



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

# **Effizienzuntersuchung der Wassererwärmung durch Wärmepumpen mit integriertem Warmwasserspei- cher**

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch:

**Mick Eschmann, Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs, NTB**  
Werdenbergstrasse 4, CH – 9471 Buchs SG  
michael.eschmann@ntb.ch, www.ntb.ch

## **Impressum**

Datum: 30.01.2015

**Im Auftrag des Bundesamt für Energie**, Bereich Umgebungswärme

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

Fachspezialistin Erneuerbare Energien : Rita Kobler [Rita.Kobler@bfe.admin.ch](mailto:Rita.Kobler@bfe.admin.ch)

Projektnummer: SI/401320-01 und SI/401320-02

Bezugsort der Publikation: [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1 Projektziele	5
2 Messaufbau	6
2.1 Messergebnisse des 1. Prüflings.....	7
2.2 Messergebnisse des 2. Prüflings.....	11
2.3 Fazit.....	13
3 Vergleich dieser Messreihe mit dem Vorprojekt	14
3.1 Messergebnisse .....	14
3.2 Fazit.....	16
4 Referenzen	17

## Zusammenfassung

Bei Wärmepumpen-Wassererwärmern kommt es zwischen den im Labor gemessenen Werten und den im Feld untersuchten Anlagen zu teilweise massiven Unterschieden in der Energieeffizienz. Der Verdacht liegt nahe, dass die Unterschiede zu einem beträchtlichen Anteil auf das unterschiedliche Zapfverhalten zwischen Labortest und Einsatz im Feld zurückzuführen sind.

Bei Labormessungen werden Zapfprofile gewählt, die einen hohen COP für das Produkt versprechen. In der Schweiz werden Wärmepumpen-Boiler mit einem Nennvolumen zwischen 150 und 250 Liter üblicherweise mit dem Zapfprofil L gemessen. Dies entspricht einer Energieentnahme von rund 11.6 kWh pro Tag. In der Praxis werden solche hohen Entnahmemengen nur selten erreicht. Daher wurde nach dem Vorprojekt [1] „Labormessungen zur Effizienz von Wärmepumpen-Warmwasserspeicher“ dieses Projekt lanciert. Dabei wird die Effizienz der Brauchwarmwassererwärmung an zwei Wärmepumpen mit integrierten Boilern untersucht. Dabei handelt es sich um eine Ein/Aus- und eine drehzahlregulierenden Heizungswärmepumpe.

Anhand der vielen Messungen mit unterschiedlichen Zapfprofilen nach EN 16147 [2] konnte eine Abhängigkeit zwischen Effizienz und Entnahmemenge festgestellt werden. Des Weiteren wurde sichtbar, dass auch eine einzelne Entnahme (je nach Typ) den COP positiv beeinflussen kann. Der Wärmeverlust kommt vor allem bei kleineren Entnahmemengen zu tragen.

Ausserdem konnte der Einfluss der Einschalthysterese auf die Effizienz hin genauer untersucht werden. Durch eine Vergrösserung der Schalthysterese des Temperatursensors im Warmwasserspeicher, konnte eine Verbesserung des COP beim Energie-Bezugsprofil „S“ von rund 170% erzielt werden.

Die Effizienz der drehzahlregulierten Wärmepumpe liegt unterhalb der Ein/Aus-Wärmepumpe. Auf den ersten Blick mag dies überraschen, da die Inverter-Wärmepumpe eigentlich den Nachteil der hohen Leistung für die Raumheizung umgehen kann. Beim zweiten Blick jedoch wird klar, dass diese Wärmepumpe nicht für eine effiziente Wassererwärmung ausgelegt ist, sondern für eine möglichst schnelle.

# 1 Projektziele

Es sollen, anhand dieses Projektes, die folgenden zwei Punkte am Wärmepumpen-Testzentrum WPZ in Buchs SG erarbeitet werden:

1. Mit diesem Projekt soll herausgefunden werden, wie effizient Heizwärmepumpen das Brauchwarmwasser erzeugen. Dabei werden zwei handelsübliche Wärmepumpen mit integriertem Warmwasserspeicher mit unterschiedlichen Zapfprofilen geprüft. Der 1. Prüfling wird bei Raumtemperatur und der 2. Prüfling bei 7°C-Quellentemperatur gemessen.
2. Die Ergebnisse werden mit den Erkenntnissen vom Vorprojekt „Labormessungen zur Effizienz von Wärmepumpen-Warmwasserspeicher“ verglichen und analysiert.

## 2 Messaufbau

In diesem Kapitel wird auf den Messaufbau eingegangen. Es werden zwei handelsübliche Split-Wärmepumpen (Sole-Split (Aussen- und Inneneinheit sind mit Soleleitung miteinander verbunden) und Kältemittel-Split) mit integrierten Warmwasserspeichern mit verschiedenen Zapfprofilen gemessen. Die Speicherinhalte liegen bei 175 bzw. 260 Liter. Der eine interne Temperaturfühler ist bei beiden Exemplaren im oberen Drittel des Speichers platziert. Die Grössen der Kondensatoren sind nicht bekannt.

