

Technische Kennzahlen zu verschiedenen Heutrocknungsmethoden

Technical parameters of different hay drying methods

Alfred Pöllinger^{1*}

Zusammenfassung

An der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurde über drei Jahre (2010 bis 2012) ein Verfahrensvergleich von vier verschiedenen Gras-Konservierungsverfahren (Rundballensilage (S), Bodentrocknungsheu (BH), Kaltbelüftungsheu (KH), Entfeuchtertrocknungsheu (EH)) durchgeführt. Bei der EH-Anlage (16 kW Anschlussleistung), die mit moderner Steuerungs- und Regeltechnik ausgestattet war, wurde eine Luft-Entfeuchteranlage mit einer solaren Unterdachabsaugungsanlage mit 410 m² Kollektorfläche kombiniert. Die Stockgrundfläche betrug 96 m² und die Stockhöhe 6 m. Der Ventilator mit 22 kW Anschlussleistung lieferte max. 55.000 m³/h. Die KH-Variante wurde in einer 71 m² großen Heubox mit 3,9 m Boxenhöhe und einem Ventilator mit 5,5 kW Anschlusswert durchgeführt.

Die Einfuhrfeuchten lagen bei der KH-Variante bei ca. 25 % und bei der solarunterstützten EH-Variante bei ca. 35 %.

Am Feld unterschieden sich die Verfahren durch unterschiedliche Feldliegezeiten, Bearbeitungsgänge sowie Bröckel- und Rechverluste. Die Feldliegezeiten schwankten zwischen den Schnitten am stärksten – von 2 Stunden (S, 2. Schnitt) bis 72 Stunden (BH, 4. Schnitt). Hinsichtlich der Bearbeitungsgänge unterschieden sich die Varianten vor allem in der Anzahl notwendiger Zettvorgänge. Die Bröckelverluste zwischen den Varianten BH und EH unterschieden sich durchschnittlich um 157 kg TM/ha und Schnitt. Vergleicht man die Varianten S und EH, ergibt sich eine Differenz von 45 kg TM/Schnitt zugunsten der S-Variante.

Die Unterdach-Trocknungsdauer betrug sowohl beim KH- als auch beim EH-Verfahren deutlich unter 72 Stunden. Hohe Entfeuchterleistungen der Wärmepumpe (60 l/h) konnten nur bei reduziertem Volumenstrom der EH-Anlage (Luftgeschwindigkeit am Kondensator <2,5 m/sec) erzielt werden. Das KH-Verfahren lieferte aufgrund optimaler Abstimmung von Ventilator, Boxengröße und Einlagerungsmengen sehr gute Ergebnisse.

Bei den Stromverbrauchsmessungen wurden teilweise deutlich höhere Energieverbrauchswerte gemessen als laut Firmen angegeben. Die günstigsten Werte wurden bei der KH-Variante erreicht (22 bis 167 kWh/t Heu). Bei Energiekosten von 18 Cent/kWh Strom ergab das im Mittel 1,5 Cent/kg Heu für die KH-Variante und 3,1 Cent/kg Heu für die EH-Variante.

Summary

At AREC Raumberg-Gumpenstein four different grass conservation systems (1) round bale silage, (2) hay making under field conditions, (3) hay drying under artificial conditions without an air heating equipment, (4) hay drying under artificial conditions with an air heating equipment (roof solar collector combined with a heat pump dehumidifier) have been investigated over three years (2010 to 2012). The main focus was given to the heat pump dehumidifier technique (4): The test facility is a box dryer consisting of a centrifugal fan (22 kW) and a dehumidifier heat pump (16 kW) with the necessary control and regulation technology. The roof is designed as a solar collector with 410 m² net area. With a recirculation flap switching between roof suction and recirculation mode is possible. The area of the box dryer is 96 m² (steel grating) and the height is 6 m. The centrifugal fan achieves a maximum performance of 55,000 m³.h⁻¹. The hay drying equipment without an air heating equipment (3) was a box with 71 m² area and bordered by 3.9 m high walls. This box was combined with a centrifugal fan (5,5 kW).

The dry matter content by harvesting the forage was different between the conservation systems. The dry matter content of the forage for the hay drying equipment without air heating (3) was in the average by 75% at the beginning of the artificial hay drying process. The forage which was filled in the box with the dehumidifier heat pump (4) showed a DM content round about 65%.

Differences were measured by the length of the field laying period (period between mowing and self loading trailer harvesting) between the conservation systems. The general range goes from two (silage, second cut) to 72 hours (conservation system (2), fourth cut). There are also differences in working process between the systems. Related to crumble losses by the forage preservation system (2) 369 kg DM.ha⁻¹.cut⁻¹ got lost, 157 kg DM more than by the forage preservation system (4).

Under regular conditions, the drying time under artificial conditions (3) and (4) was less than 72 hours. Only by technical problems with the dehumidifier heat pump the drying period was longer. Under optimal conditions, the performance of the dehumidifier heat pump reached 60 l.h⁻¹. The velocity for a good dehumidifier performance should be not more than 2.5 m.sec⁻¹ of the air which goes through the heat pump dehumidifier.

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Artgemäße Tierhaltung und Tiergesundheit, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

* Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Alfred Pöllinger, email: alfred.poellinger@raumberg-gumpenstein.at



Die Fixkosten betragen in einer Modellkalkulation für die EH-Variante durchschnittlich 4,6 Cent/kg Heu, für die KH-Variante ca. 1,2 Cent/kg Heu. In dieser Kalkulation sind keine Ernte-, Gebäude- und Ein- und Auslagerungskosten eingerechnet. Berücksichtigt man in der Modellkalkulation auch die Gebäudekosten sowie die Kosten für die Futterein- und -auslagerung und stellt diese „Differenzkosten“ jenen der Silagewirtschaft gegenüber, so ergeben sich für die EH-Variante 19 Cent, die KH-Variante 15 Cent und für die S-Variante 10 Cent/kg Heuäquivalente.

Um den Anforderungen hoher Grundfutterleistung auf Heubetrieben gerecht zu werden, bedarf es eine leistungsfähige und weitestgehend witterungsunabhängige (Nachtbetrieb, Schlechtwetter) Trocknungstechnik. Die höheren Kosten müssen über höhere Produktpreise und Flächenprämien abgegolten werden. Die BH-Variante ist jedenfalls nur in den Sommermonaten Juni und August ohne nennenswertes Verlustrisiko möglich und keinesfalls für reine Heubetriebe als alleinige Konservierungsform geeignet.

Schlagwörter: Heutrocknungs-Verfahren, Silage, Kaltbelüftung, Entfeuchtertrocknung, Entfeuchter, Energiebedarf

The energy consumption was measured too. The lowest energy consumption was measured by the forage preservation system (3) – 80 kWh.t⁻¹ DM. The energy demand for the humidifier pump heater system (4) was 170 kWh.t⁻¹ DM. The costs for electricity per kilogram hay differed between 0.4 and 2.9 cent by hay making with system (3) and between 1.4 and 5.4 cent by hay drying with system (2) – 18 cent per kWh were calculated.

