



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Labormessungen zu Effizienz von Wärmepumpen- Warmwasserspeicher

Zwischenbericht

Ausgearbeitet durch:

Mick Eschmann, Interstaatliche Hochschule für Technik NTB

Werdenbergstrasse 4, CH – 9471 Buchs SG

michael.eschmann@ntb.ch, www.ntb.ch

Impressum

Datum: 18.06.2014

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/401138-01

Bezugsort der Publikation: www.bfe.admin.ch

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

Inhaltsverzeichnis

1	Projektziele	6
2	Vergleichsmessung zwischen zwei Messsystemen	7
2.1	Messergebnis.....	8
2.2	Fazit.....	10
3	Effizienz eines Elektroboilers	11
3.1	Messergebnis.....	11
3.2	Fazit.....	12
4	Effizienz in Abhängigkeit der Entnahmemenge	13
4.1	Messergebnis.....	13
4.2	Fazit.....	14
5	Referenzen	15

Zusammenfassung

Da die Effizienz der Brauchwarmwasser-Wärmepumpen im Feld tiefer liegt als auf dem Prüfstand, stellt sich die Frage, ob die Wärmemenge im Feld genug genau gemessen werden kann. Daher wird ein Messsystem, das für Feldmessungen eingesetzt wird mit einem Labormesssystem bei Laborbedingungen auf dessen Messgenauigkeit verglichen. Bei diversen Messungen mit unterschiedlichen Warmwasserentnahmen konnte das Feldmesssystem die angegebene Messgenauigkeit einhalten. Es ist sicher darauf zu achten, dass die Dimensionierung des Feldmesssystems an die Durchflussmengen des Haushalts angepasst ist.

Eine Brauchwarmwasser-Wärmepumpe wird gerne als 3mal effizienter als ein Elektroboiler propagiert. Deshalb wurde für dieses Projekt ein handelsüblicher Elektrospeicher mit einem Nennvolumen von 300 Liter nach EN 16147 [1] gemessen um diese These zu bestätigen oder zu widerlegen. Der COP lag bei 0.94 mit dem gewählten Zapfprofil XL. Die Wärmepumpen-Boiler haben durchschnittlich einen COP von 2.8 in dieser Nennvolumenklasse. Die 3 als marktrelevanten Wert konnte somit mit dieser Messung bestätigt werden.

Bei Labormessungen werden Zapfprofile gewählt, die einen hohen COP für das Produkt versprechen. In der Schweiz werden Wärmepumpen-Boiler mit einem Nennvolumen zwischen 250 und 400 Liter üblicherweise mit dem Zapfprofil XL gemessen. Dies entspricht einer Energieentnahme von rund 19.1 kWh pro Tag. Im Feld sind nur selten so hohe Entnahmemengen bei dieser Nennvolumenklasse zu erwarten. Im Normalfall liegt der tägliche Warmwasserbedarf weit unter diesem. Deshalb stellt sich die Frage, welchen Einfluss ein Zapfprofil auf die Effizienz eines Wärmespeichers hat. Hierzu wurde ein Wärmepumpen- und Elektroboiler an drei Zapfprofilen S (2.1 kWh), M (5.8 kWh) und XL gemessen. Das Ergebnis zeigt, dass beide Wärmespeicher an Effizienz verlieren, wenn die Entnahmemenge sinkt. Dieser Effekt ist jedoch grösser bei der Brauchwarmwasser-Wärmepumpe.

1 Projektziele

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

1. Zurzeit werden Feldmessungen von Wärmepumpen-Boiler durchgeführt. Zurzeit ist die Messgenauigkeit von kleinen Entnahmemengen im Feld noch unbekannt und stützt sich auf die Herstellerdaten. Daher soll an den beiden Messequipments für das Labor und Feld eine Vergleichsmessung durchgeführt werden.
2. Die Brauchwarmwasser-Wärmepumpe propagiert im Volksmund mit einem COP-Wert von 3.0. Da die aktuellen COP-Werte nach EN 16147 bei den WEW-WPs im Schnitt bei etwa 2.8 liegen, stellt sich die Frage, welchen realen COP hat ein Elektroboiler nach EN 16147.
3. Da in der Praxis ein tieferer COP-Wert erwartet wird als nach den Labormessungen, wird eine Labormessung auch mit einem anderen Zapfprofil (kleineres als XL) durchgeführt. Mit einem kleineren Zapfprofil wird dem Speicher weniger Energie entnommen, dadurch wird auch ein tieferer COP erwartet (höherer Anteil der Wärmeverluste).

