

## Wirtschaftlichkeit von Stallluft-Wärmepumpen

W. Göbel

Mancher Landwirt, der eine neue Wohnhausheizung benötigt, fragt sich, ob ihm eine Wärmepumpe für Abwärme aus dem Kuhstall nicht billiger als eine Ölheizung zu stehen kommt. Eine Untersuchung dieser Frage zeigte:

- Mit 30 Kühen im Stall lassen sich nur sehr gut isolierte Einfamilienhäuser heizen.
- Nur wenn die Anschaffungskosten der Wärmepumpe oder der Stromtarif niedrig sind, der Ölpreis stark ansteigt oder der Wärmebedarf hoch ist, kann die Wärmepumpe gegenüber der Ölheizung vorteilhaft sein.

Wärmepumpen zur Warmwasserbereitung in Verbindung mit der Milchkühlung sind bereits weit verbreitet. Beim Einsatz von Wärmepumpen, die Stallwärme für die Wohnhausheizung nutzen, stehen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im Vordergrund.

Im einzelnen stellen sich dazu folgende Fragen:

- Wie hoch muss die Anzahl der Kühe sein, um ein Einfa-

milienhaus bestimmter Grösse und Isolation heizen zu können?

- Wie werden die Jahreskosten einer Wärmepumpe von den einzelnen Rechengrössen wie Anschaffungskosten, Abschreibung, Zinsen, Reparaturkosten, Wärmebedarf und Energiekosten beeinflusst?
- Unter welchen Voraussetzungen wird die Wärmepumpe gegenüber der Ölheizung konkurrenzfähig?

Um die letzten beiden Fragen zu beantworten, sollen die kostenbeeinflussenden Rechengrössen der Wärmepumpe von Standardwerten ausgehend einzeln in ihrem möglichen Schwankungsbereich verändert werden. Zuerst aber werden die einzelnen Bauarten der Wärmepumpen vorgestellt und schliesslich Modellberechnungen sowohl über den Wärmeleistungs- und Wärmebedarf von Einfamilienhäusern als auch über das Wärmeleistungsangebot von Milchviehställen durchgeführt.

### 1. Wärmepumpen

Die Stallluftwärmepumpen entnehmen der Stallabluft oder auch der Stallluft Wärme und bringen sie auf ein **höheres Temperaturniveau von ungefähr 50° C**. Damit kann man Wohnhäuser heizen, Ställe entfeuchten oder klimatisieren und Brauchwasser erwärmen.

Zur Beurteilung von Wärmepumpen dient die **Jahresarbeitszahl**. Sie ist das Verhältnis von Heizarbeit zu aufgenommener elektrischer Arbeit für den Verlauf eines Jahres.

Eine **Wärmepumpe besteht aus vier Hauptbestandteilen: Verdampfer, Verdichter, Verflüssiger und Drosselorgan** (Abb. 1). Im Verdampfer nimmt das Kältemittel die Wärme aus der Umgebung auf. Im Verflüssiger gibt es die Energie an den Heizkreislauf ab.

Für die Wärmerückgewinnung aus der Stallluft kommen **drei Wärmepumpenbauweisen** in Frage [1,3].

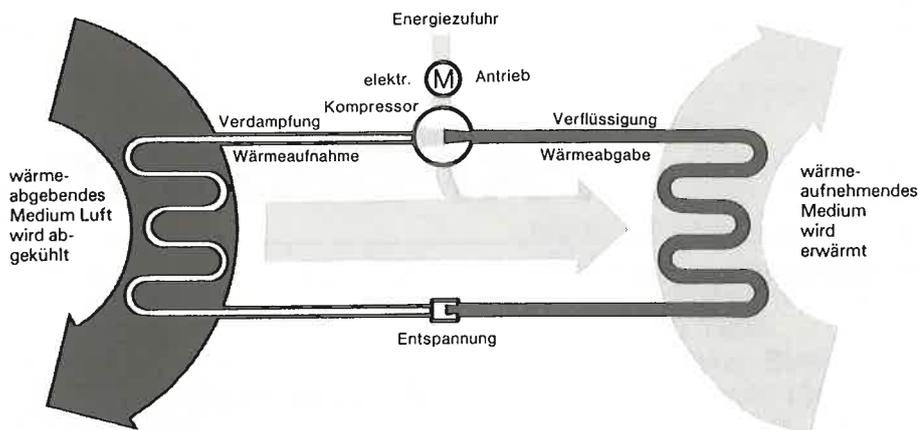


Abb. 1: Arbeitsweise einer Wärmepumpe (nach [1]).

- Luft-Luft WP **Kompaktbauweise**
- Luft-Luft WP **Splitbauweise**
- Wasser-Wasser bzw. Sohle-Wasser WP mit **Stallabsorbieren**

Bei der **Kompaktbauweise** sind alle vier Bauteile in einem Gerät vereinigt. Die Stallluft muss der Wärmepumpe zugeführt werden. Sie kann die Stallwärme im Abluft- oder im Umluftbetrieb

nutzen. Im Umluftbetrieb wird dem Stall die Luft aus der Wärmepumpe wieder zugeführt. Die zulässige CO<sub>2</sub>-Konzentration im Stall darf dabei nicht überschritten werden. Bei Wärmepumpen in Kuhställen erreicht man Jahresarbeitszahlen von drei bis vier [3].

Bei **Splitanlagen** ist der Verdampfer von der eigentlichen Wärmepumpe örtlich getrennt.

Sie eignen sich für grosse Ställe, denn der oder die Verdampfer der Wärmepumpe werden an den einzelnen Abluftöffnungen des Stalles montiert. Die Jahresarbeitszahl liegt aber nur bei drei [3].

