

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 68 (1977)

Heft: 4

Artikel: Raumheizung mit Wärmepumpen und Wärmespeicher

Autor: Ledermann, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-914995>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Raumheizung mit Wärmepumpe und Wärmespeicher

Von H. Ledermann

1. Prinzip der Wärmespeicherung

Jede Energiespeicherung ist mit einem zusätzlichen Aufwand verbunden, sowohl auf Seite der Anlagekosten wie des Betriebes. Dies trifft auch zu bei Wärmepumpenanlagen zur Raumheizung. Die Heizung mit Wärmepumpe beansprucht für dieselbe Wärmewirkung weniger elektrische Energie als die Widerstandsheizung und verursacht eine geringere Belastung des Netzes. Dennoch lohnt es sich, die Nützlichkeit der Ergänzung mit Wärmespeicher zu prüfen. Dies soll an einem Beispiel gezeigt werden.

Der tägliche Wärmebedarf einer Raumheizung unterteilt sich in jenen für die Tageszeit, mit Haltung der vollen Raumtemperatur, und jenen der Nachtstunden mit reduzierter Raumtemperatur und entsprechend gesenkter Temperatur der Warmwasser-Heizung. In Fig. 1 ist dies schematisch dargestellt. Angenommen wird, dass die nächtliche Absenkung mit der Niedertarifzeit von 22.00...06.00 Uhr zusammenfällt. Der auf die Tageszeit entfallende Wärmebedarf ist mit \bar{Q}_1 bezeichnet, jener der Nachtstunden mit \bar{Q}_2 . Die installierte Wärmepumpenleistung sei mit Q_W festgelegt. Wird diese während den Nachtstunden, d.h. der Dauer des Niedertarifes (NT), voll genutzt, fällt zusätzlich zur Deckung des nächtlichen Wärmebedarfes \bar{Q}_2 die Wärmemenge \bar{Q}_3 an. Mit deren Speicherung kann ein Teil des Tageswärmehbedarfes \bar{Q}_1 gedeckt werden. Der Energiebezug in der Zeit des NT wird erhöht, jener der Hochtarif-(HT-)Zeit gesenkt. Zugleich wird die Möglichkeit geschaffen, den Leistungsbedarf der Wärmepumpen in den Tagesstunden niedriger zu halten. Sowohl der vermehrte Bezug an Energie in der Schwachlastzeit als auch die geringere Netzbelastung am Tag entsprechen den Interessen der Elektrizitätswerke.

2. Energieverbrauch ohne Wärmespeicher

Betrachtet man die Verhältnisse für ein Einfamilienhaus, dessen Tageswärmehbedarf über 24 Stunden bei einer mittleren Aussentemperatur von $+3^\circ\text{C}$ 120000 kcal (Fig. 1) betrage,

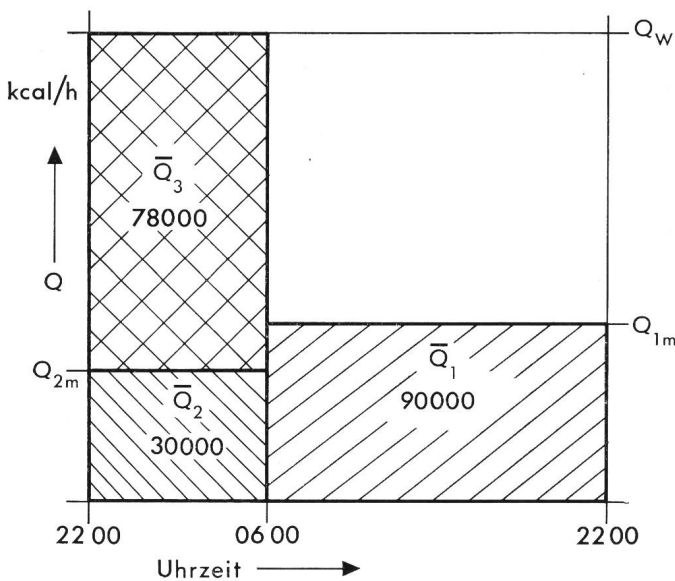


Fig. 1 Tägliche Energiebilanz mit Wärmepumpe
(Bezeichnungen siehe im Text)

wobei die Wärmepumpe $Q_W = 13500 \text{ kcal/h}$ für -11°C Aussentemperatur und 20°C Raumtemperatur leiste. Ist die Warmwasserheizung für den Wärmepumpenbetrieb auf $65/50^\circ\text{C}$ ausgelegt, ergeben sich für die Aussentemperatur von $+3^\circ\text{C}$ für Vor- und Rücklauf am Tag $50/40^\circ\text{C}$, nachts $40/32^\circ\text{C}$.

