf hat, hat der Elektroheizstab im Monat Oktober am Sonntag einen viel kleineren Verbrauch. Dadurch kann der Anteil des Elektroheizstabes um 12 Wh_{el}/m² gesenkt werden. Nach Absprache mit dem Betreiber wurde festgestellt, dass die Zeitschaltuhr für die Sonntage einen Wackelkontakt hatte. Betrachtet man den elektrischen Energiebedarf der Zirkulationspumpe so kann man erkennen, dass sie im Oktober 7 Wh_{el}/m² mehr Verbrauch hat als in den vorherigen Monaten.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass Anfangs Oktober die Zirkulationspumpe von Stufe 1 auf Stufe 2 umgestellt wurde. Die Zirkulationspumpe läuft zwar in der Stufe 2 weniger lang, ist dafür aber stärker eingestellt. (Dies ergab eine Rückfrage beim Betreiber).

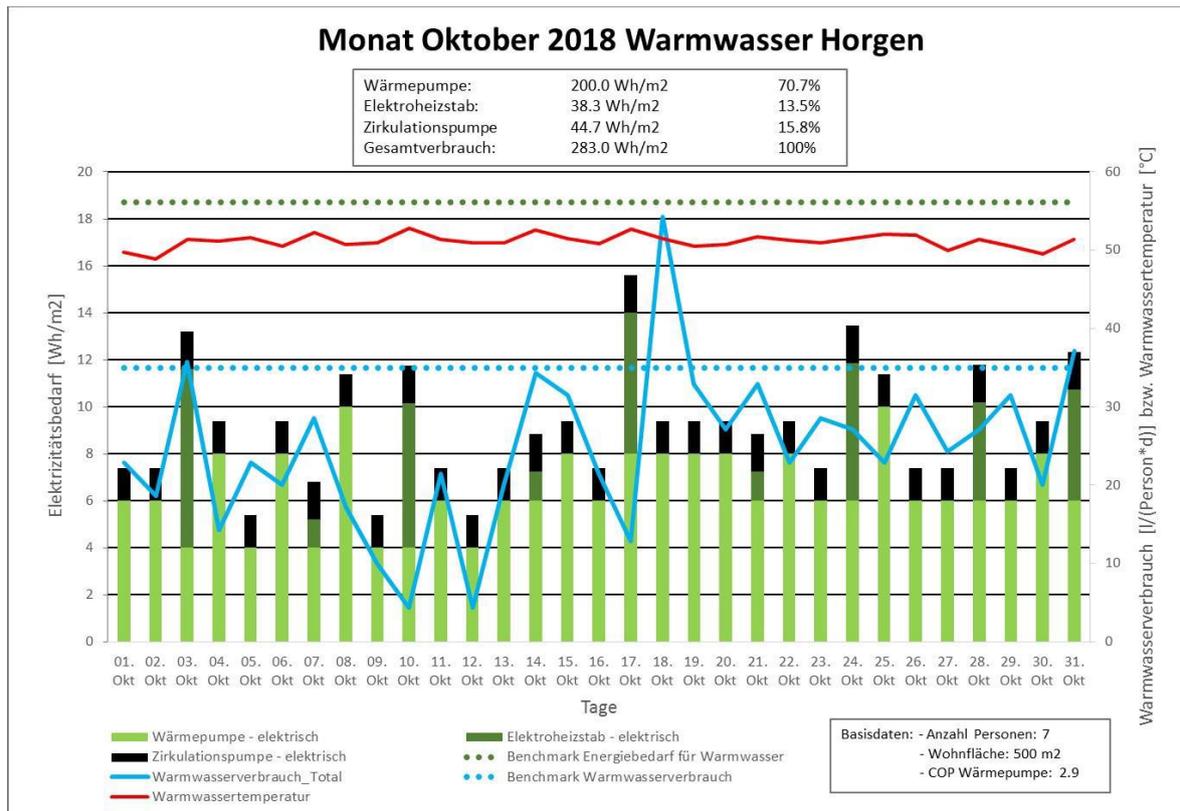


Abbildung 27: Monatsdiagramm Oktober des Messobjekts MFH Horgen

Der Warmwasserverbrauch liegt mit einigen Ausnahmen unter dem Benchmark für ein Mehrfamilienhaus. Dies liegt am sparsamen Verhalten der Nutzer. Vergleicht man die einzelnen Tage miteinander, so ist keine Regelmässigkeit im Warmwasserverbrauch zu erkennen, was nicht ungewöhnlich ist.

Aus den Monatsdiagrammen kann man erkennen, dass die durchschnittliche Tagestemperatur bei ca. 50 °C liegt. Bei Betrieb des Elektroheizstabes steigt die Temperatur stark an.

Vielleicht ergibt das Tagesdiagramm (Abbildung 28ff) weitere Erklärungen? Zur Messung der erreichbaren Temperaturen wurden zwei Tage mit gleichem Elektrizitäts- und Warmwasserverbrauch ausgewählt.

Pro Tag beträgt der Elektrizitätsverbrauch durchschnittlich 5.5 kWh. Aus den Tagesdiagrammen ist zu erkennen, dass die einzelnen Komponenten nicht die ganze Zeit laufen. Die Wärmepumpe läuft sobald sie 6 °C unter der Soll-Temperatur liegt.

Der Elektroheizstab und die Zirkulationspumpe werden durch einen Timer eingestellt. Der Verbrauch des Elektroheizstabes an zwei Tagen im Oktober zeigt: am 24.10.2018 ist der Elektroheizstab länger in Betrieb als am 7.10.2018. Betrachtet man die erreichbaren Temperaturen an beiden Tagen, so erkennt man, dass am 24.10.2018 die Temperatur während einer Stunde auf über 60°C liegt. Am 7.10.2018 hingegen wird die 60°C Temperatur nicht erreicht und die thermische Desinfektion ist nicht gewährleistet.