Bei **Wärmepumpen mit Absorberkreislauf** (Abb. 2) kommt die Stallabluft mit der Wärmepumpe nicht in Berührung, da ein Wasser- oder Sohlekreislauf mit Absorber und Pufferspeicher zwischen Stallluft und in diesem Falle «handelsüblicher» Wärmepumpe zwischengeschaltet wird. Wärmepumpen mit Absorberkreislauf sind bei grossen Ställen oder zur Überbrückung der Entfernung zwischen Stall und Wohnhaus geeignet. Die Arbeitszahlen reichen von 2,5 bis 3,5 [3].

## 2. Wärmeleistungs- und Jahreswärmebedarf bei Einfamilienhäusern

Stall

Wohnhaus

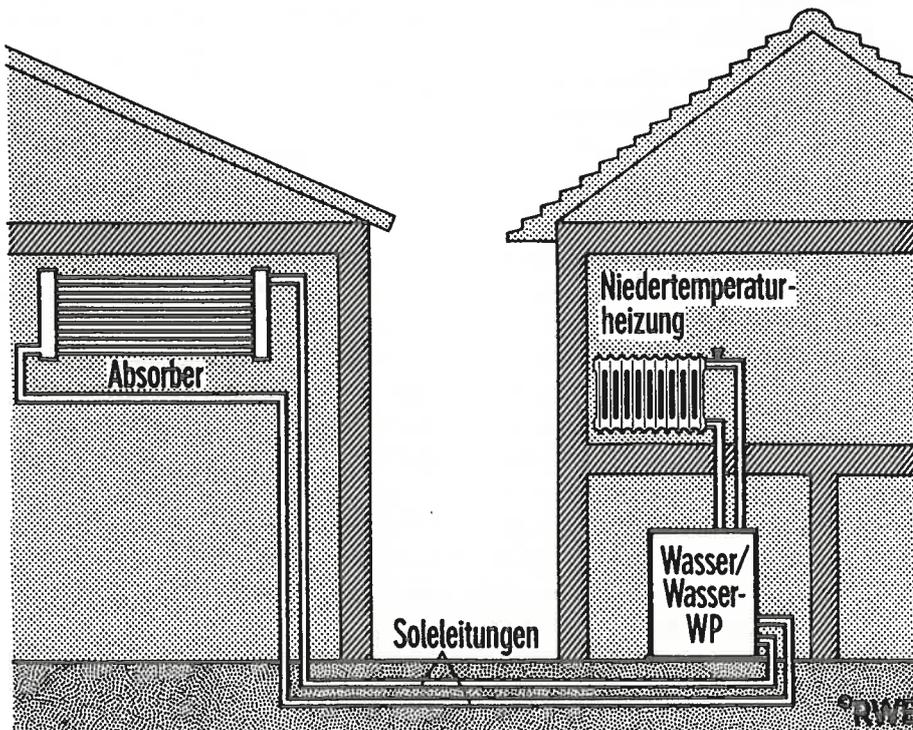
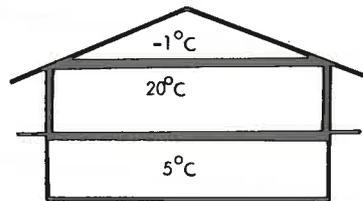


Abb. 2: Wärmepumpe mit Absorber im Stall (nach [2]).

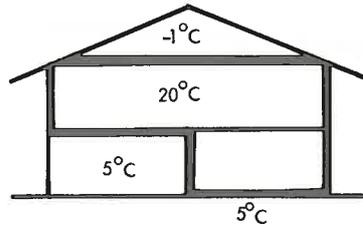
Der Wärmeleistungs- und der Jahreswärmebedarf werden für je ein Einfamilienhaus im Mittelland von 120, 180 und 240 m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche (Abb. 3) als Modellfall berechnet [8]. 180 m<sup>2</sup> bilden den Landesdurchschnitt [9]. Dabei wird im Durchschnitt für jedes Haus eine sehr gute, eine gute und eine mittelmässige Isolation, nämlich 0,4, 0,7 und 1,0 W/m<sup>2</sup>K angenommen.

### 2.1 Wärmeleistungsbedarf an kalten Tagen zur Auslegung der Heizung

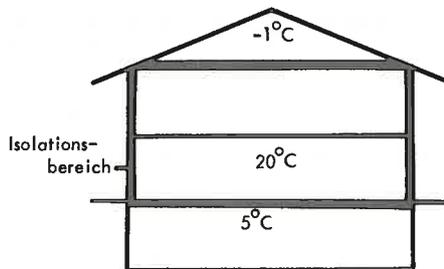
Abbildung 4 gibt den Wärmeleistungsbedarf für die oben genannten Modellfälle aus Transmissions- und Lüftungsverlusten an. Unterschiedliche Wohnfläche und Isolation beeinflussen den Wärmeleistungsbedarf



beheizte Wohnfläche  
120 m<sup>2</sup>



180 m<sup>2</sup>



240 m<sup>2</sup>

Abb. 3: Abmessungen der Einfamilienhäuser der Modellrechnung für Wärmeleistungs- und Wärmebedarf.

stark. Der Schwankungsbereich liegt bei den Modellfällen zwischen 4 und 12 kW.

## 2.2 Jahreswärmebedarf für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Abbildung 5 stellt den **Jahreswärmebedarf** für die oben genannten Modellfälle dar. Die Berechnung erfolgte nach SIA 384/21 unter Berücksichtigung der Personen- und Beleuchtungswärme (Heizgradtage Mittelland 3616, maximale Temperaturdifferenz 30 K). Der Schwankungsbereich für den Jahreswärmebedarf liegt zwischen 10'000 und 30'000 kWh [9].