In a total cost calculation (hay drying technique – fan, dehumidifier pump, box, solar collector, regulation technique), you can see, that the fixed cost are more important than the variable cost. The fixed cost per kg hay are 4.5 cent by the hay making system (2) and 1.2 cent by the hay making system (3). The example was calculated without building and indoor crane costs.

If you want to run a professional dairy farm, forage based on hay only, you must investigate in highly efficient hay drying techniques. The dehumidifier pump heat is one good possibility to achieve the goal of a high forage quality, less crumble losses also under difficult weather conditions in the spring time and in the autumn.

Keywords: hay-drying technique, silage, air ventilation, humidification drying, dehumidifier pump heater, energy demand

1. Einleitung

„Die Technik der Heutrocknung weist wie die Trocknungstechnik allgemein eine lange Tradition auf mit einem reichen Fundus an Wissen. Es scheint nicht sosehr Bedarf an grundsätzlichen technischen Neuerungen zu bestehen, vielmehr müsste bekanntes Wissen nur konsequent genug angewendet werden“, meint der langjährige Trocknungsexperte der Universität für Bodenkultur Prof. Dr. WEINGARTMANN (2002). WEINGARTMANN (2002) meint dazu weiter: „Die Heutrocknung als eine Form der Grundfutterkonservierung wurde demnach allerdings nicht aufgrund technischer Probleme von der Silowirtschaft verdrängt, sondern vielmehr aufgrund verfahrenstechnischer und betriebswirtschaftlicher Überlegungen.“

WEINGARTMANN (2002) macht für die Heutrocknung folgende Feststellungen:

- die Heutrocknung ist ein energieintensiver Prozess (Wasser muss vom flüssigen in den dampfförmigen Aggregatzustand gebracht werden und zudem müssen vorher mehr oder weniger starke Bindungskräfte überwunden werden),
- die Frage der Energiequelle und zu welchen Preisen sie verfügbar ist, wichtig ist,
- der Strukturwandel in der Landwirtschaft, das Produkt Heu interessant macht und
- die arbeitstechnischen und arbeitswirtschaftlichen Anforderungen eines Betriebes an das Konservierungsverfahren gestiegen sind.

Neue, alternative Energiequellen und der Mehrfachnutzen von technischen Einrichtungen lassen die Konservierungsform der Heutrocknung für Einzelbetriebe ebenfalls wieder interessant werden.

Im Frühjahr gibt es für den ersten Schnitt meist nur wenige Erntegelegenheiten (FORMAYER et al. 2000, LUDER 1982). Letztendlich braucht es deshalb auch für Heube-

triebe große Trocknungsanlagen mit einer ausreichenden Kapazität, um in kurzer Zeit die gesamte Futterfläche mit geringstmöglichen Verlusten ernten zu können. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, hat sich die Trocknungstechnik von den reinen Nachtrocknungsverfahren (Giebelrost, Ziehschacht) zur Boxentrocknung entwickelt (PÖLLINGER 2003).

Heute ist es technisch möglich, frisch gemähtes Wiesengras ohne Vorwelkung unter Dach zu trocknen. Allerdings ist der Energieaufwand dafür sehr hoch. Deshalb konnten sich bis *dato* in Österreich auch keine Heißluft-Grüntrocknungsanlagen durchsetzen (WIRLEITNER et al. 2009). Zum Trocknen von Feuchtheu mit 60 % Trockenmasse muss im Vergleich zu Feuchtheu mit 70 % Trockenmasse die doppelte Menge an Wasser abgeführt werden.

Heute wollen die Heubetriebe ihre hohen Grundfutterqualitäten mit Betriebsgrößen von teilweise über 60 ha zu maximal zwei Ernteterminen einfahren. Das braucht Anlagengrößen von mindestens 200 m² Stockgrundfläche und Stockhöhen bis zu 6 m. Gleichzeitig müssen die höhere Einfuhrfeuchte und damit der höhere Wassergehalt im Futter von der Trocknungsluft aufgenommen und abtransportiert werden können. Das wiederum macht die Luftanwärmung im spezialisierten Heubetrieb zu einem unverzichtbaren technischen Ausrüstungsdetail. Ölfeuerungsanlagen haben dabei ausgedient. Heute werden Anlagen mit solarer Luftanwärmung, mit der Restwärmenutzung aus Biogasanlagen, Hackgut- oder Scheitholzbefuerung mit Register oder Entfeuchtertrocknungsanlagen – mit der die Luft nicht nur erwärmt, sondern am Verdampfer auch entfeuchtet wird – betrieben. Auch die Kombination von mehreren Luftanwärmungssystemen (z.B. solare Luftanwärmung und Luftentfeuchtertrocknung) ist mittlerweile stark verbreitet. WIRLEITNER et al. (2009) weist bei dieser Kombinationslösung auch auf den relativ günstigen spezifischen Energiebedarf von 0,18 bis 0,28 kWh/kg Wasser hin.

2. Problemstellung

Für interessierte Landwirte ergeben sich aus den mittlerweile sehr reichhaltigen Angeboten seitens der Industrie allerdings auch viele Fragestellungen zur Technik und Anwendung. Neben den Investitionskosten – große Heutrocknungsanlagen sind mit über 200.000,- Euro zu kalkulieren – sind es vor allem Fragen zum Mehrgewinn an Futterqualität, dem richtigen Einfuhrzeitpunkt, der richtigen Vorbehandlung (Mähen, Aufbereitung, Zetten, Schwaden, Ernten, Transportieren, Einlagern), der Trocknungsprozessführung und letztendlich der Leistungsfähigkeit der Anlagen (Anschlusswerte, Heizleistung, Steuerungs- und Regeltechnik). Die Betriebsführer sind dabei oft mit sehr unterschiedlichen „Firmenphilosophien“ konfrontiert.

3. Material und Methoden

An der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurden in den Jahren 2010 bis 2012 folgende drei Heutrocknungsverfahren verglichen: Bodentrocknung (BH), Kaltbelüftung (KH) und Entfeuchtertrocknung mit solarer Luftanwärmung (EH). Zusätzlich wurde mit demselben Futter noch Rundballensilage produziert (S). Aus technischer Sicht wurden die Verfahren hinsichtlich Maschineneinsatz am Feld, Feldverluste, baulich-technischen Aufwendungen und Energiebedarf analysiert. Aufgrund technischer Probleme der EH-Anlage im Jahr 2010 wird für die Interpretation der Ergebnisse dieses Erntejahr nicht berücksichtigt.