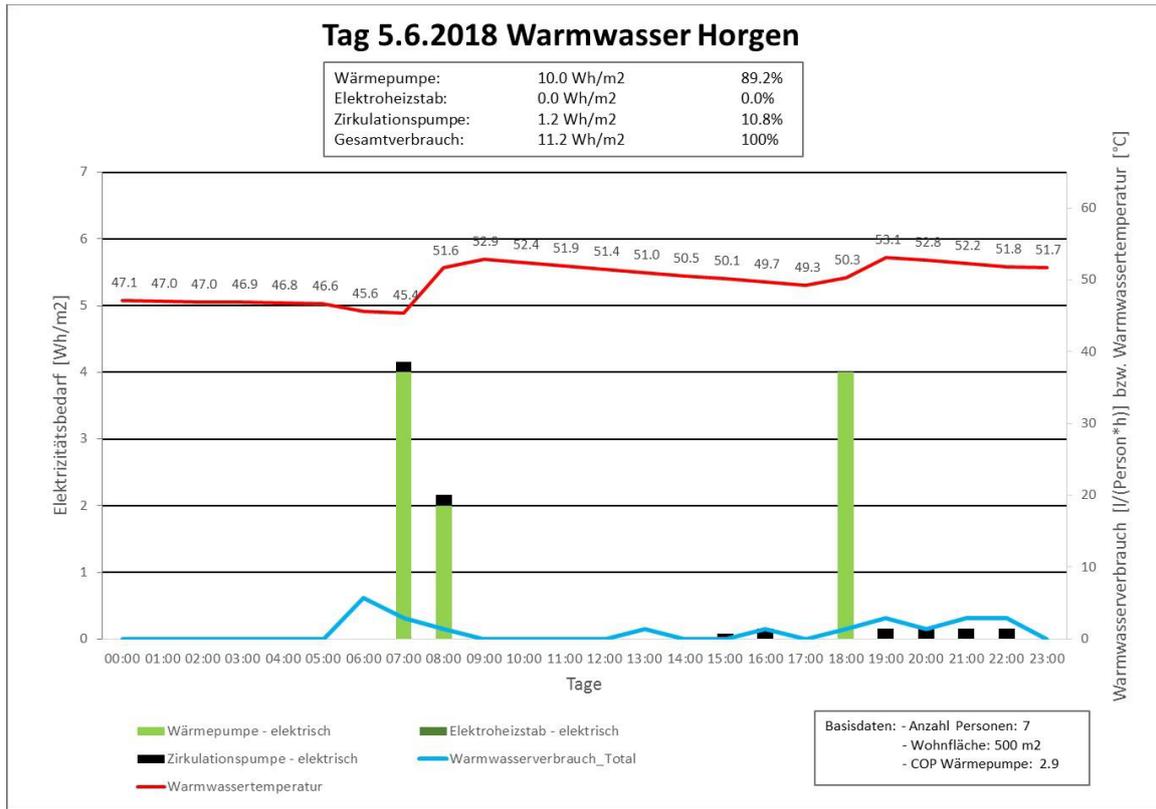


Abbildung 28: Tagesdiagramm 5.6.18 des Messobjekts MFH Horgen

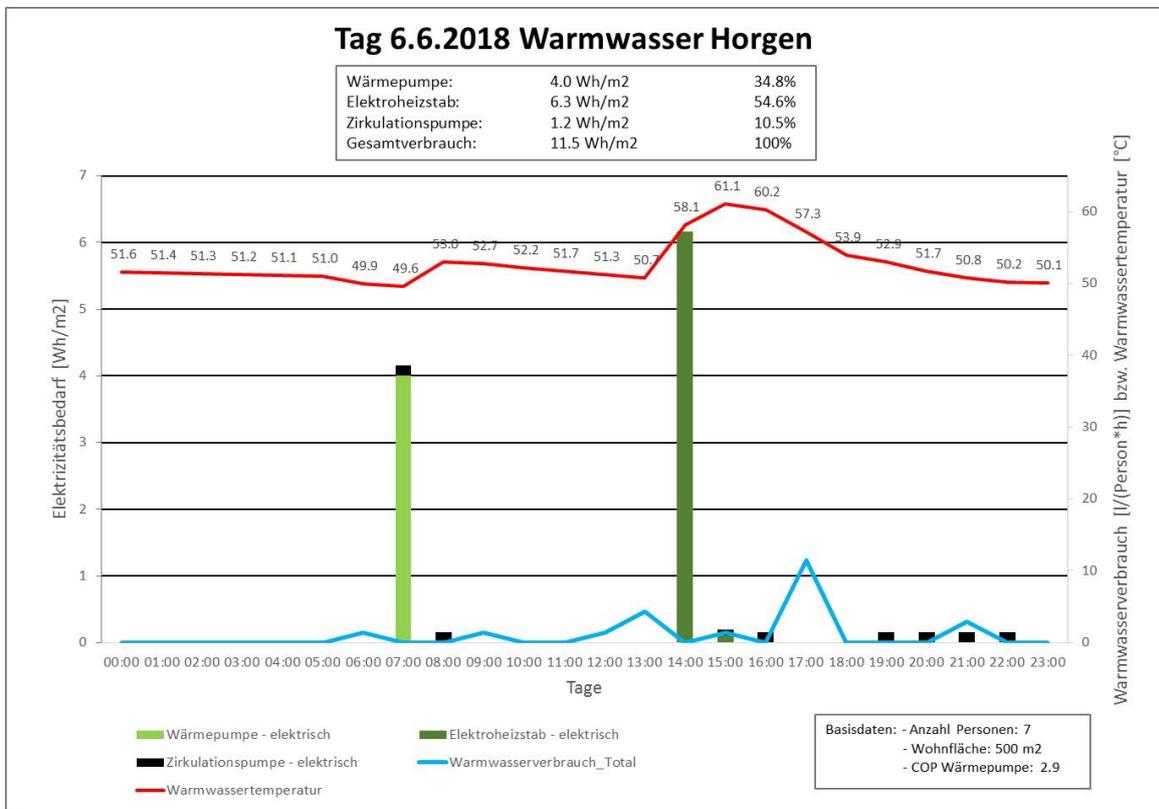


Abbildung 29: Tagesdiagramm 6.6.18 des Messobjekts MFH Horgen

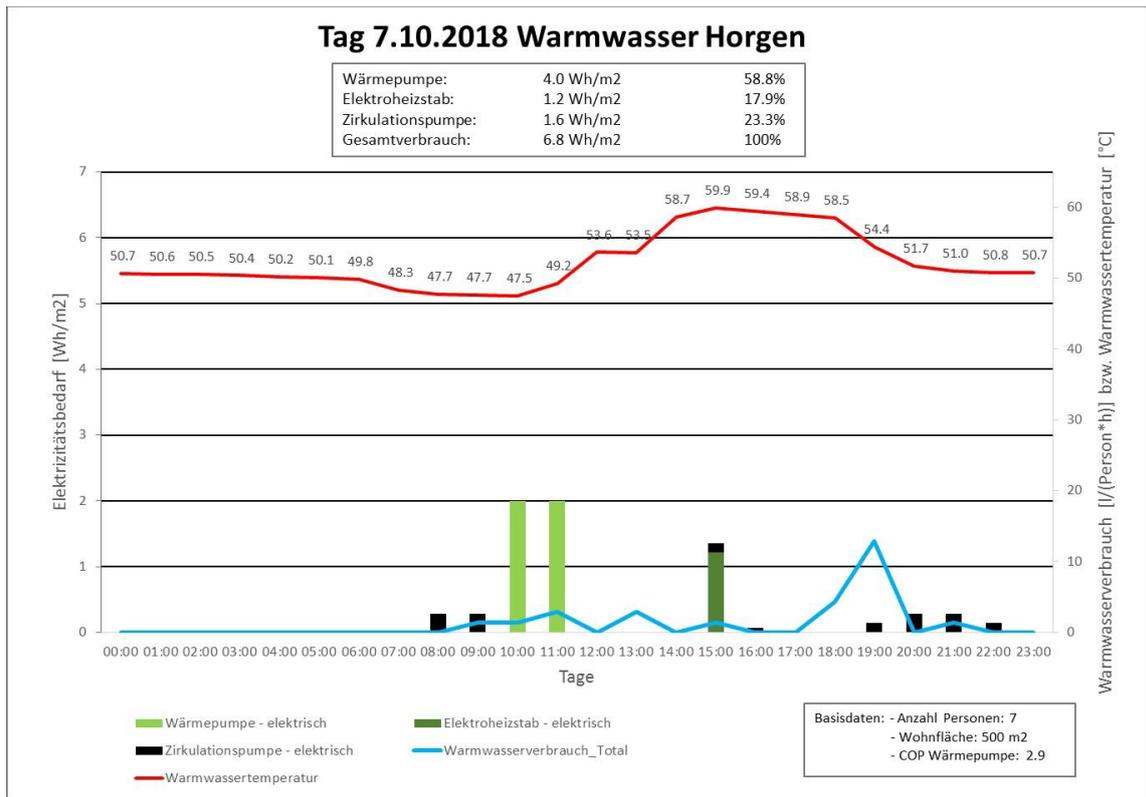


Abbildung 30: Tagesdiagramm 7.10.18 des Messobjekts MFH Horgen

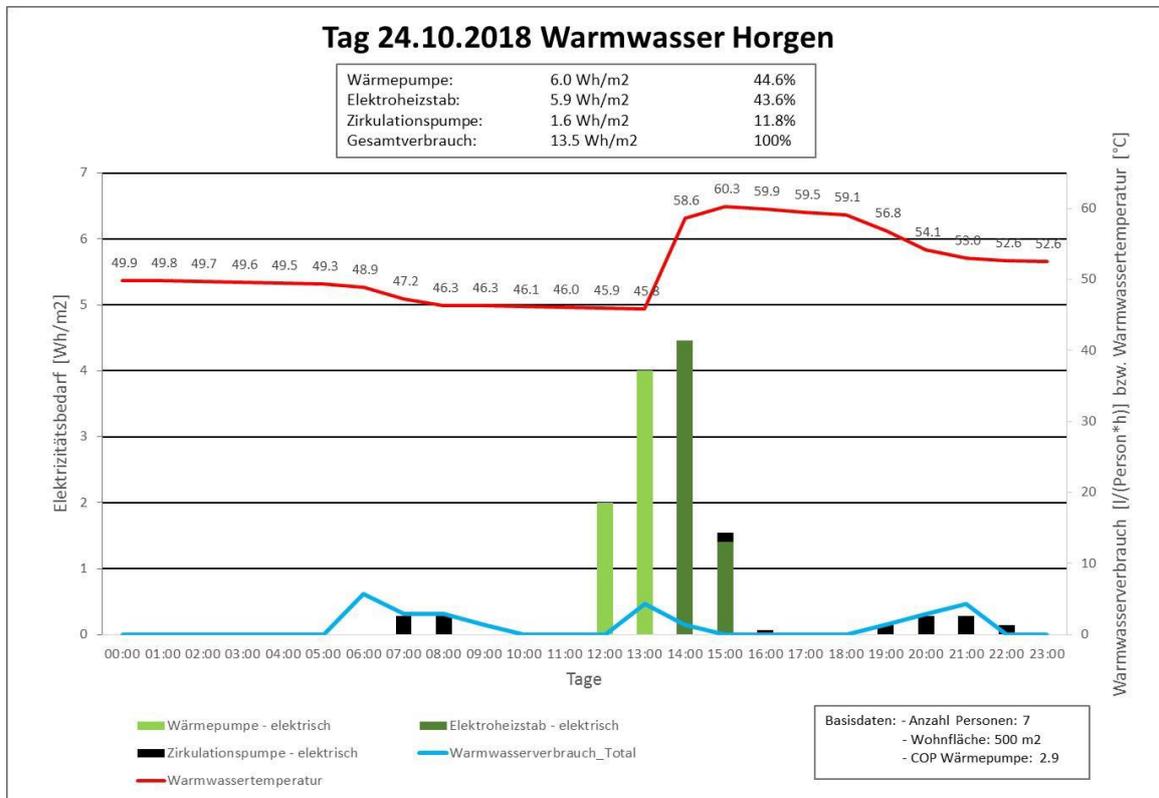


Abbildung 31: Tagesdiagramm 24.10.18 des Messobjekts MFH Horgen

Unter der Woche konzentriert sich der grösste Warmwasserverbrauch von 5:00 bis 10:00 Uhr und 18:00 bis 22:00 Uhr, sowie über Mittag. Kleinere Wassermengen treten aber auch über den ganzen

Tag verteilt auf. Diese können jedoch nicht gemessen werden, da der Wasserzähler nur auf 10 l genau messen kann. Aus dem Tagesdiagramm (z.B. Abbildung 31) ist ersichtlich, dass mit der Wärmepumpe eine Temperatur von 53 °C erreicht werden kann. Wird der Elektroheizstab eingeschaltet, so erreicht das Wasser eine Temperatur von 60 °C.

Der Anteil der Zirkulationspumpe am gesamten Elektrizitätsverbrauch ist gering, bewirkt aber viel. Durch die Zirkulation während dem Erwärmen des Wassers, wird das Wasser gleichmässig aufgewärmt und es kann während der Legionellenschaltung im gesamten Kreislauf eine Temperatur von 60 °C garantiert werden. Zudem kann das Warmwasser durch die Zirkulation immer direkt gezapft werden und der Kaltwasserverbrauch wird gesenkt. Der erhöhte Stromverbrauch durch die Zirkulation ist aus diesen Gründen vertretbar.