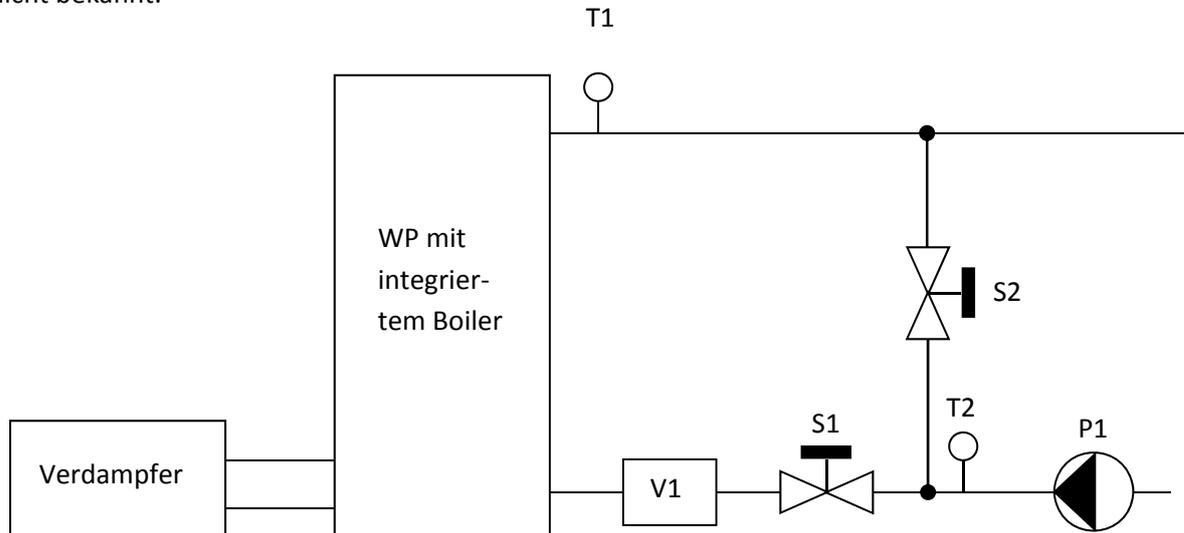


Abb. 2.1: Versuchsaufbau mit einer handelsüblichen Split-Wärmepumpe

Der Messaufbau entspricht einer Messung nach EN 16147 und ist mit dem Messaufbau des Vorprojektes „Labormessungen zur Effizienz von Wärmepumpen-Warmwasserspeicher“ vergleichbar. Das Labormessequipment besteht aus einem magnetisch-induktiven Durchflusszähler V1 und zwei PT-100-Temperaturfühlern (T1 und T2). Diese drei Messsensoren sind kalibriert und werden auch für internationale Zertifizierungsmessungen verwendet. Mit den Drosselventilen S1 und S2 werden die erforderlichen Durchflüsse für die Prüfung eingestellt. Die Messgenauigkeit liegt bei den Temperaturfühlern bei  $\pm 0.05$  K und beim Durchflusszähler bei 0.5%.

Die Wärmemenge  $Q$  wird mit der Formel 2.1 berechnet.

$$Q = (T1 - T2) \cdot \dot{V}_{V1} \cdot \rho(T2) \cdot c_p \cdot t \quad [2.1]$$

$Q$       Wärmemenge [J]

$\dot{V}_{V1}$     Volumenstrom [ $\text{dm}^3/\text{s}$ ]

$\rho(T2)$     Dichte von Wasser in Abhängigkeit der Kaltwassertemperatur T2 [ $\text{kg}/\text{dm}^3$ ]

$c_p$       spezifische Wärmekapazität von Wasser [ $\text{J}/(\text{kg K})$ ]

$t$         Messzeit [s]

Tab. 2.1: Prüflinge (Zusammenfassung)

	WP 1	WP2
Art der Wärmepumpe	Sole-Split	Kältemittel-Split
Speichervolumen [dm <sup>3</sup> ]	175	260

## 2.1 Messergebnisse des 1. Prüflings

Hier wird eine handelsübliche Splitwärmepumpe (Sole-Zwischenkreislauf) mit einem integrierten 175-Liter-Warmwasserspeicher für dieses Projekt herangezogen. Die Heizleistung der Wärmepumpe beträgt nach EN 14511 [3] etwa 8.6 kW bei A7/W35 und 7.6 kW bei A2/W35. Sie ist nicht leistungsge-regelt. Bei A-10/W55 beträgt die Heizleistung noch rund 5.3 kW. Die hohen Leistungen könnten zu einem Nachteil für die Wassererwärmung führen.

Mit diesem Projekt soll die Abhängigkeit der Effizienz auf die Entnahmemenge von solchen Wärme-pumpentypen herausgefunden werden. Deshalb werden die Messungen mit verschiedenen Zapfpro-filen und Entnahmemengen durchgeführt. Dabei handelt es sich um die Zapfprofile S, M, L, die in der EN 16147 beschrieben sind und um das Profil „Praxis 1“ [2], welches im genannten Vorprojekt defi-niert wurde. Die Messungen werden bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei die Messung mit dem Zapfprofil M auch bei +7°C durchgeführt wurde.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der verschiedenen Messungen ersichtlich.

Tab. 2.2: Messergebnisse des 1. Prüflings (1K = 1K-Hysterese, 5K = 5K-Hysterese)

Nr.	Zapfprofil	Quellentemperatur [°C]	Entnahmemenge [kWh]	Aufnahmeenergie [kWh]	COP [-]	Verlustleistung [W]
1	S (1K)	23.7	2.087	4.806	0.43	168
2	S (5K)	24.9	2.097	1.786	1.17	42
3	M (5K)	24.5	5.841	3.063	1.91	43
4	M (5K)	7.0	5.845	3.111	1.88	35
5	Praxis 1	24.4	6.882	3.437	2.00	43
6	L (5K)	23.8	11.663	4.475	2.61	42

Der COP nach EN 16147 wird über 24h ermittelt und entspricht dem Tagesverhalten eines Nutzers. Je höher die Entnahmemenge ist, umso mehr Warmwasser wird dem Speicher pro 24h entnommen. Die Aufnahmeenergie entspricht der elektrischen Arbeit, die hinzugefügt werden muss, damit die Temperatur im Speicher aufrechterhalten bleibt.

In Tab. 2.2 wird auf den ersten Blick ersichtlich, dass die Effizienz der Anlage ansteigt, je mehr Energie entnommen wird. Die Messung mit dem Zapfprofil S wurde zweimal durchgeführt, da bei der Messung 1 die vorprogrammierte Hysterese (Ein- und Ausschaltzeitpunkt der Speichertemperatur) bei 1 K lag. Die Wärmepumpe hatte mit dieser Einstellung insgesamt 16 mal innert 24h ein- und ausgeschaltet. Ab der zweiten Messung wurde die Hysterese auf 5 K korrigiert. Mit dieser Massnahme schaltete der Kompressor nur noch 2 mal innert 24h beim Zapfprofil S ein. Die Effizienz konnte dadurch beinahe verdreifacht werden, wobei auch ein COP von 1.17 nicht überwältigend ist. Mit den nachstehenden Abbildungen werden die Anzahl Kompressorstarts und Warmwasserentnahmetemperaturen beider Messungen ersichtlich.

