



MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWEERTES
ÖSTERREICH

HBLFA RAUMBERG - GUMPENSTEIN
LANDWIRTSCHAFT

Abschlussbericht

Heuprojekt

Projekt Nr. 2371

Einfluss des Konservierungsverfahrens von
Wiesenfutter auf Nährstoffverluste, Futterwert,
Milchproduktion und Milchqualität

Influence of conservation method of grassland forage
on nutrient losses, feeding value,
milk production and milk quality

Projektleitung:

Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber
HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Projektmitarbeiter:

Dipl.-Ing. Christian Fasching, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Dipl.-Ing. Alfred Pöllinger, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Ing. Reinhard Resch, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Dr. Margit Velik, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Projektpartner:

Dr. Andreas Adler, AGES Linz

Projektlaufzeit:

2010 – 2013

Inhaltsverzeichnis

Heutrocknungsverfahren im Vergleich	1
<i>A. PÖLLINGER</i>	
Technische Kennzahlen zu verschiedenen Heutrocknungsmethoden.....	11
<i>A. PÖLLINGER</i>	
Auswirkungen unterschiedlicher Trocknungsverfahren auf die Raufutterqualität	19
<i>R. RESCH</i>	
Einfluss unterschiedlicher Trocknungsverfahren auf die Futterhygiene von Raufutter.....	28
<i>A. ADLER, P. KIROJE, E.V. REITER und R. RESCH</i>	
Proteinfractionen von Dauerwiesenfutter in Abhängigkeit von Konservierungsverfahren und Lagerungsdauer.....	34
<i>R. RESCH und L. GRUBER</i>	
Einfluss verschiedener Heutrocknungsverfahren auf den Futterwert von Wiesenfutter im Vergleich zur Silierung.....	41
<i>L. GRUBER, R. RESCH, A. SCHAUER, B. STEINER und C. FASCHING</i>	
Einfluss verschiedener Heutrocknungsverfahren auf Futteraufnahme und Milchproduktion im Vergleich zu Grassilage.....	51
<i>C. FASCHING, L. GRUBER, B. MIETSCHNIG, A. SCHAUER, J. HÄUSLER und A. ADELWÖHRER</i>	
Einfluss von Gras-Konservierungsverfahren auf das Milch-Fettsäurenmuster	59
<i>M. VELIK, L. GRUBER und J. KAUFMANN</i>	

Heutrocknungsverfahren im Vergleich

Comparison of different hay drying methods

Alfred Pöllinger^{1*}

Zusammenfassung

Am LFZ Raumberg-Gumpenstein wurde ein über drei Versuchsjahre (2010 bis 2012) laufender Verfahrensvergleich von vier verschiedenen Konservierungsverfahren - Rundballensilage, Bodenheu, Kaltbelüftungsheu, Warmbelüftungsheu (solarunterstützte Entfeuchtertrocknung) - für Grünlandfutter durchgeführt. Dabei stand die effiziente Heutrocknung mit einer Luft-Entfeuchteranlage mit 16 kW Anschlussleistung und mit einer modernen Steuerungs- und Regeltechnik ausgestattet - im Mittelpunkt des Interesses. Kombiniert wurde die Luft-Entfeuchteranlage mit einer solaren Unterdachabsaugungsanlage mit 410 m² Kollektorfläche. Die Stockgrundfläche wurde mit 96 m² gemessen und die Stockhöhe mit 6 m. Der Ventilator mit 22 kW Anschlussleistung lieferte max. 55.000 m³/h und bei reduzierter Frequenz - bei gleichzeitigem Entfeuchterbetrieb - und befüllter Box 30.000 m³/h. Die Kaltbelüftung wurde in einer 70 m² großen Heubox mit 3,90 m Boxenhöhe und einem Ventilator mit 5,5 kW durchgeführt. Die Einfuhrfeuchten lagen bei der Kaltbelüftungsvariante bei rund 25 % (23 bis 34 %) und bei der solarunterstützten Luft-Entfeuchtervariante bei rund 35 % (30 bis 50 %). Am Feld differenzierten sich die Verfahren einerseits durch unterschiedliche Feldliegezeiten, Bearbeitungsgänge und dadurch über die Höhe an Bröckel- und Rechverlusten. Die Feldliegezeiten schwankten zwischen den Schnitten am stärksten - von 2 (Silage, 2. Schnitt) bis 72 Stunden (Bodenheu, 4. Schnitt). Von Variante zu Variante lag im Schnitt jeweils ein Halbtage längere Feldliegezeit. Nur das Bodenheu konnte beim vierten Schnitt in der Regel nicht mehr bis zur lagerstabilen Entfeuchte von 13% am Feld fertig getrocknet werden. Hinsichtlich der Bearbeitungsgänge unterscheiden sich die Varianten vor allem bei der Anzahl der Zettvorgänge - durchschnittlich 1x bei der Silage, 2x bei der Warmbelüftung, 3x bei der Kaltbelüftung und 4x bei der Bodenheutrocknung. Die Varianten Bodenheuwerbung und Warmbelüftung unterscheiden sich hinsichtlich der Bröckel- und Rechverluste durchschnittlich um 190 kg TM/ha und Schnitt.

Die Unterdach-Trocknungsdauer konnte sowohl mit der Kaltbelüftung als auch mit der Warmbelüftung im Durchschnitt deutlich unter der geforderten 72 Stundenmarke gehalten werden. Nur bei technischen Problemen - Überlastung des Stromkreises - 50 Ampere Sicherung bei gleichzeitigem Entfeuchterbetrieb und Freischalten der vollen Ventilatorleistung - kam es vereinzelt zu längeren Einschaltdauern.

Summary

At the federal research institute Raumberg-Gumpenstein four different grassland-forage conservation systems ((1) round bale silage, (2) hay making under field conditions, hay drying under artificial conditions - (3) without and (4) with an air heating equipment - roof solar collector combined with a heat pump dehumidifier) have been investigated over three years (2010-2012). The main focus was given to the heat pump dehumidifier technique. The test facility at the federal research institute Raumberg-Gumpenstein 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 performance of 55.000 m³.h⁻¹, maximum and 30.000 m³.h⁻¹ when both techniques were working (heat pump dehumidifier and the centrifugal fan). In this case the fan was regulated to make less rotations and to use less energy < 30 Ampere. The hay drying equipment without an air heating equipment (3) was a box with 71 m² area and boarded 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 was in the average by 75 % (range between 77 and 66 % DM Content) at the beginning of the artificial hay drying process. The forage which was filled in the box with the dehumidifier heat pump showed a DM content round about 65 % (range 70 to 50 % DM Content).

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). Under regular conditions forage for the conservation system (1) was harvested 10 hours, for the system (2) 24 hours, for the system (3) 33 hours and for the system (4) 45 hours after mowing. Hay making under field conditions is under Austrians weather conditions normally not possible in the autumn (September - October) and difficult in spring time (May). There are also differences in working process between the systems. Forage for silage was

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 Luftentfeuchteranlage konnte vor allem im Jahr 2012 und 2013 problemlos betrieben werden. Die Entfeuchterleistung erreichte im Einzelfall 60 l Wasserabscheidung pro Stunde (im Schnitt 35 l/Stunde).

Die Bröckel- und Rechverluste lagen beim Bodenheu mit 386 kg TM/ha und Schnitt deutlich am höchsten. Vom Futter der Entfeuchtertrocknungsvariante blieb um 190 kg TM/ha und Schnitt weniger an Bröckel- und Rechverlusten am Feld liegen (im Mittel 196 kg TM/ha und Schnitt).

Bei den Stromverbrauchsmessungen in den Jahren 2011 und 2012 wurden teilweise deutlich höhere Energieverbrauchswerte gemessen, als es in der Werbung verschiedener Firmen dargestellt wird. Die günstigsten Werte wurden dabei mit der Kaltbelüftung mit 1,4 Cent/kg Heu erreicht (0,4 bis 2,4 Cent/kg Heu - bei 15 Cent/kWh). Die solar-unterstützte Luftentfeuchtervariante lag im Mittel bei 2,9 (1,4 bis 4,5) Cent/kg Heu.