In einigen Fällen wird man mit der Wärmepumpe auch das **Brauchwasser** auf 50°C erwärmen wollen. Es sind für einen Haushalt von vier Personen dafür rund 5000 kWh/Jahr anzunehmen.

Sehr selten wird zum Heizen von Ställen eine Wärmepumpe gebraucht, da der Wärmebedarf

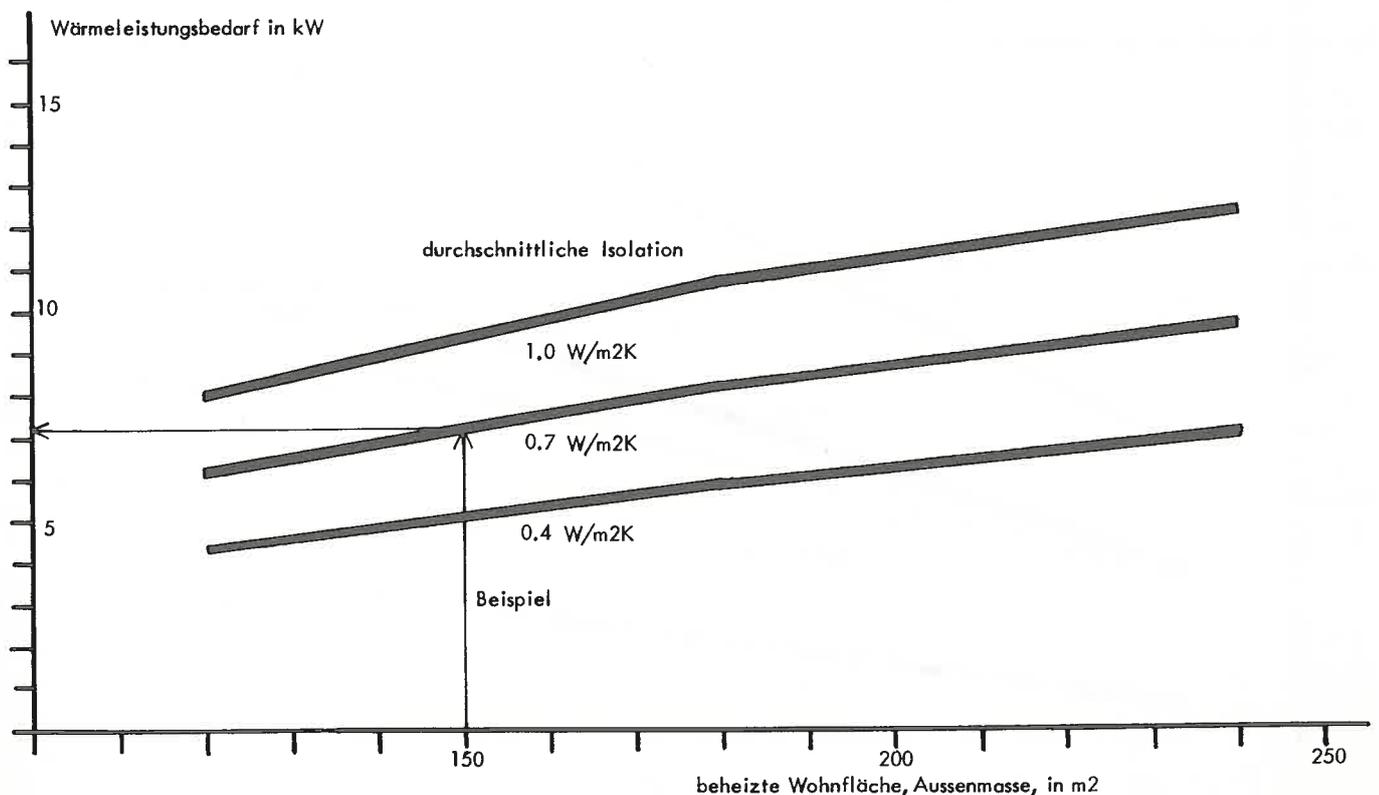


Abb. 4: Wärmeleistungsbedarf bei Einfamilienhäusern unterschiedlicher Größe und Isolation.