2 Vergleichsmessung zwischen zwei Messsystemen

In diesem Kapitel wird auf die Vergleichsmessung von Labor- und Feldmessinfrastruktur eingegangen. Damit eine Vergleichsmessung durchgeführt werden kann, müssen beide Messequipments am WEW-Prüfstand eingebaut werden. In der nächsten Abbildung ist der Versuchsaufbau ersichtlich.

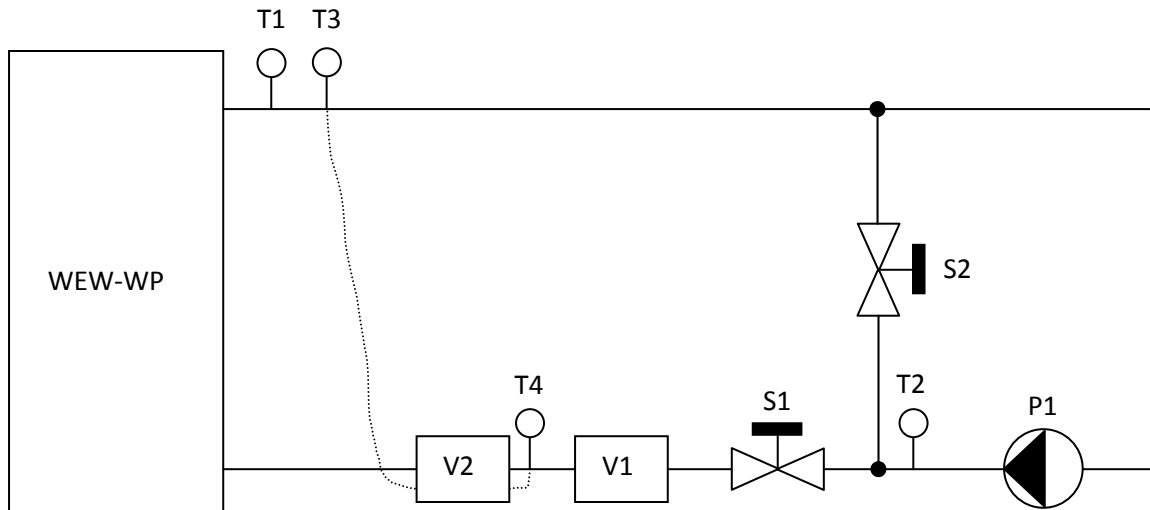


Abb. 2.1: Versuchsaufbau für Vergleichsmessung

Das Labormessequipment besteht aus einem magnetisch-induktiven Durchflusszähler V1 und zwei PT-100-Temperaturfühler (T1 und T2). Diese drei Messsensoren sind kalibriert und werden auch für internationale Zertifizierungsmessungen verwendet. Das Feldmessequipment besteht aus einem Wärmezähler (V2, T3 und T4) von NeoVac 2WR6 (mit oder ohne M-Bus-Schnittstelle), der ebenfalls bei Feldmessungen eingesetzt wird. Mit den Drosselventilen S1 und S2 werden die erforderlichen Durchflüsse für die Prüfung eingestellt.

Beim Labormessequipment wird die Wärmemenge Q mit der Formel 2.1 berechnet. Beim Wärmezähler wird die Wärmemenge intern verrechnet und in kWh herausgegeben.

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

Q Wärmemenge [Ws]

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

ρ_{T2} Dichte von Wasser in Abhängigkeit der Kaltwassertemperatur T2 [kg/dm^3]

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

t Messzeit [s]

2.1 Messergebnis

Es werden insgesamt 3 Wärmepumpen-Boiler mit einem Nennvolumen von 270 bis 300 Liter (unterschiedliche Hersteller) für die Vergleichsmessung herangezogen. Die Messungen werden nach EN 16147 und mit dem für die Schweiz üblichen Zapfprofil XL durchgeführt. Beim Zapfprofil XL werden insgesamt 19.07 kWh pro 24h Wärme mit unterschiedlichen Zapfmengen (z.B. Geschirrspülen oder Duschen) entnommen. Bei diesem Zapfprofil werden zwei unterschiedliche Volumenströme für die Entnahmen eingestellt. Bei kleinen Entnahmemengen wie Haushaltsreinigung oder Geschirrspülen wird ein Durchfluss von 4 Liter/min und bei grossen Entnahmemengen wie Duschen oder Baden von 10 Liter/min eingestellt. Das genaue Zapfprofil kann in der EN 16147 nachgelesen werden.

