



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Effizienzuntersuchung von Brauchwarmwasser an Wärmepumpen mit integriertem Boiler

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: 13.10.2014

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

Fachspezialistin Erneuerbare Energien : Rita Kobler Rita.Kobler@bfe.admin.ch

Projektnummer: SI/401320-01

Bezugsort der Publikation: 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	7
2.2 Fazit.....	10
3 Vergleich dieser Messreihe mit dem Vorprojekt	11
3.1 Messergebnisse	11
3.2 Fazit.....	13
4 Referenzen	14

Zusammenfassung

Bei Wärmepumpen-Boilern 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 mittels Wärmepumpen mit integriertem Boiler untersucht.

Es wurden Messungen mit unterschiedlichen Zapfprofilen nach EN 16147 [2] an diesem Wärmepumpentyp durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass nicht nur das Entnahmeprofil einen grossen Einfluss auf die Effizienz hat, sondern auch die einzelne Entnahmemenge. 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.

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 wird eine handelsübliche Wärmepumpe mit integriertem Warmwasserboiler bei unterschiedlichen Zapfprofilen geprüft.
2. Die Ergebnisse werden mit denen vom Vorprojekt „Labormessungen zur Effizienz von Wärmepumpen-Warmwasserspeicher“ verglichen

2 Messaufbau

In diesem Kapitel wird auf den Messaufbau eingegangen. Es wird eine handelsübliche Split-Wärmepumpe (Sole-Kreislauf) mit integriertem 175-Liter-Warmwasserspeicher bei Umgebungstemperatur gemessen. Der interne Temperaturfühler ist im oberen Drittel des Speichers platziert. Die Grösse des Kondensators sind nicht bekannt.

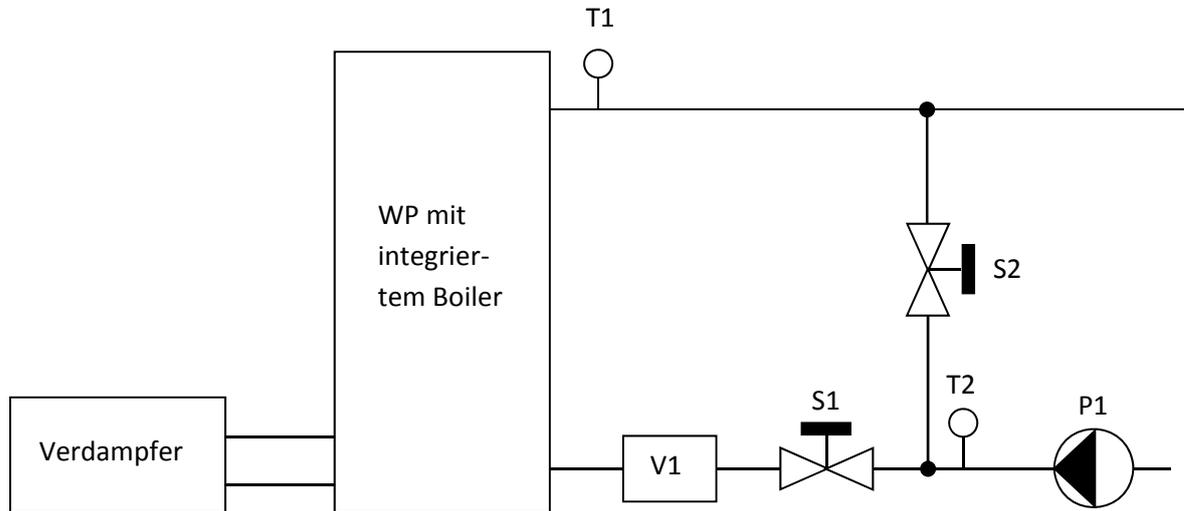


Abb. 2.1: Versuchsaufbau mit einer handelsüblichen Split-Wärmepumpe

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 ± 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 [dm^3/s]

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

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

t Messzeit [s]

2.1 Messergebnisse

Es 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 ist nicht leistungsgeregelt. Bei -10/W55 beträgt die Heizleistung noch rund 5.3 kW. Die hohen Leistungen könnten zu einem Nachteil für die Brauchwarmwasser-Zubereitung führen.

