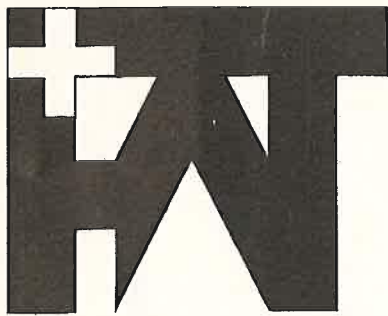




Separatdruck aus FAT-Mitteilungen Nr. 11/1978
in Schweizer Landtechnik Nr. 11/78
Herausgegeben von der Eidg. Forschungsanstalt für
Betriebswirtschaft und Landtechnik CH 8355 Tänikon

Energieeinsparung und Wärmerückgewinnung bei der Milchkühlung

D. Nosal

1. Einleitung

Für die Einsparung von Energie und die Wärmerückgewinnung bei der Milchkühlung sind in der letzten Zeit eine Anzahl von Ideen und Vorschlägen entwickelt, beschrieben und auch schon verwirklicht worden. Es sind damit offensichtlich noch längst nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft. Dabei muss auch gesagt werden, dass für grössere landwirtschaftliche Betriebe mehrere Möglichkeiten bestehen, die allerdings auch mit höheren Investitionen verbunden sind. Natürlich bestehen auch Möglichkeiten, Energie ohne grosse Investitionen einzusparen. Dies betrifft vor allem die Betriebe, die bei der Milchkühlung mit natürlicher Kälte arbeiten. Für die Milchkühlung bestehen Möglichkeiten der Energieeinsparung bei folgenden Verfahren:

- konventionelle Milchkühlung mit natürlicher Kälte (Wasser),
- kombinierte Milchkühlung (vorkühlen mit Wasser, tiefkühlen mit künstlicher Kälte),
- Kühlung mit künstlicher Kälte,
- Kühlung mit Wärmerückgewinnung.

2. Kühlung mit natürlicher Kälte

Bei den Kühlverfahren mit natürlicher Kälte (Wasser als Energiequelle) bestehen wenig Möglichkeiten, Energie einzusparen. Die Einsparungsmöglichkeiten beschränken sich sowohl bei den Kühlverfahren mit dem Kannenring als auch beim Kannenkühler auf die Benetzbarkeit der Kannen. Bei der Milchkühlung mit Wasser soll die Milch auf eine Temperatur abgekühlt werden, die 3° C über dem Kühlwasser liegt. Schlecht benetzbare Kannen (Abb. 1) erfordern einen höheren Wasserverbrauch. Für die Kühlung von 1 l Milch wird beim Kannenring 8,0 l Wasser bei guter und 15,0 l Wasser bei schlechter Benetzbarkeit benötigt. Beim Kannenkühler sind es 3,3 l bzw. 6,0 l Wasser. Die schlechte Benetzbarkeit deutet darauf hin, dass die Oberfläche der Milchkanne fettig und verschmutzt ist. Der Einfluss der schlechten Benetzbarkeit ist aus Tab. 1 zu entnehmen (beim Tarif von Fr. 0,60 m³ Wasser).

Wie aus Tab. 1 zu entnehmen ist, können die finanziellen Verluste durch die schlechte Benetzbarkeit bei einem Betrieb mit vier Kannen (zirka 22 Kühe)

Tabelle 1: Wasserverbrauch und -Kosten für die Milchkühlung mit natürlicher Kälte

Anzahl 40-l-Kannen pro Gemelk	mit Kannenring				mit Kannenkühler			
	Wasserverbrauch m ³ pro Jahr		Wasser-Kosten Fr. pro Jahr		Wasserverbrauch m ³ pro Jahr		Wasser-Kosten Fr. pro Jahr	
	1)	2)	1)	2)	1)	2)	1)	
1	230	440	140	260	100	180	60	110
2	470	880	280	530	190	350	120	210
4	930	1750	560	1050	390	700	230	420
6	1400	2630	840	1580	580	1050	350	630