Fazit zu diesem Objekt:

Dieses Objekt läuft recht optimal. Der Heizstab sichert die thermische Desinfektion und damit (nach heutigem Stand des Wissens) den Schutz vor Legionellen. Dies ist hier auch notwendig, da sich das Wasser länger als 24 h im Speicher befindet.

5.3.4 Objekt Wohn- und Bürohaus in Uster (Uster 2)

Das Objekt Wohn- und Bürohaus in Uster wurde 2014 bezogen. Es handelt sich um ein Mehrfamilienhaus, mit einer Energiebezugsfläche von 839 m², und einem Gewerbeteil (Büros) von 366 m².

Daten Objekt MFH Uster ZH	
Energiebezugsfläche	839 m ² (7 Whg), 366 m ² Büro
Anzahl Personen	unbekannt
Wärmepumpe	Sole-Wasser
Heizleistung	32 kW
Erdwärmesonde	Duplex 11 x 80 m
Elektroheizstab	ja
Warmwasserspeicher	1000 l
Begleitheizband	1*90 m, 1*30 m
Messperiode	Juli-Dez 2015



Abbildung 32: Daten des Messobjekts „Uster 2“ in Uster (links) und Ansicht des Gebäudes (rechts)

Die Heizung und Warmwassererwärmung erfolgt über eine zentrale erdgekoppelte Wärmepumpe. Das Warmwassersystem ist mit einem 1000 l Warmwasserspeicher ausgestattet, in den ein Elektroheizstab eingebaut ist. Damit eine Legionellenbildung verhindert werden kann, wird der Speicher auf 60 °C erwärmt.