3.1 Feldarbeiten und Fläche

Die Versuchsfläche – eine Dauerwiese mit rund 11 ha – wurde viermal geschnitten. Im Jahr 2012 konnte aufgrund einer großflächigen Überschwemmung der 3. Schnitt nicht durchgeführt werden.

Die Fläche wurde jeweils mit zwei Front-Heck-Kombinationen, ab dem Jahr 2011 mit Mähauflbereiter (Zinken), gemäht. Unmittelbar nach dem Mähen wurde das Futter mit einem gezogenen Zettwender breit gestreut. In Abhängigkeit vom Abtrocknungsverlauf des Futters wurde das Futter der Konservierungsvarianten unterschiedlich oft gezettet. Das Futter für die Silage-Erzeugung (S-Variante) wurde nur breit gestreut, für die EH-Variante nach dem Breitstreuen noch 1 Mal gewendet, für die KH-Variante noch 2 Mal und für die BH-Variante noch 3 Mal. Geringere Wendehäufigkeiten ergaben sich meist beim 2. und 3. Schnitt, während beim 4. Schnitt jede Variante um 1 bis 2 Mal häufiger gewendet wurde. Die Einstellung des Zettwenders wurde so gewählt, dass der Mähswad mit rund 480 U/min an der Zapfwelle breit gestreut wurde. Bereits beim zweiten Mal Wenden wurde nur mehr mit 430 bis 450 U/min an der Zapfwelle gearbeitet und beim letzten Mal Wenden die Zapfwelldrehzahl sogar bis auf 380 U/min reduziert.

Das Futter wurde maximal eine Stunde vor der Ernte geschwadet. Zur Schwadarbeit wurde ein Mittelschwader mit Tastrad eingesetzt. Gefahren wurde mit rund 400 U/min an der Zapfwelle und einer Fahrgeschwindigkeit von rund 10 km/h. Geladen und eingefahren wurde das Futter mit zwei baugleichen Ladewagen. Die Ladewagen waren mit 31 Messern bestückt, davon waren in der Regel 6 Stück im Eingriff. Beim 4. Schnitt wurde ohne Messereingriff gearbeitet. Jede Fuhre wurde an der Brückenwaage gewogen und die Gewichte protokolliert.

3.2 Silage-Produktion (S-Variante)

Die gesamte Versuchsfläche wurde mit zwei Mähwerkskombinationen gemäht und unmittelbar danach das Futter breit gestreut. Nur einmal wurde das Futter ohne Breitstreuen geschwadet und insbesondere beim 4. Schnitt nach dem Breitstreuen auch noch einmal gewendet. Für die S-Variante wurde das Futter kurz vor Erreichen des gewünschten Trockenmassegehaltes (TM-Gehalt) (33 %) geschwadet, mit einer Rundballenpresse gepresst und anschließend gewickelt. Unmittelbar nach dem Schwaden für die S-Variante wurde das Futter für die Heutrocknungsvarianten gewendet.

3.3 Bodenheuerung (BH-Variante)

Das Bodenheu unterschied sich am Feld von den anderen Konservierungsverfahren nur durch eine höhere Anzahl an Wendevorgängen – in Summe wurde das Bodenheu mindestens drei- und maximal sechsmal gezettet bzw. gewendet – und durch längere Feldliegezeiten. Der 4. Schnitt wurde in der Regel unter „künstlichen“ Bedingungen – d.h. das Futter wurde in einem überdachten Lagerplatz locker aufgelegt – endgetrocknet, obwohl fast alle Schnitttermine noch in der zweiten Septemberhälfte lagen.

3.4 Kaltbelüftung (KH-Variante)

Das Futter für die KH-Variante wurde nach dem Mähen dreimal gewendet (einmal breitgestreut und zweimal gezettet; der Bereich erstreckte sich von einmal bis fünfmal zetzen), bei einem TM-Gehalt von rund 75 % geschwadet und danach eingefahren. Das Futter wurde mit einem Heukran in die Heubox mit einer Grundfläche von rund 71 m² (8,7 x 8,15 m) eingelagert. Die Heubox hat eine Bauhöhe von 3,90 m und eine Brutto-Rosthöhe von 50 cm (lichte Höhe 45 cm). Daraus ergibt sich ein nutzbares Lager- und Trocknungsvolumen von 241 m³. Belüftet wird die Anlage mit einem Radialventilator Typ RE 901 mit 7,5/5,5 PS/kW Motorleistung. Im Prüfbericht der BLT Wieselburg (Prot. Nr. 011/72) wird bei einem Gesamtdruck von ca. 1.130 Pa eine Luftleistung von 3,9 m³/sec (14.000 m³/h) erreicht. Im praxisüblichen Arbeitsbereich von rund 490 Pa sind es 7,8 m³/sec (28.200 m³/h). Mit diesem Lüfter wird bei der gegebenen Heuboxengröße (71 m² Grundfläche) der erforderliche Volumenstrom ausreichend abgedeckt.

3.5 Solarunterstützte Entfeuchtertrocknung (EH-Variante)

Das Futter für die EH-Trocknung in Kombination mit solarer Luftanwärmung (Warmbelüftung) wurde nach dem Mähen in der Regel zweimal gewendet – der Bereich erstreckte sich von einmal bis viermal zetzen. Das Futter wurde bei einem TM-Gehalt von ca. 65 % geschwadet und eingefahren. Die tatsächlich erreichte Abtrocknung am Feld lag zwischen 50 und 70 % TM.

Diese Heutrocknungsanlage besteht aus einer Luftentfeuchter-Wärmepumpe und einem Lüfter mit der nötigen Steuer- und Regelungstechnik. Zusätzlich wurde für die solare Luftanwärmung ein Solarkollektor in die gesamte Dachfläche des Mehrzweckversuchsstalles der HBLFA Raumberg-Gumpenstein eingebaut. Durch die Kombination Luftentfeuchter-Wärmepumpe und solare Luftanwärmung

mit effizienter Steuerung sollte der Energieaufwand und damit die variablen Kosten für die Heutrocknung minimiert werden.

3.5.1 Solarkollektor

Der Solarkollektor für die EH-Anlage wurde nachträglich in die Dachfläche integriert. Das Pfettendach wurde von innen mit Spanplatten als Verschalung ausgekleidet. Die Kollektorkanäle werden von der Abdeckung, den Balken und den Spanplatten gebildet. Die Pfettenhöhe beträgt 180 mm. Der Kollektor ist als freiliegender Absorber ausgeführt, d.h. das Dachabdeckmaterial (Welleternit) fungiert als Absorber. Die Neigung der Dachflächen beträgt 20 Grad und die Ausrichtung ist Nord/Süd. Ein nach Süden ausgerichtetes Dach mit einer Neigung von 20 Grad kann während der Dürrfutterperiode die beste Wirkung erzielen. Die Nettofläche, die den Solarkollektor bildet, beträgt 410 m². Bei einer Leistung von 200 W/m² und unter Berücksichtigung der verringerten Leistung an der Nordseite der Dachfläche beträgt die Gesamtleistung der Dachabsaugung ca. 71 kW. Die Kollektorfläche beträgt mit 96 m² mehr als das Vierfache der Grundfläche der Heubox. Die Systemskizze (*Abbildung 1*) zeigt die Luftableitung durch den Solarkollektor und den Sammelkanal in die Lüfterkammer. Während aller Versuchsdurchgänge wurde die Luft aus allen vier Dachflächen angesaugt.

