

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz
Herausgeber: Landtechnik Schweiz
Band: 55 (1993)
Heft: 5

Artikel: Solare Heutrocknung - Tag und Nacht? : Technisch machbar, wirtschaftlich fragwürdig
Autor: Baumgartner, Jürg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1081405>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.02.2026

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

Herausgeber: Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik (FAT)

CH-8356 Tänikon TG

Tel. 052-62 31 31

Solare Heutrocknung – Tag und Nacht? Technisch machbar, wirtschaftlich fragwürdig

Jürg Baumgartner, Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Die laufend erweiterte Schlagkraft bei der Welkheuernte stösst vermehrt an die Grenzen der Heubelüftung. Eine Erweiterung der Trocknungskapazität über die Vergrösserung der Heustockfläche wäre denkbar, in vielen Fällen aber mit erheblichem Bauaufwand verbunden. Es bieten sich dagegen Zusatzeinrichtungen wie Sonnenkollektoren, Wärmepumpen oder Warmluftöfen an.

Luftentfeuchter-Wärmepumpen bringen im Minimum eine Verdopplung des Elektrizitätsverbrauchs für die Heutrocknung und erfordern hohe Anschlusswerte (FAT-Bericht Nr. 370). Warmluftöfen verbrauchen viel Heizöl bei einem tiefen Wirkungsgrad. Die beiden Verfahren erlauben den Trocknungsbetrieb über 24 Stunden. Heubelüftungsanlagen mit Sonnenkollektoren weisen an Schönwetter-

tagen bis zu zwölf Betriebsstunden auf. Eine weitere Steigerung der Trocknungskapazität läuft auf eine Verlängerung des Betriebes in die Nachtstunden hinaus. Es wurde untersucht, wieweit ein zugeschalteter Kieswärmespeicher hier einen Beitrag leisten könnte.

Die Resultate zeigen, dass überschüssige Energie des Sonnenkollektors tatsächlich gespeichert und für die Erweiterung der Trocknungskapazität verwendbar ist.

Wirtschaftlich ist dieses Verfahren aber auf der Basis des handgesteuerten Kieskoffers nicht vertretbar. Das Be- und Entladen des Speichers benötigt viel Umstell- und Kontrollarbeit. Eine Automatisierung würde das Verfahren zusätzlich verteuern.

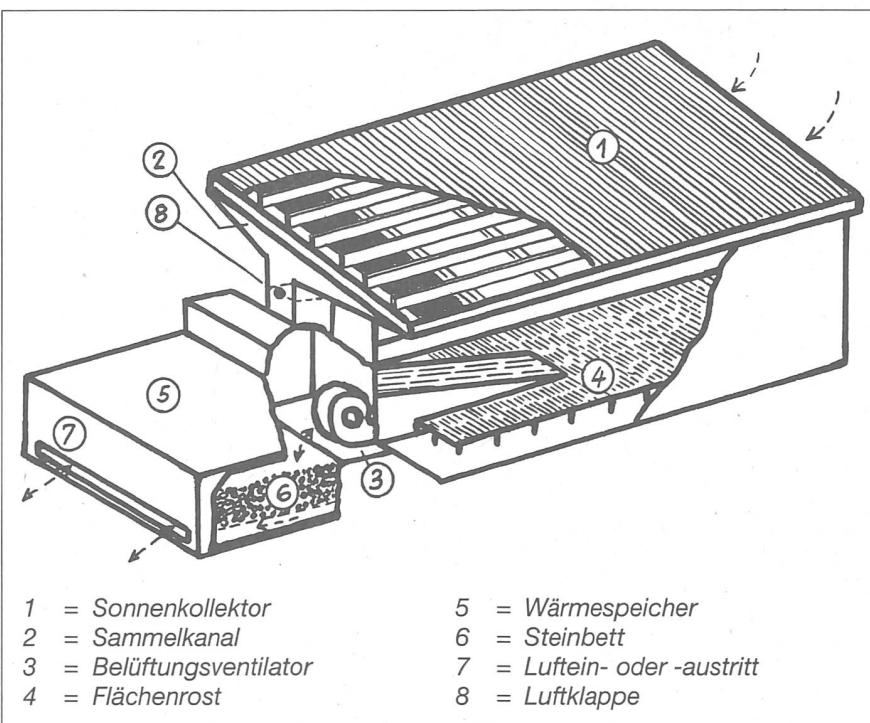


Abb. 1: Prinzipschema einer Heubelüftungsanlage mit Sonnenkollektor und Wärmespeicher.

