

# Trinkwarmwassererwärmung mit Wärmepumpen

Seit 2015 führt das Wärmepumpen-Testzentrum Buchs (WPZ) im Auftrag von Energie-Schweiz Feldmessungen an Wärmepumpen durch. Im zweiten Artikel dieser Serie wird die Warmwasserbereitung mit Wärmepumpen genauer unter die Lupe genommen. Durch einfache Tricks kann die Effizienz dabei signifikant gesteigert werden.

Text Matthias Berthold, Manuel Prinzing,  
Mick Eschmann und Stefan Bertsch, WPZ Buchs  
Bilder WPZ Buchs

Die Zahl der installierten Wärmepumpen in der Schweiz steigt kontinuierlich an. Durch die Feldmessungen des Wärmepumpen-Testzentrums Buchs (WPZ) sollen Wege gefunden werden, um in der Praxis eine hohe Effizienz der Anlagen garantieren zu können. Wie bereits im letzten Artikel berichtet, funktionieren die untersuchten Wärmepumpen insgesamt gut. Es gibt jedoch noch Verbesserungspotential einzelner Anlagen, zum Beispiel im Bereich der Trinkwarmwassererwärmung. Die Tipps können teilweise auch auf fossile Heizungsanlagen übertragen werden.

## Effizienz von Wärmepumpe und Gesamtsystem bei Trinkwarmwassererwärmung

Die Trinkwarmwassererwärmung besteht aus mehreren Teilaspekten. Einerseits wird das Trinkwasser (TWW) durch die Wärmepumpe erwärmt. Das Verhältnis dieser Wärmemenge zur benötigten elektrischen Energie für Verdichter und Umwälzpumpen wird als Jahresarbeitszahl JAZ bezeichnet.

Da einige Wärmepumpen Temperaturen von 60 °C nur knapp erreichen können, wird in vielen Fällen zur Durchführung der Legionellenschaltung ein elektrischer Heizstab eingesetzt. Dieser zusätzliche elektrische Energieaufwand ist im Wärmenutzungsgrad WNG enthalten, der somit tiefer als die JAZ ist.

Schliesslich kann aber auch die Wärmeenergie des bezogenen Warmwassers ins Verhältnis zum gesamten Strombedarf gestellt werden. Daraus berechnet sich der Systemnutzungsgrad SNG. In dieser Kennzahl ist somit neben dem Effekt von Wärmepumpe und Heizstab auch die Güte des Speichers und einer eventuellen Warmwasserzirkulation enthalten. Aussagen zur Speichergüte und zum Wärmeverlust durch eine Zirkulation gelten mehrheitlich auch für andere Heizsysteme.

Abbildung 1 zeigt diese drei Kenngrößen bezogen auf die Trinkwarmwassererwärmung für mehrere Wärmepumpen-Anlagen in Einfamilienhäusern. Es zeigt sich, dass die JAZ bei Luft/Wasser-Wärmepumpen für die Trinkwarmwasserbereitung bei knapp 3,0 liegt. Dies bedeutet, dass mit der aufgewendeten elektrischen Energie das 3-fache an thermischer Energie gewonnen wurde. Die Aufwände für den elektrischen Heizstab sind meistens relativ klein und führen zu einem Wärmenutzungsgrad WNG der um ca. 0,2 unter der Jahresarbeitszahl liegt. Bei Sole/Wasser-Wärmepumpen wird aufgrund der im Mittel höheren Quellentemperaturen im Schnitt eine höhere JAZ von 3,5 erreicht. Der Wärmenutzungsgrad ist bei unseren Auswertungen jedoch auf demselben Niveau wie bei Luft/Wasser-Wärmepumpen. Der Grund dafür liegt daran, dass bei unserer Stichprobe bei 3 der 4 SW-Wärmepumpen die Legionellenschaltung aktiviert wurde, die mit dem Heizstab durchgeführt wird. Im Rahmen der Feldmessungen wurde keinen Einfluss darauf genommen, ob, wann und wie die Legionellenschaltung bei der Inbetriebnahme aktiviert wurde.