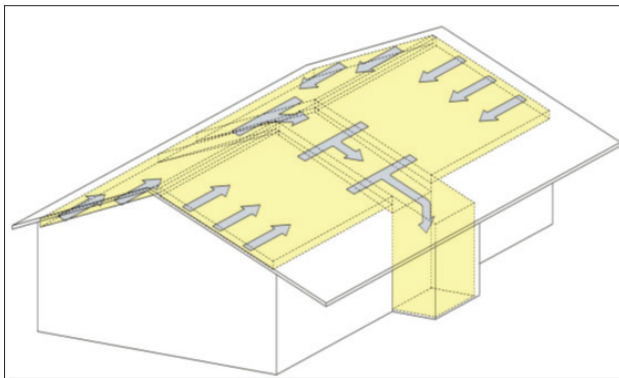


Abbildung 1: Solarkollektor: Pfettendach mit vier Kollektorfeldern auf zwei Dachflanken mit mittig angeordnetem Sammelkanal (Systemskizze der Agroscope Reckenholz-Tänikon ART)

3.5.2 Heubox

Die Grundfläche der Heubox beträgt 96 m² bei einem Volumen von 576 m³ (L x B x H = 12.000 x 8.000 x 6.000 mm). Die Belüftungsbox besteht aus Holzwänden mit Kantholzstehern, die mit einem U-Profil-Überleger eingerahmt sind. Der Rost besteht aus einem Baustahlgitter (CQS 100) mit darunter liegenden Auflegern (50 x 150 mm), die wiederum auf Rundhölzern aufliegen. Die Rosthöhe beträgt 600 mm (Unterkante) und ist in der Höhenangabe der Box enthalten. Um seitliche Luftverluste zu vermeiden, ist der Rost zur Einwandung hin in einer Breite von 600 mm geschlossen. Daraus ergibt sich ein tatsächliches Einlagerungsvolumen bis zum Boxenrand von 518 m³. Der Einblaskanal für das Gebläse befindet sich mittig angeordnet an der Nordseite der Box. Am oberen Boxenrand wurde bei jedem Versuchsdurchgang eine zusätzliche Boxenüberhöhung mit ca. 2 m Höhe bis unter die Brückenkranschiene montiert. Diese bestand aus Kompostvlies und wurde auf am Boxenrand aufgesteckte Stahlrohre aufgezogen. Dies diente dazu,

die aus dem Heustock austretende Luft im Umluftbetrieb in Richtung Umluftklappe zu lenken. Dadurch sollte ein möglichst hoher Anteil an feuchter Luft wieder in den Umluftbetrieb zurück gebracht werden.

3.5.3 Ventilator

Den nötigen Volumenstrom lieferte ein Ventilator der Type SR 1000 mit einer Nennleistung von 22 kW. Dieser ist für Boxengrößen bis 220 m² geeignet und damit für die hier verwendete 96 m² Stockgrundfläche grundsätzlich überdimensioniert. Die technischen Daten des Ventilators sind in der *Tabelle 1* dargestellt.

Tabelle 1: Technische Daten des Ventilators der EH-Anlage

Type	SR 1000 / 22 / 6 / RD 270
Baujahr	2011
Luftfördermenge max., in m ³ /h	55.000
Nennleistung PA, in kW	22
Nennstrom I _n , in Ampere	44,5
Spannung, in V / Frequenz in Hz	400 / 50
Nennzahl, in U/min	980

3.5.4 Luftentfeuchter-Wärmepumpe

Die verbaute Luftentfeuchter-Wärmepumpe der Fa. Reindl Kältetechnik GmbH erfordert eine elektrische Anschlussleistung von 16 kW (technische Daten siehe *Tabelle 2*). Die Abmessungen betragen 2.000 x 2.150 x 110 mm (L x H x T). Die Nettoquerschnittsfläche der Register, die von der Trocknungsluft durchströmt werden, beträgt 4 m². Die Anordnung der Luftentfeuchter-Wärmepumpe erfolgt im Hauptstrom, d.h. der gesamte vom Gebläse angesaugte Trocknungsluftstrom muss den Entfeuchter passieren. Bei einem Luftdurchsatz von 35.000 m³/h (entspricht 0,1 m³/s/m² für die Heubox mit 96 m² Grundfläche) bedeutet das eine Strömungsgeschwindigkeit am Register von etwa 2,4 m/s. Das Kältemittel wird von einem Schraubenverdichter mit integrierter Ölwanne komprimiert. Dieser ist zwischen Verdampfer- und Kondensatorregister angeordnet. Die stufenlose Drehzahlregelung erfolgt automatisch mittels Frequenzumformer in Abhängigkeit des Kältemitteldruckes. Der Entfeuchter kann sich so an Änderungen des Luftdurchsatzes anpassen und ungünstige Betriebszustände einschränken. Eine Vereisung des Verdampfers bei geringen Außentemperaturen kann so ebenfalls vermieden werden. Das Kondensat wird über eine Öffnung an der Geräteunterseite abgeführt. Am Schaltschrank kann eingestellt werden, unter welcher relativen Luftfeuchte der Entfeuchter abschalten soll. Der Entfeuchter ist lt. Firmenangaben für Heuboxen bis 160 m² bzw. für die Trocknung von 40 Stück Heurundballen geeignet. Damit sollte, je nach Ausgangsfeuchte, eine maximale tägliche Einfuhrleistung von 10 bis 18 ha/Tag möglich sein.

Tabelle 2: Technische Daten der Luftentfeuchter-Wärmepumpe der EH-Anlage

Type	SR 60 N MJR
Baujahr	2011
Kältemittel	R407c
Kältemittelmenge in kg	45
Spannung in V	400
E-Anschlussleistung in kW	16

3.5.5 Steuerung

Die Steuerung der EH-Anlage erfolgt mittels SPS-Steuerung und ist als Komfortsteuerung ausgeführt. In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Funktionskreise erklärt und auf die steuerungsrelevanten Parameter eingegangen. Anfang 2012 wurde die Anlage auf eine Touch-Screen geführte Steuerungsoberfläche umgebaut.

Betrieb mit solarer Luftanwärmung

Meist wurde am früheren bis späteren Nachmittag die Ernte der EH-Variante bei noch guten Witterungsbedingungen durchgeführt. In diesem Fall wurde die gesamte, über die solare Luftanwärmung zur Verfügung stehende Energie genutzt und der Ventilator konnte mit der vollen Stromaufnahme (50 Hz, 44,5 A) betrieben werden. Je nach Feuchtegehalt des Futters und Stockhöhe wurden dabei 40.000 bis 55.000 m³/h Trocknungsluft durch den Heustock befördert.