1) mit guter Benetzbarkeit

2) mit schlechter Benetzbarkeit

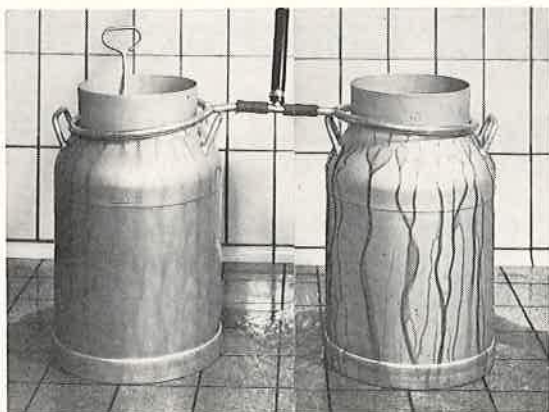


Abb. 1: Gute und schlechte Benetzbarkeit von Milchkannen (bei der Milchkühlung mit Wasser in Kanne).

Fr. 491.— pro Jahr bei der Kühlung mit dem Kannenring ausmachen. Bei der Kühlung mit dem Kannenkühler betragen die Mehrkosten Fr. 188.— pro Jahr.

3. Kombinierte Milchkühlung

Bei diesem Kühlverfahren wird die Milch mit der natürlichen Kälte vorgekühlt und mit der künstlichen Kälte auf 3–7° C tiefgeköhlt. Durch die Vorkühlung der Milch mit der natürlichen Kälte wird der Stromverbrauch des Kühlaggregates kleiner und somit kann elektrische Energie gespart werden. Bei der Milchgewinnung mit der Eimermelkanlage besteht die Möglichkeit der kombinierten Kühlung dann, wenn die Milch in einem doppel- oder dreiwandigen Hofbehälter gesammelt und geköhlt wird. Durch den Anschluss des Hofbehälters an die Wasserleitung wird die Vorkühlung der Milch ermöglicht, indem das Wasser zwischen den Wänden des Behälters hindurchfliesst. Anschliessend kann die Milch mit einem Tauchkühler auf die gewünschte Temperatur geköhlt werden. Bei der Milchgewinnung mit Rohrmelkanlagen wird die Vorkühlung der Milch mit einem Plattenkühler erreicht. Der Plattenkühler besteht aus Plattenpaketen. Zwischen den Platten fliessen Milch und Wasser im Gegenstrom. Die Kühlleistung kann durch Aenderung der Plattenzahl und -anordnung wechselnden Anforderungen angepasst werden.

4. Kühlung mit künstlicher Kälte

Bei dieser Kühlung kann man elektrische Energie vor allem durch gute Isolierung einsparen. Die Eiswasserbecken und die Kühlwanne mit indirekter Verdampfung bieten zudem die Möglichkeit, den Nachtstrom auszunützen.

Kannen in Eiswasserbecken

Bei diesem Kühlverfahren ist der Energieverbrauch (Abb. 2) für die Kühlhaltung in nicht isolierten Be-

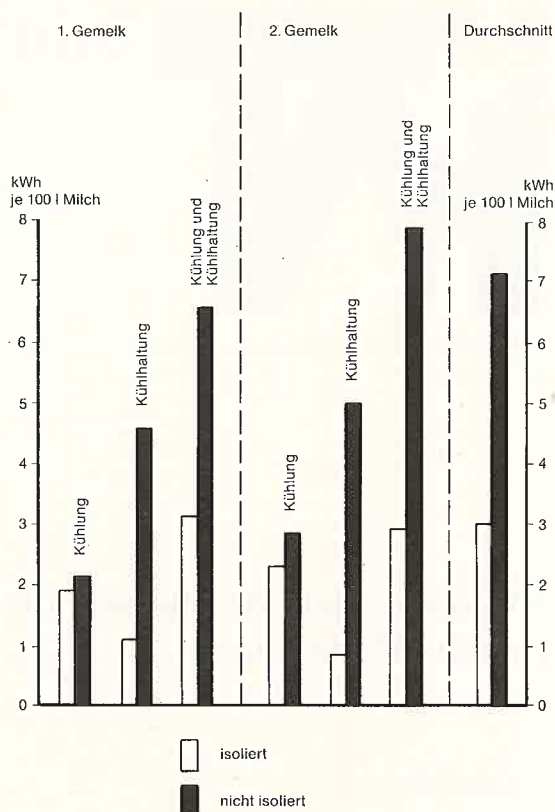


Abb. 2: Energieverbrauch für Kühlung und Kühlhaltung der Milch in isolierten und nicht isolierten Eiswasserbecken (nach E. Flückiger und F. Walser).