Der Wärmezähler 2WR6 von NeoVac hat einen Durchflussmessbereich von 0.5 bis 50 Liter/min. Dieser Zähler sollte zumindest für die Vergleichsmessung richtig dimensioniert sein. Die Messgenauigkeit liegt laut Hersteller bei max. 1.5%.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Vergleichsmessungen ersichtlich.

	Nennvolumen [Liter]	Entnahmemenge Labormessequipment [kWh]	Entnahmemenge Feldmessequipment [kWh]	Abweichung [%]
WEW-WP1	285	19.168	19.000	0.9%
WEW-WP2	300	18.743	18.000	4.1%
WEW-WP3	270	19.147	19.000	0.8%

Tab. 2.1: Messergebnisse der Energieentnahmen

Die Abweichung zwischen dem Labormesssystem und dem Feldmesssystem liegt bei den Messungen WEW-WP1 und WEW-WP3 unter 1%. Bei der Messung WEW-WP2 liegt diese Abweichung über 4%. Diese grössere Abweichung könnte von der Auflösung des NeoVac-Wärmezählers herkommen. Die Auflösung beträgt bei diesem Wärmezähler bei nur 1 kWh (mit und ohne M-Bus-Schnittstelle). Mit dem Labormessequipment liegt die Auflösung bei 0.001 kWh. Nach EN 16147 können Entnahmemengen von nur 0.105 kWh auftreten (z.B. Haushaltsreinigung), d.h. bei zehn solchen Entnahmemengen wird sich der Wert des Feldmesssystems erst um eins erhöhen. Aus diesem Grund ist es von Vorteil, wenn der zeitliche Verlauf beider Messsysteme in einem Diagramm ersichtlich aufgezeigt wird. Dadurch kann schnell festgestellt werden, ob eines der beiden Messsysteme während der Messung wegdriftet. In der Abb. 2.2 wird der Wärmemengenverlauf beider Messsysteme während der Messung der WEW-WP2 graphisch dargestellt.

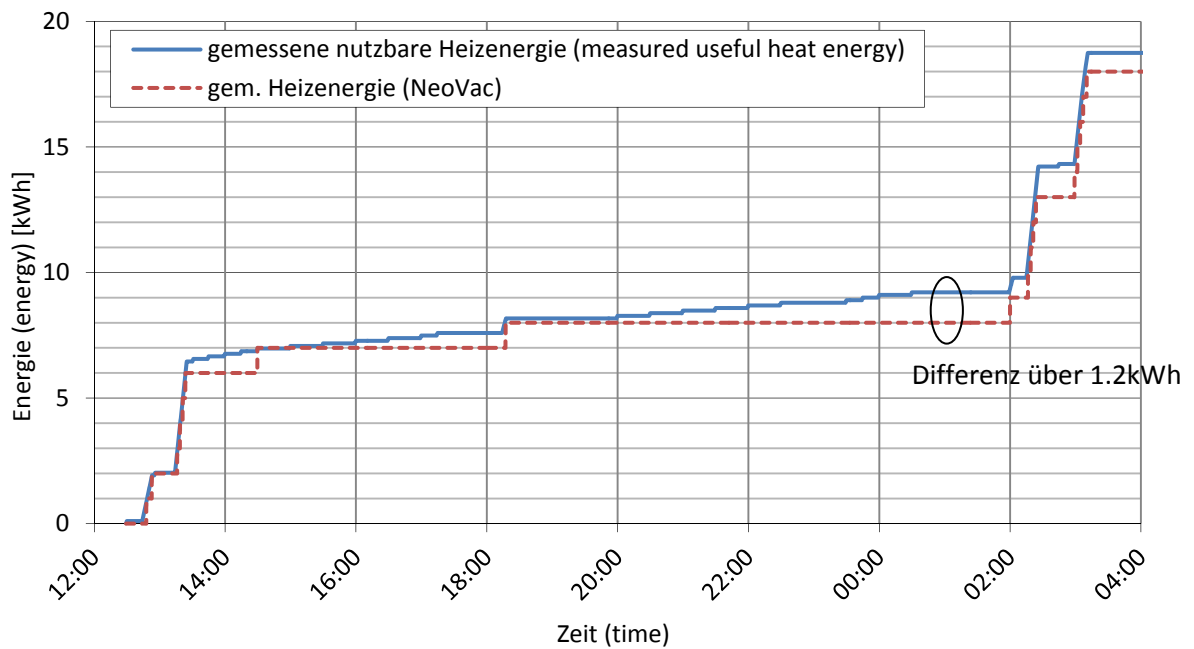


Abb. 2.2: Wärmemengenverlauf beider Messsysteme (WEW-WP2)