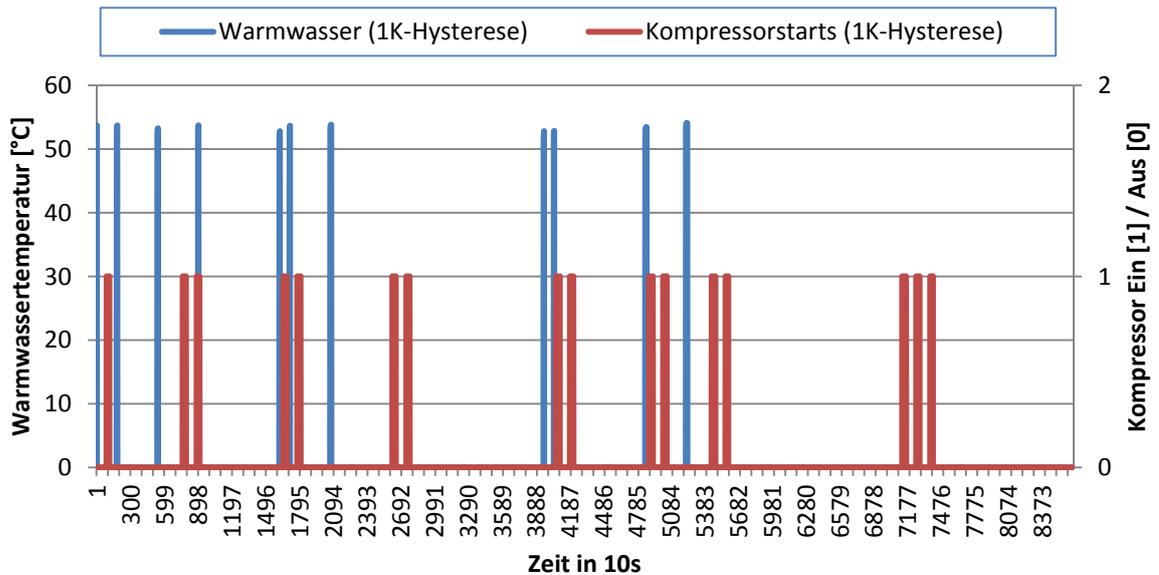


Abb. 2.2: Verlauf der Entnahmewassertemperatur und Anzahl Kompressorstarts mit 1K-Hysterese (Messung 1)

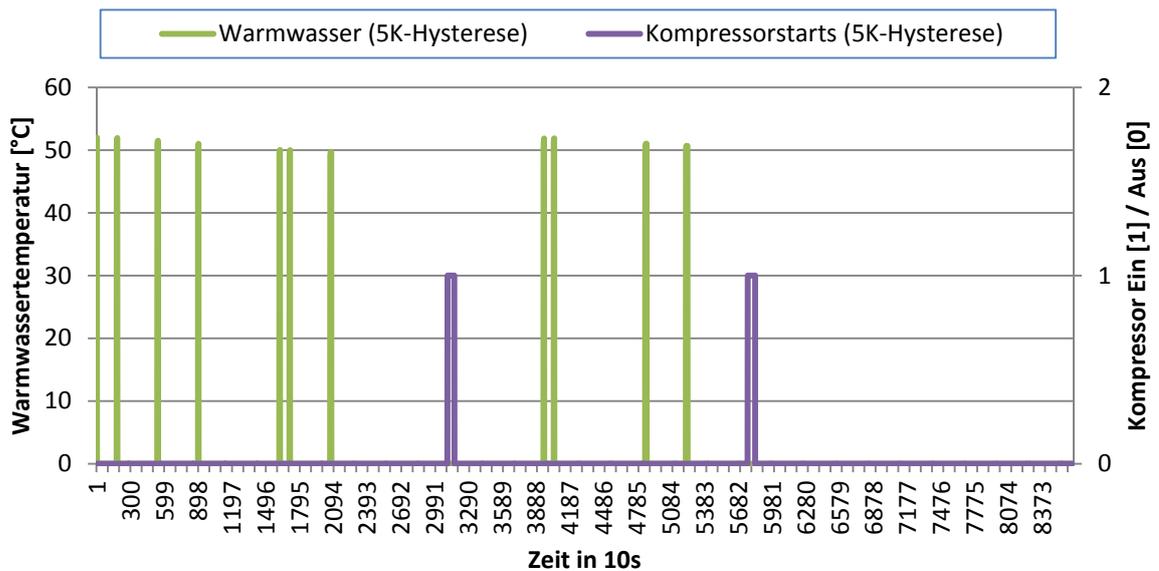


Abb. 2.3: Verlauf der Entnahmewassertemperatur und Anzahl Kompressorstarts mit 5K-Hysterese (Messung 2)

In Abb. 2.2 ist ersichtlich, dass die Warmwassertemperatur stets zwischen 53°C und 54°C liegt. Bei der Variante mit der 5K-Hysterese liegt die Temperatur zwischen 50°C und 53°C. Weshalb die bei beiden Varianten unterschiedliche Höchsttemperaturen aufweisen, konnte nicht abschliessend herausgefunden werden. Die Vermutung liegt aber Nahe, da die Heissgastemperatur bei langer Kompressorlaufzeit höher liegt als bei vielen kurzen. Die Wärmepumpe schaltet nämlich regelungstechnisch bei einer bestimmten Heissgastemperatur ab (nicht wählbar). Ausserdem sind die vielen und kurzen Starts bei der Messung 1 in der Abb. 2.2 ersichtlich. Mit der grösseren Wahl der Hysterese konnte nebst einer geringeren Anzahl von Starts auch eine längere Aufladungszeit erzielt werden.

Durch die Anpassung der internen Hysterese konnte auch die nicht zu unterschätzende Verlustleistung positiv verändert werden. Dieser Wert hat sich auf einen Viertel von anfänglich 168 W auf 42 W reduziert. Unter Verlustleistung wird der elektrische Verbrauch während einem Ein-/Auszyklus ohne Warmwasserentnahme verstanden, um die gewünschte Temperatur im Speicher zu halten.

Die beiden Messungen mit dem Zapfprofil M an unterschiedlichen Quellentemperaturen ergaben beinahe denselben COP von rund 1.9. Dieses Ergebnis erstaunt, da vielfach vom -grossen Vorteil der Luft/Wasser-Wärmepumpe für die hohe Effizienz der Warmwassererzeugung im Sommer argumentiert wird. Diese Aussage konnte mit dieser Labormessung nicht bestätigt werden. Nun stellt sich die Frage, weshalb die Effizienz bei hoher Quellentemperatur nicht deutlich höher liegt als bei niedriger Temperatur. Einen Ansatz könnte die Aufnahmeleistung der Wärmepumpe während einer Aufladung zeigen. In der nächsten Abbildung sind diese Aufnahmeleistungen der beiden Messungen während einer Aufladung ersichtlich.