## Der Systemnutzungsgrad...

... liegt sowohl bei Luft/Wasser- als auch bei Sole/Wasser-Wärmepumpen signifikant tiefer. Die Gründe hierfür sind vielfältig:

- Anlage D zeigt einen SNG von 0,25 und ist somit deutlich unter 1. Einer der Gründe hierfür liegt in einer Warmwasserzirkulation. Dabei werden die Warmwasserleitungen durch eine Umwälzung des Trinkwarmwassers warmgehalten, um die Ausstosszeiten zu reduzieren. Dies kühlt den Speicher aber schneller ab und reduziert die Effizienz der Anlage signifikant. Eine Zirkulation des Warmwassers im Einfamilienhaus ist aus energetischer Sicht klar zu vermeiden. Im Einfamilien-



haus können die geforderten Ausstosszeiten durch kurze Ausstossleitungen meist erreicht werden. Falls in einer Sanierung bereits eine Zirkulation eingebaut sein sollte, sind die Ausstosszeiten, die Ansprüche und das Nutzerverhalten zu prüfen. Wird eine bestehende Zirkulation ausser Betrieb genommen, so muss sie aus hygienischen Gründen zwingend vom System getrennt werden. Eine Feldmessungs-Anlage sticht mit einem sehr tiefen SNG heraus. Bei dieser Anlage D sind die sehr geringen Warmwasserbezugsraten von nur 5 m³/Jahr entscheidend. Dadurch ist die genutzte Wärmemenge deutlich kleiner als die reinen Wärmeverluste des Warmwasserspeichers. Energetisch gesehen ist dies nicht problematisch, da die Anlage durch den tiefen Warmwasserbedarf insgesamt einen sehr tiefen Energieverbrauch aufweist. Der Wert verdeutlicht aber, dass erhobene Kennzahlen mit Vorsicht zu betrachten sind und interpretiert werden müssen. Es ist jedoch wichtig, sich dieser Gründe bewusst zu sein, da bei der Warmwasser-Wärmepumpe nur der SNG gemessen wird.

- Ähnliches gilt auch für Anlage M, wo im Verhältnis zur Speichergrösse nur eine geringe Warmwassermenge bezogen wird.
- Bei Anlage J mit einem Wärmepumpenboiler ist der Verdichterausfall durch einen technischen Defekt zu erwähnen, wodurch der hohe Heizstabanteil begründet ist.

Wie zu erwarten zeigen vor allem jene Anlagen mit einem hohen Warmwasserbedarf eine hohe Systemeffizienz, z.B. Anlage A und C. Das tiefere Temperaturniveau bei Anlage K ist durch die Frischwasserstation begründet und führt zur höchsten Jahresarbeitszahl bzw. Wärmenutzungsgrad bei Luft/Wasser-Wärme-

pumpen und weist trotz des moderaten Trinkwarmwasserbezugs eine hohe Systemnutzungsgrad auf. Da diese Anlage keine Zirkulation hat, wird im System kein Trinkwarmwasser im hygienisch kritischen Temperaturbereich gespeichert.

Im Gegensatz zur Frischwasserstation-Abgabtemperatur ist die Trinkwarmwassertemperatur im Speicher von Anlage A um 9 K höher und erklärt damit teilweise den tieferen Wärmenutzungsgrad. Der SNG ist jedoch auf Grund des grössten Wasserbezugs der höchste bei allen Anlagen.

Typischerweise liegen die durchschnittlichen Zapftemperaturen am Abgang des Trinkwarmwasserspeichers im Bereich von 50–55 °C. Kurzfristig höhere Zapftemperaturen (60–65 °C) treten nur nach einer Legionellenschaltung mit temporär höheren Speichertemperaturen auf.

Weisen Anlagen hohe Warmwasserbezugsraten aber einen tiefen SNG (bzw. eine geringe Wassermenge je eingesetzter Kilowattstunde elektrischer Energie) auf, deutet dies auf eine nicht optimal isolierte bzw. ausgeführte Hydraulik hin. Bei Anlage F konnte im Heizbetrieb eine leichte Durchströmung des Registers im Trinkwarmwasserspeicher festgestellt werden. Diese ungewollte Zirkulation in der Heizungshydraulik erklärt die dementsprechend höheren Verluste.

## Wärmepumpenboiler

Bei den Wärmepumpenboilern (Anlagen J und G) kann nur der Systemnutzungsgrad dargestellt werden, da die systeminternen Wärmeströme bauartbedingt nicht einfach erfasst werden können. Für einen Vergleich mit einer Sole/- oder Luft/Wasser-Wärmepumpe kann daher nur der SNG, der jedoch auch das Nutzerverhalten durch die Bezugsmenge beinhaltet, herangezogen werden. Anlage G ist im Keller aufgestellt und weist den höchsten Systemnutzungs-

..... **kompakt** .....

## Effizient

Die Feldmessungen zeigen, dass die Trinkwarmwassererwärmung mittels Wärmepumpen im Feld eine gute Effizienz aufweisen, dass diese aber durch bessere Reglereinstellungen erhöht werden könnten.

.....