Für die Warmhaltung des Wassers in den Leitungen sind zwei Begleitheizbänder eingebaut. Diese Begleitheizbänder waren zuerst, obwohl korrekt ausgeschrieben, ohne jegliche Regelung eingebaut. In verschiedenen Optimierungsschritten und dem Einbau der Regelung konnte der Stromverbrauch derselben massiv gesenkt werden.

Auswertung der Messdaten

Diese Anlage wurde in den Jahren 2014 und 2015 gemessen. Für diese Arbeit wurden die Messdaten erneut ausgewertet.

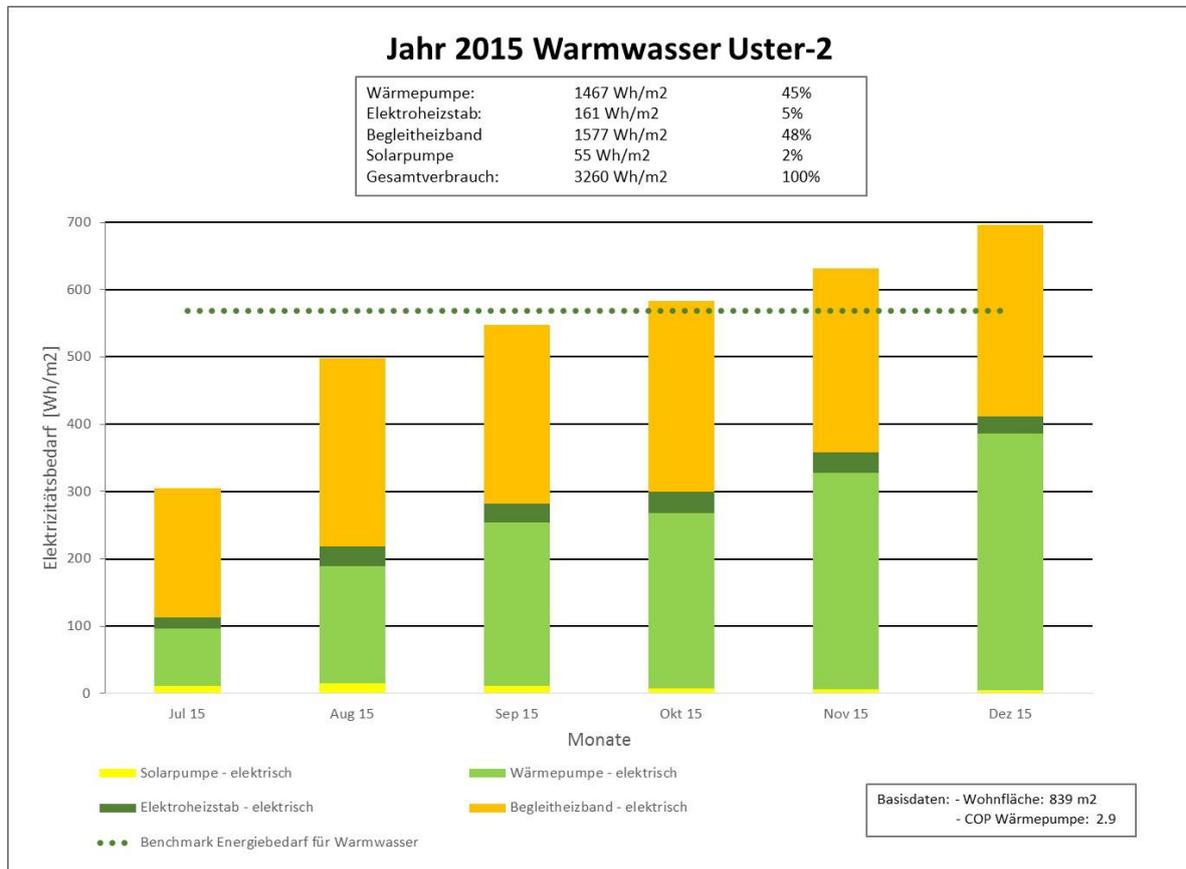


Abbildung 33: Jahresdiagramm des Messobjekts MFH Uster

Aus dem Jahresdiagramm ist zu erkennen, dass in den Wintermonaten der Elektrizitätsbedarf steigt und sogar den Benchmark überschreitet. Betrachtet man die einzelnen Komponenten, so fällt auf, dass hauptsächlich der Elektrizitätsbedarf der Wärmepumpe im Winter ansteigt. Dieser Anstieg ist mit dem zunehmenden Wegfall der thermischen Solarenergie (nicht gemessen) zu erklären. Der Anteil des Begleitheizbands ist mit rund 45% bis 60% des Gesamtelektroverbrauchs beträchtlich. Der Anteil des Elektroheizstabes beträgt 5% und jener der Solarpumpe nur 2% (über die sechs gemessenen Monate gemittelt).

Durch die Hochrechnung der bisherigen Messdaten auf ein Jahr wird eine Warmwasserkennzahl von 6.5 kWh/m² erreicht. Damit liegt der Verbrauch leicht unter dem Benchmark von 6.9 kWh/m² resp. 575 Wh/m² pro Monat).

Die Warmwassertemperatur wurde bei diesem Objekt leider nicht erfasst und stand daher für die Auswertung nicht zur Verfügung.

Für ein detaillierteres Verständnis der Vorgänge wird wiederum das Monatsdiagramm betrachtet.