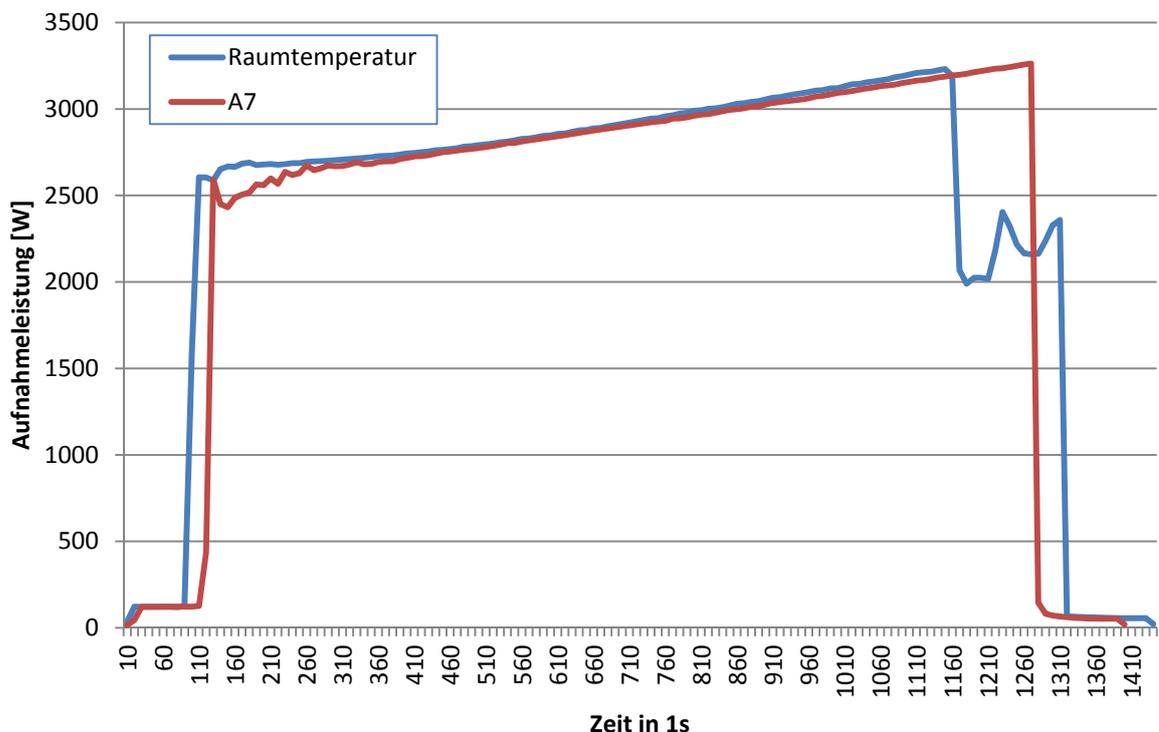


Abb. 2.4: Aufnahmeleistung während einer Aufladung des Speichers (Messung 3 und 4)

Die beiden Aufnahmeleistungen während der Aufladung verlaufen beinahe identisch. Erst kurz vor der Abschaltung fällt die Aufnahmeleistung bei der Messung 3 (hohe Quellentemperatur) ab.

Dies wird wahrscheinlich durch ein starkes Schliessen des elektronischen Expansionsventils hervorgerufen, um die Verdampfungstemperatur konstant halten zu können. Die Regelung des Ventils funktioniert in diesem Beispiel noch nicht optimal, da die Aufnahmeleistung einbricht, statt konstant zu bleiben. Ein weiterer Grund für den geringen Anstieg des COP zwischen beiden Messungen könnte sein, dass die Wärmepumpe bei 20°C eine wesentlich höhere Heizleistung aufweist als bei +7°C. Dadurch steigt das dT zwischen Kondensation und Speicher im Wärmetauscher.

Bei der Messung 5 mit dem Zapfprofil Praxis 1 konnte ein COP von 2.0 gemessen werden. Dieser liegt etwa 5% über dem COP mit Zapfprofil M. Insgesamt wird rund 1 kWh (+18%) mehr Wärmemenge aus dem Speicher entnommen als beim Zapfprofil M.

Die Messung 6 wurde mit dem Zapfprofil L durchgeführt. Mit diesem Zapfprofil wird rund 11.6 kWh Warmwasser entnommen, dies entspricht etwa der doppelten Menge wie bei M. Der gemessene COP lag bei etwa 2.6 und liegt somit um rund 35% höher als bei M. Der Verlauf der Warmwassertemperatur und die Anzahl Kompressorstarts sind in Abb. 2.4 ersichtlich.

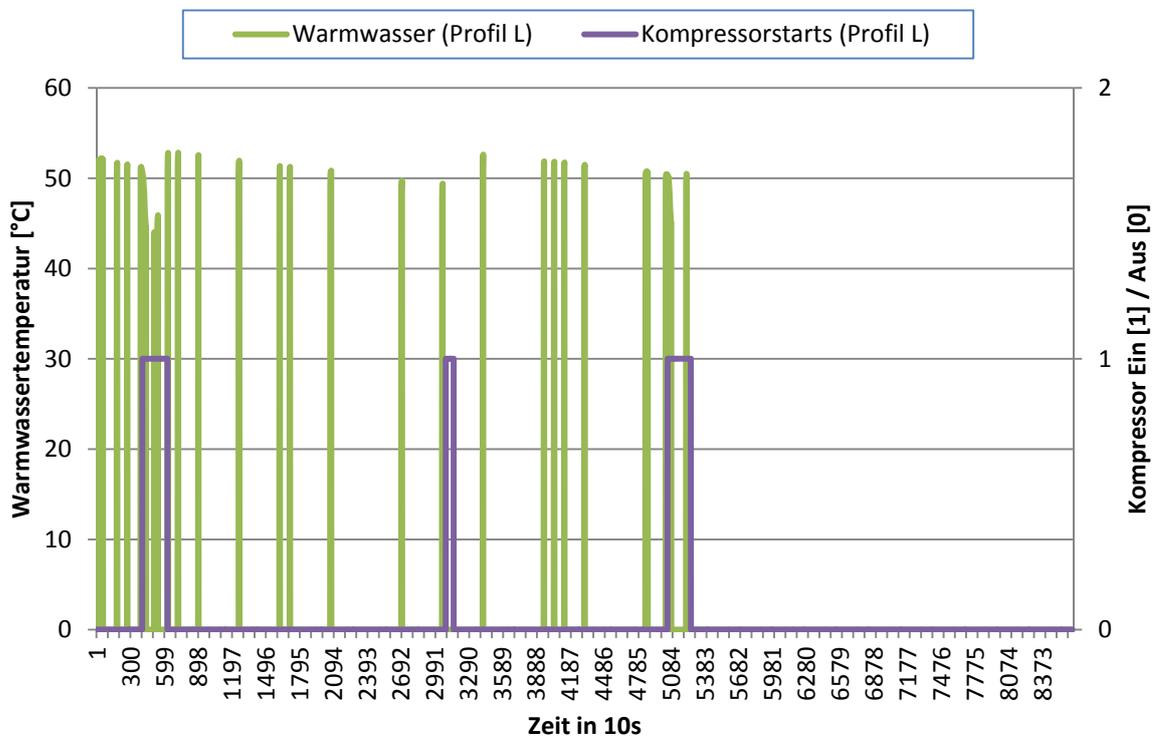


Abb. 2.5: Verlauf der Warmwassertemperatur und Anzahl Kompressorstarts mit 5K-Hysterese (Messung 6)

Dass beim Profil L wesentlich mehr Entnahmen vorkommen als z.B. beim Profil S, wird anhand der beiden Abbildungen 2.3 und 2.5 ersichtlich. Die Wärmepumpe schaltet insgesamt 3 mal ein, damit die Warmwassertemperatur im Speicher aufrechterhalten wird.