Die Differenz kann zeitweise bei über 1.2 kWh liegen. Die Wärmemenge um ca. 01:00 Uhr liegt mit dem Labormessequipment bei 9.209 kWh und mit dem Feldmessequipment bei 8.000 kWh. Um ca. 02:00 Uhr als die nächste Entnahme eingeleitet wird, liegt die Differenz kurz unter 0.3 kWh, nachdem der NeoVac-Wärmezähler zur nächsthöheren kWh gesprungen ist. Bei genauer Betrachtung beider Kurven ist ersichtlich, dass die Abweichung über den gesamten Tag nie grösser als 0.3 kWh ist, sobald der Feld-Wärmezähler auf die nächste kWh springt.

Zusätzlich zur Entnahmemenge wurde auch die nutzbare Bezugswarmwasserenergie mit beiden Messsystemen gemessen und verglichen. Dabei wird nach der Abschaltung des Kompressors solange Wasser entnommen, bis die Austrittstemperatur T1 unter 40°C fällt. Ausserdem wird auch noch die max. nutzbare Warmwassermenge mit beiden Messsystemen ermittelt. In der Tabelle 2.2 werden die Ergebnisse der verschiedenen Messungen dargestellt.

	Nutzbare Bezugswarmwasserenergie [kWh], Labormessequipment	Nutzbare Bezugswarmwasserenergie [kWh], Feldmessequipment	Max. Warmwassermenge [l], Labormessequipment	Max. Warmwassermenge [l], Feldmessequipment
WEW-WP1	12.736	12.000	368	364
WEW-WP2	11.139	11.000	321	319
WEW-WP3	12.359	12.000	357	355

Tab. 2.2: Messergebnisse der nutzbaren Bezugswarmwasserenergie und Warmwassermenge

Auch hier scheint die Differenz der beiden Messsysteme auf den ersten Blick grösser zu sein. Die Abweichungen auf der Energieseite liegen bei max. 6.1% (WEW-WP1). Da die Aussagekraft über die Messgenauigkeit gering ist, da nur alle 1 kWh miteinander verglichen werden kann, werden die zu erwarteten Zwischenwerte des NeoVac's berechnet. Durch diese Interpolation werden die beiden Messsysteme miteinander direkt vergleichbar. In der nächsten Abbildung ist die kontinuierliche Bezugswarmwasserenergie der beiden Messsysteme (NeoVac2 entspricht den berechneten Werten) aufgezeigt.