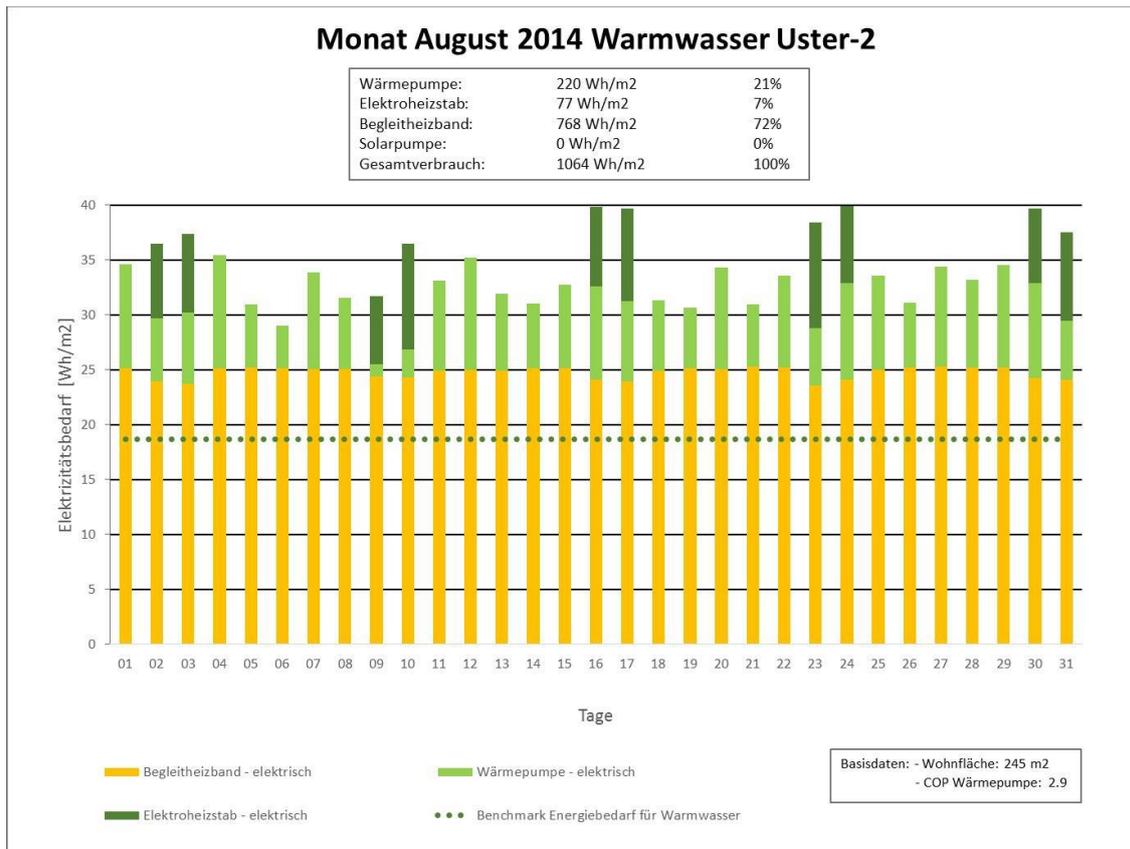


Abbildung 34: Monatsdiagramm August 2014 des MFH Uster (vor Optimierung der Begleitheizung)

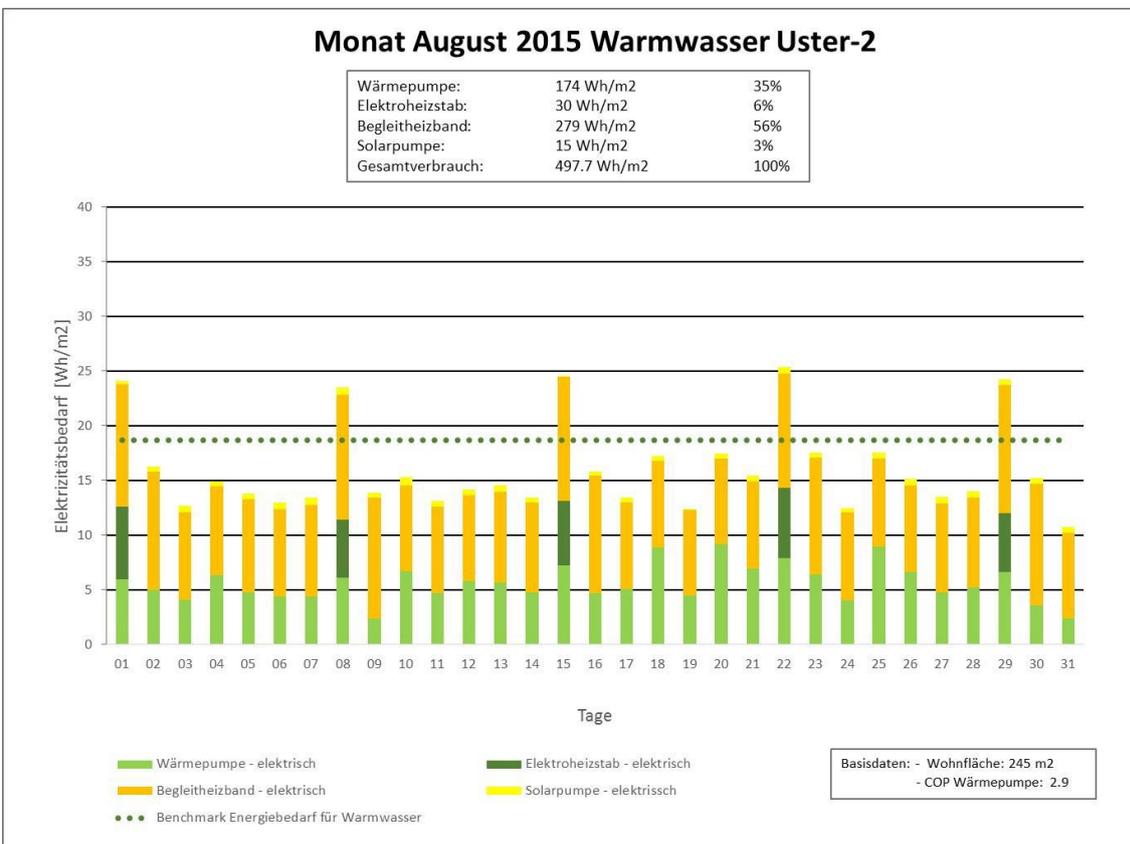


Abbildung 35: Monatsdiagramm August 2015 des MFH Uster (nach Optimierung der Begleitheizung)

Die Monatsdiagramme zeigen sehr schön die periodische Desinfektion (1 x wöchentlich) des Warmwassers mittels Heizstab. Der Vergleich zwischen August 2014 und 2015 zeigt sehr schön die Auswirkungen der Optimierung. Folgende Massnahmen wurden umgesetzt:

Als Optimierung wurde die Haltetemperatur des Begleitheizbandes auf 40 °C reduziert. Zusätzlich wurde eine Steuerung eingebaut, wodurch die Betriebszeiten des Begleitheizbandes auf das Nutzerverhalten abgestimmt wurden. Dadurch konnte der Elektrizitätsbedarf des Begleitheizbandes stark reduziert werden.

Fazit zu diesem Objekt:

Es handelt sich um das einzige Objekt mit Begleitheizband. Dieses Begleitheizband (und auch der Heizstab) wurden im Auftrag der Bauherrschaft durch die Planer zusammen mit Fachhochschul-Studenten in zwei Schritten während des ersten Betriebsjahres optimiert und im Energieverbrauch verbessert. Trotzdem zeigen die Auswertungen, dass mehr als die Hälfte des Stromverbrauchs für Warmwasser auf die Begleitheizung entfällt. – Hingegen konnte der Stromverbrauch des Heizstabs halbiert werden, ist aber absolut relativ klein.