In einer abgegrenzten Kalkulation ist allerdings klar zu erkennen, dass die Fixkosten die deutlich höhere Kostenbelastung darstellen. Jedes Kilogramm auf einer Entfeuchteranlage getrocknete Futter wird mit durchschnittlich 5,5 Cent/kg Heu belastet, während es bei der Kaltbelüftung „nur“ 1,7 Cent/kg Heu sind. In dieser Kalkulation sind noch keine Gebäudekosten und Ein- und Auslagerungskosten eingerechnet, die für beide Heutrocknungsverfahren gleichermaßen zu kalkulieren wären. Um den Anforderungen hoher Grundfutterleistung auch auf dem Heubetrieb gerecht werden zu können, braucht es allerdings eine leistungsfähige und weitestgehend im Betrieb witterungsunabhängige (Nachtbetrieb, Schlechtwetter) Trocknungstechnik. Die höheren Kosten müssen über höhere Produktpreise und teilweise über eine Flächenprämie abgegolten werden. Die Bodenheutrocknung ist jedenfalls nur in den Sommermonaten Juni bis August ohne größeres Verlustrisiko möglich und keinesfalls für reine Heubetriebe als alleinige Konservierungsform geeignet.

Schlagworte: Heutrocknung, Verfahren, Vergleich, Entfeuchter, Energiebedarf

Einleitung

Die traditionelle Futterproduktion in der Rinderhaltung passierte vor mehr als 45 Jahren noch überwiegend auf der Herstellung von Dürrfutter. RESCH (2007) zeigt in einer Darstellung sehr gut die Verschiebung der Konservierungsverfahren von 1970 bis 2005 auf. 1970 wurde noch beinahe 80 % des Winterfutters in Form von Heu konserviert. 2005 lag der Anteil des Dürrfutters (Heu und Grummet) nur mehr bei 23 %. In den letzten 10 Jahren hat sich allerdings der Markenname „Heumilch“ und „Heumilchkäse“ durch ein intensives Marketingprogramm und aufgrund geänderten Konsumentenverhaltens etablieren können. Dahinter stehen in Österreich über 8.000 Landwirtschaftsbetriebe, die ausschließlich auf die Heuwerbung angewiesen sind.

Die Anforderungen an die Grundfutterqualität haben sich im Zuge dieser Entwicklungen auch für Heubetriebe deutlich verschärft. Heute werden auch im Dürrfutter Energiegehalte

tedded once a time, forage for the conservation system (2) was tedded two times, forage for the conservation system (3) three times and forage for the conservation system (4) was tedded four times in the average. Related to crumble losses by the forage preservation system (2) 386 kg DM.ha⁻¹.cut⁻¹ got lost, 190 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. Conservations experts recommend no longer drying times than 72 hours should be used to prevent microbial damage. Only by technical problems with the dehumidifier heat pump the drying period was longer. During 2012 and 2013 there were no more technical problems. In this time the performance of the dehumidifier heat pump reached 60 l.h⁻¹, average 36 l.h⁻¹, the velocity of the air was 2,4 m.sec⁻¹ (through the dehumidifier register). The velocity should be not more than 3.0 m.sec⁻¹.

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 Kilogramm hay differ between 0.4 and 2.4 Cent by hay making with system (3) and between 1.4 and 4.5 Cent by hay drying with system (2) - 15 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 (table 10). The fixed cost per Kilogramm hay are 5.5 Cent by the hay making system (2) and 1.7 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.

Key words: hay drying, technique, comparison, dehumidifier pump heater, energy demand

von 6,0 MJ NEL und Eiweißgehalte von 14 % gefordert bzw. auf dem Hochleistungsbetrieb von den Fütterungsexperten erwartet.

Die Nährstoffanforderungen hoch leistender Milchkühe können durch die erreichbaren Energiegehalte von Bodenheu nicht erfüllt werden. Im Frühjahr gibt es für den ersten Schnitt meist nur wenige Erntegelegenheiten (FORMAYER et al. 2000 und LUDER 1982). Kann der erste Schnitt wetterbedingt statt im Wachstumsstadium Ähren-/Rispschieben erst Mitte bis Ende der Blüte gemacht werden, bedeutet das einen Verlust von ca. 0,6 MJ NEL pro kg Trockenmasse (GRUBER et al. 2009). Der Nutzungszeitpunkt beeinflusst den Rohfaser- und damit auch den Energiegehalt und den Rohproteingehalt des Grünlandfutters besonders stark. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, haben sich bereits vor mehr als 40 Jahren die Heubetriebe von der Bodentrocknung, damals teilweise auch noch verbreitet von der Gerüsttrocknung, zur Unterdachtrocknung hin

entwickelt. Anfänglich wurden Ziehschacht- und Giebelrostanlagen gebaut. Diese konnten den ständig steigenden Anforderungen an Durchsatzleistung, immer noch früheren Ernteterminen und kürzeren Feldliegezeiten und damit höheren Restfeuchtegehalten nicht mehr gerecht werden. Daraus entwickelte sich die klassische Kaltbelüftungsanlage als Kastentrocknung. Diese besteht aus einem Flachrost mit seitlichen Wänden und ist mit einem druckstabilen Radialventilator kombiniert.

Heute wollen die Heubetriebe die bereits angesprochene Grundfutterqualität mit Betriebsgrößen von teilweise über 60 ha zu maximal zwei Ernteterminen einfahren. Das braucht Anlagengrößen von 200 m² Stockgrundfläche und mehr und Stockhöhen bis zu 6 m. Gleichzeitig müssen die höhere Einfuhrfeuchte und damit der höhere Wassergehalt im Futter aber auch von der Trocknungsluft aufgenommen und abtransportiert werden können. Das wiederum macht die Luftanwärmung im spezialisierten Heubetrieb zu einem unverzichtbaren technischen Ausrüstungsdetail. Ölfeue-rungsanlagen haben dabei ausgedient. Heute werden Anlagen mit solarer Luftanwärmung, mit der Restwärmenutzung bei 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 ist mittlerweile stark verbreitet.

Problemstellung

Für die betroffenen Landwirte ergeben sich aus diesen mittlerweile reichhaltigen Angeboten seitens der Industrie allerdings auch viele Fragestellungen - hinsichtlich Technik und der Anwendung. Neben den Investitionskosten - große Heutrocknungsanlagen sind mit über 200.000,- Euro zu kalkulieren - sind es vor allem Fragen nach dem Mehrge-winn an Futterqualität, dem richtigen Einfuhrzeitpunkt, der richtigen Vorbehandlung (Mähen - Aufbereitung - Zetten - Schwaden - Ernten, Transportieren - Einlagern) und der Trocknungsprozessführung (Steuerungs- und Regeltech-nik). Die Betriebsführer sind dabei oft mit sehr unterschiedlichen „Firmenphilosophien“ konfrontiert.

Material und Methoden

Am LFZ Raumberg-Gumpenstein wurden in den Jahren 2010 bis 2012 drei Heutrocknungsverfahren - die Bodenheutrocknung, die Kaltbelüftung und die Entfeuchtertrocknung - in Kombination mit solarer Luftanwärmung - miteinander verglichen. Aus landtechnischer Sicht wurden die Verfahren hinsichtlich Maschineneinsatz am Feld, der Feldverluste, der baulich-technischen Aufwendungen und des Energiebedarfes analysiert. Aufgrund technischer Probleme an der Entfeuchtungsanlage im Jahr 2010 wird für die Interpretation der Ergebnisse dieses Erntejahr nicht berücksichtigt. Im Jahr 2013 wurden in der Entfeuchter-trocknung weitere Futterchargen von anderen Betriebsflächen und vor allem in größeren Mengen getrocknet.

Feldarbeiten und Fläche

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

Die Fläche wurde jeweils mit zwei Front-Heck-Kombi-nationen, ab dem Jahr 2011 mit Mähaufbereiter (Zinken) gemäht. Unmittelbar nach dem Mähen wurde das Futter mit einem gezogenen Zettwender breit gestreut. In Ab-hängigkeit vom Abtrocknungsverlauf des Futters wurde das Futter der Konservierungsvarianten gezettet. In der Regel wurde das Futter für die Entfeuchterheuvariante (EH) nach dem Breitstreuen noch 1x, das Futter für die Kaltbelüftung (KH) noch 2x und das Futter für das Bodenheu (BH) noch 3x gewendet. Die Abweichungen mit geringerer Wendehäufigkeit ergaben sich meist beim 2. und 3. Schnitt, während beim 4. Schnitt bei jeder Variante um 1-2 Mal häufiger gewendet wurde. Die Einstellung des Zettwenders wurde so gewählt, dass der Mähschwad mit rund 480 bis 500 U/min an der Zapfwelle breit gestreut wurde. Bereits beim zweiten Mal Wenden wurde nur mehr 380 bis 430 U/min an der Zapfwelle gearbeitet.

Geschwadet wurde das Futter 0,5 bis 1,0 Stunden vor der Ernte. Zur Schwadarbeit wurde ein Mittelschwader mit Tastrad eingesetzt. Gefahren wurde mit rund 400 U/min an der Zapfwelle und einer Fahrgeschwindigkeit von 10 bis max. 12 km/h.

Die im Rahmen dieses Versuches eingesetzten Maschinen und Geräte sind in der *Tabelle 1* dargestellt.