Betrieb mit Entfeuchter-Wärmepumpe – Umluftbetrieb

Lag die Ansaugtemperatur auf der Dachfläche nur mehr 3 °C über der Heustocktemperatur, wurde automatisch von solarer Unterdachabsaugung auf Umluftbetrieb umgeschaltet und die Entfeuchter-Wärmepumpe in Betrieb genommen. Gleichzeitig wurde der Ventilator automatisch auf 29 Ampere Stromaufnahme (Frequenz 44 Hz) reduziert. Erst nach der Betriebsfreigabe konnte der Entfeuchter auf Nenndrehzahl anlaufen. Umgekehrt wurde der Steuerungskreislauf für die Umstellung von der Nachttrocknung oder Trocknungsluftführung bei Schlechtwetter mit Umluftführung auf die solare Unterdachabsaugung geschaltet. Bei mehr als 5 °C Temperaturdifferenz zwischen innen (oberhalb der Heubox) und außen (Solardachtemperatur), wurde die Umluftklappe geschlossen und über das Solardach angesaugt. Etwas zeitverzögert wurde dann der Entfeuchter abgeschaltet und das Gebläse frei gegeben, welches dann wieder mit maximaler Frequenz betrieben werden konnte.

3.6 Messtechnik

3.6.1 Messfühler

Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Luftentfeuchter-Wärmepumpe wurden mehrere Sensoren zur Erfassung der

Luftzustände während der Trocknungsdauer installiert. In *Abbildung 2* sind die Positionen der Messstellen markiert.

3.6.2 Witterung

Die Witterungsverhältnisse während der Feldtrocknungsphase und für die Dauer der Unterdachabsaugung wurden den Datenaufzeichnungen der Klimastation der ZAMG am Standort Gumpenstein entnommen. Diese Messdaten lagen im Stundenintervall vor. Für die Berechnung der Luftdaten wurde ein über die Beobachtungsdauer herrschender mittlerer Luftdruck von 940 hPa eingesetzt. Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit der Außenluft wurden während der Belüftungsdauer ebenfalls im Minutenintervall aufgezeichnet.

3.6.3 Stromverbrauch

Die Daten für den Stromverbrauch der EH-Anlage wurden wie die Luftmessdaten im Minutenintervall während der Dauer der Trocknungsdurchgänge aufgezeichnet. Die Geräte hatten keine Betriebsstundenzähler. Die Laufzeit von Gebläse und Entfeuchter wurde daher im Abgleich mit den Luft- und Strommessdaten ermittelt. Die Stromverbrauchsdaten für den Ventilator der KH-Anlage wurden von einem eigenen Stromzähler vor und nach der Trocknung abgelesen und protokolliert.

3.7 Bestimmung der Bröckel- und Aufnahmeverluste

Die Bröckelverluste am Feld wurden unmittelbar nach der Ernte bestimmt. Dazu wurde die Gesamtfläche von West nach Ost in fünf Sektoren eingeteilt. Jeder Sektor wurde wiederum in vier Teilflächen unterteilt, die den Versuchsvarianten Silage, Entfeuchterheu, Kaltbelüftungsheu und Bodentrocknungsheu entsprachen. Damit konnten lokale Flächenunterschiede und der fortlaufende Trocknungsprozess gleichmäßig auf alle Varianten aufgeteilt werden.

Die Messstellen wurden rund 50 bis 80 m vom jeweiligen Feldrand entfernt von Schnitt zu Schnitt flexibel, meist von derselben Versuchsperson festgelegt. Die Messstellen lagen jeweils links oder rechts vom Aufnahmeschwad. Damit wurden die Bröckel- und Aufnahmeverluste vom Mahen bis zum Schwaden erfasst. Pro Konservierungsverfahren wurden 10 Messstellen abgesaugt (zwei Messstellen in jedem der fünf Sektoren) eine an der Nordseite und eine an der Südseite der Versuchsfläche.

Die Bestimmung erfolgte mit der Saugmethode. Dazu wurde ein Industriestaubsauger mit dem runden Saugschlauchende verwendet. Der Antrieb wurde mittels Notstromaggregat sichergestellt. Ein 1 m² großer Messrahmen wurde auf die abgeerntete Oberfläche gelegt. Dann wurde in langsamen Hin- und Herbewegungen im Bodenabstand von 3 bis 5 cm, das oberflächlich aufliegende Pflanzenmaterial abgesaugt. Das Absaugen wurde in beide Richtungen und in zweifacher Wiederholung durchgeführt. Die abgesaugten Pflanzenteile wurden vom Industriestaub-

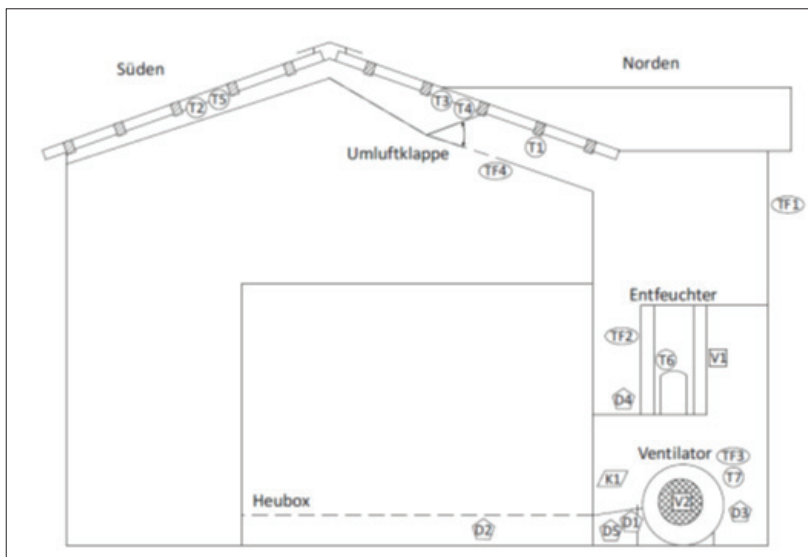


Abbildung 2: Messstellenplan der EH-Anlage (SATTLER 2012)

sauger in beschriftete Papiersäcke geleert. Das Futter wurde anschließend in den Säcken in der Trocknungsanlage auf Gewichtskonstanz (Heugewicht) getrocknet, gewogen und von einer Mischprobe die TM bestimmt. Der feine Erdanteil wurde händisch bei jeder Probe vor dem Einfüllen abgetrennt; war das nicht eindeutig möglich, wurden die Proben mit einem Windsichter gereinigt.