Ist die Wärmepumpenanlage ohne Speichermöglichkeit ausgeführt, muss \bar{Q}_1 mit HT-Energie, und nur \bar{Q}_2 kann mit NT-Energie gedeckt werden. Für Vorlauftemperaturen von 50°C am Tag und 40°C in der Nacht können bei einer gut ausgelegten WP-Anlage Leistungsziffern von 3,3 bzw. 3,9 angenommen werden. Der Energiebedarf beträgt deshalb

$$\text{im HT } \frac{90000}{3,3 \cdot 860} = 31,7 \text{ kWh (78\%)}$$

$$\text{im NT } \frac{30000}{3,9 \cdot 860} = 8,9 \text{ kWh (22\%)}$$

$$\text{also total } 40,6 \text{ kWh (100\%)}$$

Am Tag wird die WP-Anlage im Mittel mit der Leistung Q_{1m} genutzt, in der Nacht mit Q_{2m} . Mit in der Leistung nicht regelbarem Verdichter ergeben sich entsprechende Laufzeiten und Schalthäufigkeiten. Ist der Verdichter regelbar, kann er in der Nacht mit niedrigerem Leistungsbedarf laufen als am Tag. Mit Rücksicht auf die Netzbelastung wäre jedoch das umgekehrte Verhalten erwünscht.

3. Möglichkeiten mit Wärmespeicher

Bei voller Nutzung der installierten WP-Leistung von 13500 kcal/h können in der NT-Zeit von 8 h 108000 kcal produziert werden. Nach Abzug des nächtlichen Bedarfes bleibt ein Überschuss von 78000 kcal, in Fig. 1 mit \bar{Q}_3 bezeichnet.

Erfolgt die Speicherung mit der am Tag zwischen Vorlauf und Rücklauf vorhandenen Differenz von 10°C , wird ein Speichervolumen von 7800 l benötigt. Zur Deckung des während der Tagesstunden auftretenden Wärmebedarfes \bar{Q}_1 von 90000 kcal fehlen nur 12000 kcal, die mit der WP im HT zu produzieren sind. Da aber auch in der Nacht die Wärme auf 50°C zu pumpen ist, muss dieselbe Leistungsziffer wie am Tag berücksichtigt werden. Der Energiebedarf bestimmt sich daher zu

$$\text{im HT } 4,2 \text{ kWh (10\%)}$$

$$\text{im NT } 38,0 \text{ kWh (90\%)}$$

$$\text{total } 42,2 \text{ kWh (100\%)}$$

Das Speichervolumen kann erheblich reduziert werden bei Erhöhung der Speichertemperatur. Erfolgt die Aufladung des Speichers z.B. auf 60°C , die Entladung auf die Rücklauftemperatur von 40°C , steht eine Differenz von 20° zur Verfügung, und das notwendige Speichervolumen fällt auf 3900 l. Dies setzt voraus, dass die Leistung der WP-Anlage auch bei der erhöhten Speichertemperatur 13500 kcal/h beträgt. Trifft dies nicht zu, fällt \bar{Q}_3 etwas niedriger aus und damit auch das Volumen des Speichers. Die Abweichung wird im folgenden nicht berücksichtigt. Die Leistungsziffer für die nächtliche Aufladung auf 60°C betrage 3,1, womit sich folgender Energiebedarf ergibt:

im HT 4,2 kWh (9,4%)
 im NT 40,5 kWh (90,6%)
 total 44,7 kWh (100%)

Bei höheren Aussentemperaturen als 3 °C fällt der Energiebedarf im HT ganz weg, bei tieferen nimmt er zu.

Eine weitere Senkung des Speichervolumens lässt sich erzielen mit einer Entladung unter die Rücklauftemperatur im Wärmepumpenbetrieb. Erfolgt die Aufheizung wiederum auf 60 °C, die Entladung jedoch auf 30 °C, sind pro Liter Speichervolumen nutzbar

direkt, von 60 auf 40 °C: 20 kcal
 indirekt, von 40 auf 30 °C: 10 kcal

Um die Wärme von im Mittel 35 °C auf die Vorlauftemperatur von 50 °C zu heben, beträgt die Leistungsziffer z. B. 4,35, d. h., je kcal Speicherwärme werden 0,3 kcal Arbeit benötigt, für 10 kcal somit 3,0 kcal. Je Liter Speichervolumen ergeben sich 33 kcal am Tag verfügbare Wärme.

Um den nächtlichen Überschuss von 78000 kcal mit der Temperaturdifferenz von 30 °C (60...30) aufnehmen zu können, genügt ein Speicher mit 2600 l. Die aus dem Speicher einschliesslich WP-Betrieb disponible Wärmemenge beträgt $2600 \cdot 33 = 85800$ kcal. Es bleibt ein Rest von 4200 kcal im direkten WP-Betrieb zu decken.