## 2.2 Messergebnisse des 2. Prüflings

Beim zweiten Prüfling handelt es sich um eine handelsübliche drehzahlregulierte Luft/Wasser-Wärmepumpe in Split-Bauweise. Der Speicherinhalt beträgt 260 Liter. Die Heizleistung beträgt laut Hersteller ungefähr 5.8 kW beim Prüfpunkt A2/W35 nach EN 14511. Während der Messung der Brauchwarmwassereffizienz regelte die Wärmepumpe selbständig nach den internen Regelparametern. Es soll eine möglichst praxisnahe Ergebnis erzielt werden. Folgende Messergebnisse erhielt das WPZ beim zweiten Prüfling mit drei unterschiedlichen Entnahmeprofilen:

Tab. 2.3: Messergebnisse des 2. Prüflings (Hysterese unbekannt)

Nr.	Zapfprofil	Quellentemperatur [°C]	Entnahmemenge [kWh]	Aufnahmeenergie [kWh]	COP [-]	Verlustleistung [W]
7	S	7.0	2.216	2.650	0.84	60
8	M	7.0	5.900	5.093	1.16	60
9	L	7.0	11.699	6.984	1.68	60

Es zeigt sich auch hier, dass die Effizienz der Brauchwarmwasserbereitstellung mit der Entnahmemenge zunimmt. Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse wird ersichtlich, dass bei diesem Produkt die interne Regelung noch grosses Potential hat (siehe Abb. 2.6).

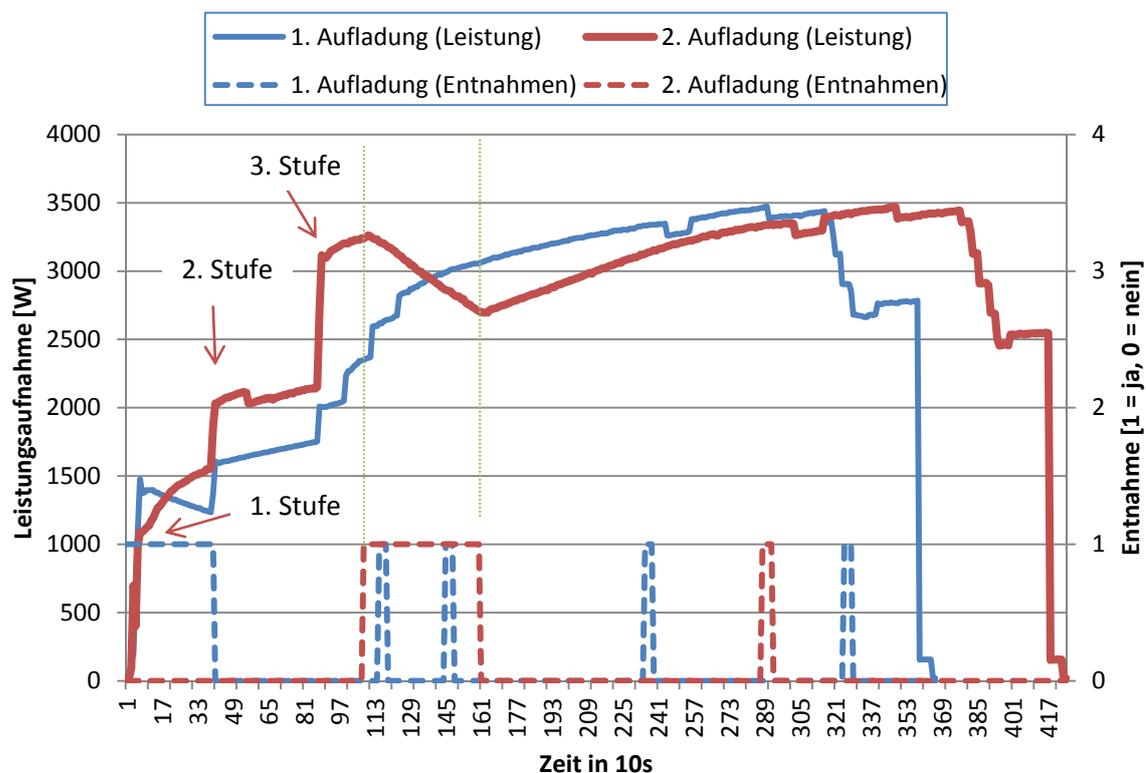


Abb. 2.6: Aufnahmeleistung während des Entnahmezyklus' (Messung 9)

Es ist auffallend, dass die Kompressordrehzahl der modulierenden Wärmepumpe bei zunehmender Speichertemperatur ansteigt. Anfangs der Aufladung liegt die Aufnahmeleistung bei der 2. Aufladung

bei rund 1 bis 1.5 kW. Kurze Zeit später erhöht sich die Drehzahl und die Aufnahmeleistung steigt auf ca. 2 kW. Danach erhöht sich die Drehzahl erneut und die Aufnahmeleistung beträgt somit mittlerweile bereits etwa 3 bis 3.5 kW. Dies ist vermutlich annähernd die maximale Heizleistung des Gerätes. Die erste Aufladung während des Entnahmezyklus verläuft annähernd identisch, nur mit kleineren Zwischenstufen. Die Drehzahl der Ladepumpe konnte während der Messung nicht ermittelt werden.

Beim folgenden Diagramm sind die kältemittelrelevanten Temperaturen auf der Abgabeseite während der ersten und zweiten Aufladung (inkl. Entnahmen) aufgezeigt. Der Wärmepumpenregler hat die Aufgabe, möglichst schnell den Speicher aufzuladen, dies wird durch den Verlauf der Heissgastemperatur ersichtlich.