Inhalt	Seite
Problemstellung	44
Der Wärmespeicher	44
Resultate	46
Ziele erreicht?	46
Investitionsbedarf	46
Schlussfolgerungen	47

Problemstellung

In der Regel steigt die relative Luftfeuchtigkeit (r. F.) am Abend auf über 90%. Mit solcher Luft lässt sich kein Heu trocknen. Im Gegenteil: Bereits angetrocknetes Heu wird sich wieder befeuchten.

An jedem schönen Belüftungstag nimmt das sich im Stock befindende Heu (Trockenmasse und gebundenes Wasser) Wärme aus der Trocknungsluft auf. Diese gespeicherte Energie dient am Abend beim Einsetzen des Taus zur Luftanwärmung (= Reduktion der relativen Luftfeuchtigkeit). Die Betriebszeit einer Belüftung verlängert sich je nach Stockvolumen um eine bis drei Stunden nach Erreichen von 90% r. F. der Außenluft. Diese Beobachtung bestätigt sich besonders bei Anlagen mit Sonnenkollektoren.

Der Gedanke liegt nahe, mit Hilfe von Sonnenkollektoren Wärme in einem speziellen Speicher einzulagern und für eine Heutrocknung während der Nacht bereitzustellen. Mit diesem an der FAT realisierten Steinspeicher setzten wir folgende Ziele:

- Überschüssige Kollektorwärme speichern
- Die Trocknungskapazität vergrößern
- Konservierungsverluste vermindern
- Billigen Nachtstrom nutzen.

Der Wärmespeicher

Die Planung und Erstellung des Speichers erfolgte im Rahmen einer Diplomarbeit (A. Elheggach, Stockage de la chaleur solaire, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique). Nach der Literatur besteht ein Planungsrichtwert von 0,15 bis 0,25 m³ Speicher pro m² Kollektorfläche. Nachdem die Kollektorfläche 96 m² beträgt, wurden 20 m³ Kies als Speichermaterial gewählt (= 0,21 m³/m² Kollektorfläche).

Technische und physikalische Daten des Speichers:

Abmessungen:

Länge:	5 m
Breite:	4 m
Fläche:	20 m ²
Höhe:	1 m
Volumen:	20 m ³
Gewicht:	36 000 kg
Schüttgewicht:	1800 kg/m ³
Raumgewicht:	2800 kg/m ³
Porenvolumen:	zirka 35% bei Steingröße 32 bis 40 mm
Wärmeinhalt:	0,88 kJ/kg °C

terrost (5) verlässt die Luft über Öffnungen (7) den Speicher. Klappen (3 und 8) sowie die gute Isolation (4) verhindern einen starken Wärmeverlust nach der Aufladung. Den Ladevorgang steuert ein Gerät mit der Messung der Luft je am Speicher-eingang und -ausgang (9). Der Hilfslüfter bleibt so lange in Betrieb, bis sich die Ausgangstemperatur des Speichers derjenigen des Eingangs annähert.

Wie erfolgt der Nachtbetrieb?

(Abb. 3)

Ab 22 Uhr, nach Umschaltung des Stromnetzes auf Niedertarif, wurde die Belüftung manuell gestartet. Der normale Heubelüftungsventilator (10) saugte zunächst alle Luft durch die Öffnungen (7) über das warme Steinbett. Das Bett lagert auf einem Gitterrost mit Tragbalken. Unter- und oberhalb der Steine sind 20 cm Leerraum zum Verteilen und Sammeln der Luft.