Typ	Anlage	Eigenschaften	JAZ	WNG	SNG	Vol.	Temp.	Heizstab	TWWB
			[-]	[-]	[-]	[m <sup>3</sup> ]	[°C]		[kWh/m <sup>2</sup> ]
SW	D	S, d, Zirk	4.38	4.06	0.25	5	38	5%	9
	I	S, d	3.38	2.84	1.78	26	48	22%	9
	F	S, fix	3.34	2.63	1.58	36	55	28%	13
	B	N, d, Zirk	3.97	2.90	1.59	82	46	2%	10
LW	K	S, d, FWS	3.45	3.32	2.17	39	40	0%	8
	C	S, d	2.99	2.93	2.32	79	55	0%	26
	E	N, fix	3.32	2.70	2.13	66	49	16%	14
	A	N, fix	3.31	2.77	2.42	94	49	0%	16
	M	S, d	2.68	2.00	1.33	27	49	48%	10
	L	S, d	2.67	2.52	1.35	54	49	8%	19
	H	S, fix	2.52	2.22	1.53	45	50	19%	12
BWWP	J	S, Aussenluft	nicht messbar		1.25	50	56	74%	nicht messbar
	G	S, Keller			2.28	44	51	0%	

Abbildung 1: Effizienzwerte für die Trinkwassererwärmung während der Heizsaison 2018/2019  
Abkürzungen: S = Sanierung, N = Neubau, fix = on/off Verdichter, d = drehzahlregulierter Verdichter, Zirk = Zirkulationsleitung, FWS = Frischwasserstation, Vol. = bezogene Warmwassermenge, Temp. = gemittelte TWW-Temperatur, Heizstab = Anteil des Heizstabs am Gesamtstrom für die Trinkwassererwärmung.

grad aller Anlagen auf. Dies ist einerseits auf die hohe Quelltemperatur im Keller zurückzuführen, andererseits auf die Erwärmung mit der geringen elektrischen Ladeleistung von ca. 520 W. Dies führt zu geringen Temperaturdifferenzen im System, was sich positiv auf die Effizienz auswirkt.

Bei drehzahlgeregelten Wärmepumpen sollte die Bereitung des Trinkwarmwassers aus effizienzgründen immer mit geringer Leistung im «eco»- und nicht im «comfort»-Betriebsmodus durchgeführt werden. Ansonsten wird der Trinkwarmwasserspeicher bereits nach kleiner Zapfmenge mit höchster Wärmepumpenleistung und geringer Effizienz nachgeladen.

In Abbildung 2 ist der jahreszeitliche Verlauf von Anlage G dargestellt. Zu erkennen ist die Abhängigkeit der Effizienz in Bezug auf die bezogene Wassermenge. Die Temperaturen des Trinkwarmwassers sowie die Lufteintrittstemperatur für den Wärmepumpenboiler sind annähernd konstant im Jahresverlauf. Klar ersichtlich dabei ist, dass bei höherem Warmwasserbezug der SNG ebenfalls ansteigt.

Der Wärmepumpenboiler von Anlage J wird mit Aussenluft betrieben. Dieses System zeigte in der Praxis einige Nachteile: Softwareseitig ist die Anlage so eingestellt, dass bei Aussen Temperaturen unter 5 °C das Warmwasser rein elektrisch erwärmt wird, um eine Vereisung des Verdampfers zu vermeiden. Da Anfangs der entsprechende Temperaturfühler für die Aussen temperatur im Luftkanal der Zuluft verbaut war, wurden hier aufgrund der Erwärmung durch die Umgebung z.T. höhere Temperaturen gemessen. Dadurch kam es im Winter zu WP-Starts, obwohl die Aussenluft unter 5 °C war. Sobald dann aber die kalte Aussenluft angesaugt und somit gemessen wurde, wurde der Verdichter abgestellt und der Heizstab aktiviert. Dies führte speziell im Winter zu einem

häufigen Takten. Aufgrund des daraus vermutlich entstandenen Verdichterschadens wurde der erste Wärmepumpenboiler nach einem Jahr Betriebszeit nach langer Betriebsdauer mit dem Heizstab ausgetauscht. Die relativ geringe Effizienz dieses Wärmepumpenboilers (der SNG von Anlage J liegt bei 1,25) ist auf das Freigabe-Kriterium [Aussentemperatur > 5 °C] sowie den späteren Defekt des Verdichters und den dadurch überaus hohen Heizstabeinsatz von 74 % zurückzuführen.

**Mit Vorteil im Innern**

Generell ist bei Wärmepumpenboiler aus Effizienzgründen eine Innenaufstellung in unbeheizten Räumen mit ausreichender Grösse zu empfehlen (Kelleraufstellung). Der Wärmepumpenprozess entzieht der Luft Feuchtigkeit, weshalb diese auch zur Entfeuchtung von Kellern eingesetzt werden.