Mit diesem Projekt soll die Abhängigkeit der Effizienz auf die Entnahmemenge von solchen Wärmepumpentypen herausgefunden werden. Deshalb werden die Messungen mit verschiedenen Zapfprofilen 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 definiert 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.

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

Tab. 2.1: Messergebnisse

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. 2.1 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 24 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.

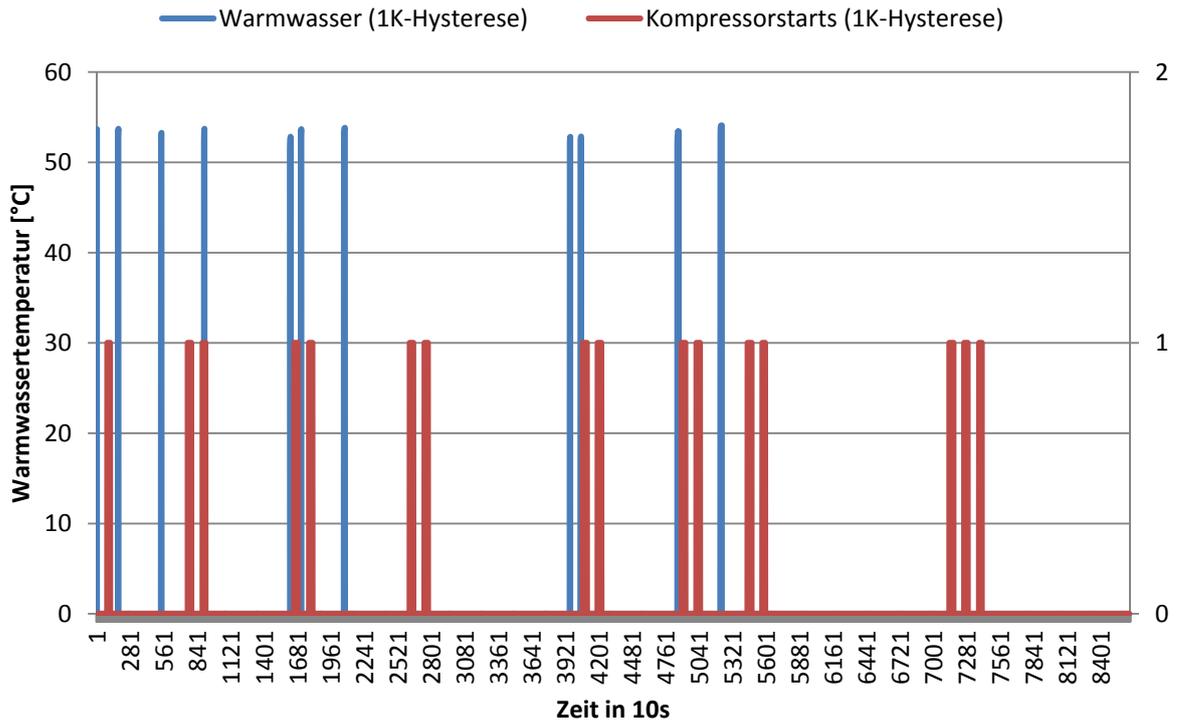


Abb. 2.1: Verlauf der Entnahmewassertemperatur und Anzahl Kompressorstarts mit 1K-Hysterese (Messung 1)