4. Ergebnisse

4.1 Abtrocknungszeiten am Feld

In der *Tabelle 3* sind die in den Versuchsjahren 2010 bis 2012 durchschnittlich gemessenen Feldliegezeiten der einzelnen Konservierungs-Varianten aufgelistet. Insbesondere beim 1., 2. und 3. Schnitt konnte das Futter für die solarunterstützte EH-Variante um einen Halbtage vor der KH-Variante eingefahren werden. Die Feldliegezeiten der BH-Variante zeigen die Problematik dieser Konservierungsvariante auf. Das Futter musste bereits beim 3. Schnitt durchschnittlich über zwei Tage am Feld trocknen. Beim 4. Schnitt, ab Mitte September, war kein lagerstabiles Heu mehr zu ernten. Die Versuchsfutterpartien wurden durchschnittlich nach 2,5 Tagen in der Futterhalle locker aufgelegt, um das Futter fertigzutrocknen. Im Durchschnitt lag das Bodenheu drei Tage am Feld (der Bereich erstreckte sich von zwei bis zu fünf Tagen).

Tabelle 3: Durchschnittliche Feldliegezeiten (vom Mähen bis zum Einfahren) der unterschiedlichen Konservierungs-Varianten in Stunden in den Jahren 2010 bis 2012

Varianten	Silage	Entfeuchter-trocknung	Kalt-belüftung	Boden-trocknung
1. Schnitt	10,2	18,8	26,4	37,3
2. Schnitt	3,2	16,5	25,1	34,5
3. Schnitt	6,2	20,0	28,8	51,3
4. Schnitt	23,2	41,9	49,9	58,6 ¹⁾

¹⁾ Stundenwerte nicht realistisch, weil das Futter nach dieser Zeit noch zu feucht war und deshalb unter Dach locker aufgelegt und fertig getrocknet wurde

4.2 Bröckelverluste

Für die statistische Auswertung der Bröckelverlust-Daten wurde ein General Linear Model (GLM) gewählt. Die Analyse wurde mit dem Programm Statgraphics Centurion XVI durchgeführt (StatPoint, 2009).

Folgendes Model wurde verwendet:

$$Y_{ij} = my + S_i + V_j + S_i \times V_j$$

wobei

Y_{ij} = Beobachtungswert der abhängigen Variable

my = gemeinsame (mittlere) Konstante

S_i = fixer Effekt des Schnittes i (1. Schnitt, 2. Schnitt, 3. Schnitt, 4. Schnitt)

V_j = fixer Effekt der Konservierungs-Varianten j (S, EH, KH, BH)

Datenvorbereitung und Datenstruktur

Bei der statistischen Auswertung wurden nach einem Ausreißertest (Grenze 2σ) fünf Einzelwerte (Werte > 605) für die weiteren Berechnungen nicht mehr berücksichtigt. Die Datenstruktur konnte nicht in einer vollen Matrix erstellt

werden. Beim 3. Schnitt 2010 und 2011 und beim 2. Schnitt 2010 verhinderten Lücken in der Benennung eine eindeutige Datenzuordnung der BH- und KH-Variante. 2012 konnten der 3. Schnitt als Folge einer Überschwemmung der Versuchsfläche nicht geerntet werden und beim 4. Schnitt 2012 wurden die Daten nicht erhoben. Als Konsequenz aus diesen Tatsachen wird die Auswertung der Bröckelverluste über zwei Teilmodelle geführt:

Model A (volle Matrix der Varianten): Für den 1. und 2. Schnitt kann eine vollständige Datenmatrix der Varianten erstellt werden. Dieses Modell ermöglicht eine vergleichende Untersuchung der Bröckelverluste zwischen den Konservierungsvarianten S, EH, KH und BH. Die Erkenntnisse dieses Modells dürfen verallgemeinert werden, da die Prüfung einer Wechselwirkung in Modell B keine signifikanten Einflüsse zeigte.

Model B (volle Matrix der Schnitte innerhalb der Varianten S, EH und KH): Dieses Modell wird über die volle Matrix der Schnitte innerhalb der gewählten Varianten geführt. Dieses Modell zeigt vor allem die Auswirkungen der Schnitte auf die Bröckelverluste in den Varianten. Es verstärkt aber auch die Erkenntnisse aus Modell A. Da sich beide Modelle ergänzen, werden sie gemeinsam besprochen.

Einfluss der Variante auf die Bröckelverluste: Im Modell A wurde für die Bröckelverluste ein Modellmittelwert von 260 kg TM/ha ermittelt. Die vier Varianten verteilen sich gleichmäßig um den Modellmittelwert, wobei die Bröckelverluste von der Silage (167 kg TM/ha) hin zum Bodenheu (369 kg TM/ha) ansteigen. Dazwischen liegen die Varianten Entfeuchtertrocknungsheu (212 kg TM/ha) und Kaltbelüftungsheu (290 kg TM/ha) (*Abbildung 3*). Alle vier Varianten unterscheiden sich hoch signifikant (*Tabelle 4*). Diese Modellmittelwerte bilden den Einfluss der Bearbeitungsintensität auf dem Feld gut ab. Mit zunehmender Feldliegezeit und damit verbundener Bearbeitungsintensität (Anzahl an Zettvorgängen) nehmen – bei gleichzeitig zunehmendem TM-Gehalt – die Bröckelverluste am Feld zu.

Das Modell B (Untersuchung der Schnittfrequenz) zeigt uns einen Einfluss der Witterung. Die Bröckelverluste nehmen parallel zur empirischen Beobachtung des Wetters von Mai (1. Schnitt) bis August (3. Schnitt) ab. Der 4. Schnitt im September fällt wieder in eine ungünstigere Wetterperiode und

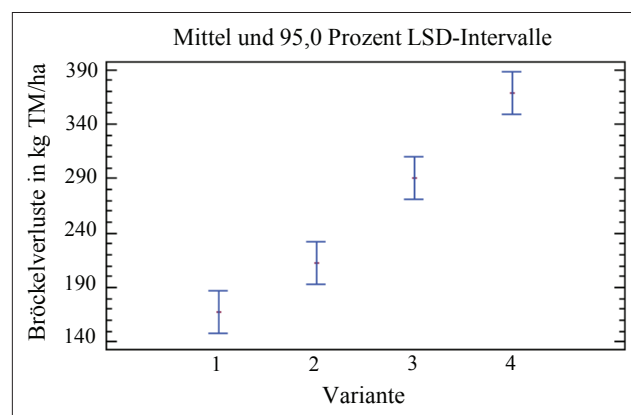


Abbildung 3: Graphische Darstellung der Bröckelverluste der unterschiedlichen Konservierungs-Varianten (1=Silage, 2=Entfeuchterheu, 3=Kaltbelüftungsheu, 4=Bodenheu) beim 1. und 4. Schnitt in den Jahren 2010 bis 2012, Modell A

zeigt ähnlich hohe Werte wie der 1. Schnitt (*Abbildung 4*). Diese Erkenntnisse können auch statistisch hoch signifikant