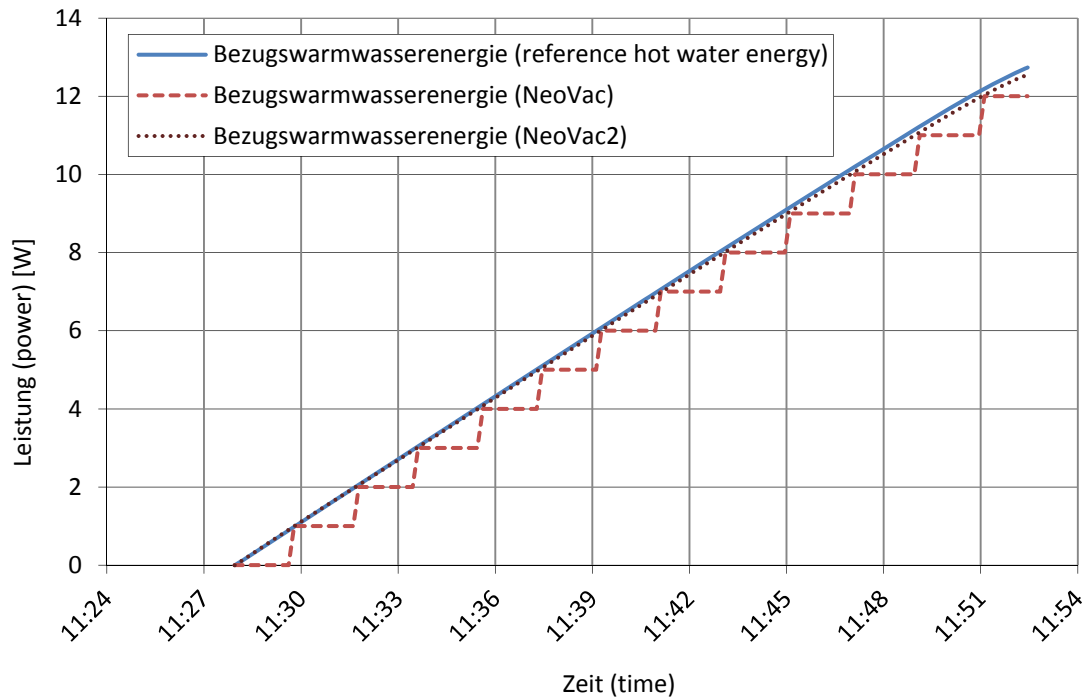


Abb. 2.3: Verlauf der Bezugswarmwasserenergie beider Messsysteme (WEW-WP1)

Würde der NeoVac kontinuierlich die Wärmeenergie herausgeben, so hätte die nutzbare Bezugswarmwasserenergie bei der WEW-WP1 12.531 kWh ergeben. Die Abweichung würde sich auf 1.6 % belaufen. Bei den anderen WEW-Messungen würde sich die Abweichung auf 1.6 bzw. 1.1% belaufen. Die Abweichung bei der maximal nutzbaren Warmwassermenge beträgt max. 1.1% bei diesen drei Messungen.

2.2 Fazit

Die Annahme, dass kleine Entnahmen im Feld mit dem Wärmehähler NeoVac 2WR6 nicht genau gemessen werden kann, konnte nicht bestätigt werden. Die Abweichungen liegen innerhalb der Messgenauigkeit. Bei Feldmessungen können allerdings kleinere Entnahmedurchflüsse als 0.5 Liter/min auftreten. Bei diesen Entnahmen dürfte ein grösserer Fehler mit dem NeoVac 2WR6 erwartet werden.

3 Effizienz eines Elektroboilers

Die Brauchwarmwasser-Wärmepumpe wird vielfach mit 3mal effizienter als ein Elektroboiler propagiert. Da es zurzeit viele Förderprogramme für solche Wärmepumpen-Boiler in der Schweiz gibt, stellt sich nun die Frage, wie viel effizienter ist eigentlich diese Brauchwarmwasser-Wärmepumpe. Ausserdem wird diese Erkenntnis auch Relevanz für die Energiepolitik Schweiz haben. Auf diese Thematik wird in diesem Kapitel eingegangen.

3.1 Messergebnis

Damit die Messungen mit denen der Brauchwarmwasser-Wärmepumpen vergleichbar ist, wird ein handelsüblicher Elektroboiler mit einem Nennvolumen von 300 Liter mit dem Zapfprofil XL nach der EN 16147 gemessen. Die Messung wird bei Raumtemperatur durchgeführt. In der folgenden Tabelle 3.1 sind die gemessenen Ergebnisse ersichtlich.

Zapfprofil	XL
Nutzbare Wärmemenge [kWh]	19.175
Elektrische Energieaufnahme [kWh]	20.424
Verlustleistung [W]	58
Raumtemperatur [°C]	20.9
COP	0.94

Tab. 3.1: Messergebnis des Elektroboilers

Bei dieser Messung konnte ein COP von 0.94 ermittelt werden. Die abgegebene Wärmemenge beläuft sich auf rund 19.2 kWh und die gesamte Energieaufnahme auf rund 20.4 kWh.

Im Vergleich zu den drei Wärmepumpen-Boiler vom vorherigen Kapitel ergibt sich folgenden Vergleich:

	WEW-WP1	WEW-WP2	WEW-WP3	Elektroboiler
Zapfprofil	XL	XL	XL	XL
Verlustleistung [W]	30	20	27	58
Raumtemperatur [°C]	20.0	20.0	15.0	20.9
COP	3.04	3.81	2.98	0.94

Tab. 3.2: Vergleich der drei WEW-WP mit dem Elektroboiler

Die COP-Werte der gemessenen Warmwasser-Wärmepumpen reichen von 2.98 bis 3.81, wobei die Wärmepumpen bei 20°C (WEW-WP1 und WEW-WP2) oder 15°C (WEW-WP3) gemessen wurden. Die Raumtemperatur hat auf die Effizienz der Wärmepumpe ebenfalls einen Einfluss, wird aber in diesem Projekt nicht näher untersucht. Alle diese Wärmepumpen-Boiler sind mehr als 3mal effizienter als der Elektroboiler.