Aufladen des Wärmespeichers

(Abb. 2)

Ungefähr ab 10 Uhr erfolgt ein manueller Start des Hilfslüfters (2). Dieser saugt einen Teilstrom von zirka 5 m³/s vom Kollektor (1) an und drückt ihn durch das Steinbett (6). Über den Git-

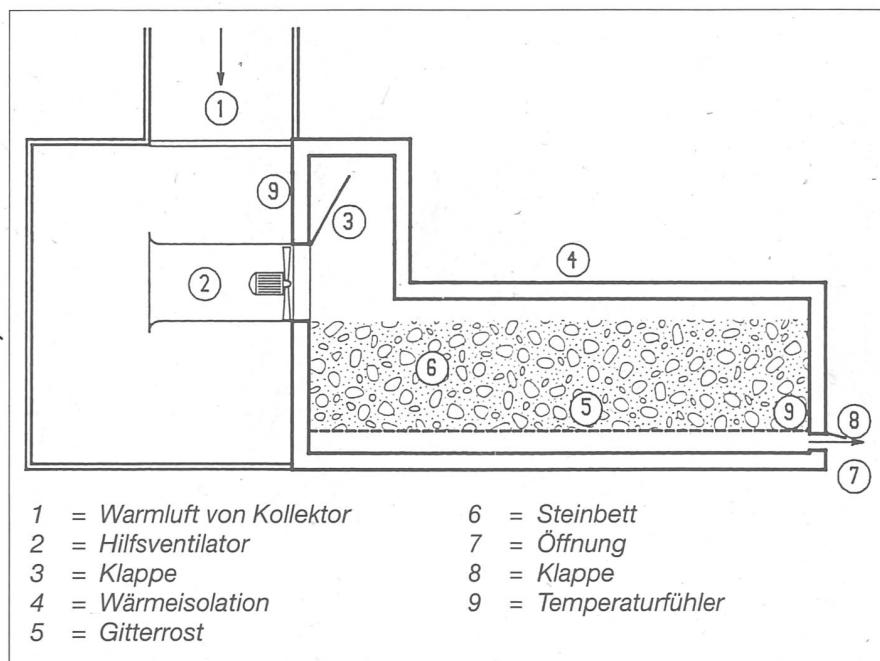


Abb. 2: Schnitt durch den Speicher beim Laden.

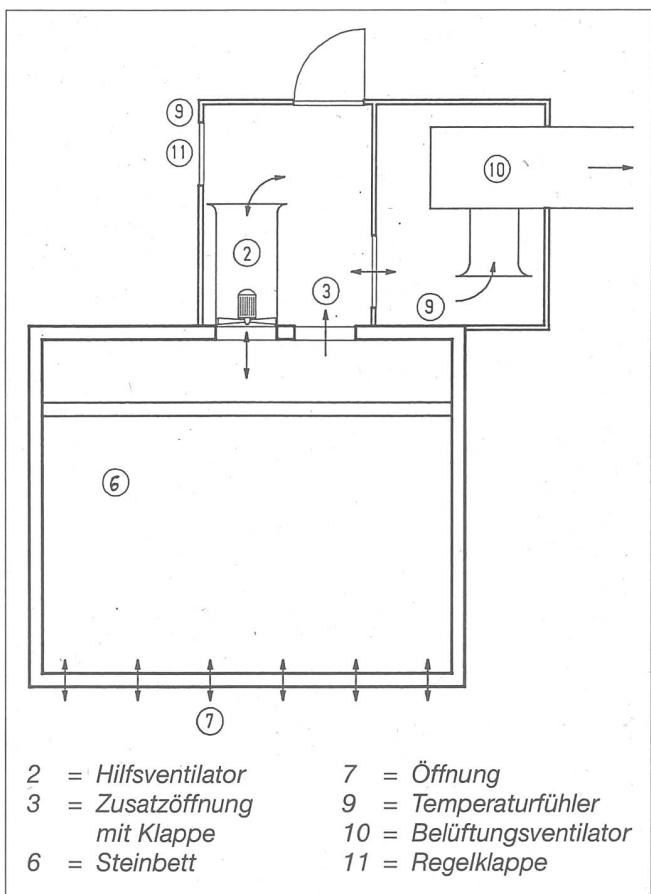


Abb. 3: Aufsicht auf den Speicher beim Entladen.