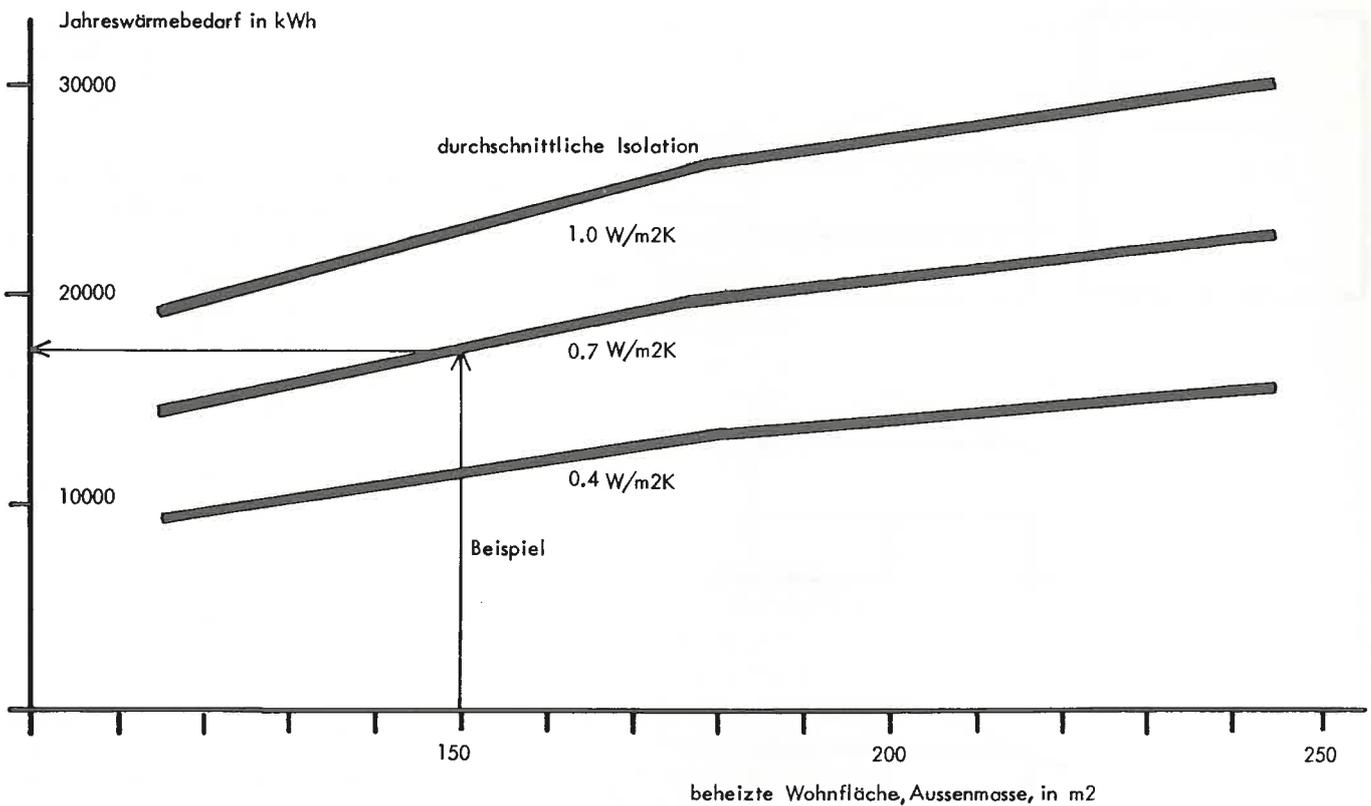


Abb. 5: Jahreswärmebedarf bei Einfamilienhäusern unterschiedlicher Grösse und Isolation.

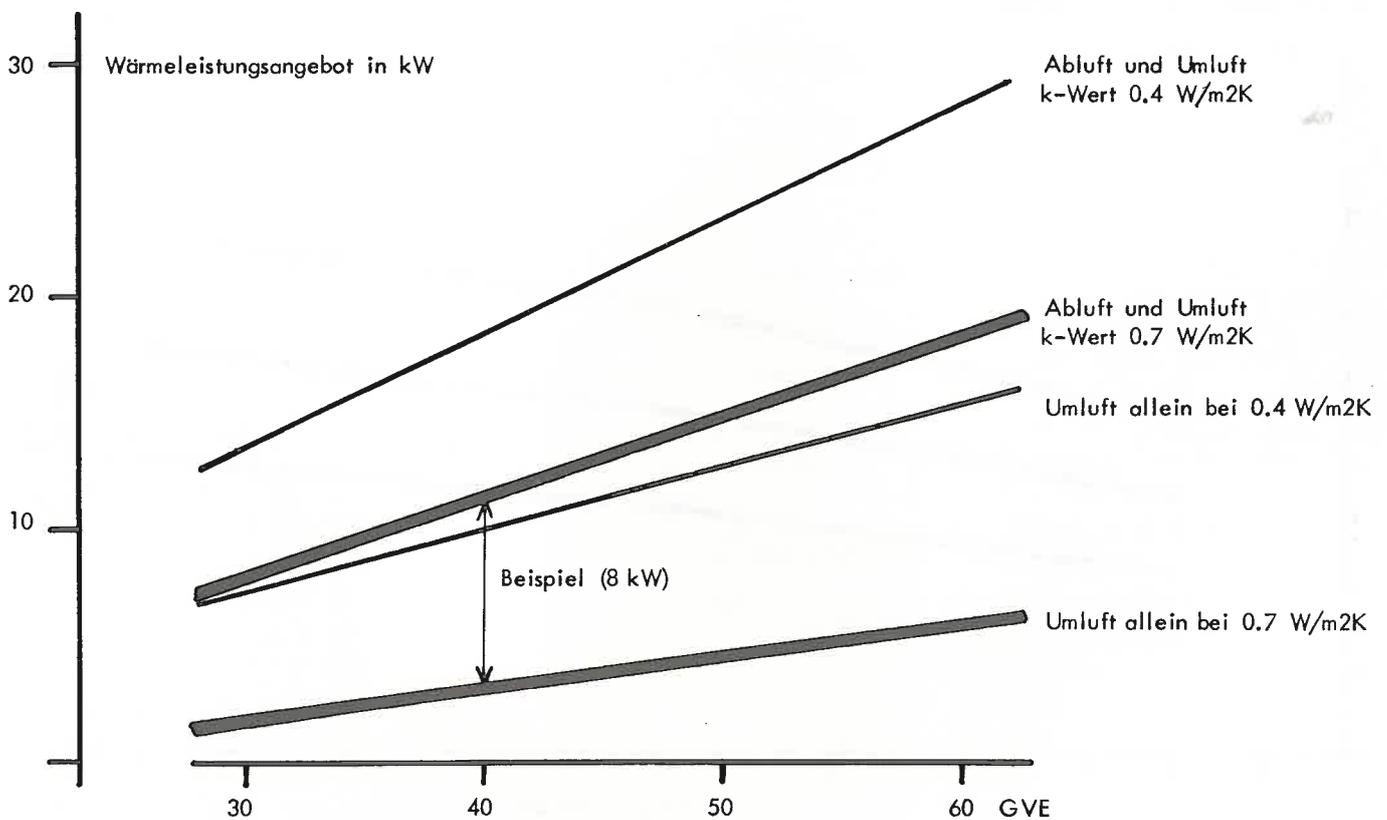


Abb. 6: Wärmeleistungsangebot unterschiedlich grosser Milchviehställe beim Einsatz einer Wärmepumpe.

in Ställen gering ist und **Wärmetauscher** mehr Vorteile bieten.

### 3. Wärmeleistungsangebot

Aus Abbildung 6 geht hervor, welches Wärmeangebot an sehr kalten Tagen im Mittelland (ausser  $-12^{\circ}\text{C}$ , innen  $12^{\circ}\text{C}$  [7]) je nach Anzahl der GVE (GVE = Kuh von 600 kg) und durchschnittlichem k-Wert des Stalles von 0,7 oder 0,4  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  aus Ab- und Umluft abgeführt werden kann. Dabei wird je GVE eine Stallbodenfläche von  $10\text{ m}^2$  angenommen. Es wurde sicherheitshalber mit einem Wärmerückgewinn von 3 statt 4  $\text{Wh}/\text{m}^3$  Luft gerechnet [3,5]. Andererseits werden Leitungsverluste nicht beachtet.

Im Normalfall (k-Wert 0,7  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  und  $\text{CO}_2$ -Gehalt 0,35% [7]) lassen sich aus Ab- und Umluft mit 30 GVE 8 kW und mit 60 GVE 18 kW gewinnen, wobei der Anteil aus Umluft am gesamten Wärmeangebot nur rund 30% ausmacht.

### 4. Wirtschaftlichkeits-Betrachtungen

Wie steht es um die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpe für den Jahreswärmebedarf von über  $10'000\text{ kWh}$ ?

Tabelle 1 gliedert die Anschaffungskosten der Wärmepumpe (gesamter Investitionsbedarf) von Fr. 22'500.– auf [1, 4, 6], Tabelle 2 diejenigen der Ölheizung von Fr. 15'000.– [1, 2, 4]. Tabelle 3 enthält den Kostenvergleich für die Standardwerte. Nach dem gleichen System wird der

**Tabelle 1: Anschaffungskosten der Wärmepumpe (11 kW) mit Absorberkreislauf.**

Position	Fr.
Wärmepumpe Wasser/Wasser (Kompressor, Kondensator, Verdampfer)	8000.–
Strömungswächter im Heizwasserkreislauf und zwei Thermostate im Speicher	1000.–
Zwei Umwälzpumpen im Heizwasserkreislauf	1000.–
Stallabsorber für $4000\text{ m}^3$ Luft/h mit $40\text{ m}^2$ Fläche	5000.–
Abluft- und Umluftkanäle	2500.–
Strömungswächter und Umwälzpumpe im Kaltwasserkreislauf	1000.–
Standort und Leitungen Stall – Haus mit Isolation	4000.–
<b>Total</b>	<b>22'500.–</b>

**Tabelle 2: Anschaffungskosten der Ölheizung für einen Neubau**

Position	Kosten Fr.
Kesselofen und Platz	5000.–
Brenner mit 10 m Tankleitung	2000.–
Tank 5000 l und Platz mit Kunststoffwanne	4000.–
Kamin (Stahlrohr und Isolation)	4000.–
<b>Total</b>	<b>15'000.–</b>

Einfluss des Schwankungsbereiches jeder einzelnen Rechengrösse auf die Jahreskosten von Wärmepumpen und Ölheizung berechnet (Abb. 7).

### 5. Ergebnisse

#### 5.1 Wärmeleistungsangebot und -bedarf

Grundsätzlich genügen Ställe von über 30 GVE, um mit Wärmepumpen Einfamilienhäuser zu heizen. Doch müssen gewisse Voraussetzungen erfüllt sein (Abb. 4 und 6).

Nur für das sehr gut isolierte Einfamilienhaus ( $0,4\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ) reichen die 6 kW Heizleistung aus, die ein Stall von 30 GVE lie-

fern kann. Hingegen verlangt ein gut isoliertes mittelgrosses Einfamilienhaus ( $0,7\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ) bereits 8 kW Heizleistung. Soviel Leistung liefert nur die Abluft von 40 GVE.

Durch die Umluft allein kann mit 60 GVE gerade das kleinste, sehr gut isolierte Haus geheizt werden (Abb. 4: Bedarf 4 kW, Abb. 6: Angebot 5 kW).

Verbessert man die Isolation des Stalles auf  $0,4\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ , so wird das Wärmeangebot aus Umluft allein in beiden Fällen über dreimal grösser (Abb. 6). Am Wärmeangebot aus Abluft ändert sich aber nichts.

#### 5.2 Wirtschaftlichkeit

Bei den Standardwerten belaufen sich die Jahreskosten für die Wärmepumpe auf Fr. 4175.– und für die Ölheizung auf Fr. 3407.–. Der Jahreskostenunterschied

**Tabelle 3: Kostenvergleich zwischen Wärmepumpe und Ölheizung für die Standardwerte der Kostengrößen, welche die Wirtschaftlichkeit beeinflussen.**

Parameter	Standardwert	Schwankungsbereich	Betriebskosten Fr./Jahr
Jahreswärmebedarf kWh	20'000	10'000 – 40'000	
<b>Wärmepumpe</b>			
Anschaffungskosten Fr.	22'500.–	15'000 – 30'000	
Abschreibung 10 J.	10		
Zinsen 5% <sup>1)</sup>	3		
Reparaturen	2		
Total	% 15	10 – 20	
Grundkosten Fr.			3375.–
Stromkosten Fr./kWh	–.12	.06 – .24 (30% Nachttarif)	
Arbeitszahl	3	2.5 – 3.5	
Energiekosten Fr.			800.–
Jahreskosten Fr.			4175.–
<b>Ölheizung</b>			
Anschaffungskosten Fr.	15'000.–	10'000 – 20'000	
Abschreibung 14 J.	7		
Zinsen 5% <sup>1)</sup>	3		
Reparaturen	2		
Total	% 12		
Grundkosten Fr.			1800.–
Kaminfegerkosten Fr.			140.–
Heizungswirkungsgrad	.75		
Ölkosten Fr./l	–.55	–.35 – 1.10	
Energiekosten Fr.			1467.–
Jahreskosten Fr.			3407.–

<sup>1)</sup> 5% von 60% der Anschaffungskosten

beträgt Fr. 768.– zuungunsten der Wärmepumpe. Das sind Mehrkosten gegenüber der Ölheizung von rund 23% (Tab. 3, Abb. 7). Damit ist die Wärmepumpe im Vergleich zur Ölheizung nicht wirtschaftlich.

Bei rund 23% tieferen Anschaffungskosten oder Grundkostenansätzen (Abschreibung, Zinsen und Reparaturen) als nach Standard bestände Jahreskostengleichheit mit der Ölheizung.

Bei einer Ölpreiserhöhung zum Standard um 50% (80 Rappen/Liter) besteht zwischen Wärmepumpe und Ölheizung Jahreskostengleichheit.

Die Jahreskosten werden bei einer Arbeitszahl von 3,5 anstatt 3 um Fr. 120.– geringer.

Eine Wärmebedarfsveränderung oder eine Strompreisveränderung beeinflusst die Jahreskosten der Wärmepumpe in einem geringeren Ausmass als die Anschaffungskosten bzw.

die Grundkostenansätze, während bei der Ölheizung die Veränderung der Anschaffungskosten und des Wärmebedarfes bzw. des Ölpreises von ungefähr gleich grosser Bedeutung sind.

Mit zunehmendem Wärmebedarf und ausreichendem Wärmeangebot des Stalles wird die Differenz der Jahreskosten zwischen Wärmepumpe und Ölheizung kleiner (Jahreskostengleichheit bei rund 40'000 kWh/Jahr).

Aus Abbildung 4 und 5 kann für eine Wärmepumpe für ein Wohnhaus der Wärmeleistungs- und Jahreswärmebedarf abgelesen werden. Abbildung 6 gibt den nötigen Tierbestand für die erforderliche Wärmeleistung aus Abluft oder Umluft bei –12° C Aussentemperatur (Mittelland) an. Aus Abbildung 7 können die Jahreskosten der Wärmepumpe im Vergleich zu einer Ölheizung grob ermittelt werden.

### 5.3 Beispiel:

Wohnhaus 150 m<sup>2</sup>, gute Isolation, Wärmepumpe nach Standardbedingungen gemäss Tabelle 3.

**Ergebnis:** Erforderlich 7 kW Wärmeleistung (Abb. 4) mit 17'000 kWh Jahreswärmebedarf (Abb. 5).

Rund 8 kW liefert die Abluft eines Tierbestandes von 40 GVE bei einem k-Wert von 0,7 W/m<sup>2</sup>K des Stalles. 17'000 kWh sind 85% vom Standardwert von 20'000 kWh. Nach Abbildung 7 ergeben sich dafür als Jahreskosten Fr. 4100.– für die Wärmepumpe und Fr. 3200.– für die Ölheizung. Somit beträgt die Jahreskostendifferenz zwischen Wärmepumpe und Ölheizung Fr. 900.– zugunsten der Ölheizung.

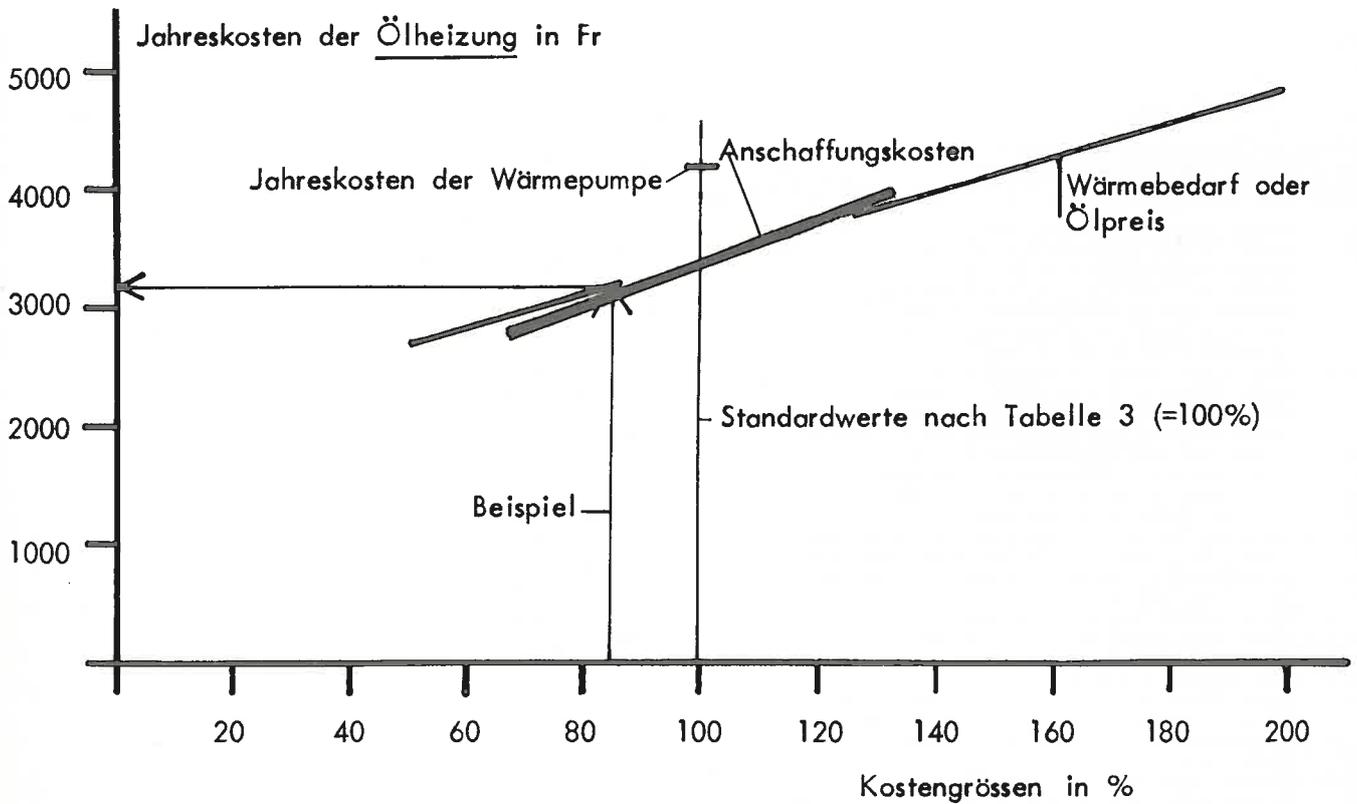
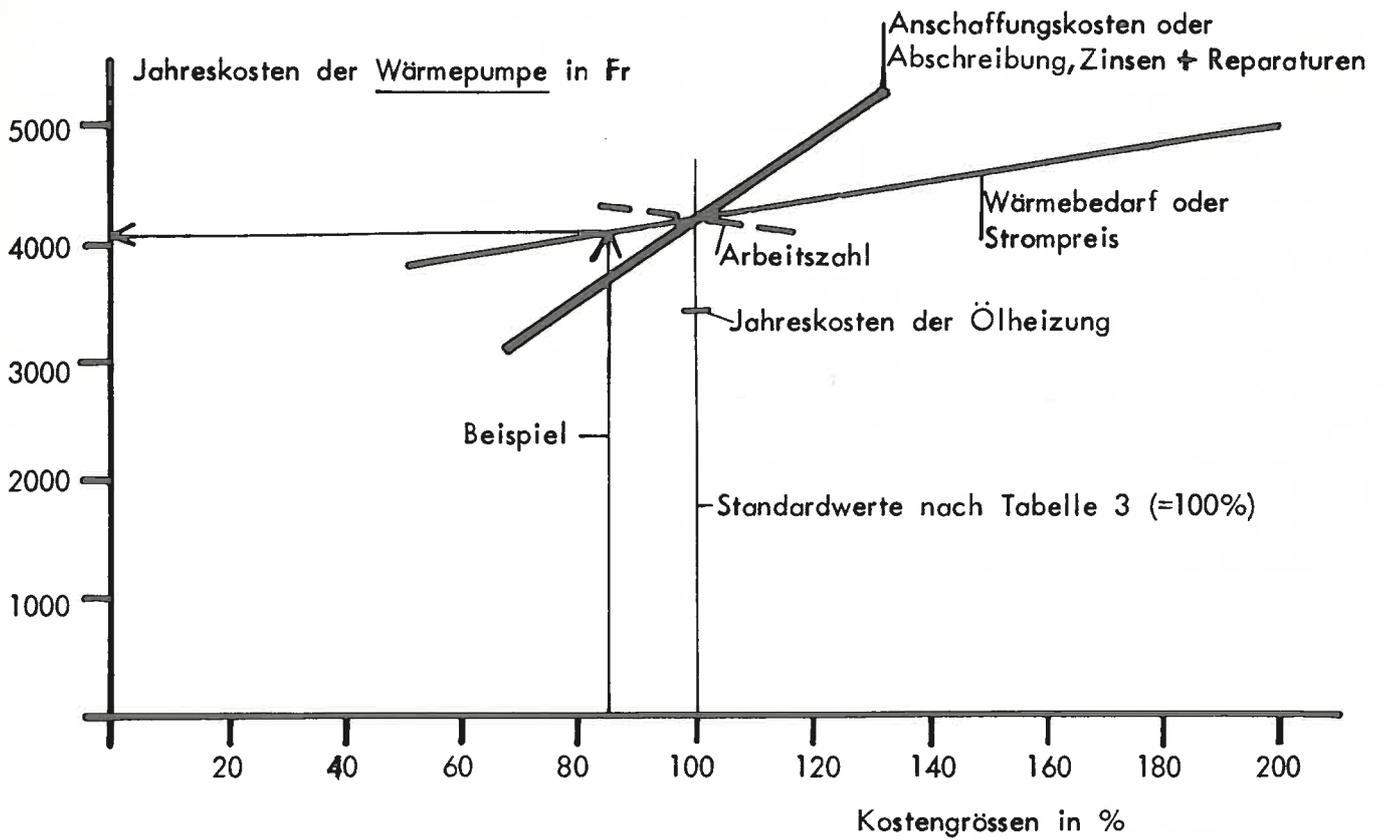


Abb. 7: Jahreskosten von Wärmepumpe und Ölheizung in Abhängigkeit einzelner Kostengrößen (100% = Standardwerte nach Tabelle 3).

## Literatur

- [1] AEL, Beheizung von landwirtschaftlichen Wohngebäuden mit Wärmepumpen, Heft 16/1982.
- [2] ALFA LAVAL, Keine Angst vor Wärmepumpen, Hamburg, 1984.
- [3] DLG-Merkblatt 190, Wärme aus Rinderställen zur Wohnraumheizung, Frankfurt, 1983.
- [4] DLG-Merkblatt 204, Sinnvoller Einsatz von Wärmepumpen in Schweineställen, Frankfurt, 1983.
- [5] Göbel, W., Wärmetauscher im praktischen Einsatz, Blätter für Landtechnik 244, 1984.
- [6] Offerte, B. Pulver für U. Hauser. Ottikon, 1984.
- [7] Schweizerische Stallklimanorm, ETH-Zürich, 1983.
- [8] SIA-Normen 180/1, 180/3, 180/4, 381/1, 381/3, 384/2 und 384/21.
- [9] Wick, B., Energiekennzahlen der häufigsten Gebäudetypen, BEW, 1983.

Allfällige Anfragen über das behandelte Thema, sowie auch über andere landtechnische Probleme, sind an die unten aufgeführten kantonalen Maschinenberater zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei der FAT (8355 Tänikon) angefordert werden.

ZH	Schwarzer Otto, Landw. Schule Weinland, 8408 Wülflingen	Tel. 052 - 25 31 21
BE	Brunner Samuel, Bergbauernschule Hondrich, 3702 Hondrich	Tel. 033 - 54 11 67
	Herrenschwand Willy, Landw. Schule Seeland, 3232 Ins	Tel. 032 - 83 32 32
	Hofmann Hans Ueli, Landw. Schule Waldhof, 4900 Langenthal	Tel. 063 - 22 30 33
	Marthaler Hansueli, Landw. Schule Langnau, 3552 Bärau	Tel. 035 - 2 42 66
	Marti Fritz, Landw. Schule Rütli, 3052 Zollikofen	Tel. 031 - 57 31 41
	Mumenthaler Rudolf, 3752 Wimmis	Tel. 033 - 57 11 16
LU	Moser Anton, Landw. Schule Schüpheim, 6170 Schüpheim	Tel. 041 - 76 15 91
	Schäli Ueli, Landw. Schule Willisau, 6130 Willisau	Tel. 045 - 81 33 18
	Wandeler Erwin, Bühlstrasse, 6207 Nottwil	Tel. 045 - 54 14 03
	Widmer Norbert, Landw. Schule Hohenrain, 6276 Hohenrain	Tel. 041 - 88 20 22
UR	Zurfluh Hans, Hochweg, 6468 Attinghausen	Tel. 044 - 2 15 36
SZ	Fuchs Albin, Landw. Schule Pfäffikon, 8808 Pfäffikon	Tel. 055 - 48 33 45
OW	Müller Erwin, Landw. Schule Obwalden, 6074 Giswil	Tel. 041 - 68 16 16
NW	Muri Josef, Breitenhaus, 6370 Stans	Tel. 041 - 63 11 22
ZG	Müller Alfons, Landw. Schule Schluechthof, 6330 Cham	Tel. 042 - 36 46 46
FR	Krebs Hans, Landw. Schule Grangeneuve, 1725 Posieux	Tel. 037 - 82 11 61
SO	Tschumi Fredi, Landw. Schule Wallierhof, 4533 Riedholz	Tel. 065 - 22 93 42
BL	Langel Fritz, Feldhof, 4302 Augst	Tel. 061 - 83 28 88
	Speiser Rudolf, Aeschbrunnhof, 4461 Anwil	Tel. 061 - 99 05 10
SH	Hauser Peter, Landw. Schule Charlottenfels, 8212 Neuhausen a. Rhf.	Tel. 053 - 2 33 21
AI	Hörler Hansjürg, Loretto, 9108 Gonten	Tel. 071 - 89 14 52
AR	Klee Anton, Werdeweg 10, 9053 Teufen	Tel. 071 - 33 26 33
SG	Haltiner Ulrich, Landw. Schule Rheinhof, 9465 Salez	Tel. 085 - 7 58 88
	Pfister Theophil, Landw. Schule Flawil, 9230 Flawil	Tel. 071 - 83 16 70
	Steiner Gallus, Landw. Schule Flawil, 9230 Flawil	Tel. 071 - 83 16 70
GR	Stoffel Werner, 7430 Thusis	Tel. 081 - 81 17 39
AG	Müri Paul, Landw. Schule Liebegg, 5722 Gränichen	Tel. 064 - 31 52 52
TG	Monhart Viktor, Landw. Schule Arenenberg, 8268 Mannenbach	Tel. 072 - 64 22 44
TI	Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola, 6501 Bellinzona,	Tel. 092 - 24 35 53
	Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Maschinenberatung, 8307 Lindau	Tel. 052 - 33 19 21

FAT-Berichte erscheinen monatlich und können auch in französischer Sprache im Abonnement bei der FAT bestellt werden. Jahresabonnement Fr. 35.-, Einzahlung an die Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, 8356 Tänikon, Postcheckkonto 30 - 520.