Interessant zudem ist, dass die Verlustleistung während einer Bereitschaftsperiode (ohne Entnahme) beim Elektroboiler mit 58 W nur rund 2mal höher liegt als bei den Warmwasser-Wärmepumpen. Bei allen Boilertypen wurde der Thermostat auf 55°C eingestellt. Die Stillstandverluste eines Wärmepumpen-Boilers hängen unter anderem von der eingestellten internen Hysterese ab. Je grösser die eingestellte Hysterese ist, desto tiefer liegen die Stillstandverluste. Ausserdem ist noch darauf hinzuweisen, dass der gemessene Elektroboiler keinen elektronischen Regler besitzt. Bei allen Brauchwarmwasser-Wärmepumpen, die für dieses Projekt zur Verfügung standen, war ein elektronischer Regler installiert, der kontinuierlich einige Watt aufnahm, die schlussendlich bei der Verlustleistung mitgemessen wurde.

3.2 Fazit

Mit dem Zapfprofil XL liegt der COP eines handelsüblichen Elektroboilers mit einem Nennvolumen von 300 Litern bei 0.94. Dies entspricht rund einem Drittel einer handelsüblichen Warmwasser-Wärmepumpe mit demselben Nennvolumen.

Entgegen dieser Erkenntnis ist die Verlustleistung eines Elektroboilers während der Stillstandsperiode nur rund doppelt so hoch wie bei den gemessenen Wärmepumpen-Boilern (und nicht 3fach).

4 Effizienz in Abhängigkeit der Entnahmemenge

In diesem Kapitel wird die Abhängigkeit der Entnahmemenge auf die Effizienz eingegangen. Dies hat vor allem Auswirkungen auf die Dimensionierung eines Wärmespeichers im Feld. Zu gross dimensionierte Wärmespeicher laufen in der Regel sehr ineffizient, da das Verhältnis der Wärmeverluste beim Stillstand zur genutzten Energiemenge gross wird.

4.1 Messergebnis

Damit eine Abhängigkeit der Effizienz auf die die Entnahmemenge ersichtlich wird, werden Messungen mit insgesamt drei unterschiedlichen Zapfprofilen an einem Wärmepumpen- und Elektroboiler durchgeführt. Dabei handelt es sich um die Zapfprofile S, M und XL (siehe Kapitel 2), die in der EN 16147 beschrieben sind. Die Messungen an der Warmwasser-Wärmepumpe werden bei 15°C und am Elektroboiler bei Raumtemperatur durchgeführt. Ausserdem wird der Thermostat auf 55°C bei beiden Typen eingestellt.

Beim Zapfprofil S werden während der Messung rund 2.10 kWh und beim Zapfprofil M rund 5.85 kWh Warmwasser entnommen. Mit diesen Zapfprofilen wird wesentlich weniger Energie entnommen als mit dem bisher in diesem Bericht verwendetem Zapfprofil XL. In der folgenden Tabelle 4.1 sind die Ergebnisse zusammengestellt.

Zapfprofil	S	M	XL
Entspricht ungefährender täglicher Warmwasserbedarf [Liter]	40	110	360
WEW-WP3 COP	1.50	2.60	2.98
Elektroboiler COP	0.68	0.85	0.94

Tab. 4.1: Ergebnisse mit unterschiedlichen Zapfprofilen

Bei beiden Wärmespeichertypen nimmt die Effizienz mit einer kleineren Entnahmemenge ab. Bei der Brauchwarmwasser-Wärmepumpe fällt der COP mit dem kleinsten Zapfprofil auf 1.50 (rund die Hälfte wie mit XL). Dem gegenüber reduziert sich die Effizienz des Elektroboilers nur um rund 30%. In diesem Beispiel wird ersichtlich, dass das gewählte Zapfprofil auf die Effizienz des Wärmepumpen-Boilers einen grösseren Einfluss ausübt als beim Elektroboiler. Jedoch ist zu erwähnen, dass selbst beim kleinen Zapfprofil S die Warmwasser-Wärmepumpe um mehr als das Doppelte effizienter ist als der Elektroboiler. Mit der nächsten Abbildung wird der Einfluss der Entnahmemenge auf die Effizienz ersichtlich.