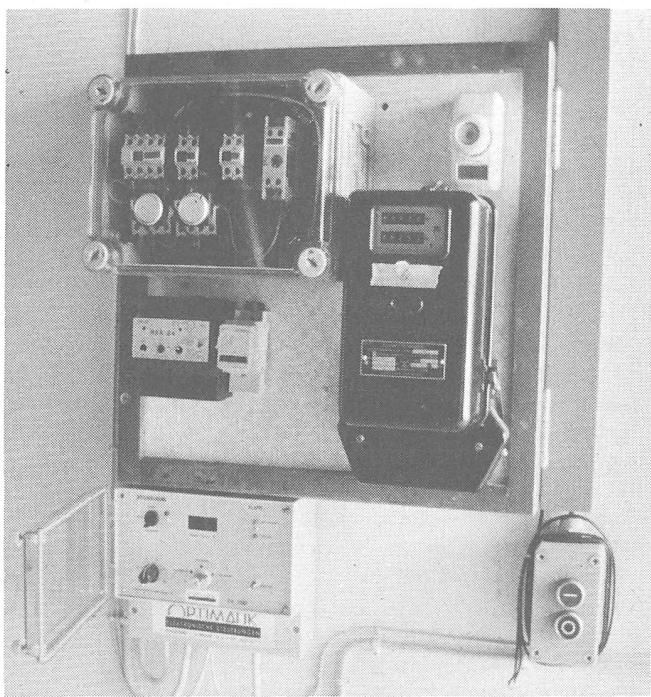


Abb. 5: Kombi-Steuergerät für das Laden und Entladen des Wärmespeichers. Ein Standard-Steuergerät stand nicht zur Verfügung. Deshalb liess die FAT ein spezielles Steuergerät entwickeln.

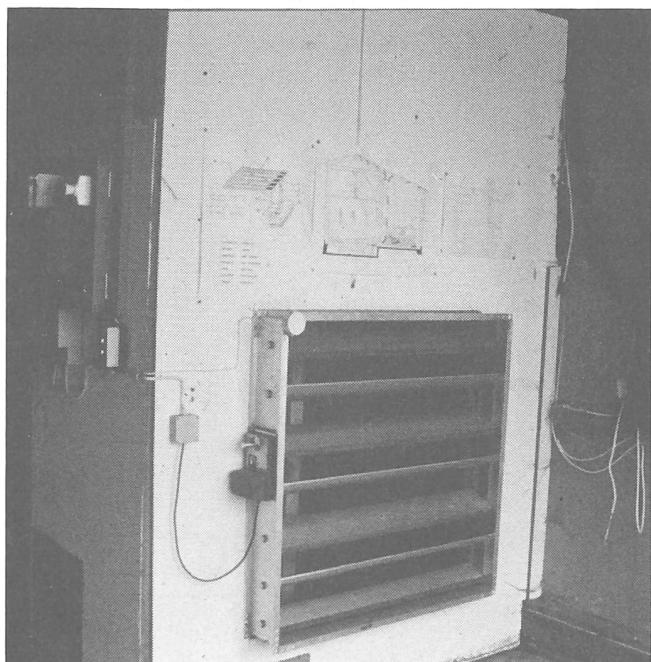


Abb. 4: Regelklappe mit Motorantrieb
In Verbindung mit einem Steuergerät sorgt die Klappe, dass sich der Wärmespeicher nicht zu rasch abkühlt. Leider verursachen Klappe und Steuerung einen Investitionsbedarf von rund Fr. 3000.-, unabhängig von der Grösse des Speichers bzw. der Heubelüftungsanlage.