halten mehr als doppelt so gross wie derjenige für die Kühlung. Der durchschnittliche Stromverbrauch für die Kühlung und Kühlhaltung von 100 l Milch liegt bei den isolierten Behältern bei 7,2 kWh. In einem Betrieb mit vier Kannen pro Tag (160 l Milch) ergibt sich daraus ein unterschiedlicher Energieverbrauch von 2450 kWh im Jahr, oder Fr. 368.— bei einem Stromtarif von 0,12 Fr./kWh.

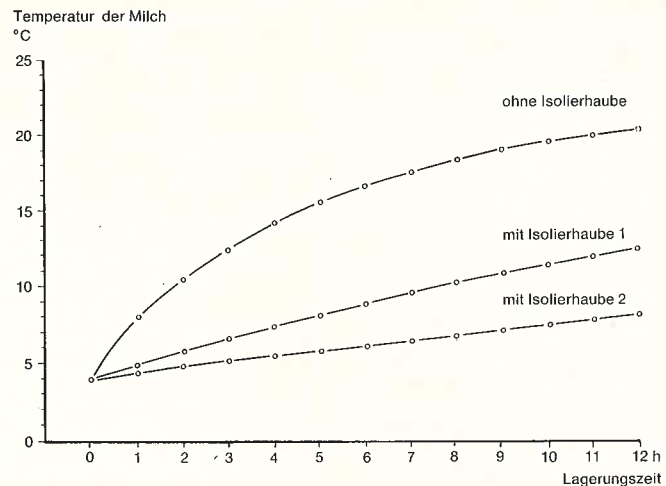
Kannen mit Tauchkühler

Wird die Milch nach der Kühlung länger als 1 Stunde in der Kanne gelagert, ist es notwendig, diese mit einer Isolierhaube und einem Bodendeckel auszurüsten. Nach 12-stündiger Lagerung wird nämlich die auf 4° C abgeköhlt Milch folgende Temperatur erreichen (siehe auch Abb. 3):

- ohne Isolierhaube zirka 20° C,
- mit Isolierhaube, aber ohne Bodendeckel zirka 13° C,
- mit Isolierhaube und Bodendeckel zirka 7° C.

Wie diese Zahlen zeigen, ist bei höheren Umgebungstemperaturen die Lagerung der Milch bei Temperaturen von 3–7° C in Kannen ohne Isolierung unmöglich.

Abb. 3:
Erwärmung der Milch in der
Milchkanne nach 12 Stunden
Lagerung (Isolierhaube 1 ohne
Bodendeckel, Isolierhaube 2 mit
Bodendeckel), (nach E. Flückiger
und F. Walser).



Hofbehälter (oder Sammelwanne) mit Tauchkühler

Die Isolation hat auch bei den Hofbehältern eine grosse Bedeutung bezüglich Stromverbrauch (Abb. 4). Bei einer Milchttemperatur von 10° C beträgt der Stromverbrauch bei isolierten Hofbehältern 0,25 kWh und bei nicht isolierten 0,8 kWh. Viel grösser ist der Unterschied bei der Temperatur von 25° C. Hier beträgt der Stromverbrauch bei isolierten Hofbehältern 0,5 kWh und bei nicht isolierten 3,15 kWh.