Geladen und Eingefahren wurde das Futter mit zwei baugleichen, altersbedingt unterschiedlichen Ladewagen (siehe *Tabelle 1*). Die Ladewagen sind mit 31 Messern bestückt, davon waren in der Regel 6 Stück im Eingriff. Beim vierten Schnitt wurde ohne Messereinsatz gearbeitet. Einmalig waren alle Messer eingesetzt. Jede Fuhre wurde an der Brückenwaage in Gumpenstein verwogen und die Gewichte protokolliert.

Tabelle 1: Eingesetzte Maschinen und Geräte zur Futterbergung, Heuprojekt Raumberg-Gumpenstein 2010 bis 2013

Tätigkeiten Maschinen	Gerät, Type	Verwendungsbereich, verwendeter Traktor	Techn. Details
Traktoren	Fendt 310 Vario	Mähen, Ernten	77 kW
	Steyr Profi 4115	Mähen, Ernten	85 kW
	Steyr 975	Zetten	55 kW
	Fendt 209	Zetten, Schwaden	67 kW
Mähen	Krone EasyCut R 280 CV+ EasyCut 32 CV Float Front-Heck-Kombination	Fendt 311 Vario	AB: 5,49 m ¹⁾
	Pöttinger NovaCut 305 + NovaCut 305 Alpha Motion Front-Heck-Kombination	Steyr Profi 4115	AB: 5,68 m ¹⁾
Zetten	Lely Lotus 900 P	Steyr 975	AB: 9,0 m 380 - 500 U/min
Schwaden	Pöttinger EuroTop 620 Multitast	Fendt 209	AB: 5,90 400 U/min
Ernten	Pöttinger Ladeprof IV	Steyr Profi 4115	29 DIN m ³
	Pöttinger Ladeprof IV	Fendt 310 Vario	29 DIN m ³

AB= Arbeitsbreite, ¹⁾ mit 40 cm Überschnitt gerechnet

Bodenheuwerbung

Die gesamte Versuchsfläche wurde mit zwei Mähwerkskombinationen gemäht, unmittelbar danach wurde das Futter breit gestreut. Das Bodenheu unterscheidet sich am Feld nur durch eine höhere Anzahl an Wendevorgängen - in Summe wurde das Bodenheu mindestens drei- und maximal sechsmal gezettet bzw. gewendet - und durch längere Feldliegezeiten. Im Durchschnitt lag das Bodenheu drei Tage am Feld, der Bereich erstreckte sich von zwei Tagen bis zu fünf Tagen. Der vierte 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.

Kalbelüftungsanlage und Betrieb

Das Futter für die Kaltbelüftung wurde nach dem Mähen in der Regel dreimal gewendet - der Bereich erstreckt sich von einmal bis fünfmal Zetten - und bei einem Trockenmassegehalt von rund 75 % geschwadet und danach eingefahren und gewogen. 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 rund 1130 Pa noch eine Luftleistung von 3,9 m³/sec (14.000 m³/h) erreicht. Im praxisüblichen Arbeitsbereich von rund 490 Pa sind es bereits 7,8 m³/sec (28.200 m³/h). Mit diesem Lüfter wird bei der gegebenen Heuboxengröße 71 m² Grundfläche der notwendige Volumenstrom ausreichend abgedeckt.

Entfeuchter- und Solartrocknungsanlage (verändert nach Sattler, 2012)

Das Futter für die Entfeuchtertrocknung wurde nach dem Mähen in der Regel zweimal gewendet - der Bereich erstreckt sich von einmal bis viermal Zetten. Geschwadet und eingefahren wurde das Futter bei einem Trockenmassegehalt von rund 65 %. Der Range erstreckte sich grob zwischen 50 auf 70 % TM.

Diese Heutrocknungsanlage am LFZ Raumberg-Gumpenstein besteht aus einer Luftentfeuchter-Wärmepumpe und einem Lüfter mit der nötigen Steuer- und Regelungstechnik. Zusätzlich wurde nachträglich ein Solarkollektor in die gesamte Dachfläche des Mehrzweckversuchsstalles eingebaut. Durch die Kombination der Luftentfeuchter-Wärmepumpe und der solaren Luftanwärmung mit einer effizienten Steuerung soll der Energieaufwand und damit die variablen Kosten für die Heutrocknung minimiert werden.

Solarkollektor

Der Solarkollektor für die Heutrocknungsanlage wurde nachträglich in die Dachfläche des Mehrzweckversuchsstalles 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. Das Absorptionsvermögen und die Wärmeleitfähigkeit dieser Absorberfläche sollen möglichst groß sein, um möglichst viel der absorbierten Energie an dessen Unterseite zu transportieren. 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. Mit der Annahme einer Leistung von 200 W/m² und der Berücksichtigung der verringerten Leistung der Nordseite der Dachfläche nach *Tabelle 2* beträgt die Gesamtleistung der Dachabsaugung rund 71 kW. Die Kollektorfläche beträgt mehr als das Vierfache der Grundfläche der Heubox mit 96 m². Die Systemskizze (*Abbildung 1*) zeigt die Luftableitung durch den Solarkollektor und den Sammelkanal in die Lüfterkammer.

Heubox

Die Grundfläche der Heubox beträgt 96 m² bei einem Volumen von 576 m³ (L x B x H = 12.0x8x0x6x0 m mm). Die Belüftungsbox besteht aus Holzwänden mit Kantholzstehern, die mit einem U-Profil-Überleger eingerahmt sind. Der Rost besteht aus Baustahlgitter (CQS 100) mit darunter liegenden Auflegern (50 x 150 mm), die ihrerseits wieder auf Rundhölzern aufliegen. Die Rosthöhe beträgt 60 cm (Unterkante) und ist in der Höhenangabe der Box enthalten. Um seitliche Luftverluste zu vermeiden ist der Rost zur Einwandung hin in einer Breite von 60 cm geschlossen. Daraus ergibt sich ein tatsächliches Einlagerungsvolumen bis zum Boxenrand von 518,4 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 besteht aus Kompostvlies und wird auf am Boxenrand aufgesteckte Stahlrohre aufgezogen. Dieses dient dazu, die aus dem Heustock austretende Luft bei Umluftbetrieb möglichst in Richtung der Umluftklappe zu lenken. Dadurch sollte ein möglichst hoher Anteil an warmer, feuchter Luft wieder in den Umluftbetrieb zurück gebracht werden. In Vorversuchen mit einer Nebelmaschine konnte gezeigt werden, dass ohne Boxenüberhöhung ein zu hoher Anteil an feucht-warmer Luft im Heubergeraum verloren geht.

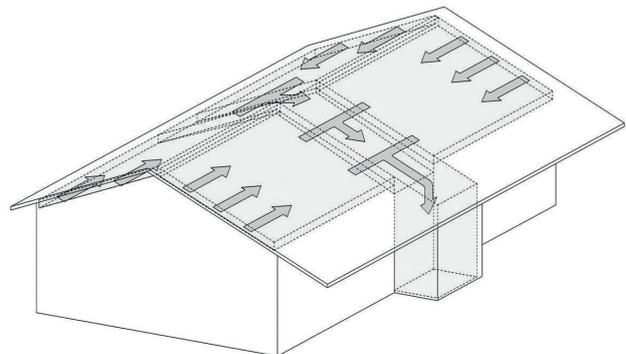


Abbildung 1: Solarkollektor LFZ Raumberg-Gumpenstein Pfettendach mit vier Kollektorfeldern auf zwei Dachflanken mit mittig angeordnetem Sammelkanal (Agroscope Reckenholz-Tänikon ART)

Tabelle 2: Technische Daten des Ventilators der Entfeuchter-Solaranlage, Heuprojekt am LFZ Raumberg-Gumpenstein 2010 bis 2014

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 / Frequenz in V / Hz	400 / 50
Nennzahl in U / min	980

Ventilator

Den nötigen Volumenstrom liefert ein Ventilator 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 sehr groß dimensioniert. Die technischen Daten des Ventilators sind in der *Tabelle 2* dargestellt.

Luftentfeuchter-Wärmepumpe

Die verbaute Luftentfeuchter-Wärmepumpe der Firma Reindl Kältetechnik GmbH erfordert eine elektrische Anschlussleistung von 16 kW (technische Daten siehe *Tabelle 3*). 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 0,10 m³/s * m² für die Heubox mit 96 m² Grundfläche), bedeutet das eine Strömungsgeschwindigkeit von etwa 2,4 m/s. Das Kältemittel wird von einem Schraubenverdichter mit integrierter Ölwanne komprimiert, der zwischen Verdampfer- und Kondensatorregister angeordnet ist. Die stufenlose Drehzahlregelung erfolgt automatisch geräteintern mittels Frequenzumformer in Abhängigkeit des Kältemittel-druckes. 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 für Heuboxen bis 160 m² bzw. für die Trocknung von 40 Stück Heurundballen geeignet. Damit soll, je nach Ausgangsfeuchte, eine maximale tägliche Einfuhrleistung von 10-18 ha/Tag möglich sein.