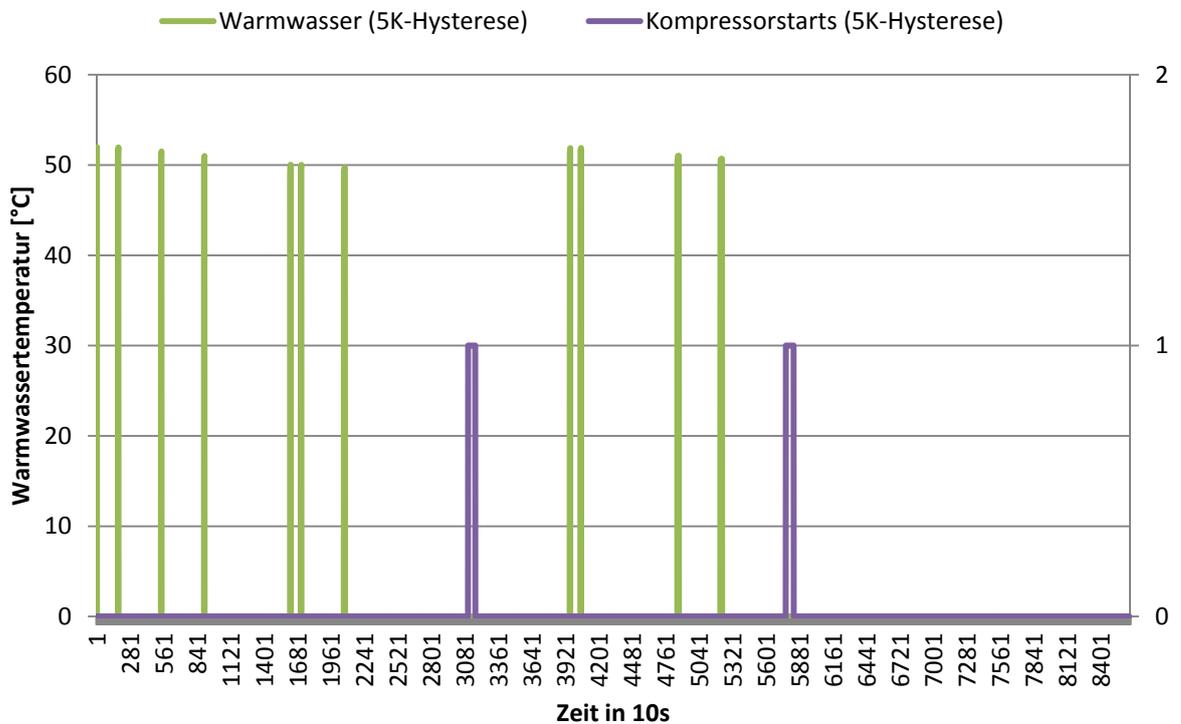


Abb. 2.2: Verlauf der Entnahmewassertemperatur und Anzahl Kompressorstarts mit 5K-Hysterese (Messung 2)

In Abb 2.1 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 Wärmepumpe schaltet regelungstechnisch bei einer bestimmten Heissgastemperatur ab (nicht wählbar). Ausserdem sind die vielen und kurzen Starts bei der Messung 1 in der Abb. 2.1 ersichtlich. Mit der grösseren Wahl der Hysterese konnte nebst einer geringeren Anzahl von Starts auch eine längere Aufladungszeit erzielt werden.

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.