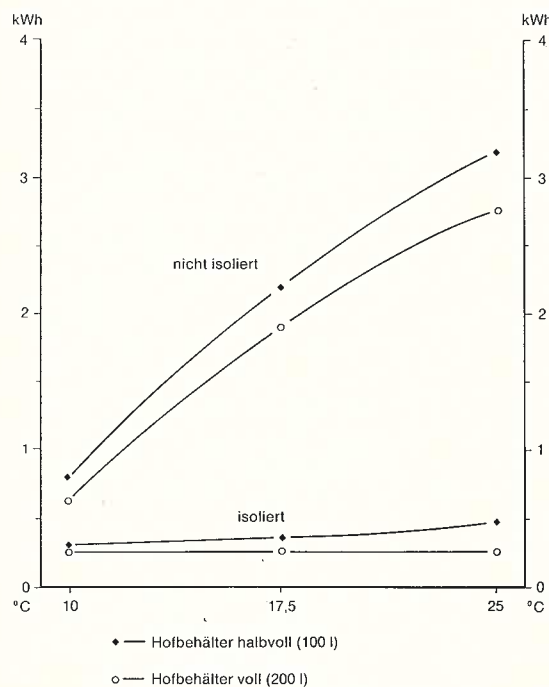


Abb. 4: Einfluss der Isolation auf den Energieverbrauch bei den Kühlverfahren mit Hofbehältern (nach E. Flückiger und F. Walser).

Kühlwanne und Kühltank

Einerseits benötigen die Kühlanlagen mit indirekter Verdampfung (der Verdampfer befindet sich in einem Eiswasserbad) um etwa die Hälfte kleinere Anschlusswerte für das Kühlaggregat als diejenigen mit direkter Verdampfung (die Austauschflächen des Ver-

dampfers sind in unmittelbarem thermischen Kontakt mit der Milch oder dem Milchbehälter). Andererseits müssen die Kältemaschinen bei indirekter Verdampfung längere Zeit laufen. Dadurch beträgt der spezifische Stromverbrauch pro 100 l Milch 4,4 bis 5,0 kWh bei Anlagen mit indirekter Verdampfung gegenüber 1,4–2,5 kWh bei Anlagen mit direkter Verdampfung. Die hohen Stromkosten bei Kühlanlagen mit indirekter Verdampfung können teilweise durch die Ausnützung des Nachstromes gesenkt werden.

5. Wärmerückgewinnung bei der Milchkühlung mit der künstlichen Kälte

Die Wärme, die bei der Milchkühlung abgegeben wird, kann man wieder zurückgewinnen und zur Aufbereitung von Warmwasser verwenden. Bei konventionellen Kühlanlagen werden die Wärmemengen über einen luftgekühlten Verflüssiger ungenutzt an die Umgebungsluft abgegeben. Durch eine entsprechende technische Verfahrensweise kann diese freiwerdende Wärme (Energie) zur Warmwasserbereitung genutzt werden.

Systeme der Warmwasserbereitung

Um die am Verflüssiger freiwerdende Wärmemenge zur Warmwasserbereitung zu nutzen, muss der Verflüssiger als Wasser-Wärmeaustauscher ausgebildet sein, damit die Wärme an das Brauchwasser übertragen werden kann (Abb. 5). Da die Milchkühlung nicht kontinuierlich, sondern nur zweimal täglich innerhalb von jeweils zirka drei Stunden erfolgt und somit auch nur in dieser Zeit Wärme anfällt, muss das warme Wasser gespeichert werden. Der Verflüssiger muss deshalb in einem Wasserspeicher, an dessen Speicherwandung oder in einem getrennten Zwischenbehälter angeordnet sein.

Heute werden auf dem Markt zwei Systeme angeboten: geschlossenes System (Ein-Behälter-Anlage) und offenes System (mit je einem Behälter für den Wärmeaustauscher und den Wasserspeicher). Das geschlossene System hat den Vorteil, dass es sich