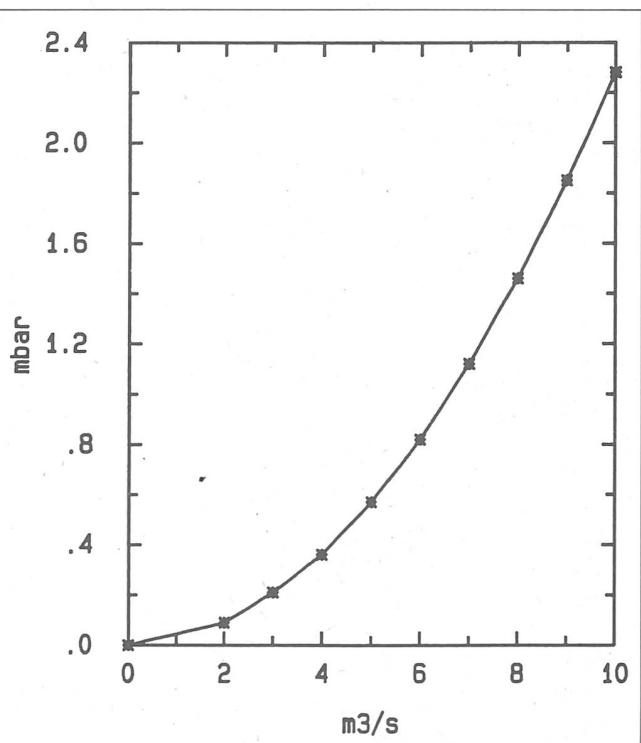


Abb. 6: Das Durchblasen von Luft durch das 1 m hohe Steinbett erfordert einen bestimmten Druck (mbar) je nach Luftmenge (m³/s).

Resultate

Das Laden des Speichers dauert im Durchschnitt 4,7 h. Je nach Restwärme des Speichers und der Lufttemperatur des Kollektors schwankt die Zeit für das Laden von 2,0 bis 7,3 h.

Im Durchschnitt verbraucht der Hilfslüfter 14,3 kWh elektrische Energie. Bei einem Arbeitspreis von Fr. 0,18 pro kWh Hochtarif kostet dies Fr. 2.55.

Für den Betrieb mit Sonnenkollektor am Tag, mit Wärmespeicher in der Nacht (Arbeitspreis Fr. 0,11 pro kWh von 22 bis 6 Uhr) und in der Endtrocknung von zirka 85 bis 88% TS-Gehalt gibt Tabelle 1 Auskunft.

Obwohl die Stromkosten in der Nacht nur 66% oder Fr. 3.45 für die gleich lange Belüftungszeit wie am Tag betragen, ist der Entzug pro kg Wasser 30% oder 0,9 Rappen teurer. Am Tag ist die Trocknungskapazität durchschnittlich doppelt so hoch als in der Nacht.

Ziele erreicht?

Überschüssige Wärme einlagern

Die Wärmemenge, die eingelagert werden kann, hängt von der Temperaturdifferenz der Steine und der vom Kollektor kommenden Luft ab. Diese beträgt zirka 10 bis 15°C. Tabelle 2 zeigt in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz die entsprechenden Wärmemengen und der umgerechneten Heizölmenge.

In der Zeit der Heuernte steigt die Speichertemperatur bis zu 32°C an, wenn der Kollektor nicht gleichzeitig durch

Tabelle 2: Wärmeaufnahmevermögen von 20 m³ Kies

Temperaturdifferenz	°C	5	10	15	20	25
Wärmemenge	MJ	158	317	475	634	792
Heizölmenge	l	4,4	8,8	13,2	17,7	22,1

die Heubelüftung benötigt wird. Leider hat zu Beginn der Nachtrocknung die Aussenluft immer noch mehr als 20°C, so dass die Temperaturdifferenz bei der Entladung klein bleibt.

Im Herbst erreicht die Speichertemperatur noch maximal 25°C, und die Nachttemperatur fällt auf zirka 15°C. Nur in seltenen Ausnahmefällen gibt es eine Temperaturdifferenz von mehr als 20°C.