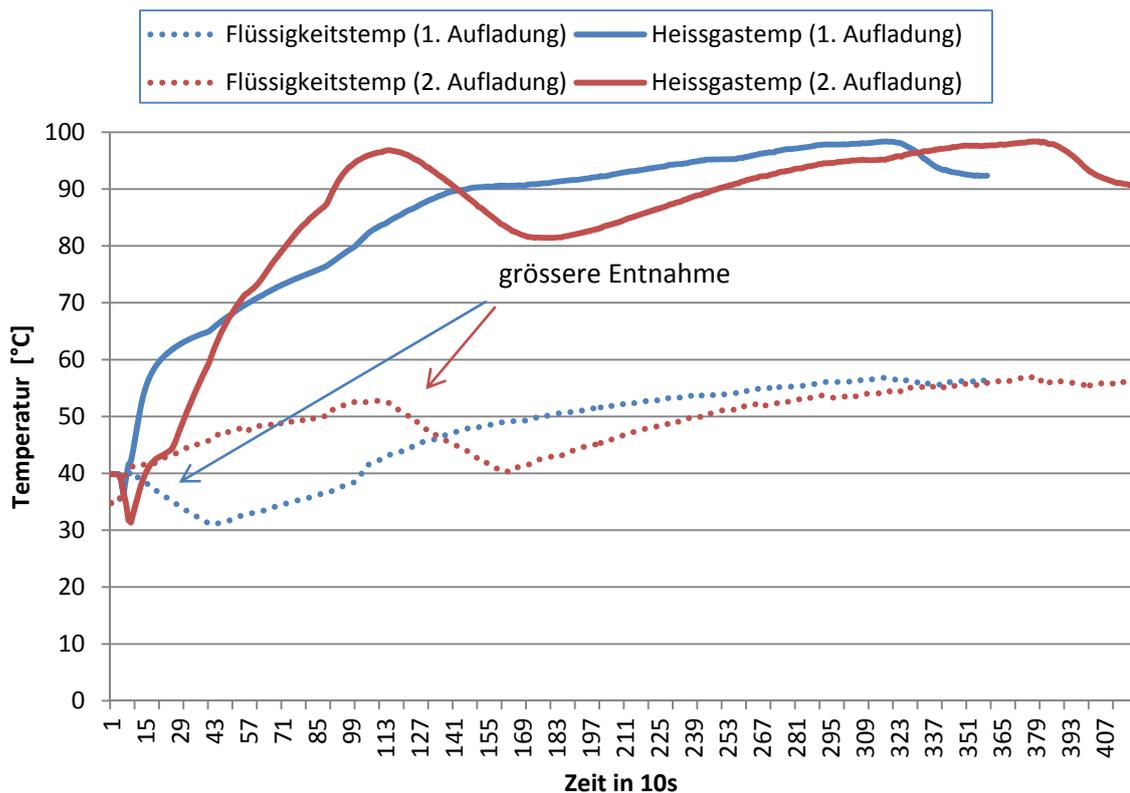


Abb. 2.7: Flüssigkeits- und Heissgastemperatur während der 1. und 2. Aufladung (Messung 9)

Das Ziel des Reglers ist, so schnell als möglich eine bestimmte Heissgastemperatur (ca. 100°C) zu erreichen. In diesem Fall wird die Drehzahl erhöht bis die gewünschte Temperatur erreicht ist. Kurz vor Ende der Aufladung reduziert der Regler die Drehzahl um das  $dT$  zwischen Kondensator und Wassertemperatur zu reduzieren.

Während der Bereitschaftsperiode (es wird kein Warmwasser entnommen) verhält sich die Aufladung, um die Speichertemperatur auf einem gewünschten Niveau zu halten, sehr ähnlich. In Abb. 2.8 ist diese Aufladung ersichtlich. Die Aufnahmeleistung fährt auch hier langsam hoch. Auffallend ist, dass die zeitliche Drehzahländerung während der Bereitschaftsperiode der 2. Aufladung während des Entnahmezyklus entspricht. Bei beiden Aufladungen werden nach 400 s (2. Stufe) und 880 s (3. Stufe) die grossen Drehzahlsprünge durchgeführt. Weshalb die 1. Aufladung während der Entnahmeperiode zeitlich nicht mit den anderen beiden Aufladungen übereinstimmt, liegt an einer anderen

Voraussetzung. So wird die 1. Aufladung während einer grösseren Entnahme eingeleitet, bei den beiden anderen Aufladungen wird während den ersten 880 s keine Entnahme durchgeführt.

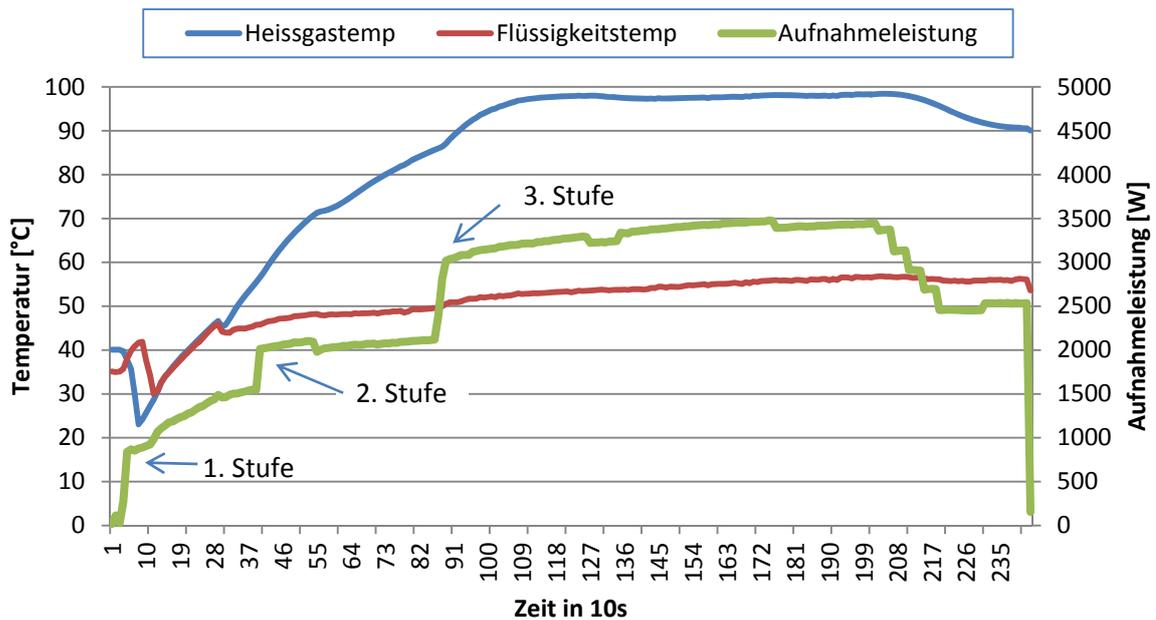


Abb. 2.8: Flüssigkeits-, Heissgastemperatur und Aufnahmeleistung während der Bereitschaftsperiode (Messung 9)

Ebenfalls in Tab. 2.3 ist die hohe Verlustleistung von 60 W ersichtlich. Dies ist die durchschnittliche permanente Leistungsaufnahme, um die gewünschte Temperatur von ca. 52°C im Speicher zu halten. Dieser Wert liegt gegenüber dem 1. Prüfling um fast 50% höher. Dieser hohe Verbrauch hat direkten Einfluss auf die Effizienz des Heizungssystems. Hätte der 2. Prüfling ebenfalls eine Verlustleistung von ca. 42 W, so würde die Effizienz um mehrere Prozent ansteigen (siehe Tab. 2.3). Vereinfacht könnte etwa 0.432 kWh (24h mal 18 W) Energie pro Tag eingespart werden.