Die Aufheizung des Speichers erstreckt sich nun über die Temperaturspanne von 30 °C auf 60 °C, es kann eine mittlere Leistungsziffer von 3,4 eingesetzt werden, und der Energieaufwand bestimmt sich wie folgt:

$$\text{im HT, indirekter WP-Betrieb, } \frac{2600 \cdot 3}{860} = 9,1 \text{ kWh}$$

$$\text{im HT, direkter WP-Betrieb, } \frac{4200}{3,3 \cdot 860} = 1,5 \text{ kWh}$$

total im HT also 10,6 kWh (77,6%)
 im NT 36,8 kWh (22,4%)
 total 47,4 kWh (100%)

Die weitere Senkung des Speichervolumens würde eine weitere Steigerung des Energiebedarfs verursachen, verbunden mit einem erhöhten Anteil an HT-Energie. Die indirekte WP-Arbeit erfordert jedoch eine geringere Leistung. Ein leistungsregulierbarer Verdichter kann also mit einer niedrigeren Leistungsstufe und entsprechend geringerer Belastung des Netzes laufen.

4. Vergleich der Varianten

Wird die Energie im HT mit -12 Fr./kWh und im NT mit -06 Fr./kWh in Rechnung gestellt, ergeben sich die Tageskosten nach Tabelle I. Mit 3500 Gradtagen je Heizsaison erhält man daraus den Energiebedarf und dessen Kosten gemäss Tabelle II.

Da der Warmwasserspeicher keiner Abnützung, bei einer richtig ausgeführten Warmwasserheizung auch keiner Korrosion ausgesetzt ist, sind die Amortisationszeiten der Varianten B und C zumutbar. Dem etwas höheren Aufwand der Variante C steht der Vorteil gegenüber, bei ausnahmsweise auftretenden, extrem tiefen Aussentemperaturen die Vorlauftemperatur mit Nutzung von Speicherwärme über 65 °C anzuheben. Mit den heute auf dem Markt erhältlichen, speziell für den WP-Einsatz entwickelten Verdichtern ist dies bis auf 75 °C

Vergleich der täglichen Energiekosten

Tabelle I

Speichervariante		0	A	B	C
Speichervolumen	l	0	7800	3900	2600
HT-Energie	Fr.	3.80	-.50	-.50	1.27
NT-Energie	Fr.	-.53	2.28	2.43	2.21
Total	Fr.	4.33	2.78	2.93	3.48

und mehr möglich. Damit erübrigt sich eine zusätzliche Direktheizung mit ihrem relativ hohen Anschlusswert und extrem geringer Nutzungsdauer. Die Leistungsziffer fällt dann etwas unter 2,0. Energieverbrauch und Leistungsbedarf sind aber auch dann noch wesentlich niedriger als mit direkter Widerstandsheizung.

Mehrkosten der Installation werden in der Regel vom Bauherrn höher gewichtet als die im Betrieb langfristig zu erzielenden Ersparnisse. Es ist deshalb von seiten der Elektrizitätswerke zu prüfen, in welchem Mass und in welcher Weise die mit Speicherbetrieb zu erzielende Verlagerung des Energiebezuges in die Schwachlastzeit und die Reduktion des Leistungsbedarfes am Tag Vergünstigungen ermöglichen.

Variante A bietet weder dem Bauherrn noch dem Werk Vorteile, dagegen kann Variante C zusätzlich zum erwähnten Vorteil bei knappen räumlichen Verhältnissen nützlich sein, aber auch zur Erzielung eines gewissen Bezuges an HT-Energie ausserhalb der Tageshöchstlast bei beschränktem Leistungsbedarf.

Vergleich der Kosten des jährlichen Heizenergiebedarfs

Tabelle II

Speichervariante		0	A	B	C
HT-Energie	kWh	6530	865	865	2180
NT-Energie	kWh	1840	7835	8345	7580
Total Energiebedarf	kWh	8370	8700	9210	9760
Total Energiekosten	Fr.	892.-	573.-	603.-	716.-
Einsparung mit Speicher	Fr.	-	319.-	289.-	176.-
Kosten des isolierten Speichers inkl. Montage	ca. Fr.		5400.-	2800.-	2000.-
Entladeausrüstung	Fr.	-.-	-.-	-.-	1000.-
Total für Speicherbetrieb	ca. Fr.		5400.-	2800.-	3000.-
Amortisationszeit bei 5 % Zins	Jahre		37	14	25

Vergleich der mittleren jährlichen Leistungsziffern

Tabelle III

Speichervariante		0	A	B	C
Aufwand in kWh		8370	8700	9210	9760
Aufwand in Gcal		7,2	7,48	7,92	8,39
Mittlere Leistungsziffer		3,44	3,30	3,13	2,95
Verminderung durch Speicher in %		-	4	9	14

Dem als Berechnungsgrundlage verwendeten täglichen Wärmebedarf von 120000 kcal bei +3 °C Aussentemperatur entspricht für 3500 Gradtage ein gesamt Wärmebedarf von

$$\bar{Q}_T = 3500 \cdot \frac{120000}{17} = 24,7 \text{ Gcal}$$

Dies ergibt die Leistungsziffern gemäss Tabelle III.

Die Reduktion der Leistungsziffer durch den Speicherbetrieb ist gering, geringer als im Pumpspeicherbetrieb mit

25...30%. Es ist demnach interessant, auch mit Wärmepumpenanlagen überschüssige Nachtenergie zu nutzen, um so mehr als die Speicherung beim Verbraucher erfolgt und damit die Stromversorgungsanlagen in den Tagesstunden vom Werk bis zum Verbraucher entlastet werden.

Adresse des Autors

Hugo Ledermann, Glärnischstrasse 30, 8712 Stäfa.

Comparaison entre Chauffage Direct et Chauffage par Pompe à Chaleur

Par O. Bovay

621.365:621.577

1. Buts

Dès 1974, les promoteurs du banc d'essai des pompes à chaleur de la Chaire d'Installations Electriques de l'EPFL se sont fixés pour but d'effectuer, dans les conditions climatiques du Plateau suisse¹⁾, l'étude objective de l'ensemble des problèmes techniques et économiques posés aux constructeurs de bâtiments lors du choix d'un chauffage en envisageant la solution par pompe à chaleur.

Les aspects suivants ont retenu plus particulièrement l'attention et font l'objet d'études théoriques et pratiques:

- chauffage d'appoint (types)
- régulation simple et fiable
- aménagement de l'installation
- rendement exergétique des différents éléments
- fiabilité de l'installation
- répercussions sur le réseau électrique et sur la production
- prix de revient du chauffage (investissement et consommation d'énergie actualisés sur la durée de vie de l'équipement)
- promotion d'établissement de normes

Le banc d'essai est également utile aux constructeurs, importateurs et installateurs de pompes à chaleur afin de permettre de comparer et d'améliorer leurs installations.

Enfin, les producteurs, transporteurs et distributeurs d'énergie électrique pourront bénéficier des études entreprises pour prendre des décisions et orienter les investissements à effectuer à moyen et à long terme dans le domaine particulier de l'énergie électrique et plus généralement sur le plan global de l'énergie.

2. Moyens

Après quelques travaux préliminaires, le projet débuta en 1975. Pour des raisons «pratiques» on a testé des pompes à chaleur du type Air-Air. Le local utilisé (fig. 1) est particulièrement intéressant pour un banc d'essai: D'une part il a une très mauvaise isolation (k moyen = 1,5 W/m² °C), ce qui a permis de montrer que le chauffage par pompe à chaleur est possible dans de telles conditions; d'autre part la mise en place des gaines de distribution d'air a pu se faire facilement. De plus il est situé dans le périmètre de l'EPFL, de sorte que des contrôles fréquents peuvent être réalisés.

Afin de connaître les prestations de la pompe à chaleur, on exploite le banc d'essai de la manière suivante: Un chauffage «tout électrique» fonctionne en alternance avec la pompe à chaleur; les prestations thermiques étant identiques, il est aisé de mesurer, puis de comparer les énergies électriques absorbées par les deux systèmes.

La chaîne de mesure enregistre la puissance électrique active fournie au système de chauffage, les températures et les humidités relatives à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment. Afin de négliger l'énergie solaire fournie naturellement au bâtiment, toutes les analyses sont faites sur des enregistrements nocturnes.

3. Bilan d'exploitation

La première période d'exploitation du banc d'essai a débuté le 14 novembre 1975 et s'est terminée le 15 mars 1976.

3.1 Pompe à chaleur

Pour la pompe à chaleur seule, la fig. 2 montre la puissance thermique fournie et la puissance électrique absorbée en fonction de la température extérieure. La fig. 3 contient l'efficacité ou coefficient de performance ε de la pompe à chaleur qui est définie pour une température donnée, par le rapport

$$\varepsilon = \frac{\text{puissance thermique fournie}}{\text{puissance électrique absorbée}}$$

L'efficacité d'une pompe à chaleur exprime le facteur d'économie réalisé par rapport à un chauffage tout électrique. L'efficacité moyenne pour la première période d'exploitation a été légèrement supérieure à 2.

¹⁾ Lausanne: température moyenne d'hiver +5 °C, minimum moyen -12 °C.



Fig. 1 Banc d'essai des pompes à chaleur de l'EPFL