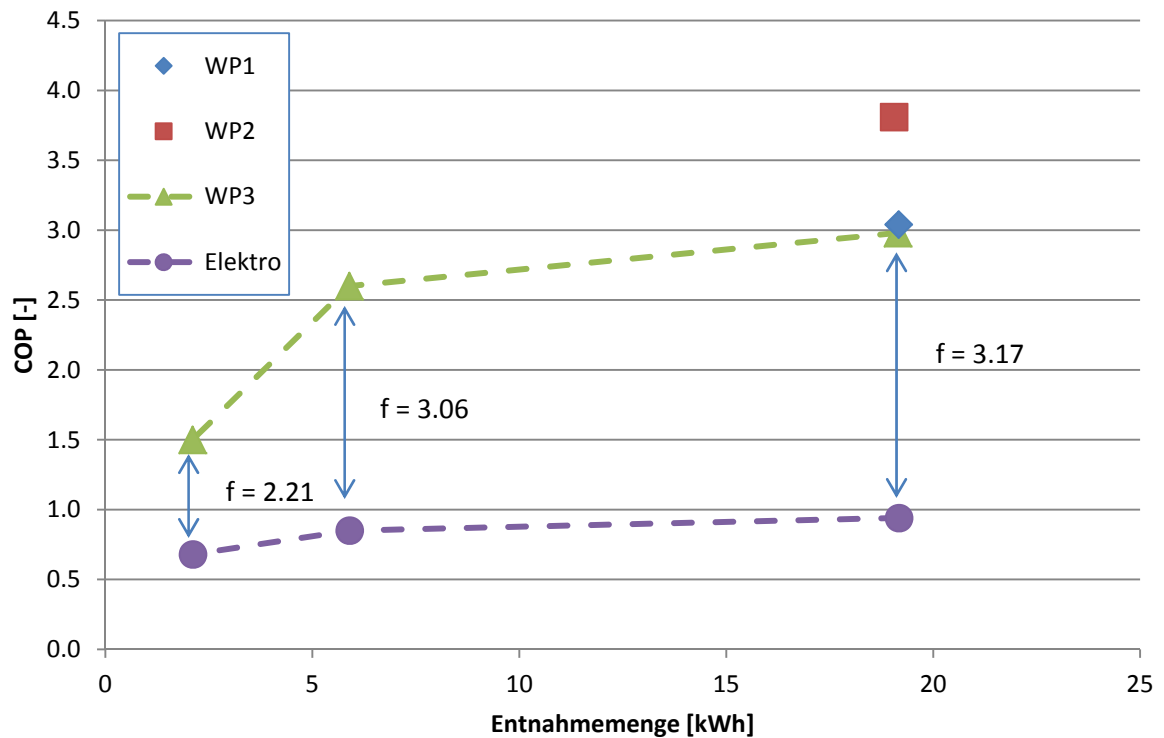


Abb. 4.1: Abhängigkeit der Effizienz von der Entnahmemenge

Bei den Zapfprofilen M und XL bleibt in diesem Beispiel die Brauchwarmwasser-Wärmepumpe rund 3mal effizienter als beim Elektroboiler. Auffallend ist, dass bei beiden Wärmespeichertypen der COP zwischen dem Zapfprofil S und M stark einknickt. Dies hat vor allem zwei Gründe. Zum einen wird der Wärmeverlust im Verhältnis zur entnommenen Energie grösser und zum anderen werden beim Zapfprofil S nur kleine Entnahmen zwischen 0.1 und 0.5 kWh durchgeführt. Beim Zapfprofil M liegen die Entnahmemengen zwischen 0.1 und 1.4 kWh. Je grösser die Entnahmen sind umso vorteilhafter wirkt dies auf den COP aus.

4.2 Fazit

Die Entnahmemenge hat einen Einfluss auf die Effizienz des Wärmespeichers. Dieser Effekt fällt bei der Brauchwarmwasser-Wärmepumpe grösser aus als beim Elektroboiler. Je nach Zapfprofil war die Brauchwarmwasser-Wärmepumpe rund 2 bis 3mal effizienter als der Elektroboiler mit einem ähnlichen Nennvolumen.

5 Referenzen

- [1] *EN 16147:2011: Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Prüfungen und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwarmwasser*