

# Wärmepumpe im Mehrfamilienhaus: Betriebserfahrungen und Messresultate einer monovalenten WP-Heisanlage

Autor(en): **Baumann, Ernst / Züllig, Ernst**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **101 (1983)**

Heft 43

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75220>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Wärmepumpe im Mehrfamilienhaus

## Betriebserfahrungen und Messresultate einer monovalenten WP-Heizanlage

Von Ernst Baumann, Müselbach, und Ernst Züllig, Mosnang

Im Jahre 1979 wurde im Untertoggenburg ein Fünffamilienhaus mit Wärmepumpe, Erdregister und Überdachregister erstellt. Den Verfassern bot sich die Gelegenheit, an diesem Objekt ein ausgedehntes Messprogramm durchzuführen. Im nachfolgenden Beitrag werden die Messergebnisse dargestellt und kritisch ausgewertet.

### Einleitung

Die Wärmepumpe (WP) bietet eine raffinierte Möglichkeit, Wärme von geringerem Energieinhalt auf ein höheres Temperaturniveau zu heben. Die praktische Realisation bringt allerdings noch technische und wirtschaftliche Probleme, weil viele Beteiligte Neuland betreten haben, ohne sich auf verlässliche Erfahrungen abstützen zu können (Verkauf von elektr. WP für Heizzwecke bis 1979: etwa 3000, 1980 und 1981: etwa 4800) [1, 2, 3]. Wenn aus dieser Tatsache Nachteile hervorgehen, trifft dies vor allem den Bauherrn oder Mieter.

Beispiel: «P» baute zur selben Zeit sein Einfamilienhaus wie sein Nachbar «K». Beide Häuser weisen praktisch denselben Wärmeleistungsbedarf auf.

Heizung	Stromkosten 1981 Heizung u. Haushalt
«P»: El. WP mit Erd- u. Unterdachkollektor	Fr. 2590.-
«K»: El. Zentralspeicher	Fr. 2760.-

Der Betreiber einer unkonventionellen Heizung sieht sich oft genötigt, selber einen wirtschaftlichen Betrieb zu «erprobeln», oder er überlässt mangels Zeit oder Interesses die Anlage bis zum nächsten Störfall sich selbst. Die ungünstige Stromkostenabrechnung im obigen Fall, wo die WP kaum zur Reduktion des Heizenergiebedarfes beitrug, ist aber glücklicherweise nicht die Regel. Das untersuchte Mehrfamilienhaus zeigt ein für WP wesentlich günstigeres Bild.

Als Zielsetzung wollte man Aufschluss über folgende Eigenschaften haben:

- Energiebedarf
- Leistungsziffer
- Wirtschaftlichkeit
- Betriebsstunden
- Schalthäufigkeit
- Erd-, Luft-, Vor- und Rücklauftemperaturen

- Vegetationsverzögerung im Erdregisterbereich
- Betriebserfahrungen
- Beitrag Überdachregister
- Weitere Möglichkeiten zur Einsparung.

Bild 1. Lageplan

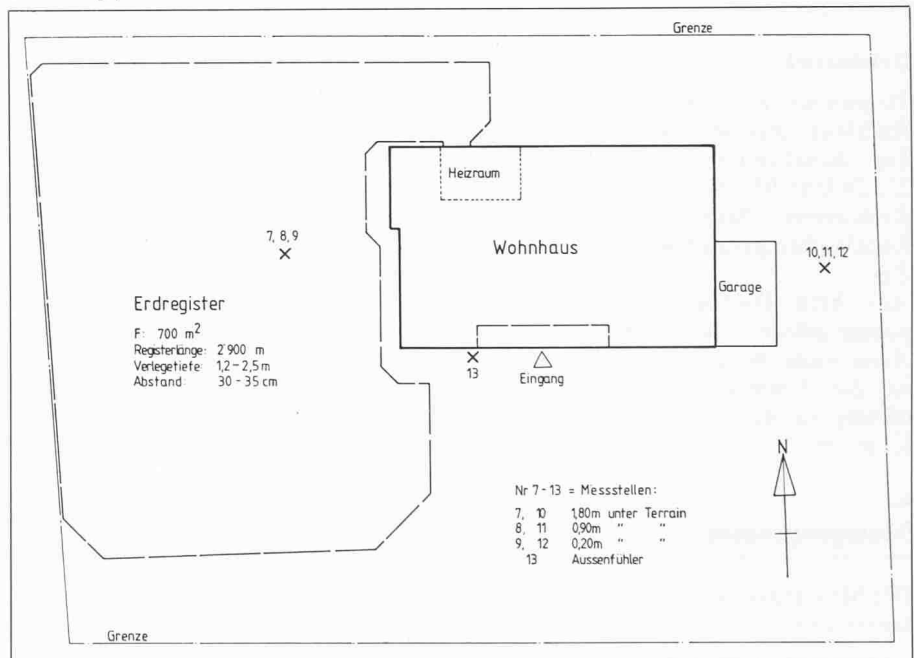


Bild 2. Messobjekt Mehrfamilienhaus, Ansicht von Süden. Links Kollektorbereich, rechts Referenzbereich



### Messobjekt

Objekt: 5-Familien-Haus, 2 Wohn-geschosse und 1 Dachgeschoss  
 Lage: Mosnang SG, 720 m ü.M., Süd-lage (Bilder 1 und 2)  
 Benutzer: 10 Erwachsene und 3 Kinder  
 Volumen beheizt:  
 1790 m<sup>3</sup> (inkl. Aussenhülle)  
 1170 m<sup>3</sup> (Luftvolumen)  
 Energiebezugsfläche (EBF): 651 m<sup>2</sup>  
 Anteil Südfenster/Südfassade: etwa 40%; Nordfenster/Nordfassade: etwa 18%  
 Mittlerer k-Wert:  $\bar{k}_{vorh.} = 0,48$ ;  
 $\bar{k}_{zul.} = 0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $C = 0,75$ )

### Technische Daten

Heizanlagen, Prinzipschema (Bild 3)  
 Wärmeezeugung: Elektrische Wärme-pumpe monovalent, Typ Hoval-Carrier

WW 42-A, 3stufig, Leistung bei  $-6^{\circ}\text{C}$  Verdampferemperatur 37 kW.

**Wärmequellen (Umwelt):** Erdregister etwa  $700\text{ m}^2 / 2900\text{ m}^1$ , Abstand etwa 35 cm, Überdachregister  $40\text{ m}^2 / 1100\text{ m}^1$ , Abstand etwa 4 cm, Rohre: PAE-H 20/16 mm.

**Wärmeabgabe:** Fussbodenheizung, Auslegung:  $-15^{\circ}\text{C} \rightarrow 50/40^{\circ}\text{C}$ , VPE-Rohre, Wohnungen ohne Cheminées.

**Warmwasser:** Separate Elektroboiler pro Wohnung.

Tabelle 1. Einzelbauteile

Bauteile	Fläche (m <sup>2</sup> )	k-Wert (W/m <sup>2</sup> K)
Aussenwände 2-Schalen (Westseite hinterlüftet)	359	0,30
Innenwände/Estrich	53	0,65
Fenster*/Ausentüren	89	2,40
Dach	142	0,25
Decke 2. OG/Estrich	93	0,45
Balkon DG	26	0,30
Decke über UG	245	0,45

\* IV-Klarglas, Holzrahmen

**Heizbetrieb**

**Programme: Vollbetrieb:**  $-15^{\circ}\text{C} \rightarrow 40^{\circ}\text{C}$  Rücklauftemperatur während 12 h pro Tag; Schaltzeiten: 14.30...18.30 Uhr, 22...24 Uhr, 03...09 Uhr.

**Reduzierter Betrieb:**  $-15^{\circ}\text{C} \rightarrow 34^{\circ}\text{C}$  Rücklauftemperatur während 12 h pro Tag.

**Aus:** kein Heizbetrieb, Verdampferpumpe jedoch in Bereitschaft.

**Anmerkung:** Während der Heizperiode ist die Umwälzpumpe-Raumheizung ständig in Betrieb (= 0,4 kW,  $Q = 6,1\text{ m}^3/\text{h}$ ).

**Messprogramm**

Die Messungen wurden während eines Jahres vom 1. Oktober 1980 bis 30. Sep-

Bild 3. Schematische Darstellung des Heizprinzips

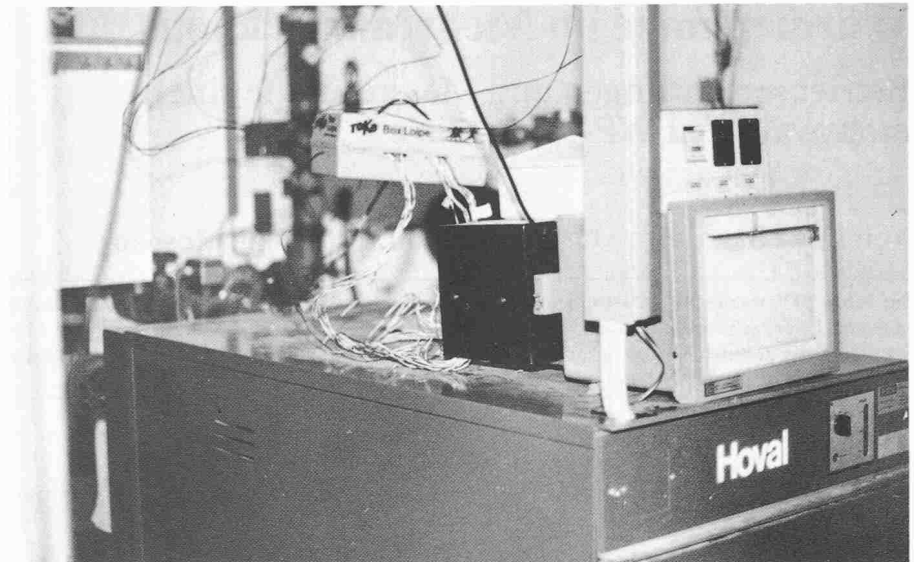
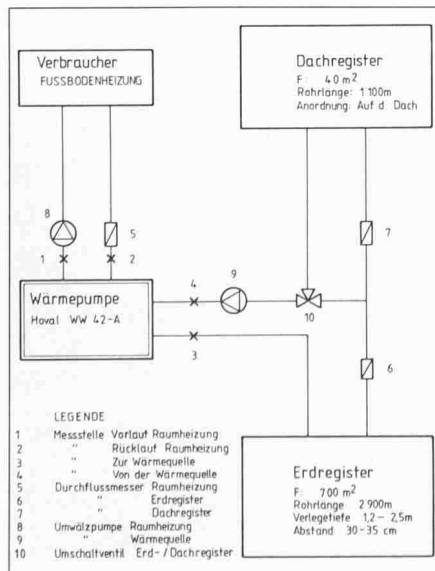


Bild 4. Wärmepumpe, Temperaturschreiber, Betriebsstunden- und Impulszähler

tember 1981 durchgeführt. Die Temperaturmessung erfolgte mit Thermoelementen, die im Heizraum an einem 24-Messkanal-Punktschreiber angeschlossen wurden (Bild 4), sowie einem Thermohygrographen für die Ganzjahresmessung der Aussentemperatur.

Die Anordnung der Messstellen geht aus den Bildern 2 und 3 hervor. Zur Bestimmung der Erdrreichtemperaturen wurde im Erdregister auf die Verlegungstiefe von 1,8 m gegraben und der Messfühler am Kollektorrohr befestigt sowie die zwei im gleichen Querschnitt liegenden Messstellen auf  $-0,9\text{ m}$  und  $-0,2\text{ m}$  unter Terrain im verfestigten Erdrreich verankert (Referenzstellen sinngemäss auf der Ostseite des Hauses).

**Weitere Messstellen:**

- Vor- und Rücklauf der Raumheizung mit Messfühler satt an der Rohrwandung unter Isolation
- Vor- und Rücklauf der Register
- Wohnzimmer 2. OG Süd und Nord, auf 1,2 m Höhe an Innenwand
- Dachwohnung auf 1,2 m Höhe an Innenwand
- an Aussenfühler, Standort Südfassade.

Der Nutzenergiebedarf der Heizanlage wurde am separaten Stromzähler abgelesen, während zur Betriebsüberwachung der WP für drei Stufen je ein Betriebsstunden- und Impulszähler installiert wurden. Die Messung der umgewälzten Wassermenge erfolgte mit drei Durchflussmessern.

**Messresultate**

**Energiebedarf**

Der Stromverbrauch für Heizung und Haushalt geht aus Tabelle 2, der Mo-

Tabelle 2. Stromverbrauch vom 1. Oktober 1980 bis 30. September 1981

Tarif	Heizen		Haushalt inkl. WW	
	kWh	%	kWh	%
NT	11 023	58	18 207	71
HT	8 003	42	7 318	29
Total	19 026	100	25 525	100

nats- und Tagesverbrauch für das Heizen allein aus den Bildern 5 und 11 hervor.

**Leistungsziffer WP**

Als Vergleich mit anderen Heizsystemen wird die mittlere Anlageleistungsziffer der Heizperiode (auch Heizzahl) gerechnet:

$$\beta_{Anl} = \frac{\text{jährliche Nutzwärmeabgabe}}{\text{jährliche Zufuhr an Energie}}$$

$$\frac{76\,000}{19\,026} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{kWh}} \right] = 4$$

Hätte man anstelle einer WP einen modernen Ölheizkessel installiert, müsste man mit einem Ölbedarf pro Jahr von ca. 7200 kg rechnen.

Die jährliche Nutzwärmeabgabe ist gleich dem Jahresenergiebedarf unter Berücksichtigung von internen Wärmequellen (Haushaltstrom usw.) und dem heizwirksamen Beitrag der Sonne durch Fenster und Aussenwände. Der Jahresenergiebedarf wurde mit dem Rechenmodell JAENV der EMPA bestimmt (Beschrieb in [4]). Die momentane Leistungsziffer der WP allein, also ohne Strombedarf für die verbraucherseitige Umwälzpumpe (etwa 13% pro Jahr!) wurde für einige typische Tage bestimmt. Bei zum Beispiel  $0^{\circ}\text{C}$  im Erdregister (Latentbereich) ist  $\epsilon_{WP} = 4,2$  (Bild 10).

**Betriebsstunden, Schalthäufigkeit**

Die Heizanlage war während 267 Tagen (6408 h) in Bereitschaft und an 98 Tagen ausgeschaltet. Während der Bereitschaft wurden folgende Betriebszeiten je Stufe festgestellt (Bild 6):

Betriebszeiten	Auslastung (%)
	100% = 6408 h
1. Stufe	2345 h 37
2. Stufe	1511 h 24
3. Stufe	468 h 7

Bei der ersten Wärmenachfrage schalten sich ohne Zeitverzögerung alle drei Stufen ein (Bild 7).

Mittlere Anzahl Betriebsstunden pro Schaltimpuls bei +3,5 °C Aussentemperatur (Richtwerte):

1. Stufe	3 h	(~ 800)
2. Stufe	2 h	(~ 750)
3. Stufe	0,5 h	(~ 1600)

( ) Schaltungen pro Jahr

**Erdreichtemperaturen, Wärmeverteilung**

Die Erdreichtemperaturen auf Registertiefe sind zusammen mit der Aussentemperatur in Bild 8 dargestellt. Während rund dreier Monate bleibt die Temperatur in der Registerhöhe unter 0 °C. An der Referenzstelle sank die Temperatur Ende Februar auf +3 °C und stieg im Juni auf +16 °C. Der Temperaturverlauf folgt tendenziell dem Verlauf der Lufttemperatur und weist damit auf die rasche Wärmezufuhr des Überdachregisters hin.

Die Vor- und Rücklauftemperaturen sind in Abhängigkeit der Aussentemperatur in Bild 9 dargestellt. Bei -15 °C sind die Vor- und Rücklauftemperaturen +45 und +35 °C.

**Betriebserfahrungen**

**Passive Sonnenenergieeinwirkung**

An einem sonnigen *Wintertag* (7.12.80, 12 h) bei Aussentemperaturen an der Südseite +5 °C und an der Nordseite -3 °C steigt die Innentemperatur des Südraumes ohne Heizung von 10 bis 12 Uhr um 1,5 °C an. Dabei ist zu beachten, dass die Fenster des Wohnraumes durch den vorgelagerten Balkon erheblich beschattet werden. An einem sonnigen *Vorsommertag* (9.5.81, 14 h) bei Aussentemperaturen an der Südseite +30 °C und an der Nordseite +21 °C beginnt die Innentemperatur des Südraumes von 16 bis 17 Uhr um 0,5 °C zu steigen.

Die den Wohnzimmern vorgelagerten Balkone beschatten derart, dass die Raumtemperaturen bei hohem Sonnenstand im Sommer bedeutend weniger ansteigen als bei tiefem Sonnenstand im Winter.

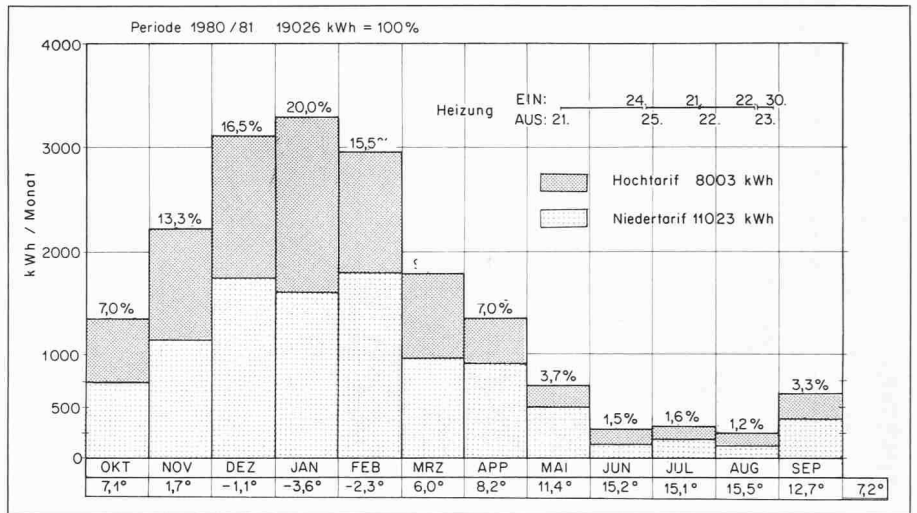


Bild 5. Stromverbrauch der Heizanlage

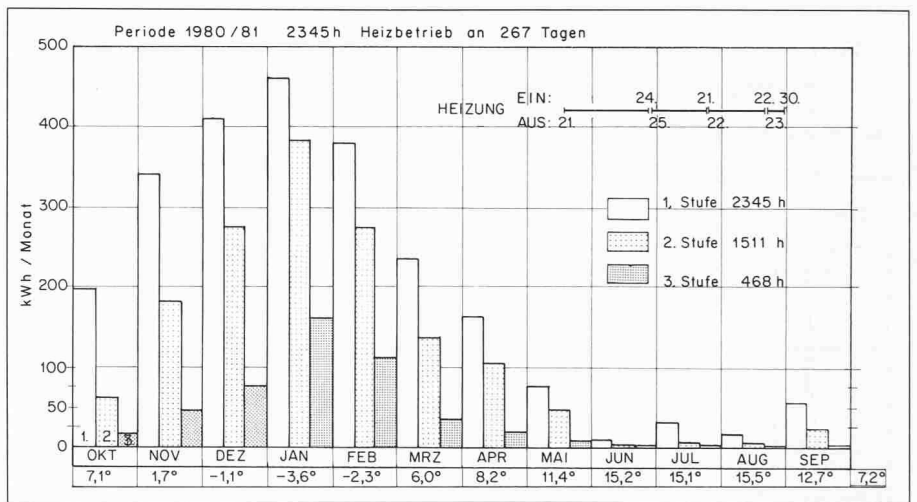


Bild 6. Betriebsstunden der Wärmepumpe

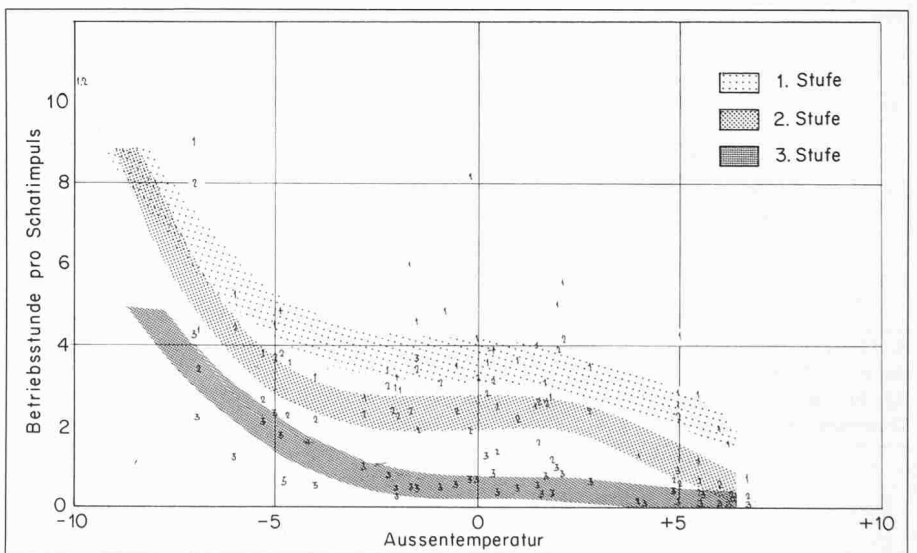


Bild 7. Betriebsstunden pro Schaltimpuls in Abhängigkeit der Aussentemperatur

**Auskühlung, Lüftungsverhalten**

Bei -10 °C Aussentemperatur und 22 °C Innentemperatur (nachts) hat die Abschaltung der Heizung nach 1 h noch keinen Einfluss auf die Innentemperatur. Bei gleichen stationären Bedingungen wurde bei 0 °C nach 3 h Ab-

schaltung der Heizung eine Absenkung der Innentemperatur um weniger als 0,5 °C festgestellt. Länger andauernde Beobachtungen konnten nicht durchgeführt werden. Die Extrapolation ergibt für 24 h und 0 °C Aussentemperatur eine Absenkung der Innentemperatur von etwa 3 °C [5].

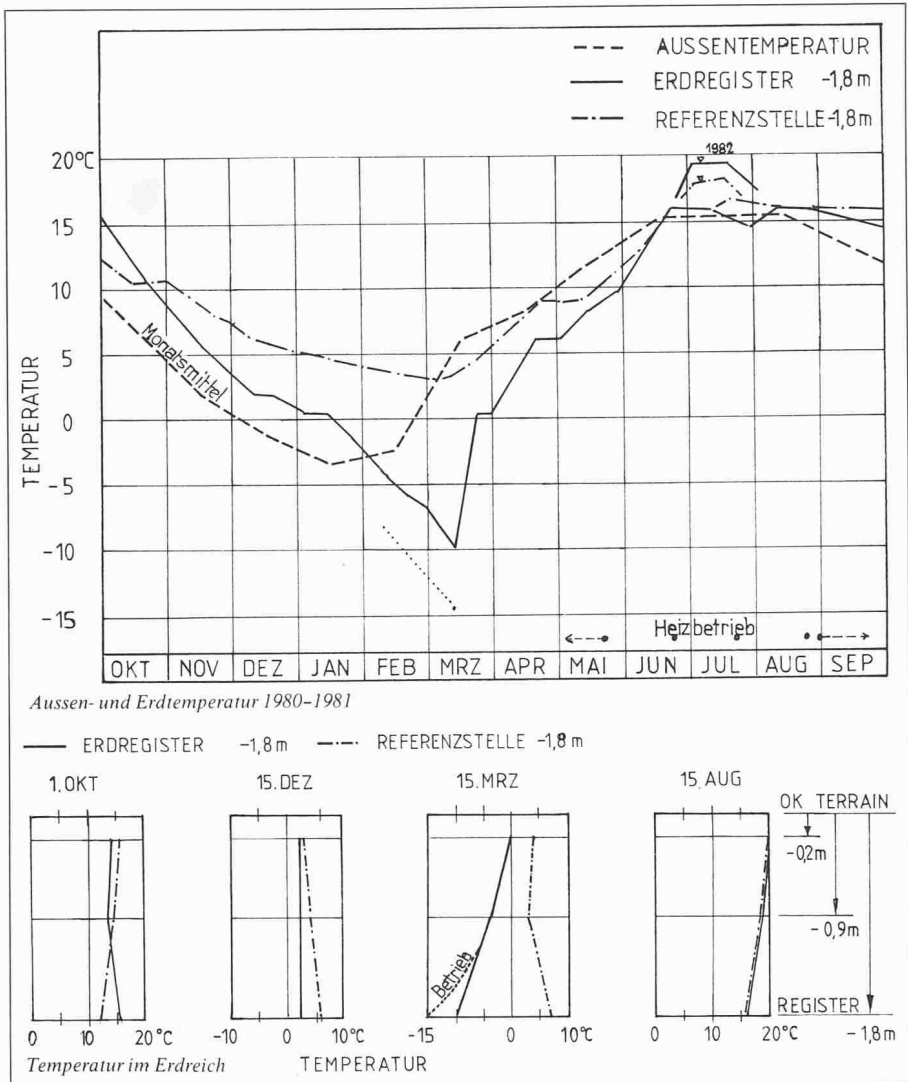


Bild 8. Aufzeichnungen der Messergebnisse

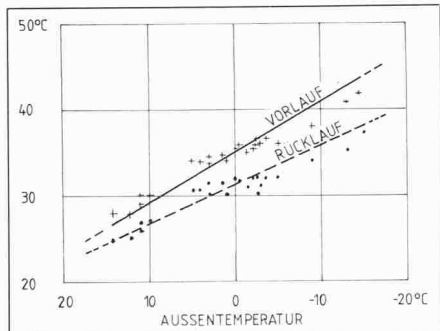
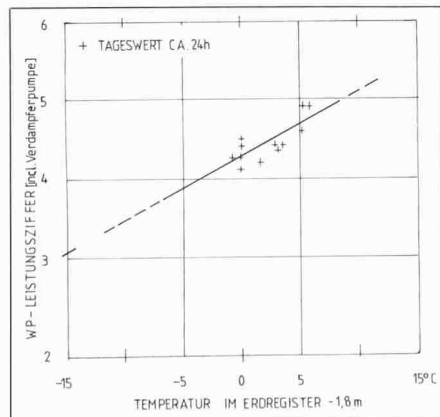


Bild 9. Vor- und Rücklauf-temperatur in Abhängigkeit zur Aussentemperatur

Bild 10. WP-Leistungsziffer in Abhängigkeit zur Temperatur im Erdregister



Auch bei Aussentemperaturen um  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  wurde das Wohnzimmer «Süd» täglich zweimal mit Hilfe der Balkontüre jeweils während etwa 10 min gelüftet. Die Innentemperatur sank dabei um maximal  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  und erreichte tagsüber nach etwa 0,5 h praktisch wiederum die Innentemperatur vor dem Lüften.

**Ansprechen der Innentemperatur, Nachtabsenkung**

Bei Aussentemperaturen über  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  begann 10 min nach Heizbeginn die Innentemperatur tendenziell zu steigen und erreichte nach etwa 2,5 h eine Erhöhung um  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Rund 0,5 h nach Ein- oder Ausschalten der Heizung konnte  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  Temperaturänderung festgestellt werden.

Um den günstigen Heizbetrieb im Niedertarif auszunützen, wurde auf eine Nachtabsenkung verzichtet. Daraus ergab sich, dass die WP bei  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  Aussentemperatur umgerechnet auf einen Tag 21 h im Betrieb ist, um die Innentemperatur konstant zu halten (bei  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  14,5 h).

**Überdachregister**

Sobald die Temperatur im Überdachregister die Erdregistertemperatur um  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  übersteigt, erfolgt der Wärmeentzug über das Dach. Als Schutz gegen Übertemperatur des Dachregisters schaltet die Verdampferumwälzpumpe bei etwa  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  automatisch ein. Die über Dach gewonnene Wärmemenge kann zuverlässig aus den vorliegenden Messwerten nicht gerechnet werden. Obschon gerade ein Dachregister gewisse bauliche Probleme bringen kann (Abdichtungen, UV-Strahlung usw.), ist dessen Wert nicht zu unterschätzen. Im Frühjahr ist das Erdreich schneller auf höherer Temperatur (bessere Leistungsziffer), und bei Kälteeinbrüchen ausserhalb der eigentlichen Heizperiode wird das Erdreich nicht stark belastet. Wenn beispielsweise im September eine Woche geheizt werden muss, kann die Temperatur am Erdregister um etwa  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  absinken. Dank dem Dachregister (bzw. der Herbstsonne) liegt die Temperatur beim Erdregister zu Beginn des Winters wieder über derjenigen der unbelasteten Referenzstelle.

**Vegetationsverzögerung im Erdkollectorbereich**

Die Temperatur des Erdreiches ausserhalb des Erdregisters in etwa  $0,2\text{ m}$  Tiefe ist über die Dauer der Wärmeentnahme aus dem Erdreich etwa  $1\text{ bis }2\text{ }^{\circ}\text{C}$  höher als innerhalb des Erdregisters. Von Auge beurteilt, sind beide Rasenflächen innerhalb und ausserhalb der Erdregister gleich (Stichtag 1. Mai 1981). Dazu muss aber berücksichtigt werden:

- grosse Überdeckung des Erdkollectors von  $1,2\text{ bis }2,5\text{ m}$  (Bodenklassierung: «Braune Erde»)
- unterschiedliches Mikroklima zwischen Erdregisterbereich westlich und Referenzbereich östlich des Hauses (Beschattung!).

**Einsparmöglichkeiten**

**WP-Betrieb:** Eine geringere Schaltheufigkeit der 3. Stufe kann mit einer besseren Anpassung der Heizkurve erreicht werden.

**Umwälzpumpe (UWP):** Die Verbraucher-UWP ist heute während der ganzen Heizperiode in Betrieb und benötigt rund  $2600\text{ kWh}$  (13%) Strom. Der Bedarf kann gekoppelt mit der WP und einer Abschaltverzögerung um die Hälfte reduziert werden.

**Innentemperatur:** Während der Heizperiode wurden Innentemperaturen von  $21\text{...}22\text{ }^{\circ}\text{C}$  gemessen, und zwar je tiefer die Aussentemperatur, desto höher die



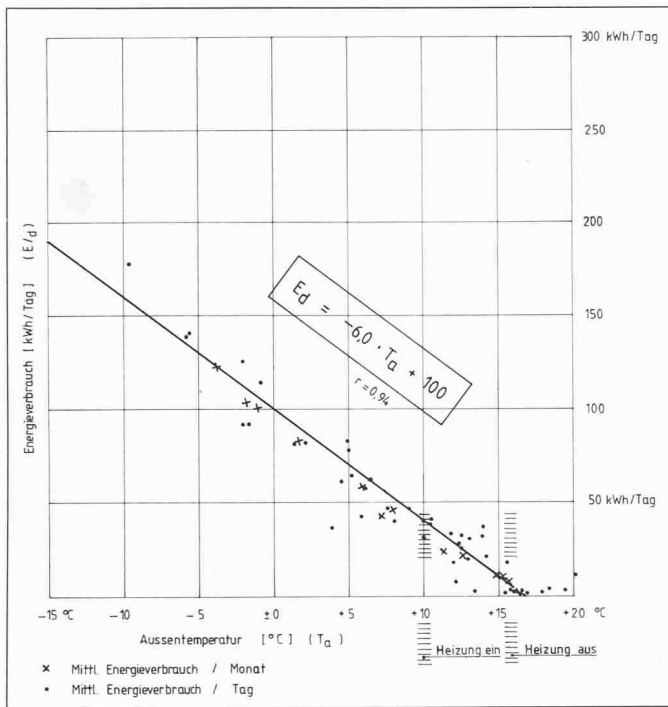


Bild 11. Energieverbrauch der Heizung im Verhältnis zur Aussentemperatur

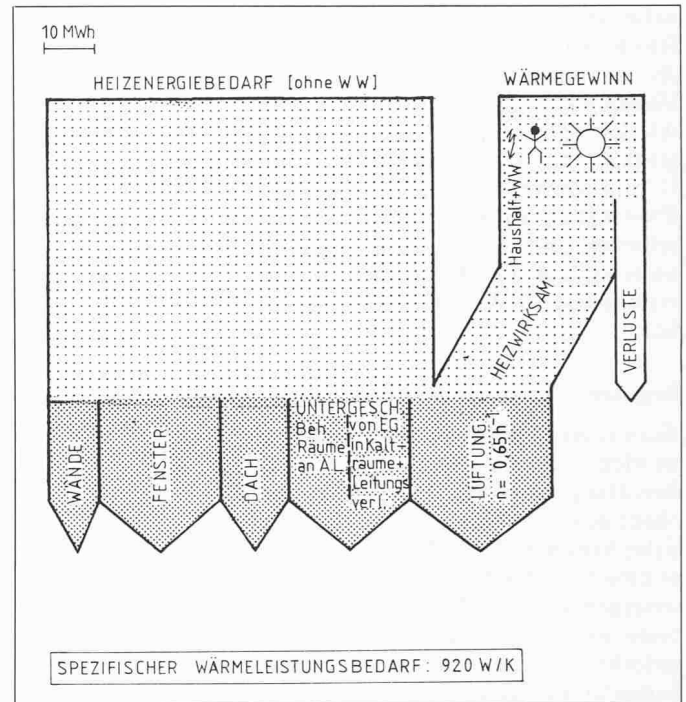


Bild 12. Energiefluss-Diagramm 1980-1981

Innentemperatur. Eine Anpassung der Heizkurve mit durchschnittlicher Absenkung der Innentemperatur um 1°C gäbe einen weiteren Minderbedarf um rund 1000 kWh pro Jahr.

$E_{Heiz}$	= 105 (830)
$E_{Rest} + WW$	= 141 (110)
$E$	= 246 (940)

( ) Mittelwerte von bestehenden MFH; (Er-läuterungen im nächsten Abschnitt)

### Kommentar

Bei der Interpretation der Resultate ist zu beachten, dass es sich hier um anlagenspezifische Angaben handelt, die nicht ohne weiteres auf andere Objekte übertragbar sind. Es wäre allerdings zu hoffen, dass vermehrt vergleichbare Messungen veröffentlicht würden, um damit die Bestrebungen für optimalen Betrieb von WP-Heizanlagen zu fördern und Beiträge für Auslegungskriterien zu liefern. Dabei ist die Durchführung eines ähnlichen Messprogrammes unerlässlich, wobei im vorliegenden Fall aus finanziellen Gründen auf Wärmedurchflussmesser verzichtet wurde und damit leider keine verbindliche Aussage über den Ertrag des Dachregisters gemacht werden kann. Beim Messobjekt werden die Erdreichtemperaturen und der Strombedarf weiterhin gemessen, um das Langzeitverhalten zu beobachten.

### Energiebedarf

Der Heizenergiebedarf bei -10°C beträgt rund 160 kWh pro Tag (Bild 11). Energiekennzahlen ( $E$  in MJ/m<sup>2</sup>a) [6, 7]:

Der Energiebedarf für das Heizen könnte mit einigen betrieblichen Mass-

nahmen noch auf  $E_{Heiz} = 80$  abgesenkt werden und würde dann noch knapp 60% des Energiebedarfes für den Haushalt betragen!

### Wärmeleistungsbedarf (Transmission und Lüftung)

Nach Berechnung SIA 380/1975: 970 W/K

Nach Rechenmodell JAENV EMPA: 920 W/K  $\Delta$  (0,5 W/m<sup>3</sup>K, LW = 0,5 h<sup>-1</sup>).

### Wirtschaftlichkeit

Für den Besitzer oder Benutzer der Heizung sind die *Jahreskosten* vor allem im Vergleich zu einer konventionellen Anlage von grosser Bedeutung. Neben den grösseren Aufwendungen für die Heizanlage entstehen durch die Erdbewe-

gungen für das Erdregister Mehrkosten. Dagegen fallen bei der monovalenten WP-Anlage die Kosten für den Öltankraum und den Kamin weg.

Die *Investitionskosten* für die WP-Anlage waren 75% und die *Jahreskosten*, unter Berücksichtigung der Kapitalkosten der Mehrinvestition, Fr. 700.- höher als für eine Ölheizung. Da jedoch anstelle eines Öltankraumes eine Garage gebaut werden konnte, erwachsen allein daraus Einnahmen von etwa Fr. 1000.- pro Jahr.

Zu wessen Gunsten die Jahreskosten sprechen, hängt letztlich von den Rahmenbedingungen ab. Dazu kommt, dass die zusätzlichen Einsparungen noch nicht berücksichtigt sind und die WP bei allgemein steigenden Energiepreisen immer rentabler wird.

Der Berechnung lagen die in der Tabelle 3 aufgeführten Werte zugrunde.

### Wärmepumpe

Die mittlere Anlageleistungsziffer ist mit  $\beta_{Anl.} = 4$  überraschend hoch; ein elektrischer Zentralspeicher würde an-

Tabelle 3. Berechnungsgrundlagen

Energiepreis Niedertarif:	6,5 Rp./kWh
Hochtarif:	17,5 Rp./kWh
Heizöl EL:	70 Rp./kg
Jahreswirkungsgrad der ölf Feuernden Anlage:	80%
Allgemeine Unterhaltskosten:	WP Fr. 535.-, Ölfeuernd Fr. 570.-
Kapitalverzinsung:	5%
Amortisationszeiten:	Apparate, Aggregate mit dem Gebäude verbundene Anlageteile 10 Jahre bauliche Aufwendungen 25 Jahre 50 Jahre

stelle von 19 000 kWh rund 67 000 kWh Strom pro Jahr benötigen. Die WP ist im angrenzenden Treppenhaus des Messobjektes praktisch nicht hörbar. Als Umwälzpumpen wurden nur Aggregate mit Drehzahlen unter 1400 U/min verwendet. Die Körperschallübertragung wurde mit Schwingmetallschienen und Gummi-Kompensatoren unterbunden. Für Kontrollen und Revisionen ist die WP allseitig gut zugänglich.

### Register

**Erdregister:** Positive Auswirkungen wurden sicherlich dadurch erreicht, dass Hangwasser auf Teile der Registerebene geleitet werden konnte. Der Verteiler-Sammler der 29 Registerkreise ist in einem Lichtschacht beim Heizraum untergebracht. Im Schacht kann gearbeitet werden, er ist gut isoliert und abgedeckt. Vereisungen am Verteiler-Sammler wurden nicht festgestellt. Alle 29 Registerkreise sind einzeln absperrbar.

**Dachregister:** Da von keinem Haus der Umgebung Einsicht auf das Süddach besteht, wurde ein Aufdachregister gewählt. Im Gegensatz zum Unterdachregister entstehen keine Kondensationsprobleme, und das Register bleibt leicht zugänglich. Wegen der grossen Temperaturunterschiede sind aber die Kunststoffrohre und Verbindungselemente grossen Belastungen ausgesetzt. Der Verteiler-Sammler für die 42 Registerkreise ist aus Chromstahl (V4A) hergestellt.

### Wärmeverteilung

Beim Vergleich der Auslegungskriterien für die Fussbodenheizung mit dem Rechenprogramm JAENV wurde das Fehlen von geprüften Wärmeleistungsangaben festgestellt (z.B. Wärmefluss nach unten). In der Berechnung der Fussbodenheizung (System Huber-TA) wurde die Möglichkeit berücksichtigt, ausser den eingebauten Bodenbelägen (Haupträume Parkett) noch Teppiche zu verlegen. Diese Möglichkeit und die rechnerischen Reserven erlauben einen Betrieb mit bis zu 5 °C tieferen Vorlauftemperaturen als angenommen.

Bei kurzfristigen Kälteeinbrüchen im Sommer und allgemein im Frühjahr und Herbst wird die WP zu spät ein-

und ausgeschaltet. Eine bessere Ansprechbarkeit auf schnelle Klimawechsel würde eine Grundlast-Fussbodenheizung mit Niedertemperaturheizkörpern bringen.

### Planung

Das frühzeitige Zusammenarbeiten von Fachspezialisten ist für die Planung und Ausführung von energiege rechten Bauten von Vorteil, für anspruchsvolle Bauten unumgänglich [8]. Abschliessend sei noch auf das Energiefluss-Diagramm hingewiesen, das einige für gut wärmedämmte Neubauten allgemeingültige Hinweise liefert (Bild 12). Vorerst fällt der relativ grosse heizwirksame Wärmegewinn von rund 25% des Nettoenergiebedarfes auf. Sodann sind die Verluste für Fenster, Untergeschoss und Lüftung praktisch gleich gross. Dabei ist besonders der Wärmefluss der beheizten Räume im Untergeschoss, Leitungsverluste und Wärmefluss der Fussbodenheizung vom EG in die Kalträume des UG beträchtlich. Der Lüftungsanteil ist zwischen 25...30% des Nettoenergiebedarfes.

### Zusammenfassung, Schlussfolgerungen

Die Messungen und Beobachtungen eines neuerstellten Mehrfamilienhauses mit monovalenter Wärmepumpe, Erd- und Dachregister ergaben zusammenfassend folgende Ergebnisse:

- Bei gleichen WP-Heizsystemen kann ein Einfamilienhaus dieselben Heizkosten wie das untersuchte 5-Familien-Haus aufweisen.
- Die Energiekennzahl für Heizen ( $E_{Heiz} = 105$ ) ist nur noch  $\frac{1}{2}$  des Heizenergiebedarfes von bestehenden Mehrfamilienhäusern.
- Der Strombedarf für Heizen ist rund 75% des Bedarfes für den Haushalt.
- Der Grund für den niederen Heizenergiebedarf liegt zur Hauptsache an der hohen, mittleren Leistungsziffer der Wärmepumpe.
- Die Temperatur im Erdregister ist ab Ende März über 0 °C gestiegen.
- Die Heizung wurde bei Kälteeinbrüchen (jeden Monat mindestens einmal geheizt) zu spät ein- und im Sommer zu spät ausgeschaltet. Daraus re-

sultierten «Schaltgrenzen»: «Ein» bei 10 °C und «Aus» bei 16 °C.

- Der Wärmefluss von der Fussbodenheizung des Erdgeschosses in die Kalträume des Untergeschosses (inkl. Leitungsverluste) ist grösser als der Wärmefluss durch die Aussenwand ins Freie.
- Der relativ grosse Wärmeverlust durch die Fenster hätte durch die Ausführung z. B. in Dreifach-Verglasung noch erheblich verringert werden können.

Es ist anzunehmen, dass viele WP-Anlagen mit der Werkeinstellung noch nicht auf minimalen Energiebedarf optimiert sind und demzufolge hier noch ein Sparpotential «schlummert». Eine Optimierung kann einerseits als Entlastung für den Betreiber durch ein elektronisches Regelsystem (u.a. automatische Ein- und Abschaltung der Heizung) und andererseits durch Kontrolle von Soll-/Ist-Werten erfolgen. Letzteres ist mit einigem Messaufwand verbunden und sinnvoll nur dort, wo es sich mit den zu erwartenden Einsparungen rechtfertigt.

Die Resultate haben gezeigt, dass eine monovalente WP-Anlage schon zum heutigen Zeitpunkt *wirtschaftlicher als eine Ölheizung* sein kann, dass es aber leider auch noch WP-Anlagen gibt, die gleiche Energiekosten haben wie eine gewöhnliche elektrische Widerstandsheizung.

Adresse der Verfasser: Ernst Baumann, Ing. HTL, Ingenieurbüro für Energieberatung, 9602 Müselbach SG; Ernst Züllig, Installationsplanung, 9607 Mosnang SG.

### Literaturhinweise

- [1] «Die Wärmepumpe im Vormarsch», Heizung + Lüftung 4/81, S. 40
- [2] Arbeitsgemeinschaft für Wärmepumpen, Sekretariat, 8023 Zürich
- [3] «Sonnenenergienutzung im Hochbau», SIA-Dokumentation Nr. 48, S. 63
- [4] «Heizenergieverbrauch von Wohnbauten, Theoretische Untersuchung anhand von Modellrechnungen», EMPA-Bericht 39200, Febr. 1980
- [5] «Energiegerechte Neubauten», EDMZ Bern, August 1981, Diagramm S. 36
- [6] «Energiekennzahl», SIA-Empfehlung 180/4, Ausgabe 1982
- [7] Wick, B.: «Energie im Mehrfamilienhaus», Widen, SIA 5/1982
- [8] Hofmann, Dr. W.M.: «Energieoptimal gestaltete Gebäude und Bauinstallationen», Gebrüder Sulzer AG, Winterthur, Energie 3/1982