Tab. 2.4: COP-Erhöhung durch kleinere Verlustleistung

COP mit S = 1.00 (+19%)	COP mit M = 1.27 (+9%)	COP mit L = 1.79 (+7%)
COP mit S = 0.84 (Original)	COP mit M = 1.16 (Original)	COP mit L = 1.68 (Original)

## 2.3 Fazit

Die Effizienz der Anlage hängt von mehreren Faktoren ab. Beim ersten Prüfling wurde diese vor allem durch die interne Hysterese und die Entnahmemenge beeinflusst. Hingegen beim zweiten Prüfling könnte auch die Regelung des Inverters einen grösseren Einfluss auf die Effizienz haben. Um dies herauszufinden, müsste die Drehzahl des Kompressors jedoch frei wählbar sein. Auf jeden Fall wurde ersichtlich, dass der COP stieg, umso mehr Warmwasser während dem Zapfprofil entnommen wurde. Die Effizienz schwank beim 1. Prüfling zwischen 1.2 und 2.6 und beim 2. Prüfling zwischen 0.8 und 1.7 je nach Entnahmeprofil. Solche Messerfahrten könnten durchaus für die zukünftige Auslegung des Speichervolumens und der Dimensionierung von WP und Zwischenwärmetauscher von Bedeutung sein.

### 3 Vergleich dieser Messreihe mit dem Vorprojekt

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse dieses Projekts mit dem Vorprojekt „Labormessungen zur Effizienz von Wärmepumpen-Warmwasserspeicher“ (Kapitel 4) verglichen werden. Beim Vorprojekt wurden Brauchwarmwasser-Wärmepumpen und Elektro-Warmwasserspeicher (Elektroboiler) ebenfalls an unterschiedlichen Zapfprofilen gemessen.

Die Brauchwarmwasser-Wärmepumpe wurde bei 15°C und der Elektroboiler bei Raumtemperatur gemessen.

#### 3.1 Messergebnisse

Die Messungen beim Vorprojekt wurden auch mit einem Zapfprofil XL durchgeführt, da es sich um grössere Speichervolumen als bei den Wärmepumpen mit integrierten Speichern handelte. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse beider Projekte ersichtlich.

Tab. 3.1: Messergebnisse

Zapfprofil	Entnahmemenge [kWh]	COP			
		<b>A</b> Heizwärmepumpe mit integriertem Speicher (175 Liter)	<b>B</b> Heizwärmepumpe mit integriertem Speicher (260 Liter)	<b>C</b> Brauchwarmwasser- Wärmepumpe (270 Liter)	<b>D</b> Elektroboiler (300 Liter)
S	2.1	1.17	0.84	1.50	0.68
M	5.8	<b>1.91</b>	<b>1.16</b>	<b>2.60</b>	<b>0.85</b>
Praxis 1	6.8	2.00	-	-	-
L	11.7	2.61	1.68	-	-
XL	19.1	-	-	2.98	0.94
Verlustleistung [W]		42	60	27	63

Einer hohen Verlustleistung muss nicht zwingend ein schlecht isolierter Speicher gegenüberstehen. Die Verlustleistung nach EN 16147 entspricht der elektrischen Leistung, um einerseits die Temperatur im Speicher aufrechtzuerhalten und andererseits welche für die Aggregate (Regler, Umwälzpumpe, usw.) notwendig sind. Bei allen 4 Typen nimmt die Effizienz mit steigender Entnahmemenge zu. Bei der Wärmepumpe mit integriertem Warmwasserspeicher (A) nimmt die Effizienz vom kleinsten (S) zum grössten gemessenen Zapfprofil (L) um mehr als 120% zu. Bei der anderen Wärmepumpe mit integriertem Speicher (B) und Brauchwarmwasser-Wärmepumpe steigt der COP immerhin auf das Doppelte (von 0.84 auf 1.68 bzw. von 1.5 auf 3.0). Dem gegenüber steigt die Effizienz beim Elektro-Warmwasserspeicher nur um etwa 40%. An diesem Beispiel wird ersichtlich, dass bei den Wärmepumpen das gewählte Zapfprofil einen grösseren Einfluss auf die Effizienz ausübt als beim Elektroboiler. Jedoch ist auch zu erwähnen, dass die gemessenen Wärmepumpen mit geeigneter Hysterese

selbst beim kleinsten Entnahmeprofil um mindestens 20% effizienter sind als der Elektroboiler. Mit der nächsten Abbildung soll der Einfluss der Entnahmemenge auf die Effizienz grafisch ersichtlich werden.

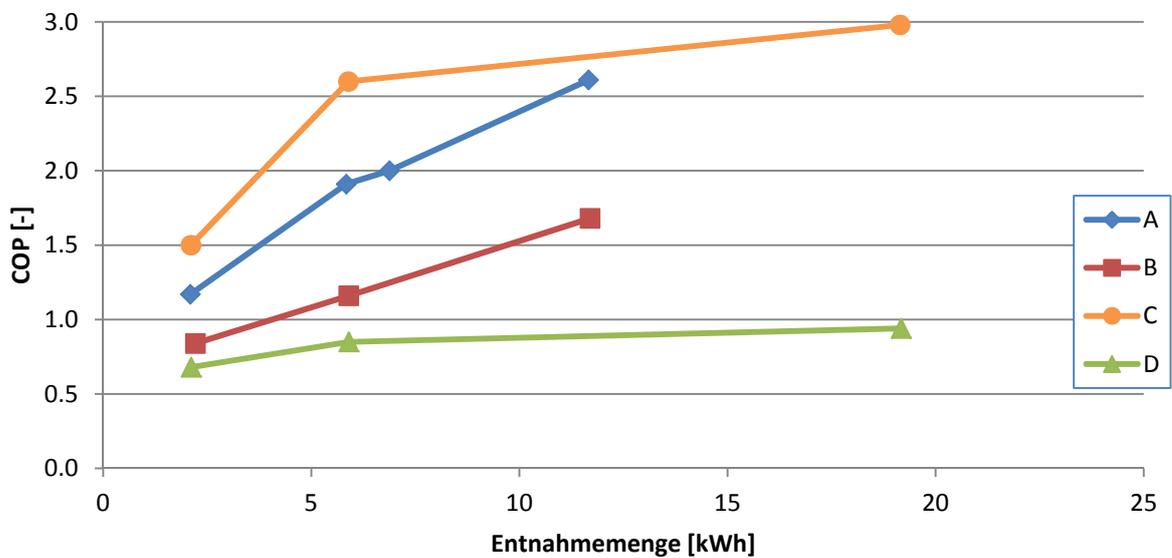


Abb. 3.1: Abhängigkeit der Effizienz von der Entnahmemenge (Legendenzuordnung in Tab. 3.1 ersichtlich)

Nun stellt sich die Frage weshalb der Einfluss des gewählten Zapfprofils bei den Wärmepumpen einen grösseren Einfluss hinterlässt als beim Elektroboiler. Eine Erklärung könnte die Effizienzabhängigkeit der Wärmepumpe in Bezug auf die Warmwassertemperatur im Speicher sein. Die folgende Abbildung verdeutlicht dies.