Die Trocknungskapazität vergrössern

Im Durchschnitt nimmt die Luft während der Nacht 140,9 kg Wasser auf. In etwa der gleichen Trocknungszeit über den Tag verdunsten durchschnittlich 256,0 kg oder 82% mehr. Pro m³ Trocknungsluft resultiert eine Verdoppelung der Trocknungskapazität gegenüber den Nachtstunden, weil der spez. Wasserentzug 2,20 statt 1,10 g/m³ erreicht.

Konservierungsverluste vermindern

Der Dauerbetrieb einer Heutrocknung mit angewärmerter oder entfeuchteter Luft verursacht einen Konservierungsverlust von 1 bis 2%. Bei der Heubelüftung mit Sonnenkollektoren finden wir 2 bis 3% Verluste. Mit der zusätzlichen Belüftung in der Nacht verringern sich die Konservierungsverluste nur in sehr kleinem Masse.

Tabelle 1: Versuchswerte bei Tag- und Nachtrocknung

	Dauer	Stromverbrauch	Stromkosten	Wasserentzug	Stromkosten/kg Wasser	Spez. Wasserentzug
	h	kWh	Fr.	kg	Rp./kg	g/m ³
Ø tags	7,5	29,3	5,25	256,0	3,0	2,20
± ¹⁾	4,2	16,3	2,95	184,2	2,8	1,35
min.	1,6	5,0	0,90	15,0	0,7	0,35
max.	12,0	50,0	9,00	704,0	13,2	5,35
Ø nachts	7,5	31,5	3,45	140,9	3,9	1,10
± ¹⁾	3,6	15,3	1,70	144,0	2,9	0,85
min.	0,2	1,0	0,10	- 42,0	0,9	- 0,40
max.	11,9	51,0	5,60	532,0	12,2	3,2
Ø Endtrocknung	44,5	178,0	32,05	294,0	7,8	0,65

¹⁾ = Standard-Abweichung

Billigen Nachtstrom nutzen

Am Standort der FAT kostet die kWh am Tag 18 Rp. und 11 Rp. in der Nacht (von 22 bis 6 Uhr). Mit diesem Tarif kommt 1 kg oder 1 l Wasserentzug tags auf 3,0 Rp. und nachts auf 3,9 Rp. zu stehen. Trotz Niedertarif verteuert sich die Trocknung über Nacht um 0,9 Rp. pro kg Wasserentzug oder um 30%.

Investitionsbedarf

Der Investitionsbedarf setzt sich aus den Materialkosten und den Arbeitskosten zusammen:

Material:

Hilfslüfter (Occasion)	war vorhanden
Holz und Isolation	Fr. 4400.–
Gitterrost 20 m ²	Fr. 3000.–
Sickerkies 20 m ³	Fr. 1100.–
Steuerung und Elektromontage	Fr. 500.–
	Fr. 9000.–
Kombisteuerung und Motorklappe	Fr. 3000.–
Total	Fr. 12 000.–

Arbeitszeit:

Schreiner inkl. versuchsbedingtem Mehraufwand	242 h
Kies einfüllen	10 h
Total	252 h

Arbeitskosten:

252 h x Fr. 20.– = rund	Fr. 5000.–
-------------------------	------------

Total Investitionsbedarf:

Fr. 17 000.–

Für die Berechnung der Fixkosten betragen die Sätze: 4% für die Amortisation, 3,8% für die Verzinsung des durchschnittlich gebundenen Kapitals, 1,5% für Reparaturen und 0,1% für Versicherungen. Dies ergibt total 9,4% oder Fr. 1598.–.

Schlussfolgerungen

Der an der FAT realisierte Wärmespeicher für die Heubelüftung erfüllt teilweise seine Ziele, überschüssige Kollektowärme zu speichern und die

Trocknungskapazität der Belüftungsanlage zu vergrössern. Beim Speicherbetrieb in der Nacht erhöhen sich die Energiekosten pro kg entzogenes Wasser. Hinzu kommt ein Investitionsbedarf von Fr. 17 000.–. Dieser verursacht Fixkosten von Fr. 1598.–, die nicht durch Energieeinsparungen, tiefere Trocknungskosten oder kleinere Kon-

servierungsverluste abgegolten werden können.