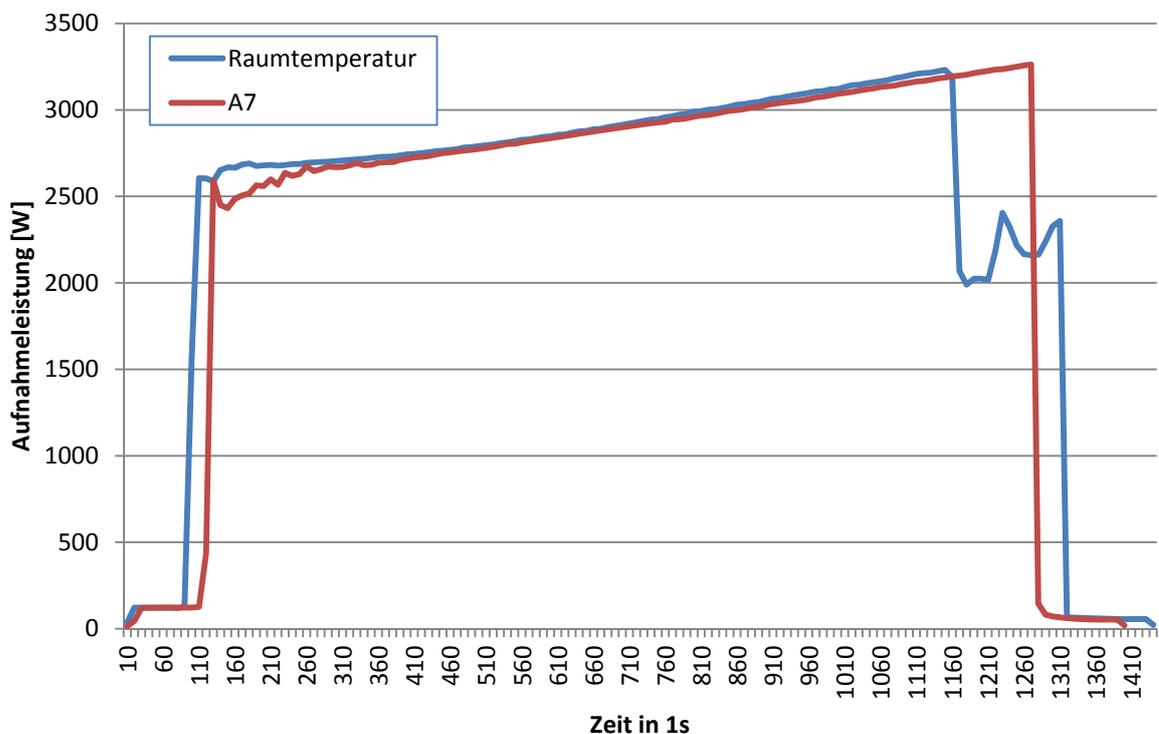


Abb. 2.3: Aufnahmeleistung während einer Aufladung des Speichers (Messung 3 und 4)

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 Expansionsventils hervorgerufen, um die Verdampfungstemperatur konstant halten zu können. Die Regelung funktioniert wahrscheinlich noch nicht optimal, da die Aufnahmeleistung einbricht, statt konstant zu bleiben. Ein anderer Grund für den geringen Anstieg des COP zwischen beiden Messungen ist, 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.

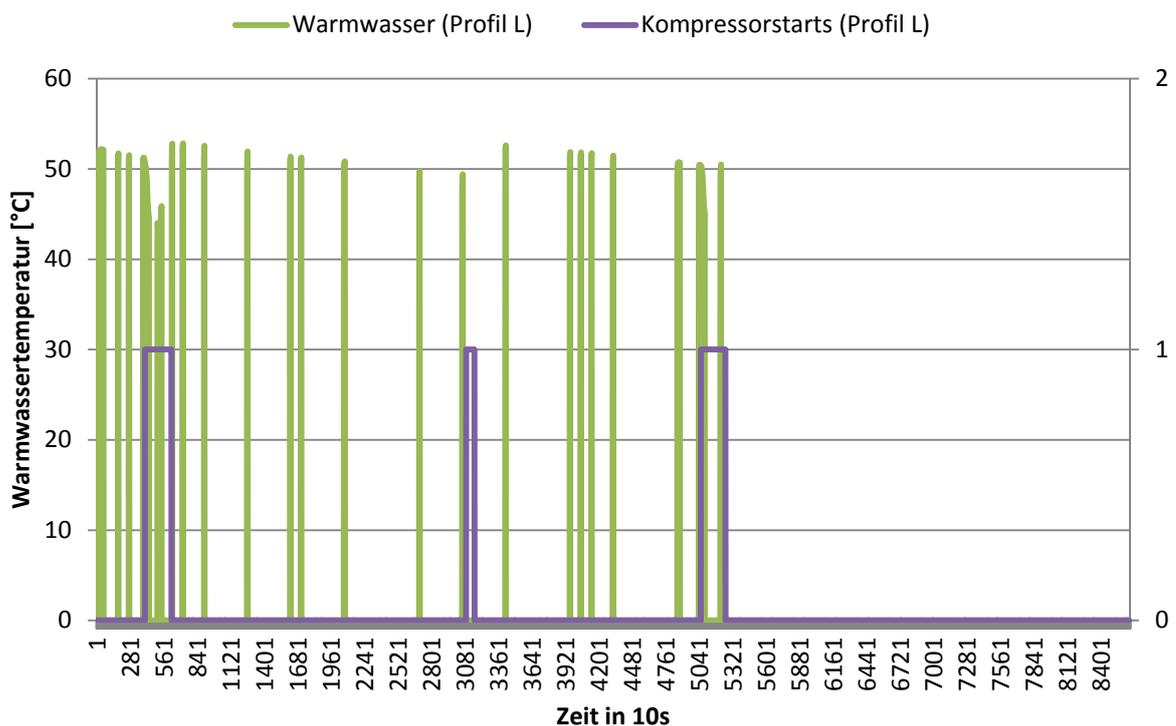


Abb. 2.4: Verlauf der Warmwassertemperatur und Anzahl Kompressorstarts mit 5K-Hysterese (Messung 6)