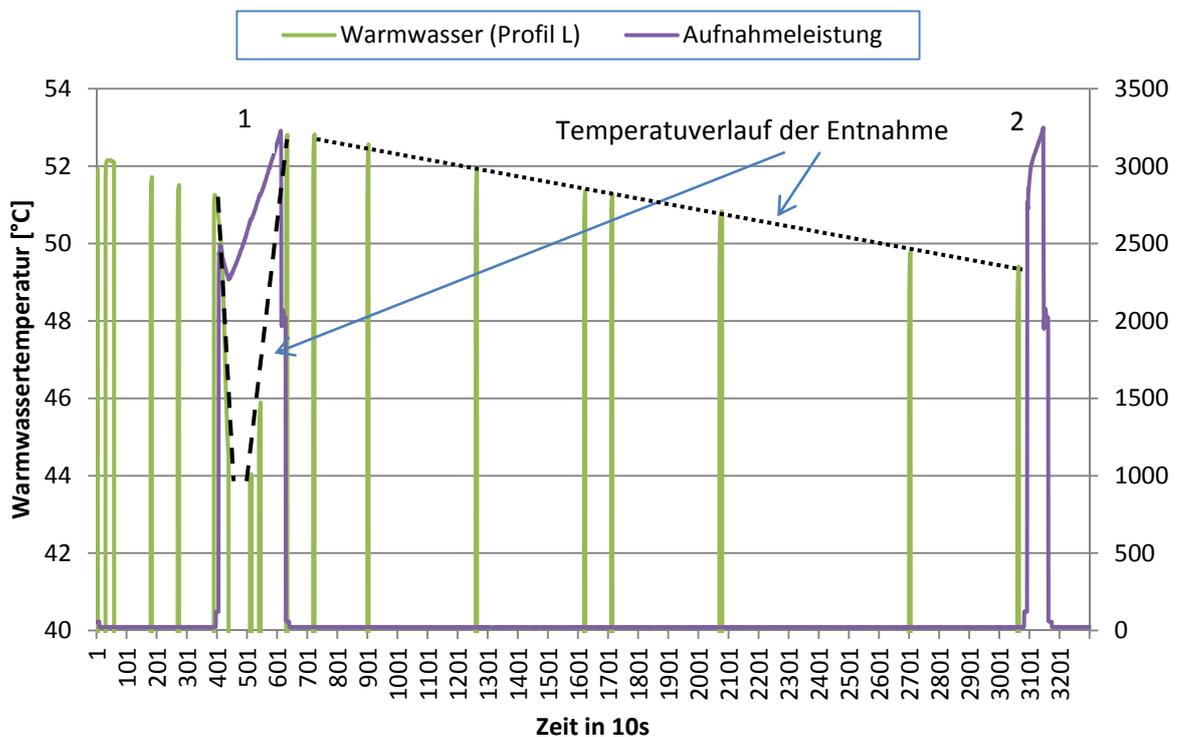


Abb. 3.2: Warmwassertemperaturverlauf und Aufnahmeleistung der Wärmepumpe

Anhand der beiden Aufladungen wird der Einfluss der Warmwassertemperatur auf die Effizienz ersichtlich. Bei der Aufladung 1 erhitzt die Wärmepumpe den Speicher von etwa 44°C auf 53°C, wohingegen bei der Aufladung 2 die Temperatur nur von 49°C auf 53°C erhöht wird. Daher ist die erste Aufladung wesentlich effizienter als die zweite Aufladung. Je grösser das Entnahmeprofil gewählt wird, umso mehr grosse (und dementsprechend effiziente) Entnahmen sind enthalten.

Beim kleinsten Zapfprofil S kommen relativ kleine Entnahmen vor (0.1 bis 0.5 kWh) und beim Profil L liegt die Spreizung zwischen 0.1 und 3.6 kWh. Während der 3.6 kWh-Entnahme beginnt die erste Aufladung. Die Temperatur im Austritt des Speichers fiel während der Entnahme von 51°C auf 44°C, somit lädt die Wärmepumpe bei tieferen Temperaturen nach. Zwischen der ersten und der zweiten Aufladung wurden zwar 9 Entnahmen durchgeführt, aber alle lagen zwischen 0.1 und 0.3 kWh (ähnlich wie beim Zapfprofil S).

In Abbildung. 3.2 ist zudem ersichtlich, dass die Temperatur am Austritt des Speichers zwischen der ersten und zweiten Aufladung praktisch linear abnimmt. In diesem Bereich fällt die Verlustleistung über die Dämmung stark ins Gewicht. In der folgenden Tabelle ist die Spreizung der einzelnen Entnahmemenge je Zapfprofil ersichtlich.

Tab. 3.2: Einzelne Entnahmemenge pro Entnahmeprofil

Zapfprofil	Einzelne Entnahmemenge [kWh]
S	0.1 bis 0.5
M	0.1 bis 1.4
L	0.1 bis 3.6
XL	0.1 bis 4.4

Je grösser die einzelnen Entnahmen sind, umso vorteilhafter wirkt sich dies auf den COP der Wärmepumpe aus. Dies basiert einerseits auf dem oben beschriebenen Effekt und andererseits darauf, dass die Wärmeverluste durch die Dämmung weniger gewichtet werden. Beim Elektroboiler bleibt die Aufnahmeleistung unabhängig von der Wassertemperatur im Speicher konstant. Dafür fällt beim Elektroboiler die Verlustleistung über die Dämmung stärker ins Gewicht als bei den Wärmepumpentypen, wobei die eine Heizungswärmepumpe mit integriertem Speicher (B) einen ähnlich hohen Wert aufweist (siehe Tab. 3.1).

## 3.2 Fazit

Bei allen vier Typen von Wassererwärmern hat die Entnahmemenge einen starken Einfluss auf die Effizienz. Dieser Effekt fällt bei den Wärmepumpentypen wesentlich stärker ins Gewicht als beim Elektroboiler. Die höchste Effizienz kann erreicht werden, wenn die einzelnen Entnahmemengen gross sind. Bei kleinen Entnahmemengen kommen vor allem die Wärmeverluste zum Tragen.

## 4 Referenzen

- [1] *Mick Eschmann, 18.06.2014; Labormessungen zu Effizienz von Wärmepumpen-Warmwasserspeicher; BFE-Projekt: SI/401138-01*
- [2] *BFE-Projekt: Labormessungen zu Effizienz von Wärmepumpen-Warmwasserspeicher; 18.06.2014, Mick Eschmann*
- [3] *EN 16147:2011: Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Prüfungen und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwarmwasser*
- [4] *EN14511:2013 Teile 1 bis 4: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern: Begriffe, Prüfbedingungen, Prüfverfahren und Anforderungen*