Das Be- und Entladen des Speichers benötigt viel Umstell- und Kontrollarbeiten. Ein Steuergerät für die Heubelüftung ist Voraussetzung für den Nachtbetrieb, ein zweites für die Wärmespeicherung und -abgabe.

Anfragen über das behandelte Thema und über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführten kantonalen Maschinenberater zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei der FAT (CH-8356 Tänikon) angefordert werden (Tel. 052 62 32 62, Fax 052 61 11 90).

- ZH** Kramer Eugen, Landw. Schule Weinland,
8408 Wülflingen, Telefon 052 25 31 24
- BE** Jutzeler Martin, Bergbauernschule Hondrich,
3702 Hondrich, Telefon 033 54 95 46
Hügi Kurt, Landw. Schule Seeland,
3232 Ins, Telefon 032 83 32 32
Oppiger Fritz, Landw. Schule Waldhof,
4900 Langenthal, Telefon 063 22 30 33
Marthalter Hansueli, Landw. Schule Langnau,
3552 Bärau, Telefon 035 2 42 66
Marti Fritz, Landw. Schule Rütti,
3052 Zollikofen, Telefon 031 911 31 41
Hofmann Hans Ueli, Landw. Schule Schwand,
3110 Münsingen, Telefon 031 721 07 44
- LU** Moser Anton, Landw. Schule Schüpfeheim,
6170 Schüpfeheim, Telefon 041 76 25 25
Marti Pius, Landw. Schule Willisau,
6130 Willisau, Telefon 045 81 38 01
Wandeler Erwin, Bühlstrasse,
6207 Nottwil, Telefon 045 54 14 03
Widmer Norbert, Landw. Schule Hohenrain,
6276 Hohenrain, Telefon 041 88 20 22
- UR** Zurfluh Hans, Hochweg,
6468 Attinghausen, Telefon 044 2 15 36
- SZ** Landoldt Hugo, Landw. Schule Pfäffikon,
8808 Pfäffikon, Telefon 055 47 33 44
- OW** Müller Erwin, Landw. Schule Obwalden,
6074 Giswil, Telefon 041 68 16 16

- NW** Muri Josef, Kreuzstrasse,
6370 Stans, Telefon 041 63 75 60
- ZG** Müller Alfons, Landw. Schule Schluechthof,
6330 Cham, Telefon 042 36 46 46
- FR** Krebs Hans, Landw. Schule Grangeneuve,
1725 Posieux, Telefon 037 255 55 00
- SO** Meister Ruedi, Emittweg 104,
4582 Brügglen, Telefon 065 65 19 25
- BL** Ziörjen Fritz, Landw. Schule Ebenrain,
4450 Sissach, Telefon 061 971 21 21
- SH** Kant. landw. Bildungszentrum Charlottenfels,
8212 Neuhausen, Telefon 053 22 33 21
- AI** Koller Lorenz, Marktgasse 10,
9050 Appenzell, Telefon 071 87 13 73
- AR** Hohl Rudolf, Werdeweg 10,
9053 Teufen, Telefon 071 33 26 33
- SG** Haltiner Ulrich, Landw. Schule Rheinhof,
9465 Salez, Telefon 081 757 18 88
Steiner Gallus, Landw. Schule Flawil,
9230 Flawil, Telefon 071 83 51 31
- GR** Stoffel Werner, Grabenstrasse 1,
7000 Chur, Telefon 081 21 24 06
- AG** Müri Paul, Landw. Schule Liebegg,
5722 Gränichen, Telefon 064 33 86 27
- TG** Monhart Viktor, Landw. Schule Arenenberg,
8268 Mannenbach, Telefon 072 64 22 44
- TI** Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola,
6501 Bellinzona, Telefon 092 24 35 53

Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Maschinenberatung, 8315 Lindau, Telefon 052 33 19 21

Die FAT-Berichte erscheinen in zirka 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 50.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: FAT, CH-8356 Tänikon. Tel. 052 62 32 62, Fax 052 61 11 90. – Die FAT-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports FAT» erhältlich. – ISSN 1018-502X.