Tabelle 3: Technische Daten der Luftentfeuchter-Wärmepumpe, Heuprojekt am LFZ Raumberg-Gumpenstein 2010 bis 2014

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

Steuerung

Die Steuerung der Heutrocknungsanlage 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) gefahren werden. Je nach Feuchtegehalt des Futters und Stockhöhe wurden dabei 40.000 bis 55.000 m³/h Trocknungsluft durch den Heustock gedrückt.

Betrieb mit Entfeuchter-Wärmepumpe - Umluftbetrieb

Wenn die Ansaugtemperatur auf der Dachfläche nur mehr 3 °C über der Heustocktemperatur lag, wurde automatisch von solarer Unterdachabsaugung auf Umluftbetrieb umgeschaltet – Lüfterklappe offen – 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 Nennzahl anlaufen. Umgekehrt wurde der Steuerungskreislauf für die Umstellung von der Nachttrocknung oder Trocknungsluftführung bei Schlechtwetter mit Umluftführung auf die solare Unterdachtocknung geschaltet. Bei mehr als 5°C Temperaturdifferenz zwischen (oberhalb der Heubox) innen und außen (Solardachtemperatur), wurde die Umluftklappe geschlossen und über das Solardach angesaugt. Etwas zeitverzögert wurde dann der Entfeuchter abgeschaltet und das Gebläse wurde freigegeben und konnte wieder mit maximaler Frequenz betrieben werden.

Messtechnik

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 und in *Tabelle 4* sind die Sensoren und die damit gemessenen Größen angegeben.

Entsprechend dem Messtechnikplan wurden für die Aufnahme der Messdaten Temperatursensoren, Temperatur-/Feuchtesensoren, ein Strömungsgeschwindigkeitssensor sowie ein Vibrationssensor verwendet. In der Lüfterkammer wurde ein Taupunktsensor installiert. Zur Druckmessung kamen für den statischen Druck Druckmessumformer und für den dynamischen Druck ein Prandtlrohr im Einblaskanal zum Einsatz.

Witterung

Die Witterungsverhältnisse während der Feldtrocknungsphase und für die Dauer der Unterdachtocknung wurden den Datenaufzeichnungen der Klimastation der ZAMG in 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

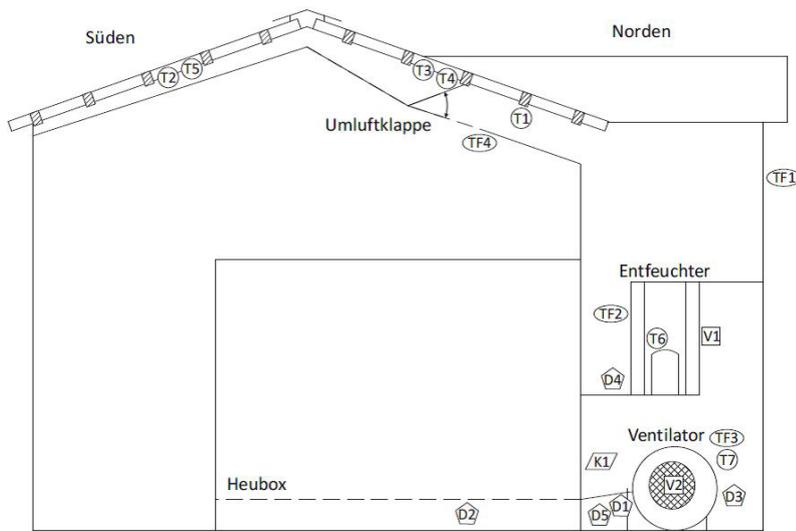


Abbildung 2: Messstellenplan der Anlage am LFZ Raumberg-Gumpenstein, Heuprojekt 2010 bis 2013

der Belüftungsdauer auch von der Steuerung im Minutenintervall aufgezeichnet.

Stromverbrauch

Die Daten für den Stromverbrauch der 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 mit den Luft- und Strommessdaten ermittelt.

Bestimmung der Bröckel- und Aufnahmeverluste

Die Bröckelverluste am Feld wurden unmittelbar nach der Ernte von den einzelnen Variante bestimmt. Dazu wurde die Gesamtfläche grob von West nach Ost in fünf Sektoren eingeteilt. Die Sektoren selbst wurden wiederum in vier Teilflächen geteilt, die den Versuchsvarianten Silage (S), Entfeuchterheu (EH), Kaltbelüftungsheu (KH) und Bodenheu (BH) entsprachen. Damit konnten lokale Flächenunterschiede und der fortlaufende Trocknungsprozess gleichmäßig auf alle Varianten aufgeteilt werden.

Die Messstellen wurden rund 50-80 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 Mähen bis zum Schwaden erfasst. Pro Variante wurden 10 Messstellen abgesaugt - 5 Sektoren und je Sektor zwei Messstellen - eine an der Nordseite und eine an der Südseite.

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 3-5 cm, das oberflächlich aufliegende Pflanzenmaterial abgesaugt. Das Absaugen wurde in beide Richtungen und in zweifacher Wiederholung durchgeführt. Die abgesaugten Pflanzenteile wurden vom Industriestaubsauger in beschriftete Papiersä-

cke geleert. Das Futter wurde anschließend in den Säcken verbleibend in der Trocknungsanlage auf Gewichtskonstanz (Heugewicht) getrocknet, einzeln gewogen und von einer Mischprobe die Trockenmasse aus der Heuprobe bestimmt. Der feine Erdanteil wurde händisch bei jeder Probe vor dem Einfüllen abgetrennt, was das nicht eindeutig möglich, wurden die Proben durch einen Windsichter gereinigt.

Ergebnisse

Abtrocknungszeiten am Feld

In der Tabelle 5 sind die in den Versuchsjahren 2010 bis 2012 durchschnittlich gemessenen Feldliegezeiten der einzelnen Konservierungsformen aufgelistet. Insbesondere beim ersten, zweiten und dritten Schnitt kann die solarunterstützte Entfeuchterheu-Variante um einen Halbtage vor der Kaltbelüftungsvariante eingefahren werden. Durch die Kombination mit der solaren Unterdachtrocknung kann und soll damit die Ernte noch am Nachmittag bei guter Ausnutzung der Sonnenenergie durchgeführt werden. Dadurch ist es möglich und aus Energieeffizienzgründen notwendig, den Wärmekreislauf in der Trocknungsanlage noch vor den Abendstunden aufzuschaukeln und bei voller Ventilatorleistung bereits einen großen Wasseranteil aus dem Futter mitzunehmen. Dadurch kann der Entfeuchter bereits in einem optimaleren Wirkungsgradbereich mit der Arbeit beginnen. Die Feldliegezeiten für die Bodenheutrocknung zeigen genau die Problematik

eingefahren werden. Durch die Kombination mit der solaren Unterdachtrocknung kann und soll damit die Ernte noch am Nachmittag bei guter Ausnutzung der Sonnenenergie durchgeführt werden. Dadurch ist es möglich und aus Energieeffizienzgründen notwendig, den Wärmekreislauf in der Trocknungsanlage noch vor den Abendstunden aufzuschaukeln und bei voller Ventilatorleistung bereits einen großen Wasseranteil aus dem Futter mitzunehmen. Dadurch kann der Entfeuchter bereits in einem optimaleren Wirkungsgradbereich mit der Arbeit beginnen. Die Feldliegezeiten für die Bodenheutrocknung zeigen genau die Problematik

Tabelle 4: Messstellenübersicht

Sensor	Einheit	Beschreibung
Temperatur		
T1	°C	Solardachtemperatur
T2	°C	Dachtemperatur Südwest
T3	°C	Dachtemperatur Nordwest
T4	°C	Dachtemperatur Nordost
T5	°C	Dachtemperatur Südost
T6	°C	Temperatur in Entfeuchter
T7	°C	Taupunkttemperatur
Temp. / Feuchte		
TF1	°C/%	Temp. / Feuchte Außen
TF2	°C/%	Temp. / Feuchte vor Entfeuchter
TF3	°C/%	Temp. / Feuchte Lüfterkammer
TF4	°C/%	Temp. / Feuchte über Heu
Druck		
D1	Pa	Differenzdruck Heubox zu Lüfterkammer
D2	Pa	Differenzdruck Heubox Außen
D3	Pa	Differenzdruck Lüfterkammer zu Außen
D4	Pa	Differenzdruck vor/nach Entfeuchter
D5	Pa	Dynamischer Druck Prandtlrohr im Einblaskanal
Volumenstrom		
V1	m/s	Volumenstrom nach Entfeuchter
V2	m/s	Volumenstrom vor Gebläse
Kondensat		
K1	Liter	Kondensatabscheidung im Entfeuchter

Tabelle 5: Durchschnittliche Feldliegezeiten der unterschiedlichen Konservierungsformen, vom Mähen bis zum Einfahren in den Jahren 2010-2012, Dauerwiese, Heuprojekt LFZ Raumberg-Gumpenstein

Varianten	Silage	EH	KH	BH
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 feucht unter Dach locker aufgelegt wurde.

dieser Konservierungsvariante auf. Das Futter musste bereits beim dritten Schnitt durchschnittlich über zwei Tage am Feld trocknen. Beim vierten Schnitt - ab Mitte September - war mit dieser Konservierungsvariante kein lagerstabiles Heu mehr zu ernten. Die Versuchsfutterpartien wurden durchschnittlich nach 2,5 Tagen in der Futterhalle locker aufgelegt, um das Futter fertig trocknen zu lassen.

Ausgesuchte Ergebnisse zur solarunterstützten Entfeuchtertrocknung

In der folgenden Ergebnisdarstellung wird in erster Linie auf die Versuchsdurchgänge aus dem Jahr 2011 Bezug genommen. Aus diesem Abschnitt liegen die Trocknungsdaten bereits in ausreichend ausgearbeiteter Form vor. Anstelle des ersten Schnittes von der Versuchsfläche wurde ein Praxisversuch in die Auswertung mit hineingenommen.

Die Heudaten wurden für alle Schnitte ermittelt. Für den Praxisdurchgang wurden nach der Einlagerung keine Feuchtegehalte mehr ermittelt und die Stockhöhen wurden beim zweiten Durchgang nicht festgehalten. Bei den Durchgängen für die Fütterungsversuche konnten wegen der geringen Futtermengen nur die Füllhöhen in der Heubox bis maximal 2 Meter erreicht werden. Das Material vom Praxisdurchgang reichte immerhin für eine Füllhöhe von 3,5 m bei der Einlagerung (Tabelle 6).

Trocknung vom 30.5. bis 2.6., 1. Schnitt 2011

Für den Praxisdurchgang wurde eine größere Menge Futter vom 1. Schnitt gemäht, was eine Füllhöhe in der Box von 3,5 m ermöglichte. Die Belüftung wurde am 30.05. nach dem Aufbringen der ersten Schicht in der Box eingeschaltet. Wegen dem durch die geringe Schichtdicke niedrigen statischen Druck lag der Volumenstrom anfangs bei rund 50.000 m³/h und reduzierte sich bis zum Ende der ersten Dachabsaugungsperiode um 19:30 Uhr auf etwa 45.000 m³/h. Die Umschaltung auf den Umluftbetrieb aktivierte die Drehzahlbegrenzung des Lüfters und reduzierte den Volumenstrom auf 30.000 m³/h. Diese Reduktion ist beim Entfeuchterbetrieb notwendig, da die Luftgeschwindigkeit beim Durchströmen der Entfeuchterregister sonst zu hoch wäre. Bei der Umschaltung betrug die Temperatur in der Lüfterkammer noch 26°C bei einer relativen Luftfeuchte von nur 35 %.

Die Temperaturdifferenz zwischen Heustock und Lüfterkammer betrug während dieser Dachabsaugungsphase durchschnittlich 4,2°C, die Abluftfeuchte über dem Heustock lag bei lediglich 60 %. Während der nächtlichen Umluftphase mit Entfeuch-

terbetrieb stieg die rel. Luftfeuchte in der Lüfterkammer auf durchschnittlich 50 %. Die Temperatur stieg anfänglich noch leicht an und fiel bis 06:50 Uhr auf 23°C ab, die minimale Außentemperatur während der Nacht betrug 12°C. Die Temperaturspreizung vor/nach Heu blieb konstant, die durchschnittliche Anwärmung durch den Entfeuchter lag bei 5,7°C.

Die Abkühlung der Luft durch Gebäudeundichtheiten lag demnach bei 1,5°C zwischen der Messstelle über Heu und vor dem Entfeuchter, die Abluftfeuchte steigerte sich auf 73 %. Die Kondensatabscheidung am Entfeuchter begann um ca. 20 Uhr. Der Kippzähler registrierte durchschnittlich 0,46 l/min, was einer auf den Volumenstrom bezogenen Entfeuchtung von 0,94 g/m³ trockener Luft entspricht. Nach Umschaltung auf Dachabsaugung arbeitete der Entfeuchter weiter im Frischluftbetrieb bis zum Anlagenausfall um 08:35 Uhr für ca. eine Stunde. Nach erneutem Einschalten der Anlage lief die Dachabsaugung bis 17 Uhr mit 42.000 m³/h bei Schönwetter. Bei einer mittleren Abluftfeuchte von 73 % steigerte sich die Temperaturspreizung auf 7,0°C, was einer Wasserdampfaufnahme der Trocknungsluft von 3,9 g/kg entspricht.

Die zweite Umluftbetriebsphase dauerte bis 01.06. um 11:17 Uhr. Während dieser Zeit schaltete die Steuerung aber auch mehrmals kurzzeitig in den Frischluftbetrieb um, weil der Solardachsensor Temperaturänderungen registrierte, die die Umschaltbedingungen erfüllten. Das deutete auf eine zu geringe Schalthysterese hin. Die Kondensatabscheidung begann erneut eine halbe Stunde nach der Umschaltung, der mittlere Volumenstrom betrug 29.000 m³/h. Die Temperatur in der Lüfterkammer verlief ähnlich, eine Differenz zum Außentemperaturverlauf von etwa 10°C konnte aufrechterhalten werden. Der Wasserzähler registrierte 0,36 l/min bei einer Entfeuchtung von 0,75 g/m³. Die relative Abluftfeuchte von 67 % wurde durch den Entfeuchter auf 48 % reduziert und im Schnitt um 5,3°C angewärmt. Die Temperaturspreizung ging durch den fortgeschrittenen Trocknungsverlauf auf 3,7°C zurück. Ein um die Mittagszeit aufziehender Regenschauer beendete den Frischluftbetrieb um 12:10 Uhr. Die folgende kurze Umluftphase brachte nur mehr 0,25 l/min Kondensatabscheidung (Entfeuchtung 0,52 g/m³). Es folgte wieder eine Dachabsaugung bis 18 Uhr mit mehreren kurzen Umschaltvorgängen. Die letzte Umluftphase im Automatikmodus wurde am 02.06. um 14:55 Uhr nach 71 Betriebsstunden beendet.

Tabelle 6: Heudaten aus dem Versuchsjahr 2011, Heuprojekt LFZ Raumberg-Gumpenstein (SATTLER 2012)

Parameter / Schnitte	Einheit	1P	2	3	4
Welkheumasse	kg	26395	11415	18255	13525
Einlagerungsfeuchte	% FN	32,5a	32,8	48,4	34,6
Trockenmasse	kg	17817	7671	9420	8845
Endfeuchte (7 d)	% FN	14,0b	16,8	17,6	14,7
Heumasse (Endfeuchte)	kg	20717	9220	11432	10370
Abzutrocknende Wassermasse	kg	5678	2195	6823	3155
Wasserdeckel	kg/m ²	59	23	71	33
Stockhöhe Einlagerung	m	3,5	-	2,0	1,5
Stockhöhe abgesetzt	m	2,5	-	1,8	1,4
Raumgewicht Einlagerung	kg/m ³	78,6	-	95,1	93,9
Raumgewicht abgesetzt	kg/m ³	86,3	-	66,2	77,2
Raumgew. Einlagerung TM	kg/m ³	53,0	-	49,1	61,4
Raumgew. abgesetzt (TM)	kg/m ³	74,2	-	54,5	65,8

Beim zweiten Schnitt war die Trocknungsperiode nur sehr kurz, es wurden nur 51,7 l Kondensat abgeschieden, weshalb dieser Versuchsdurchgang nicht extra besprochen wird.

Trocknung vom 12.8. bis 21.8., 3. Schnitt 2011

Die Anlage wurde am 12.08. um 15 Uhr für die Trocknung des 3. Schnittes eingeschaltet. Aufgrund des Schönwetters lief der Dachabsaugungsmodus mit 30°C und unter 50 % relativer Luftfeuchte in der Lüfterkammer. Der Entfeuchter wurde erst am nächsten Tag um 15:30 Uhr eingeschaltet. Die erste Kondensatabscheidung am Entfeuchter wurde am 13.08. um 16:07 Uhr nach einer halben Stunde Entfeuchterlaufzeit während der Dachabsaugungsphase registriert. Die Umschaltung erfolgte bei 23°C Außentemperatur mit rund 80 % relativer Luftfeuchte. Bei bedecktem Himmel und leichtem Regen erfolgte anfangs nahezu keine Anwärmung der Dachfläche. Die Trocknungsluft hatte nahezu Außenluftzustand bis zum Betriebsbeginn des Entfeuchters. Die Kondensationsleistung während der nächtlichen Umluftphase betrug durchschnittlich 0,8 l/min (1,6 g/m³). Die Temperaturdifferenz vor dem Entfeuchter zur Lüfterkammer betrug im Mittel 6,8°C.

Bei diesem Versuchsdurchgang kam es zu mehrmaligen Betriebsausfällen aufgrund des gleichzeitigen Betriebes der Entfeuchteranlage und des freigegebenen Ventilators und damit zu einer Überlastung der mit 50 A abgesicherten Stromversorgung.

Versuchsdurchgänge im Jahr 2012

Die Versuchsdurchgänge aus dem Jahr 2012 beziehen sich auf zwei erste Schnitte (19.-21. und 25.-30. Mai auf der Warmlufttrocknung), einem zweiten (29.-30. Juni) und einem vierten Schnitt (17.-21. September). Der dritte Schnitt konnte aufgrund einer Überschwemmung nicht geerntet werden. Das stark verschmutzte Futter wurde gemäht und abtransportiert.

Beim ersten Schnitt und der Trocknung vom 19. bis zum 21. Mai herrschten optimale Trocknungsbedingungen, sodass mit der Trocknung bereits um 14:30 Uhr begonnen werden konnte. Über Nacht wurde keine Kondensatbildung gemessen und am 20. Mai wurde die Anlage um 18:00 Uhr auf Nachlüften für den kommenden Tag, den 21.5. umgestellt.

Der zweite Durchgang, ebenfalls ein 2. Schnitt auf einer Praxisfläche, wurde am 26.5. in die Trocknungsanlage eingefahren und diese um 15:30 Uhr in Betrieb genommen. Am zweiten Tag (27. Mai) wurde die Luft über die Dachabsaugung angewärmt und erreichte Einblastemperaturen von über 30°C. Nachtsüber wurden über den Luftentfeuchter im Umluftbetrieb durchschnittlich 0,55 l/min (33 l/h) an Kondensat gebildet. Am 28.5. wurde an der Anlage sogar eine Wasserabscheidung von 0,7 l/min gemessen.

Der zweite Schnitt - Einlagerung am 29. Juni, Beginn um 15:00 Uhr - wurde am nächsten Tag nur bis 21:00 Uhr durchgehend belüftet. Über Nacht wurden nur 25 - 35 l/h an Wasser abgesondert. Allerdings wurde bis zum 5. Juli noch auf Nachlüften gearbeitet.

Der vierte Schnitt wurde am 17. September eingelagert und bis zum 21.9. belüftet. Vom 17. auf den 18. September wurden über Nacht 0,8 l/min (48 l/h) entfeuchtet. Höchstwerte von 60 l/min wurden vereinzelt ebenfalls gemessen.

Bröckelverluste

In der *Tabelle 7* sind die Bröckel- und Rechverluste aus allen drei Versuchsjahren (2010 bis 2012) zusammengefasst. Die Erntebedingungen waren bis auf einen Termin (3. Schnitt 2011) für alle Varianten optimal. Die für die Bröckelverluste wichtige Zettarbeit wurde in fast allen Fällen ebenfalls nach den erforderlichen Empfehlungen durchgeführt - nur so oft wie unbedingt notwendig mit einer hohen Drehzahl an der Zapfwelle beim Breitstreuen (470 bis 500 U/min) sowie einer geringen Drehzahl beim Wenden (380 U/min).

Vergleicht man die Dürrfüttervarianten mit der Silage, bleibt die Warmbelüftungsvariante (solarunterstützte Entfeuchtertrocknung) mit durchschnittlich nur 42 kg TM/ha und Schnitt an höheren Bröckelverlusten nur knapp dahinter, während es bei dem für die Kaltbelüftung geernteten Heu bereits 118 kg und im Vergleich zum Bodenheu bereits 232 kg TM/ha und Schnitt mehr Bröckelverluste sind. Stellt man den selben Vergleich innerhalb der Heutrocknungsverfahren an, dann bleiben bei der Variante Kaltbelüftung um 76 kg und bei der Bodenheuvariante um 190 kg TM/ha im Vergleich zur Entfeuchterheuvariante mehr an feinen Futterteilen am Feld liegen. Setzt man den Wert der Feinteile annähernd dem Kraftfutter gleich und berechnet daraus das Milchbildungspotenzial, dann unterscheidet sich die Entfeuchterheuvariante von der Bodenheuvariante um 1.520 l Milch, die pro Hektar und Jahr mehr am Feld liegen bleiben (190 x 2l/kg TM x 4 Schnitte).

Tabelle 7: Bröckel- und Rechverluste auf einer Dauerwiese in kg TM/ha und Schnitt, Mittelwert aus den Jahren 2010 bis 2012, Heuprojekt LFZ Raumberg-Gumpenstein

Konservierungsverfahren	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt	Mittelwert
Silage	160	169	127	162	154
Heu Entfeuchtertrocknung	234	204	155	191	196
Heu Kaltbelüftung	292	264	258	273	272
Heu Bodentrocknung	383	383	n.a.	392	386

n.a. = nicht auswertbar / fehlende Daten

Energieverbrauch und Kosten der Verfahren

Energieverbrauch

In der *Tabelle 8* für das Versuchsjahr 2011 und *Tabelle 9* für das Versuchsjahr 2012 sind die wichtigsten Daten zur Berechnung der Energiekosten aufgelistet. Das Versuchsjahr 2010 wurde aufgrund der technischen Schwierigkeiten und fehlenden Datensätze nicht in diese Auswertung mit aufgenommen. Interessant und nicht ganz erklärbar ist die Tatsache, dass bei der Kaltbelüftung sowohl absolut, als auch relativ (spezifischer Energiebedarf in W/kg Wasserverdunstung) günstigere Abtrocknungsbedingungen gemessen wurden als bei der Warmbelüftung. Nur beim vierten Schnitt 2011 und beim ersten Schnitt 2012 war der spezifische Energiebedarf in W/kg abzutrocknenden Wassers bei der Entfeuchterheuvariante günstiger als bei der Kaltbelüftungsvariante.

Umgelegt auf die Energiekosten pro kg Heu schnitt die Kaltbelüftung mit Werten von 0,4 bis 2,4 Cent am günstigsten ab. Die Energiekosten für die solarunterstützte Entfeuchtertrocknung lagen hingegen zwischen 1,4 und Heu (kalkuliert mit 15 Cent/kWh).

Tabelle 8: Heudaten (Mengen, TM-Gehaltswerte und Energieverbrauchsdaten) der Schnitte im Jahr 2011, Heuprojekt LFZ Raumberg-Gumpenstein

Schnitt		1. Schnitt		2. Schnitt		3. Schnitt		4. Schnitt	
Ausgangsdaten	Einheit	Entf.	Kaltbel.	Entf.	Kaltbel.	Entf.	Kaltbel.	Entf.	Kaltbel.
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. Wasser	W/kg	529	273	356	156	400	189	586	771
Energiekosten (15 Cent/kWh)									
pro kg TM	Cent	5,0	1,5	1,6	0,4	4,3	1,0	2,9	2,8
pro kg Heu	Cent	4,5	1,3	1,4	0,4	3,8	0,8	2,5	2,4

Tabelle 9: Heudaten (Mengen, TM-Gehaltswerte und Energieverbrauchsdaten) der Schnitte im Jahr 2012, Heuprojekt LFZ Raumberg-Gumpenstein

Schnitt		1. Schnitt		2. Schnitt		4. Schnitt		
Ausgangsdaten	Einheit	Entf.	Kaltbel.	Entf.	Entf.	Kaltbel.	Entf.	Kaltbel.
Datum Einfuhr		19.5.	19.5.	26.5.	29.6.	29.6.	17.9.	18.9.
Einfuhr FM	kg	13.230	4.145	38.830	18.805	9.850	14.120	6.080
TM	%	56,6	66,1	60,2	62,4	75,9	65,2	72,8
TM i.d. Box	kg	7.491	2.739	23.358	11.727	7.475	9.208	4.427
Heugewicht i.d. Box	kg	8.465	3.095	26.395	13.251	8.447	10.405	5.002
Wasser abzutrocknen	kg	4.765	997	12.435	5.554	1.258	3.715	992
Energieverbrauch								
pro Tonne TM	kWh	87	66	146	140	25	306	111
pro Tonne Heu	kWh	77	57	129	124	22	271	97
spez.Energiebed. Wasser	W/kg	137	180	275	297	149	758	497
Energiekosten (15 Cent/kWh)								
pro kg TM	Cent	1,6	1,2	2,6	2,5	0,5	5,5	2,0
pro kg Heu	Cent	1,4	1,0	2,3	2,2	0,4	4,9	1,7

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

Kosten

In *Tabelle 10* werden die beiden Unterdachtrocknungsverfahren, Kaltbelüftung und Warmbelüftung (solarunterstützte Entfeuchtertrocknung) hinsichtlich der Kosten (fixe und variable Kosten) miteinander verglichen. Die Investitionskosten stammen aus Kostenschätzungen und -vergleichen aus vergleichbaren 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 Heubergerverfahren zu tragen wären.

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

Tabelle 10: Kostenvergleich der Heutrocknungsverfahren

Investitionen	Einheit	Warmbelüftung	Kaltbelüftung	Anmerkungen
Ventilator - Investition	€	10.000	7.000	Warmbelüftung mit FU
Jährliche Belastung	€	665	949	ND 15 Jahre, 4%
Heubox, Rost, Kanäle - Investition	€	15.000	15.000	100 m ² Stockfläche, in Eigenleistung
Jährliche Belastung	€	942	942	ND 30 Jahre, 4%
Kollektor - Investition	€	10.000		250 m ² , in Eigenleistung
Jährliche Belastung	€	628		ND 30 Jahre, 4%
Entfeuchter - Investition	€	30.000		inkl. Steuerung
Jährliche Belastung	€	2.848		ND 15 Jahre, 4%
Summe Fixkosten/a	€	6.317	1.607	
Heuverbrauch/a	kg	146.900	146.900	20 ha Betrieb, 6.500 kg
TM Ertrag/ha.a				
Trocknungsmenge/a	kg	96.954	96.954	davon 2/3 Dürrfutter
Fixkosten/kg Heu	Cent	5,50	1,70	
Energieverbrauch	kWh	10	8	pro 100 kg Heu
Variable Kosten/kg Heu	Cent	1,50	1,20	15 Cent/kWh
Gesamtkosten	Cent	7,00	2,90	pro kg Heu

diese bei größeren Betriebseinheiten auch deutlich sinken. In jedem Fall ist jedoch bei Anlagen mit Luftanwärmung von durchschnittlich 5 Cent Mehrkosten (gesamt) pro kg Heu auszugehen. Bei der Berechnung der variablen Kosten wurde für den Stromverbrauch ein Durchschnittswert aus den Versuchsaufzeichnungen herangezogen - 8 kWh pro 100 kg Heu für die Variante Kaltbelüftung und 10 kWh pro 100 kg Heu für die Warmbelüftung (solarunterstützte Entfeuchtertrocknung). Diese Werte decken sich mit älteren Literaturangaben bzw. liegen leicht darunter (Hilfiker, 1989; Laville-Studer, 1990). In dieser Berechnung ist allerdings der zu erwartende höhere Futterwert bzw. die geringeren Bröckelverluste, vor allem im Vergleich zur Bodentrocknungsvariante noch nicht enthalten. Für die entfallenen Feldarbeitszeiten - bei der Kaltbelüftung entfällt im Durchschnitt ein Zettvorgang, bei der solarunterstützten Entfeuchtertrocknung entfallen im Durchschnitt zwei Zettvorgänge, im Vergleich zur Bodentrocknung - können rund 0,8 Cent/kg Heu gegen gerechnet werden.

Literatur

- Formayer, H., Weber, A., Eckhardt, S., Volk, G., Boxberger, J., Krompkolb, H., 2000: Endbericht zum Projekt „Ermittlung der verfügbaren Feldarbeitstage für die Landwirtschaft in Österreich“. BMLFUW, Wien.
- Gruber, L., Resch, R., 2009: Mineralstoffversorgung von Milchkühen aus dem Grund- und Kraftfutter - Modellrechnungen auf Basis aktueller Analysen und Fütterungsempfehlungen. In: 36. Viehwirtschaftliche Fachtagung. Bericht LFZ Raumberg-Gumpenstein, 16.-17. April 2009, 41-75.
- 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. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, A-8952 Irdning.
- Resch, R., 2007: Neue Futterwerttabellen für den Alpenraum. In: 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung. Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 19.-20. April 2007, 61-75.
- 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.
- Wirleitner, G., Galler, J., Nydegger, F., Pöllinger, A., Van Caenegem, L., Weingartmann, H., Wittmann, H., 2009: Qualitätsheu durch einfache und kostengünstige Heubelüftung. ÖAG Sonderbeilage, Info 3/2009, Geschäftsstelle: LFZ Raumberg-Gumpenstein, 8952 Irdning.

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 Scheitholzbefeuerung 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 Mehrertrag 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 Mähschwad 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 Schwadearbeit 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.

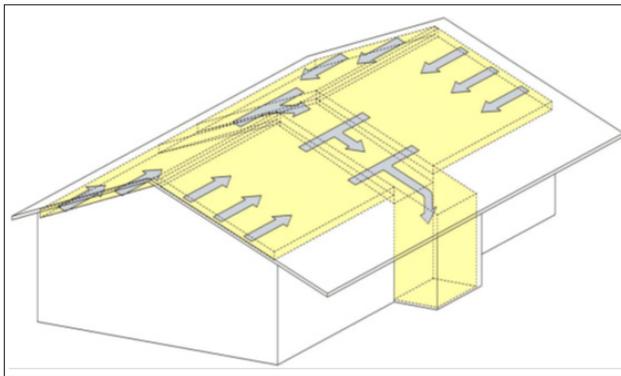


Abbildung 1: Solarkollektor: Pfettendach mit vier Kollektorfeldern auf zwei Dachflanken mit mittig angeordnetem Sammelkanal (Systemskizze der Agroscope Reckenholz-Tänikon ART)

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

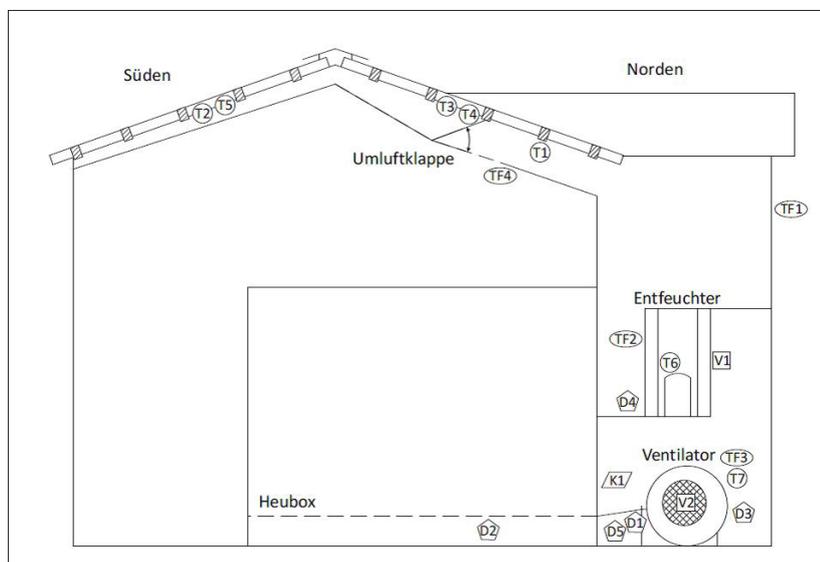


Abbildung 2: Messstellenplan der EH-Anlage (SATTLER 2012)

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 Mähen 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-

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 Modell 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:

Modell 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.