Dass beim Profil L wesentlich mehr Entnahmen vorkommen als z.B. beim Profil S, wird anhand der beiden Abbildungen 2.2 und 2.4 ersichtlich. Die Wärmepumpe schaltet insgesamt 3 mal ein, damit die Warmwassertemperatur im Speicher aufrechterhalten kann.

2.2 Fazit

Die Effizienz der Anlage hängt einerseits stark von der eingestellten Hysterese ab und andererseits vom gewählten Zapfprofil. Je grösser die Entnahmemenge ist, umso höher wird auch der COP. Die Effizienz schwankt je nach Zapfprofil von 1.2 bis 2.6. 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 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 beim integrierten Speicher handelte. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse beider Projekte ersichtlich.

Zapfprofil	Entnahmemenge [kWh]	COP		
		A Heizwärmepumpe mit integriertem Boiler (175 Liter)	B Brauchwarmwasser- Wärmepumpe (270 Liter)	C Elektroboiler (300 Liter)
S	2.1	1.17	1.50	0.68
M	5.8	1.91	2.60	0.85
Praxis 1	6.8	2.00	-	-
L	11.7	2.61	-	-
XL	19.1	-	2.98	0.94

Tab. 3.1: Messergebnisse

Bei allen 3 Typen nimmt die Effizienz mit steigender Entnahmemenge zu. Bei der Wärmepumpe mit integriertem Boiler nimmt die Effizienz vom kleinsten (S) zum grössten gemessenen Zapfprofil (L) um mehr als 120% zu. Bei der Brauchwarmwasser-Wärmepumpe steigt der COP immerhin auf das Doppelte (von 1.5 auf 3.0). Dem gegenüber steigt die Effizienz beim Elektroboiler 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 mehr als 70% effizienter sind als der Elektroboiler. Mit der nächsten Abbildung soll der Einfluss der Entnahmemenge auf die Effizienz grafisch ersichtlich werden.