6 Schlussfolgerungen

6.1 Schlussfolgerungen zum Messkonzept

Die Auswertungen der Gebäude zeigen, dass die Wärmepumpe, der Elektroheizstab und das Begleitheizband die grössten Energieverbraucher im Zusammenhang mit dem Warmwasser sind. Die Gegenüberstellung aller vier Messobjekte (Abbildung 36) zeigt dies nochmals gut. Für eine erfolgreiche Reduzierung des Elektrizitätsbedarfs ist es sinnvoll, über diese Komponenten ein Monitoring zu führen. Sehr gering ist der Anteil der Zirkulationspumpe. Bei einer Anpassung der Laufzeiten der Zirkulationspumpe an das Nutzerverhalten (selbstlernende Pumpe) kann dieser Anteil weiter verkleinert werden. Vernachlässigbar klein ist auch der Anteil der Solarpumpe.

Folgende Komponenten sollten in einem Energie-Monitoring mindestens einzeln erfasst werden:

- Wärmepumpe
- Elektroheizstab
- Begleitheizbänder

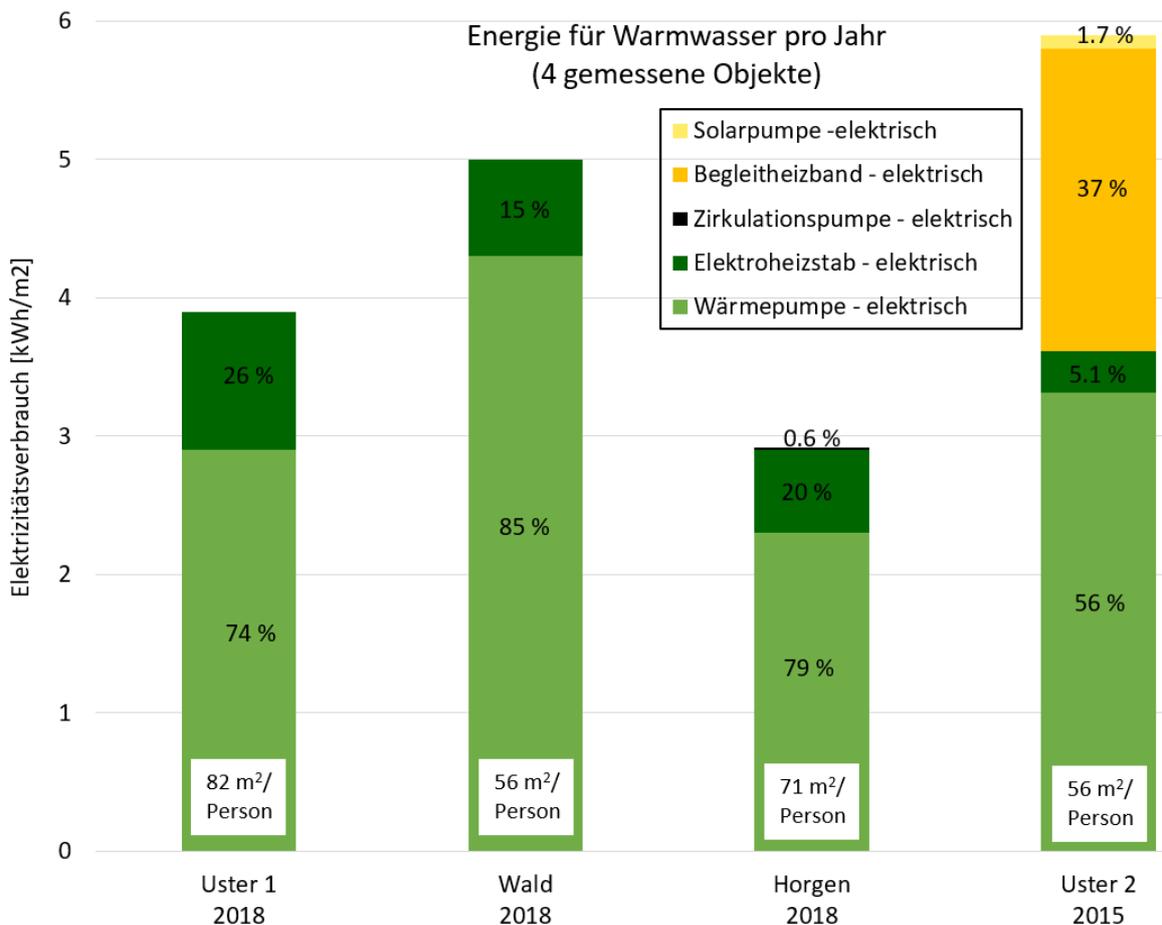


Abbildung 36: Jahresenergiekennzahl Warmwasser aller vier Messobjekte

Der Energieverbrauch dieser Komponenten kann beträchtlich sein und wird heute praktisch nie erkannt. Das vorgestellte einfache Mess- und Darstellungskonzept wird als geeignet erachtet. Unregelmässigkeiten und Optimierungsmöglichkeiten können damit erkannt werden und sind auch interpretierbar. Für eine gute Interpretierbarkeit sollten möglichst **auch die Warmwassertemperatur** und die **Wassermenge gemessen und dargestellt** werden.

Es braucht keine (teuren) kalorischen Messungen. Ein einfaches, aber zeitlich genügend detailliertes Monitoring genügt bereits.

Zudem weist die Legionellen-Desinfektion ein grosses Potential zur Optimierung auf. Einerseits wird die gewünschte Temperatur nicht erreicht, andererseits verläuft der Heizbetrieb der die elektrischen Heizstäbe nicht wunschgemäss. Jedoch muss bezüglich Legionellen-Schutz auch abgewartet werden, was die in Überarbeitung befindlichen Normen noch bringen werden.

6.2 Schlussfolgerungen zur Darstellung der Messresultate für Nutzer/Betreiber

Mit diesem Projekt konnte gezeigt werden, wie mit einem Monitoring und einer standardisierten Darstellung der Messwerte die Energieverbräuche schnell erfasst und analysiert werden können.

Mit der hier gezeigten Methodik der Messwert-Darstellung können auch Energieeffizienzsteigerungen und Erfolgskontrollen schnell ermöglicht werden. Mit relativ kleinem technischem Messaufwand kann sehr viel zum Betriebszustand des Warmwassersystems ausgesagt werden.

Dabei liegt das Einfache und Überzeugende vor allem in der Darstellung der Messwerte immer über die **Zeitachse**. Die Leser der Grafiken können sich so sehr schnell orientieren.

Für die Nutzer und Betreiber ist auch der Vergleich mit einem Benchmark wichtig. Denn nur so können diese eine grobe Erstbeurteilung vornehmen. Es wäre sehr zu begrüssen, wenn weitere Benchmarks im Rahmen der betroffenen Normen-Revisionen eingeführt werden könnten.

Entsprechend sind die Akteure im Bereich der Warmwasser-Bereitstellung gefordert einfache und attraktive Anzeigemöglichkeiten den Nutzern zur Verfügung zu stellen. Eine gangbare Grundlage kann die hier ausgeführte Messmethodik dazu bieten.