**Legionellenschaltung**

Abb. 3 zeigt den elektrischen Energieverbrauch der Anlagen für die Warmwassererwärmung, aufgeschlüsselt auf die einzelnen Nebenverbraucher. Während der Energiebedarf von Umwälzpumpen (Erdsonde, Heizkreis- und Ladepumpe) im unteren Prozentbereich liegt, kann der Anteil für die Elektro-Heizstäbe durchaus signifikant sein. Besonders Anlage M sticht dabei mit einem Heizstabanteil von fast 50% des Gesamtenergieverbrauchs hervor. Bei den anderen Anlagen mit aktivierter Legionellenschaltung (1x wöchentlich) liegt der Heizstabanteil bei ca. 20 bis 30% des Gesamtstrombedarfs.

In der Praxis liegt hier noch ein signifikantes Verbesserungspotential. So ist z.B. bei den meisten Anlagen der Elektroein-satz für die Legionellenschaltung nicht durch die Wärmepumpe angesteuert, sondern wird direkt mit einer Zeitschaltuhr aktiviert. Dies hat zur Folge, dass der Heiz-

stab häufig bei einem nicht voll durchgeladenen Speicher zum Einsatz kommt. Idealerweise sollte die Wärmepumpe den Speicher so gut wie möglich aufheizen, sodass der Heizstab die Temperatur ggf. nur noch geringfügig mit kurzer Laufzeit und Energiebedarf anheben muss. Dies setzt jedoch eine direkte Ansteuerung des Heizstabs durch die Wärmepumpe voraus.

Des Weiteren ist eine neuerdings oft umgesetzte Optimierung des Eigenverbrauchs von Photovoltaikanlagen durch ausschliesslichen Elektroein-satz aus energetischer Sicht stark zu hinterfragen. Eine Zeitsteuerung von Luft/Wasser-Wärmepumpe, sodass die normale Trinkwassererzeugung tagsüber erfolgt, ist hingegen sinnvoll, da zu dieser Zeit die Aussen temperaturen höher liegen als in den frühen Morgenstunden.

Die Empfehlung für eine gute Legionellenschaltung ist somit: Aufheizung des Speichers mittels Wärmepumpe auf die maximal mögliche Temperatur während einer Zeit mit möglichst geringem TWW-Bezug (Nacht), dann Nacherwärmung mit dem Heizstab. Hier ist die Wärmepumpen-Industrie mit neuen Lösungen gefordert, insbesondere, wenn mit der neuen SIA 385/1 die Anforderungen weiter verschärft würden.

**Weitere Optimierungsmöglichkeiten**

Die hydraulische Einbindung der meisten Anlagen ist mittels Dreiwegventil gut gelöst. Bei drehzahlvariablen Wärmepumpen wird in der Werkseinstellung typischerweise auf höchsten Komfort geachtet und die Leistung der Wärmepumpe (Drehzahl) sehr rasch gesteigert. Durch die hohen Leistungen am Register sinkt jedoch die Effizienz. Eine Begrenzung der Wärmepumpenleistung hätte in den untersuchten Fällen den Kundenkomfort nicht beeinflusst, aber zu einer Erhöhung der Effizienz geführt.