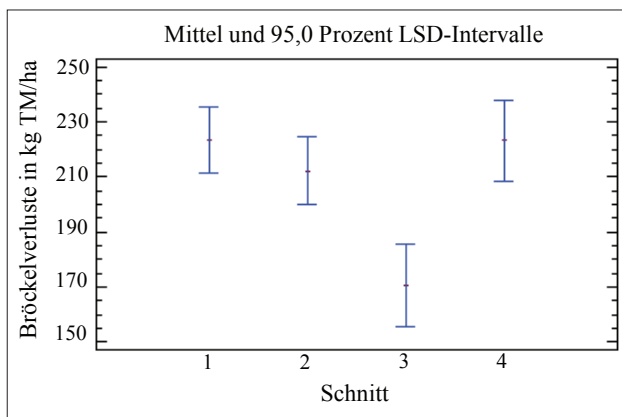


Abbildung 4: Graphische Darstellung der Bröckelverluste bei den unterschiedlichen Schnitten in den Jahren 2010 bis 2012, Modell B

Tabelle 4: Berechnung der Energiekosten der vier Schnitte im Jahr 2011 für die Unterdach-Heutrocknung mittels EH- bzw. KH-Anlage

Schnitt	Einheit	1. Schnitt		2. Schnitt		3. Schnitt		4. Schnitt	
		Heutrocknungsverfahren							
Ausgangsdaten	Einheit	EH	KH	EH	KH	EH	KH	EH	KH
Datum Einfuhr:		18.5.	19.5.	28.6.	28.6.	12.8.	12.8.	23.9.	23.9.
Einfuhr FM	kg	16.225	4.065	11.415	7.950	18.255	13.345	13.525	4.380
TM	%	56,6	66,1	69,6	75,2	54,0	67,2	68,7	71,9
TM i.d. Box	kg	9.187	2.686	7.947	5.978	9.858	8.965	9.292	3.149
Heugewicht i.d. Box	kg	10.381	3.088	8.980	6.872	11.139	10.305	10.500	3.620
Wasser abzutrocknen	kg	5.844	977	2.435	1.078	7.116	3.040	3.025	760
Energieverbrauch									
pro Tonne TM	kWh	336	99	109	28	289	64	191	186
pro Tonne Heu	kWh	298	87	97	24	256	56	169	162
spez. Energiebed.	W/kg	529	273	356	156	400	189	586	771
Energiekosten (18 Cent/kWh)									
pro kg TM	Cent	6,1	1,8	2,0	0,5	5,2	1,2	3,4	3,3
pro kg Heu	Cent	5,4	1,6	1,7	0,4	4,6	1,0	3,0	2,9

Tabelle 5: Berechnung der Energiekosten von drei Schnitten im Jahr 2012 für die Unterdach-Heutrocknung mittels EH- bzw. KH-Anlage

Schnitt	Einheit	1. Schnitt		2. Schnitt		4. Schnitt	
		Heutrocknungsverfahren					
Ausgangsdaten	Einheit	EH	KH	EH	KH	EH	KH
Datum der Einfuhr:		19.5.	19.5.	29.6.	29.6.	17.9.	18.9.
Einfuhr FM	kg	13.230	4.145	18.805	9.850	14.120	6.080
TM	%	56,6	66,1	62,4	75,9	65,2	72,8
TM i.d. Box	kg	7.491	2.739	11.727	7.475	9.208	4.427
Heugewicht i.d. Box	kg	8.465	3.095	13.251	8.447	10.405	5.002
Wasser abzutrocknen	kg	4.765	1.050	5.554	1.403	3.715	1.078
Energieverbrauch							
pro Tonne TM	kWh	87	66	140	25	306	111
pro Tonne Heu	kWh	77	58	124	22	271	99
spez. Energiebedarf	W/kg	137	171	297	134	758	457
Energiekosten (bei 18 Cent/kWh)							
pro kg TM	Cent	1,6	1,2	2,5	0,5	5,5	2,0
pro kg Heu	Cent	1,4	1,0	2,2	0,4	4,9	1,7

Anmerkung: 3. Schnitt ist wegen Hochwasser im Jahr 2012 ausgefallen

abgesichert werden. Das Rohdatenmaterial streut insgesamt sehr stark, deshalb können die Modelle A und B nur 41,5 bzw. 31,8 % der Streuung erklären.

4.3 Energieverbrauch und Kosten der Verfahren

4.3.1 Energieverbrauch

In der *Tabelle 4* sind für das Versuchsjahr 2011 und in der *Tabelle 5* für das Versuchsjahr 2012 die wichtigsten Daten zur Berechnung der Energiekosten aufgelistet. Das Versuchsjahr 2010 wurde aufgrund technischer Schwierigkeiten mit der EH-Anlage nicht berücksichtigt. Interessant ist, dass bei der KH-Variante, im Vergleich zur EH-Variante, auch bezogen auf den spezifischen Energiebedarf (W/kg Wasserverdunstung), niedrigere Verbrauchswerte erzielt wurden. Nur beim 4. Schnitt 2011 und beim 1. Schnitt 2012 war der spezifische Energiebedarf/kg abzutrocknenden Wassers bei der EH-Variante günstiger als bei der KH-Variante. Erklärbar ist das damit, dass die Erntebedingungen nach Möglichkeit an die Bodentrocknung angepasst wurden und damit günstigere Bedingungen für die KH-Variante herrschten und die Boxengröße an die Versuchserntemengen besser angepasst war.

Umgelegt auf die Energiekosten pro kg Heu schnitt die KH-Variante mit Werten von 0,4 bis 2,9 Cent am günstigsten ab. Die Energiekosten für die solarunterstützte EH-Anlage lagen hingegen zwischen 1,4 und 5,4 Cent/kg Heu.

Umgelegt auf die Energiekosten pro kg Heu schnitt die KH-Variante mit Werten von 0,4 bis 2,9 Cent am günstigsten ab. Die Energiekosten für die solarunterstützte EH-Anlage lagen hingegen zwischen 1,4 und 5,4 Cent/kg Heu.