Es ist zu hoffen, dass dieses Messkonzept durch Industriepartner rasch in der Praxis umgesetzt wird. (Analog zur PV-Industrie). Organisationen wie MINERGIE und GEAK sowie kantonale Vollzugsbehörden haben es in der Hand solche Monitoringlösungen verbindlich einzufordern und damit den Markt für mehr Transparenz im Warmwasser-Energieverbrauch zu ebnen.

Der Verein Minergie verlangt heute schon ein Monitoring. Dabei wird unter Monitoring die automatische, fortlaufende Messung der Energieflüsse und deren leichtverständliche Visualisierung verstanden.

7 Diskussion und Ausblick

Diese Arbeit (und die Praxis ebenfalls) hat einmal mehr gezeigt, dass insbesondere elektrische Heizstäbe zu einem grossen Stromverbrauch führen können. Und dieser Verbrauch wird meistens gar nicht bemerkt, da dieser über den allgemeinen Elektrozähler gemessen wird. Unser Vorschlag wäre, dass alle festeingebauten elektrischen Widerstandsheizungen mit einer Aufnahmeleistung von mehr als 1000 Watt (evtl. 500 Watt) zwingend mit einer Messvorrichtung zu versehen sind. Dies kann ein einfacher Stromzähler sein, oder einer, welcher seine Messwerte an eine Schnittstelle zur Auswertung übermitteln kann.

Substanziell konnte anhand der Messobjekte festgestellt werden: Kritisch sind der Einsatz von elektrischen **Heizstäben** und auch elektrische **Begleitheizungen**. Wenn diese Komponenten nicht gemessen und in ein Monitoring integriert werden, dann ist die Gefahr gross, dass damit unkontrolliert zu viel Energie verbraucht wird. Die Heizstäbe sollten abgestimmt auf die Ladung durch die Wärmepumpe betrieben werden. Das heisst die Heizstäbe sollen immer unmittelbar nach der Ladung durch die Wärmepumpe aktiviert werden. Leider kann aber auch eine optimierte Steuerung durch die örtlichen Sperrzeiten empfindlich gestört werden. Die durch den Energieversorger verfügbaren Sperrzeiten sind ohnehin ein Problem für eine energieoptimierte Steuerung der haustechnischen Anlagen. Zudem werden heute sämtliche Wärmepumpenanlagen wegen der Sperrzeiten um rund 20% überdimensioniert.

Dies ist auch für MINERGIE® ein Ansatz zur Optimierung solcher Stromverbraucher. MINERGIE®, GEAK sowie kantonale Vollzugsbehörden sind aufgefordert, solche Messeinrichtungen für Heizstäbe und Begleitheizungen zu verlangen. Die entsprechenden Messwerte wären zudem in einem Monitoring zu erfassen.

Einmal mehr zeigte sich: Die Anpassung des Nutzerverhaltens hat mit Abstand den grössten Einfluss auf den Warmwasserenergieverbrauch! Nur kurz duschen und weniger baden reduzieren den Wasserverbrauch und damit auch den Energieverbrauch drastisch. Das heisst, die Suffizienz ist primär zu fördern. Zur Motivation für ein gutes Nutzerverhalten:

Durch die Messung (und Anzeige) des Warmwasserverbrauchs (Wassermenge) kann der Nutzer sein Verhalten beobachten und optimieren. Die Anzeige der Warmwassertemperatur (direkt im Speicher beim Abgang gemessen) soll zudem mehr Verständnis und Sicherheit im Hinblick auf die thermische Desinfektion zum Schutz vor Legionellen bringen. Der Temperaturfühler für die Warmwassertemperatur soll direkt oben im Speicher platziert sein. Messungen an der Warmwasserleitung ergeben keine nutzbareren Ergebnisse.

Die Autoren sind überzeugt, dass im Bereich des Warmwasser-Energieverbrauchs gerade dank der Digitalisierung noch vieles verbessert werden kann. Nun sind vor allem die Industrie, die Hersteller von Wärmepumpensteuerungen in erster Linie gefordert, indem sie eine solche Mess- und Analysemethodik implementieren.

Literatur

BFE. 2017. Effiziente Warmwassersysteme, EnergieSchweiz, Bern

EN 255-3. 1997. Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern - Heizen - Teil 3: Prüfungen und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwasser

SIA-Dokumentation D 0244. 2015. Anlagen für Trinkwasser in Gebäuden, Erläuterungen zu den Normen SIA 385/1 und SIA 385/2, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA 380. 2015. Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA 385/1. 2011. Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA 385/2. 2015. Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden–Warmwasser, Gesamtanforderungen und Auslegung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SN EN 16147. 2017. Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern - Prüfungen, Leistungsbemessung und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwarmwasser, Schweizerische Normenvereinigung, Winterthur

Verein MINERGIE. 2017. Produktreglement zu den Gebäudestandards MINERGIE®/MINERGIE-P®/MINERGIE-A®, Version 2017.3, Bern

Anhang

Nutzungsgradbetrachtungen zu den Messobjekten

Für zwei Objekte wurde zum Vergleich auch eine Betrachtung der Arbeitszahlen und Nutzungsgrade vorgenommen. Allerdings ist dazu zu sagen, dass die installierte Messtechnik für diesen Zweck eher zu ungenau ist.

Abbildung 37 zeigt die monatliche Arbeitszahl der Wärmepumpe und den monatlichen Nutzungsgrad der Wärmepumpe und des Heizstabs im Warmwasserbetrieb eines Messobjektes. Die höchsten Arbeitszahlen werden aufgrund der Quellentemperaturen aus der Erdwärmesonde im Sommerhalbjahr erreicht. Die maximalen Arbeitszahlen erreichen Werte von 3.3, während die niedrigsten Arbeitszahlen um 2.3 liegen. Oktober und November sind Monate mit wenig Heizstabeinsatz, da der Heizstab Ende Oktober bis Mitte November deaktiviert war. Daher muss die Wärmepumpe auch die hohen Temperaturen bereitstellen, was zu niedrigeren Arbeitszahlen führt.

Im Juni und Juli hingegen ist die Differenz zwischen Arbeitszahl und Nutzungsgrad am höchsten, so dass die Wärmepumpe tendenziell niedrigere Temperaturen bereitstellen muss, so dass im Juli eine gute Arbeitszahl erreicht wird. Im Mai wird trotz sehr niedrigem Heizstabeinsatz eine recht hohe Arbeitszahl erreicht, was mit einem sehr hohen Warmwasserverbrauch korreliert, so dass tendenziell eher kalte Temperaturen für die Wasseraufwärmung vorlagen, was die Arbeitszahl steigert.