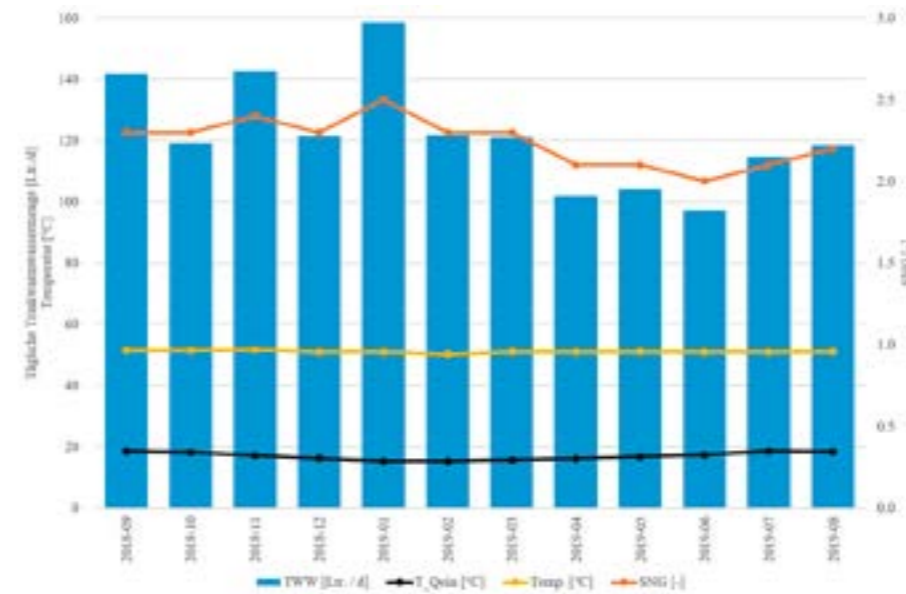


Abbildung 2: Wärmepumpenboiler Anlage G (Zeitraum: September 2018 – August 2019)  
Abkürzungen: TWW = Trinkwarmwasser, T\_Quin = Lufteintrittstemperatur bei Verdichterbetrieb, Temp. = gemittelte TWW-Temperatur während des Bezugs.

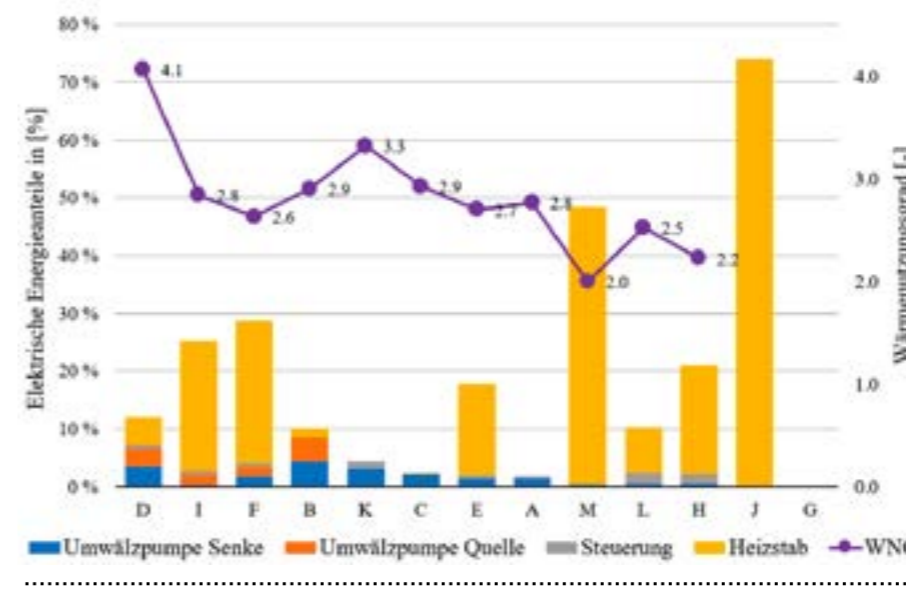


Abbildung 3: Verteilung des Energieverbrauchs der Nebenverbraucher bei der Trinkwarmwassererwärmung.

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit liegt häufig auch in einer Erhöhung der Einschalt-Hysterese: Dies ermöglicht ein stärkeres Abkühlen des unteren Speicherinhalts, erhöht die Laufzeit der Wärmepumpe und reduziert die Anzahl der Wärmepumpenstarts. Ein ähnlicher Effekt kann erzielt werden, wenn der Temperaturfühler im oberen Drittel des Speichers eingebaut wird.

Der Einsatz von Thermosiphons am Abgang der Warmwasserspeicher unterbindet eine ungewollte Zirkulation und verbessert gleichzeitig die Hygiene, da das Trinkwarmwasser nicht auf einem mittleren Temperaturniveau stagnieren kann.

**Fazit**

Die Feldmessungen zeigen, dass die Trinkwarmwassererwärmung mittels Wärmepumpen im Feld eine gute Effizienz aufweisen, dass diese aber vor allem durch bessere Reglereinstellungen noch erhöht werden könnten. Die Empfehlungen sind:

- Verzicht auf Warmwasserzirkulation bei Einfamilienhäusern
- Reduktion der Wärmeleistung (Drehzahl) bei leistungsvariablen Wärmepumpen im Aufladebetrieb («eco»-Betrieb)
- Einsatz des Elektrostroms für die Legionellenschaltung erst unmittelbar nach einer Aufladung durch die Wärmepumpe
- Vergrössern der Schalt-Hysterese oder Platzierung der Temperatursensoren im oberen Drittel der Speicher
- Bei Wärmepumpenboilern: Betrieb mit Innenluft aus unbeheizten, ausreichend grossen Räumen (z.B. Keller). ■

[www.ntb.ch](http://www.ntb.ch)  
[www.wpz.ch](http://www.wpz.ch)

In einer Serie von mehreren Artikeln wird über die Ergebnisse dieser Studie informiert.