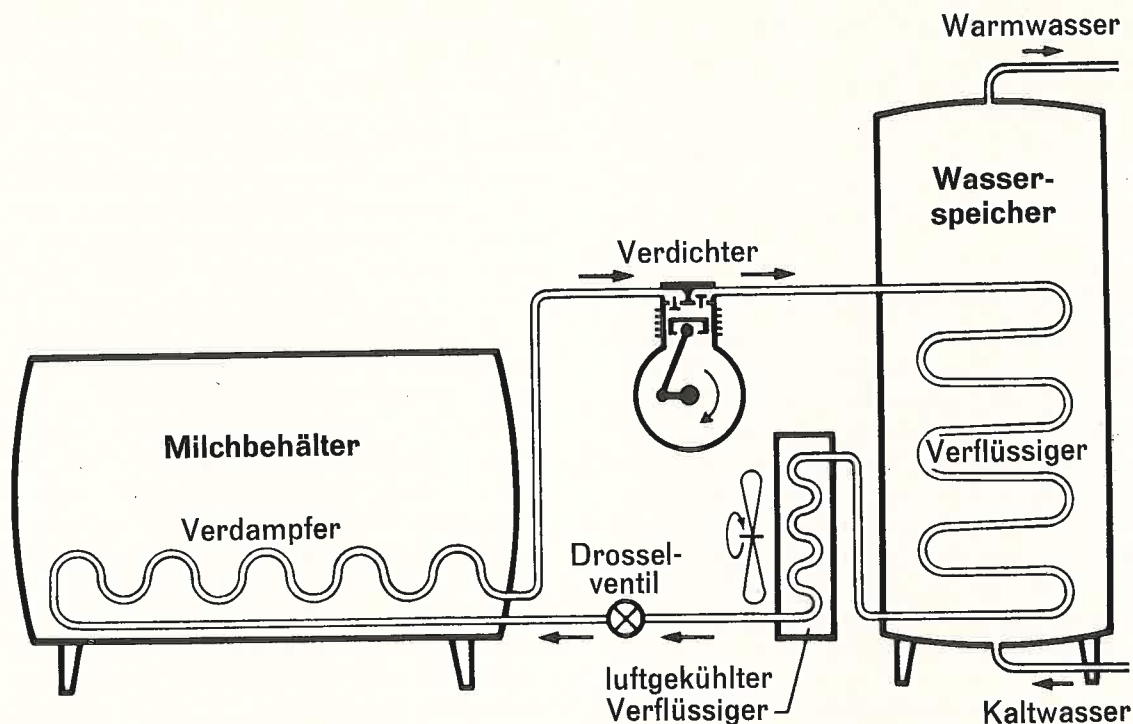


Abb. 5: Schema der Milchkühlung mit Wärmerückgewinnung im geschlossenen System.

ohne grossen Aufwand leicht mit bereits vorhandenen Kompressor-Milchkühlanlagen kombinieren lässt.

Anwendungsmöglichkeiten

Die Einrichtung für die Wärmerückgewinnung kann auch als Vorschaltgerät in Milchkammern eingesetzt werden, in denen bereits ein Elektroboiler installiert ist. Der Elektroboiler wird dann statt mit Kaltwasser bereits mit Warmwasser gespeist; je nach gewünschter Endtemperatur kann eine Stromkostenersparnis von zirka 75% erreicht werden. Man erhält eine selbständige Warmwasseraufbereitung, indem die Wärmerückgewinnungsanlage mit einer elektrischen Zusatzheizung von zirka 2,0 kW ausgerüstet wird. Die Zusatzheizung soll:

- eine zu geringe Milchmenge ausgleichen,
- bei Bedarf das Warmwasser auf höhere Temperaturen hochheizen,
- bei vorübergehenden Funktionsstörungen der Kühlanlage die Warmwasser-Versorgung sicherstellen,
- den erhöhten Warmwasserbedarf bei überdurchschnittlichem Verbrauch decken.

Die 2,0-kW-Heizung kann in einer Stunde 90 l Wasser um zirka 15° C aufwärmen.

Höhe der Wassertemperatur

Einige Firmen werben mit hohen Wassertemperaturen von 65 oder gar 80° C. Diese Temperaturen können erreicht werden. Sie bringen aber neben Vorteilen auch erhebliche Nachteile mit sich:

- Sie erfordern hohe Drücke im Kompressor und Verflüssiger, wodurch die Aggregate stärker beansprucht werden. Der Stromverbrauch ist höher.
- Die Wärme-Abstrahlungsverluste sind höher.
- Eventuell können chemische Reinigungsmittel zersetzt werden.
- Lebensdauer und Wirkungsgrad des Druckspeichers können durch Kesselsteinbildung beeinträchtigt werden.

Menge der Warmwasser-Gewinnung durch Milchkühlung

Die Wärmemenge, die benötigt wird, um die Temperatur von 1 Liter Wasser (oder Milch) um 1° C zu

Tabelle 2: Gewonnene Menge Warmwasser von 50° C in drei Betriebsgrössen

Anzahl Kühe	Milchmenge pro Tag l	Gewonnene Wärme		Gewonnene Menge Warmwasser von 50° C			
		ohne el. Motor kJ	mit el. Motor kJ	Theoretisch		bei η^* von 0,66	
				mit el. Motor l	ohne el. Motor l	mit el. Motor l	ohne el. Motor l
27	400	46'900	73'000	460	295	300	195
33	500	58'660	84'700	530	370	350	240
40	600	70'400	96'400	605	440	400	290

η^* = Wirkungsgrad

erhöhen, beträgt 4,2 kJ (1 kcal). Folglich setzt Milch, die von 32° auf 4° heruntergekühlt wird, 117 kJ Wärme pro Liter frei. Ein Elektromotor des Kühlaggregates mit 1,2 kW Anschlusswert und einer Laufzeit von 6 Stunden am Tag braucht 7,2 kWh (theoretisch angenommen) elektrische Energie. Das ergibt eine Wärme von 26000 kJ (1 kWh = 3611 kJ).

Beispiel:

Durch die Kühlung von 400 l Milch von 32° C auf 4° C werden 46'900 kJ (117 x 400) gewonnen. Von der Kältemaschine wird an elektrischer Energie 7,2 kWh (6 h x 1,2 kWh) umgewandelt. Das gibt ein Total von zirka 73'000 kJ. Andererseits benötigt man eine Energie von 159 kJ, um einen Liter Leitungswasser von 12° C auf 50° C zu erwärmen. Somit könnte man mit diesen 73'000 kJ vergleichsweise 460 Liter von 12° C auf 50° C erwärmen ($73'000 : 159 = 460$). Nimmt man an, dass bei der gesamten Anlage 34% an Wärme verloren gehen, so lassen sich netto 300 l Warmwasser von 50° C gewinnen.

Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Die Grenze des wirtschaftlichen Einsatzes einer Wärmerückgewinnungsanlage ist nur sehr schwierig festzustellen, da die spezifischen Gegebenheiten des einzelnen Betriebes in der Berechnung berücksichtigt werden müssen (Installationsmöglichkeit, Wasserbedarf usw.). Will man die im Beispiel berechneten 300 l warmen Wassers mit einem Elektroboiler gewinnen, so benötigt man 13,3 kWh pro Tag an elektrischer Energie (beim Wirkungsgrad des Boilers $\eta = 0,9$). Fallen von diesem Energieverbrauch zirka 92% auf den Niedertarif (1 kWh = 0,06 Fr.) und 8% auf den Hochtarif (1 kWh = 0,15 Fr.), so ergeben sich Stromkosten von Fr. 362.— im Jahr.

Der Vergleich zwischen der Wärmerückgewinnungsanlage und dem Elektroboiler aufgrund der jährlichen Kosten ist der Tab. 3 zu entnehmen. Die Berechnung erfolgte für 50° C und 65° C warmes Wasser. Für die Gewinnung von 65° C Warmwasser benötigt die Wärmerückgewinnungsanlage eine zusätzliche Heizung.

Tabelle 3: Jährliche Kosten für die Warmwassergewinnung bei einer Wärmerückgewinnungsanlage und einem Elektroboiler für Warmwasser von 50° C und 65° C

	Wärmerückgewinnungsanlage		Elektroboiler	
	50° C	65° C	50° C	65° C
Anschaffungspreis	5000.—	5300.—	3000.—	3000.—
Abschreibung, 15 J.	330.—	350.—	200.—	200.—
Zinsanspruch	150.—	160.—	90.—	90.—
Stromkosten	—	140.—	360.—	530.—
übriges *)	90.—	90.—	60.—	60.—
Total Fr. pro Jahr	570.—	740.—	710.—	880.—

*) Gebäudemiete, Feuerversicherung, Reparaturen, Wartung

6. Schluss

Bei den Kühlverfahren mit Milchkannen und Hofbehältern ist in bezug auf die Energieeinsparung vor allem auf die Benetzbarkeit der Kannen sowie auf die Isolierung der Kannen und Hofbehälter zu achten. Trotz aller Aktualität des Themas «Wärmerückgewinnung aus Kühlanlagen» muss — insbesondere im vorliegenden Fall — die Funktion der Milchkühlung absolut Vorrang haben. Es ist nicht gerechtfertigt, für die Erzielung von ein paar Grad wärmeren Gebauchwassers beispielsweise eine längere Abkühlzeit der Milch hinzunehmen. Es sollte nicht vergessen werden, dass im Endeffekt das Warmwasser nur ein willkommenes Nebenprodukt ist. Die Gewinnung dieses Nebenproduktes sollte nicht zu Lasten einer Verschlechterung der Milchkühlung, zu einer geringeren Lebensdauer des Kompressors oder zu einem höheren Energieverbrauch führen.

Wie die Berechnung der jährlichen Kosten zeigt, ist der Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage in Betrieben mit mehr als 300–400 l Milch pro Tag als verantwortbar zu bezeichnen.

Allfällige Anfragen über das oben behandelte Thema, sowie auch über andere landtechnische Probleme, sind nicht an die FAT bzw. deren Mitarbeiter, sondern an die unten aufgeführten kantonalen Maschinenberater zu richten.

ZH	Schwarzer Otto, 052 - 25 31 21, 8408 Wülflingen
ZH	Schmid Viktor, 01 - 77 02 48, 8620 Wetzikon
BE	Mumenthaler Rudolf, 033 - 57 11 16, 3752 Wimmis
BE	Marti Fritz, 031 - 57 31 41, 3052 Zollikofen
BE	Herrenschwand Willy, 032 - 83 12 35, 3232 Ins
LU	Rüttimann Xaver, 045 - 81 18 33, 6130 Willisau
LU	Widmer Norbert, 041 - 88 20 22, 6276 Hohenrain
UR	Zurfluh Hans, 044 - 2 15 36, 6468 Attinghausen
SZ	Fuchs Albin, 055 - 48 33 45, 8808 Pfäffikon
OW	Gander Gottlieb, 041 - 96 14 40, 6055 Alpnach
GL	Jenny Jost, 058 - 63 11 01, 8750 Glarus
ZG	Müller Alfons, landw. Schule Schluechthof, 042 - 36 46 46, 6330 Cham
FR	Krebs Hans, 037 - 82 11 61, 1725 Grangeneuve
BL	Langen Fritz, Feldhof, 061 - 83 28 88, 4302 Augst
BL	Speiser Rudolf, Aeschbrunnhof, 061 - 99 05 10, 4461 Anwil
SH	Hauser Peter, Ing. Agr., Kant. landw. Schule Charlottenfels, 053 - 2 33 21, 8212 Neuhausen a.Rhf.
AR	Ernst Alfred, 071 - 33 34 90, 9053 Teufen
SG	Haltiner Ulrich, 085 - 758 88, 9465 Salez
SG	Pfister Th., 071 - 83 16 70, 9230 Flawil
GR	Stoffel Werner, 081 - 81 17 39, 7430 Thusis
AG	Müri Paul, landw. Schule Liebegg, 064 - 31 15 53, 5722 Gränichen
TG	Monhart Viktor, 072 - 6 22 35, 8268 Arenenberg

Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Maschinenberatung, Telefon 052 - 33 19 21, 8307 Lindau.

Nachdruck der ungekürzten Beiträge unter Quellenangabe gestattet.

Die «Blätter für Landtechnik» erscheinen monatlich und können auch in französischer Sprache unter dem Titel «Documentation de technique agricole» im Abonnement bei der FAT bestellt werden. Jahresabonnement Fr. 27.—, Einzuhaltung an die Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, 8355 Tänikon, Postcheckkonto 30 - 520. In beschränkter Anzahl können ferner Vervielfältigungen in italienischer Sprache abgegeben werden.