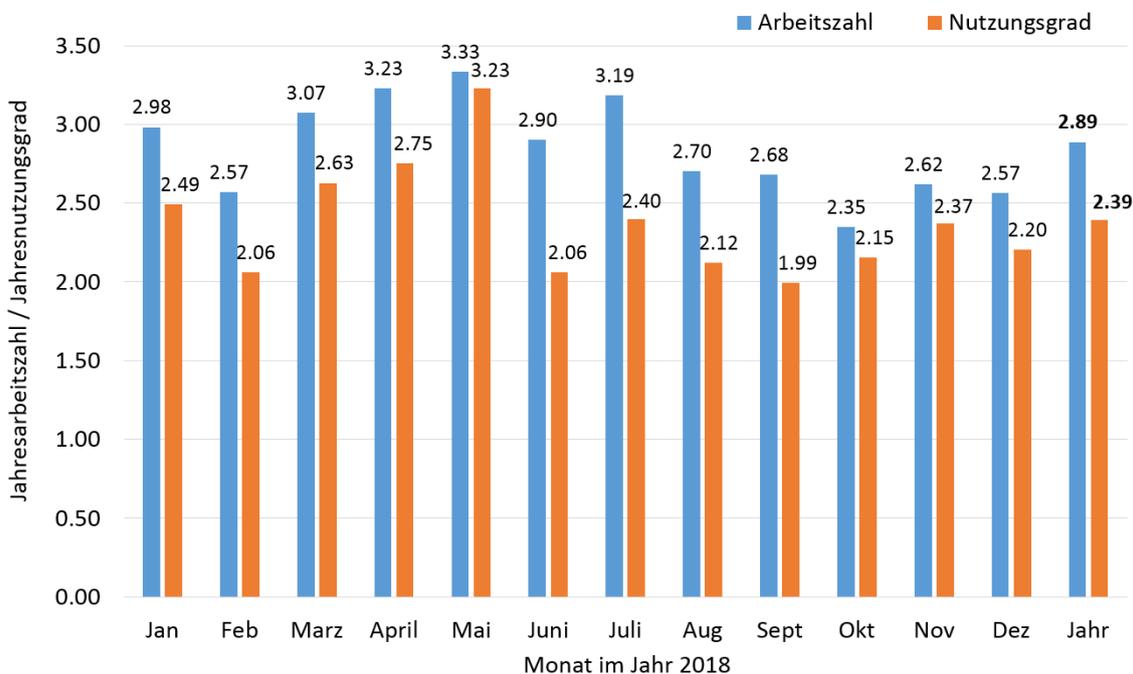


Abbildung 37: Monatliche Arbeitszahl der Wärmepumpe und monatlicher Nutzungsgrad aus Wärmepumpe und elektrischen Heizstab im Jahr 2018

In Abbildung 38 sind die monatlichen Arbeitszahlen der Wärmepumpe und die monatlichen Nutzungsgrade von Wärmepumpe und Elektroheizstab für den Warmwasserbetrieb für ein anderes Messobjekt dargestellt.

Die Anlage erreicht höhere Arbeitszahlen und Nutzungsgrade, was auf bessere Quellentemperaturen durch tiefere Erdwärmesonden zurückzuführen sein könnte. Da der Elektroheizstab nur für den Legionellenschutz genutzt wird, ergibt sich eine relativ konstante Differenz zwischen der Arbeitszahl und dem Nutzungsgrad. Doch selbst der Nutzungsgrad erreicht hohe Werte zwischen 2.9 und 3.5.

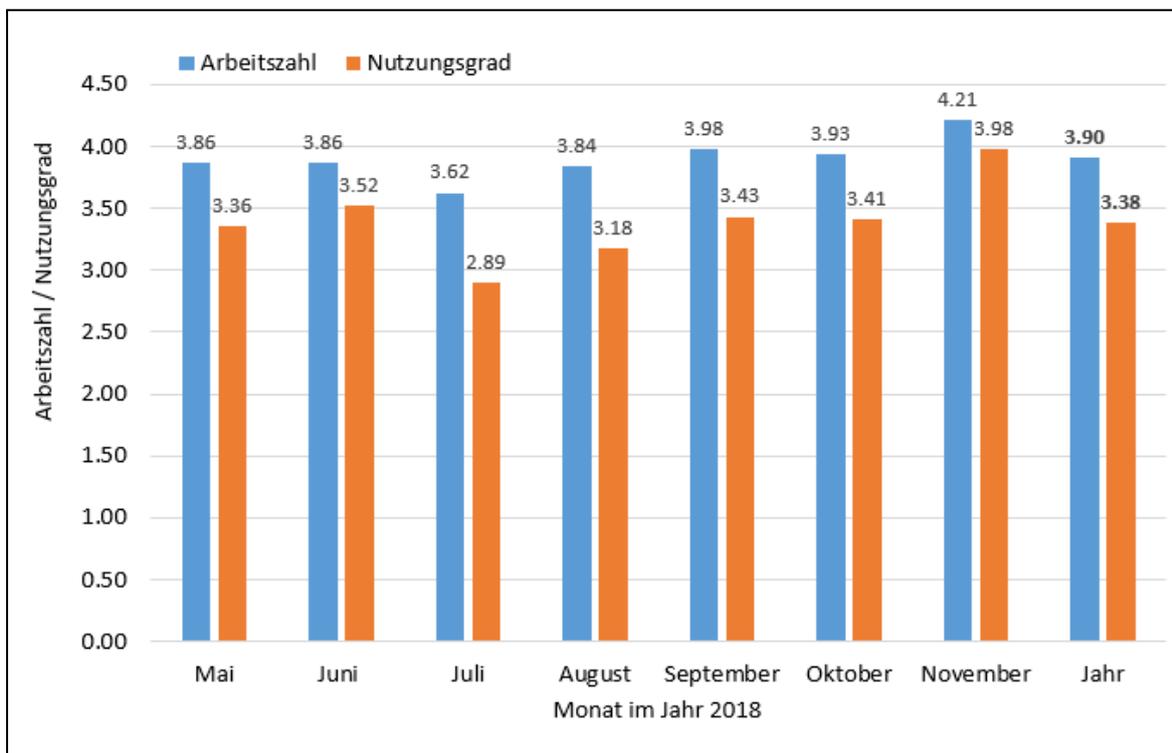


Abbildung 38: Monatliche Arbeitszahl der Wärmepumpe und monatlicher Nutzungsgrad aus Wärmepumpe und elektrischer Heizstab im Jahr 2018

Die Betrachtung der Arbeitszahlen (JAZ) und Nutzungsgrade bringt ohne weitere Informationen wie beispielsweise dem Einsatz des Heizstabes nicht viel Nutzen. Zudem ist die Ermittlung von JAZ und Nutzungsgrad relativ aufwändig. Allerdings kann die Arbeitszahl bzw. der Nutzungsgrad als Benchmark für den Anlagenbetrieb herangezogen werden.

Für ein Monitoring, welches der Betriebsoptimierung dienen soll, ist daher eine rein zeitliche Darstellung der Stromverbräuche zweckmässiger.