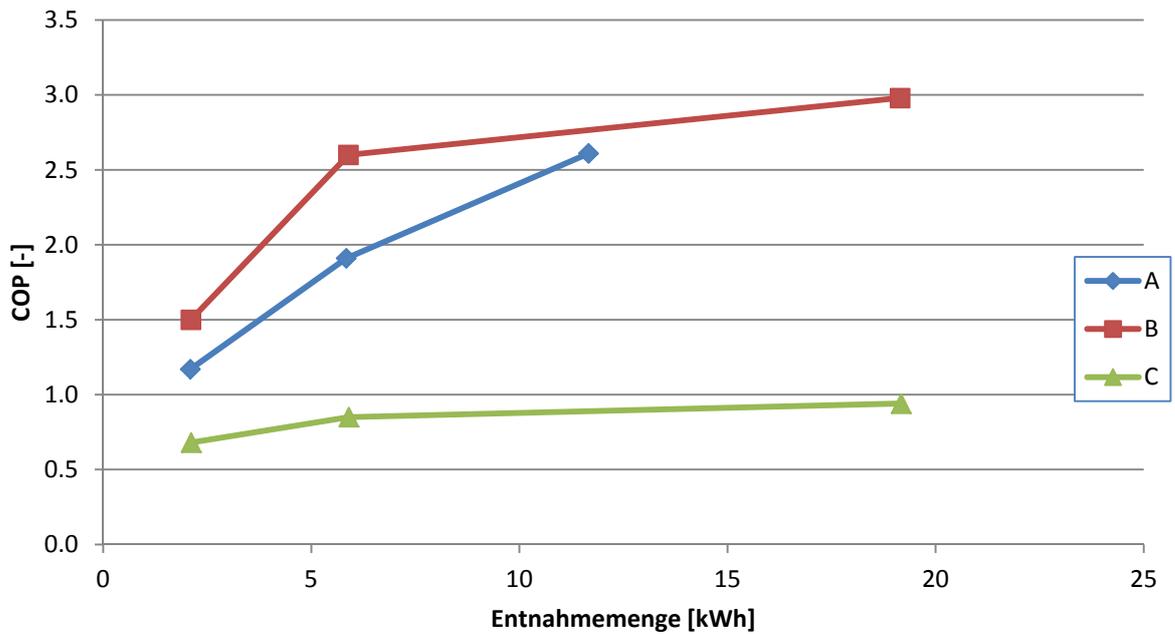


Abb. 3.1: Abhängigkeit der Effizienz von der Entnahmemenge

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. In der folgenden Abbildung wird dies verdeutlicht.

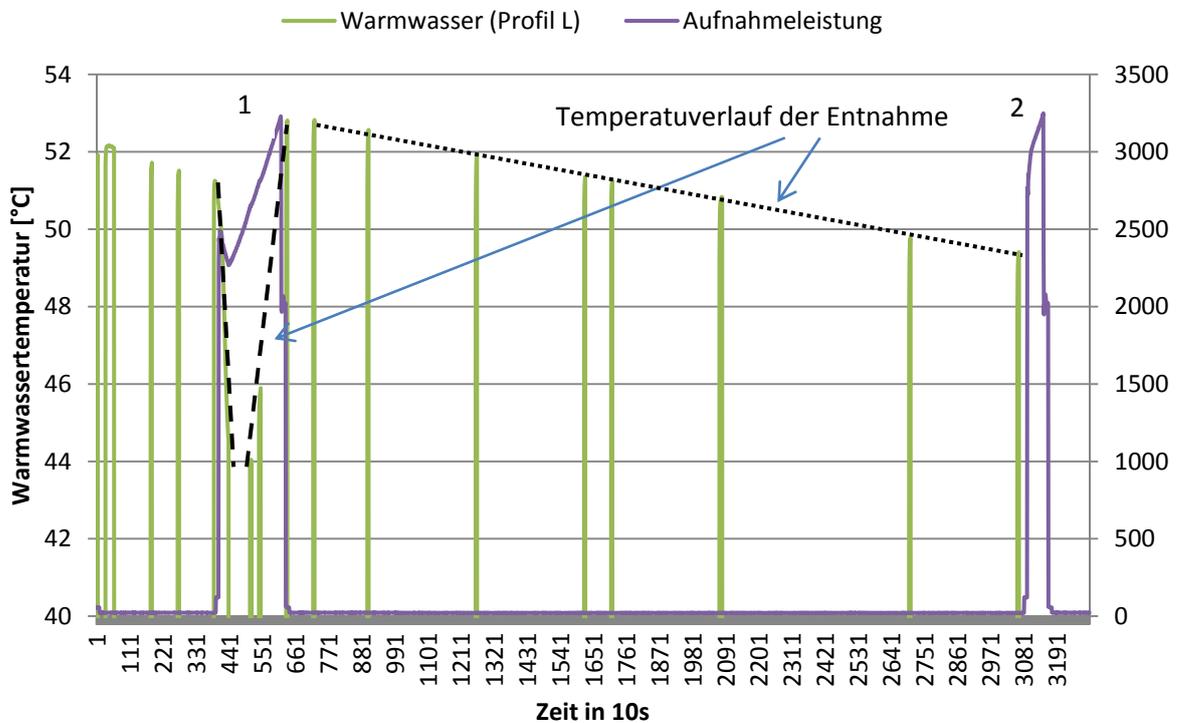


Abb. 3.2: Warmwassertemperaturverlauf und Aufnahmeleistung der Wärmepumpe

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.

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

Tab. 3.2: Einzelne Entnahmemenge pro Entnahmeprofil

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 fallen beim Elektroboiler die Verlustleistung über die Dämmung stärker ins Gewicht als bei den Wärmepumpentypen.

3.2 Fazit

Bei allen drei Typen von Warmwasser-Erwärmern 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*