4.3.2 Kosten

In *Tabelle 6* werden die beiden Unterdachtrocknungsverfahren KH und EH hinsichtlich der Kosten (fixe und variable Kosten) miteinander verglichen und die Mehrkosten gegenüber der BH-Variante dargestellt. Die Investitionskosten stammen aus Kostenschätzungen und -vergleichen aus ähnlichen Projekten in Österreich und der Schweiz. In der Kalkulation sind keine Gebäudekosten (Lager) und die Kosten für den Heukran enthalten, da diese Kosten in jedem Fall bei einem Heubergeverfahren zu tragen sind. Lediglich im Vergleich zu der in der *Tabelle* nicht angeführten Silagekonservierung wurden die „Differenzkosten“, also

Tabelle 6: Kostenvergleich der Heutrocknungsverfahren

Investitionen	Einheit	Entfeuchtertrocknung	Kaltbelüftung	Anmerkungen
Ventilator – Investition	Euro	8.000,--	5.000,--	Warmbelüftung mit FU
Jährliche Belastung	Euro	760,--	475,--	ND 15 Jahre, 4 %
Heubox, Rost, Kanäle – Investition	Euro	15.000,--	15.000,--	100 m ² Stockfläche, in Eigenleistung
Jährliche Belastung	Euro	942,--	942,--	ND 30 Jahre, 4 %
Kollektor – Investition	Euro	10.000,--		250 m ² , in Eigenleistung
Jährliche Belastung	Euro	628,--		ND 30 Jahre, 4 %
Entfeuchter – Investition	Euro	30.000,--		inkl. Steuerung
Jährliche Belastung	Euro	2.848,--		ND 15 Jahre, 4 %
Summe Fixkosten/a	Euro	5.178,--	1.417,--	
Heuverbrauch/a	kg	172.414	172.414	20 ha Betrieb, bei 7.500 kg TM Ertrag/ha.
Trocknungsmenge/a	kg	113.793	113.793	2/3 unter Dach getrocknet
Fixkosten/kg Heu	Cent	4,55	1,24	
Energieverbrauch	kWh	17	8	pro 100 kg Heu
Variable Kosten/kg Heu	Cent	3,06	1,44	18 Cent/kWh
Gesamtkosten	Cent	7,61	2,70	pro kg Heu

jene Kosten, die nur dem einen oder anderen Konservierungsverfahren zugeordnet werden können, berechnet, (inkl. Lager-, Futterentnahme- und -vorlagekosten).

Entscheidenden Einfluss auf die Kostenbelastung pro kg Heu nehmen in erster Linie die Fixkosten. Diese können bei völliger Neuinvestition von Gebäude und Technik auf das Doppelte bis Dreifache steigen. Andererseits können diese bei größeren Betriebseinheiten auch deutlich sinken. In diesem Berechnungsbeispiel ist bei der solarunterstützten EH-Anlage von beinahe 8 Cent Mehrkosten pro kg Heu im Vergleich zur BH-Variante auszugehen. Für das mit der EH-Anlage konservierte Heu wurden Mehrkosten von 2,7 Cent/kg Heu kalkuliert. Bei der Berechnung der variablen Kosten wurde für den Stromverbrauch ein Durchschnittswert aus den Versuchsaufzeichnungen herangezogen – 8 kWh/100 kg Heu für die KH-Variante und 17 kWh/100 kg Heu für die EH-Variante. Diese Werte decken sich mit älteren Literaturangaben bzw. liegen leicht darüber (LAVILLE-STUDER 1990, HILFIKER 1989). Auf Praxisbetrieben mit vergleichbaren Anlagen werden vielfach durchschnittliche Stromverbrauchswerte von unter 10 kWh/100 kg Heu gemessen. In diesem Fall würden sich die Mehrkosten auf 6 Cent/kg Heu reduzieren.

Ein Vergleich mit der Silagewirtschaft ist schwierig und von vielen Faktoren abhängig – jeder Betrieb hat andere Voraussetzungen (Gebäudekapazitäten, technische Ausstattung, innere und äußere Verkehrslage etc.). Unterstellt man für beide Konservierungssysteme eine Neuinvestition – für die Heutrocknung eine Trocknungshalle mit Kran für die Beschickung und Futtervorlage, Neuwert Euro 175.000,- und für die Silagewirtschaft eine Fahriloanlage mit zweimal 400 m³ großen Traunsteinsilos inklusive Futterverteilung, Abdeckung und Futterentnahme- und -vorlagetechnik (gezogener Schneidkamm mit Altraktor), Neuwert Euro 30.000,- – dann sind für die Heutrocknung nochmals rund 7,0 Cent und für die Silagewirtschaft rund 4,5 Cent/kg Heuäquivalente zu kalkulieren. Unterstellt man weiter einen höheren Maschinenverschleiß bzw. etwas teureren Maschinenpark für die Silagegewinnung (Heuladewagen – Rotorladewagen) lassen sich 1 bis 2 Cent/kg Heuäquivalente für die Heutrocknung abziehen. Diese „Einsparung“ geht allerdings zur Hälfte aufgrund des höheren Arbeitsaufwandes am Feld (Zettarbeit) wieder verloren.

In einer Kostenrechnung, in der die verfahrenstypischen „Differenzkosten“ berücksichtigt sind, ist für einen 20 ha Heu- bzw. Silagebetrieb unter den angeführten Annahmen für die Unterdachtrocknung von Heu mit der EH-Variante mit 19 Cent, für die KH-Variante mit ca. 15 Cent und für die S-Variante mit knapp 10 Cent/kg Heuäquivalente zu rechnen.

5. Literatur

- FORMAYER, H., A. WEBER, S. ECKHARDT, G. VOLK, J. BOXBERGER und H. KROMPKOLB, 2000: Endbericht zum Projekt „Ermittlung der verfügbaren Feldarbeitstage für die Landwirtschaft in Österreich“. BMLFUW, Wien.
- HILFIKER, J., 1989: Betriebswirtschaftlicher Vergleich zwischen Bodentrocknung und Heubelüftung. FAT Bericht 371. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Tänikon.
- LAVILLE-STUDER, K., 1990: Wie wirtschaftlich sind künstliche Heutrocknungsverfahren? FAT Bericht 384. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Tänikon.
- LUDER, W., 1982: Ermittlung der Erntegelegenheiten und des Verlustrisikos aufgrund von Klimadaten, dargestellt am Beispiel der Rauhfutterernte. Dissertation an der ETH Zürich, Diss.Nr. 6981. 37-71.
- PÖLLINGER, A., 2003: Vergleich unterschiedlicher Heutrocknungsverfahren. Gumpensteiner Bautagung 2003. Bericht BAL Gumpenstein, 63-67.
- SATTLER, E., 2012: Untersuchung der Funktion einer Luftentfeuchter-Wärmepumpe in der Heubelüftung. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur, am H93 Department für Nachhaltige Agrarsysteme, H931 Institut für Landtechnik. November 2012.
- WEINGARTMANN, H., 2002: Technik und Perspektiven in der Heutrocknung. 8. Alpenländisches Expertenforum, 9. -10. April 2002, Bericht BAL Gumpenstein, 63-65.
- WIRLEITNER, G., J. GALLER, F. NYDEGGER, A. PÖLLINGER, L. VAN CAENESEM, H. WEINGARTMANN und H. WITTMANN, 2009: Qualitätsheu durch einfache und kostengünstige Heubelüftung. ÖAG Sonderbeilage, Info 3/2009, Geschäftsstelle: LFZ Raumberg-Gumpenstein, 8952 Irdning.