Modell 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

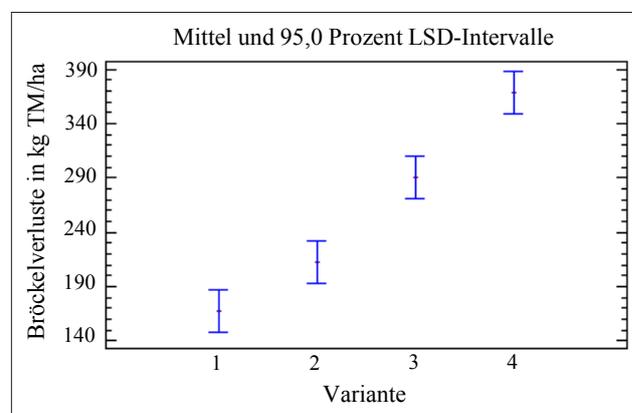


Abbildung 3: Graphische Darstellung der Bröckelverluste der unterschiedlichen Konservierungs-Varianten (1=Silage, 2=Entfeuchterheu, 3=Kaltbelüftungsheu, 4=Bodenheu) beim 1. und 4. Schnitt in den Jahren 2010 bis 2012, Modell A

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

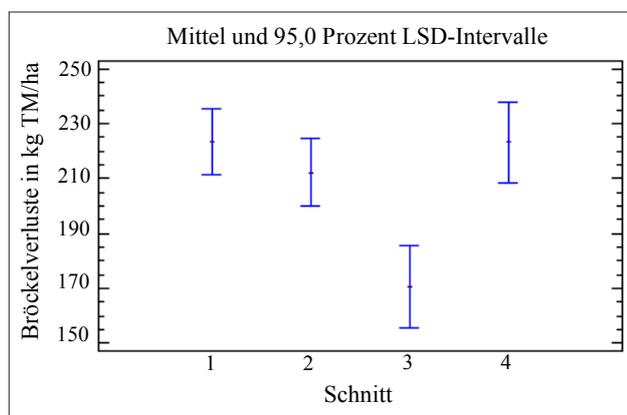


Abbildung 4: Graphische Darstellung der Bröckelverluste bei den unterschiedlichen Schnitten in den Jahren 2010 bis 2012, Modell B

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	
		EH	KH	EH	KH	EH	KH	EH	KH
Ausgangsdaten									
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	
		EH	KH	EH	KH	EH	KH
Ausgangsdaten							
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.

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.

Auswirkungen unterschiedlicher Trocknungsverfahren auf die Raufutterqualität

Impact of different drying techniques on hay quality

Reinhard Resch^{1*}

Zusammenfassung

Am LFZ Raumberg-Gumpenstein wurde in den Jahren 2010 bis 2012 ein Systemvergleich zwischen drei unterschiedlichen Heutrocknungsverfahren, nämlich Bodentrocknung, Kaltbelüftung und Luftentfeuchter-trocknung, durchgeführt.

Die Ergebnisse der chemischen und organoleptischen Untersuchungen zeigten, dass die Heubelüftungsverfahren qualitative Vorteile, insbesondere bei Rohprotein, β -Carotin, der OM-Verdaulichkeit und Futterenergie (ME und NEL) sowie bei den sensorischen Parametern Geruch, Farbe und Staubigkeit gegenüber der Bodentrocknung von Heu brachten. Unter den Bedingungen der insgesamt 11 Einzelversuche schnitt die Luftentfeuchter-trocknung in 5 Fällen besser ab als die Kaltbelüftung und in 9 Fällen besser als die Bodentrocknung. Technische Störungen wirkten sich bei Luftentfeuchter-trocknung in 4 Fällen negativ auf die Heuqualität aus. Während der Lagerung kam es in allen Trocknungsvarianten zu nicht unerheblichen Qualitätsverlusten an β -Carotin, OM-Verdaulichkeit und Futterenergie, wobei die Einbußen bei der Variante Bodentrocknung höher waren als bei Kaltbelüftung oder Luftentfeuchter-trocknung.

Schlagwörter: Heuqualität, Raufutterqualität, Heubelüftung, Unterdach-trocknung, Qualitätsverluste

Abstract

In the years 2010 to 2012 a comparison of three different hay-drying-techniques was carried out at AREC Raumberg-Gumpenstein. The treatments „traditionell field drying“, „cold air drying“ and „dehumidification technique“ were tested with forage of permanent grass-land, cut four times per year.

The results of chemical and organoleptic analysis showed advantages of the two ventilation drying treatments in terms of hay quality compared with field drying, especially for crude protein, β -carotene, digestibility of organic matter and energy concentration but also for sensoric parameters like smell, colour and dust. In 5 of 11 trials the dehumidification technique significantly resulted in better hay quality than ventilation drying with cold air and in 9 cases better results could be achieved than by field drying. Technical disfunctions of the dehumidification technique caused negative effects on hay quality in 4 cases. During storage of hay quality losses concerning β -carotene, digestibility of organic matter and energy concentration occurred in all treatments, but were highest in the case of traditional field drying.

Keywords: hay quality, roughage quality, ventilation drying, quality losses

Einleitung

Bedingt durch die Topographie im benachteiligten Gebiet und regionale Konzentration von Schnittkäseerzeugung haben sich in Österreich Gebiete erhalten, wo fast ausschließlich „Heumilch“ produziert wird. Die Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Heumilchbauern trug mit einem qualitätsorientiertes Marketingkonzept dazu bei die Heuwirtschaft wieder attraktiver zu machen. Der erfolgreiche Verkauf von Heumilchprodukten im In- und Ausland sind hierfür eine Bestätigung. In Abhängigkeit der Preiserhöhung von Protein- und Energiekraftfutter verspüren Heumilchbetriebe in den letzten Jahren genauso wie Gärfutterbetriebe einen gewissen Druck die Qualität des eigenen Grundfutters zu verbessern. Laut STOCKINGER (2009) stehen 24 % der Gewinnreserven in der Milchproduktion in Zusammenhang mit Grundfutter und dessen Qualität. Die Sicherstellung der Qualität des wirtschaftseigenen Grünlandfutters, als Fundament einer

wirtschaftlich erfolgreichen Milchproduktion, wird daher für Heubauern zunehmend wichtig.

Der überwiegende Teil des konservierten Raufutters stammt in Österreich aus Dauergrünlandflächen, die je nach Bewirtschaftungsintensität 1 bis 4 mal (max. 6 mal im Vorarlberger Rheintal) jährlich gemäht werden. Heu wird vom Niederungsgrünland auf 400 m bis zum alpinen Grünland der Bergmäher auf über 2.000 m Seehöhe erzeugt. Österreichische Projektstudien der letzten fünf Jahre (RESCH 2013) ergaben, dass sich die Betriebe der Heuproduzenten im Durchschnitt auf rund 850 m Seehöhe befanden.

Die traditionelle Bodentrocknung von Grünlandfutter nutzt ausschließlich die Sonnenenergie zur Futtertrocknung. Dieses Verfahren braucht die längste Feldphase für die Vortrocknung und trägt daher das größte Wetterrisiko. Trockenmassegehalte von ca. 800 g/kg FM bei der Ernte erhöhen einerseits die Wahrscheinlichkeit von Qualitätsverlusten durch Abbröckelung der Blattmasse (RESCH et al. 2009)

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

* Ansprechpartner: Ing. Reinhard Resch, email: reinhard.resch@raumberg-gumpenstein.at

und andererseits das Risiko einer massiven Entwicklung der vorhandenen epiphytischen Mikroflora (ADLER 2002) im feuchten Erntegut.

Unterdachtrocknungen ermöglichen in Abhängigkeit vom Verfahren eine Futterernte mit höheren Wassergehalten. Der Vorteil dieser Technik ist einerseits die Verkürzung der Feldphase und damit die Reduktion des Wetterrisikos und andererseits bröckelt die qualitativ wertvolle Blattmasse bei feuchterem Erntegut nicht so leicht ab.

Mit Zunahme des Wassergehaltes im Futter steigt die Herausforderung für die verschiedenen Unterdachtrocknungsverfahren, weil mehr Wasser aus dem Erntegut in kurzer Zeit herausgetrocknet werden muss, um einen massiven mikrobiologischen Verderb zu verhindern. Physikalische Eigenschaften des Futters und anlagentechnische Auslegungen erfordern vom Landwirt technisches Verständnis und Feingefühl in der Anlagenbedienung, ansonsten verursacht die Trocknung hohe Kosten und bringt nicht den optimalen Erfolg.

Kaltbelüftungen haben nur einen eingeschränkten Trocknungseffekt. Insbesondere bei kühlen Temperaturen oder hohen Luftfeuchtigkeiten ist die Wasseraufnahme der Luft sehr gering und das reduziert die Effektivität der Heutrocknung (NYDEGGER et al. 2009). Belüftung mit Kaltluft hat Grenzen im Hinblick auf den Wassergehalt des Futters.

Trocknungsverfahren mit Luftanwärmung oder Luftentfeuchtung können auch bei ungünstigen Lufttemperaturen bzw. -feuchtigkeiten entsprechende Wassermengen aus dem Futter abführen (GINDL 2002). Mit entsprechendem Energieeinsatz könnte mit derartigen Verfahren auch frisches Grünfutter getrocknet werden, allerdings steigen hier die Kosten stark über ein wirtschaftliches Maß hinaus.

In den vergangenen Jahrzehnten wurde im Grundfutterbereich hauptsächlich die Silagekonservierung beforscht, Raufutter wurde vernachlässigt. Wissen über die Qualität von Raufutter, das auf der Basis von exakten Versuchsbedingungen ermittelt wurde, ist in Österreich speziell im Zusammenhang mit modernen Trocknungsverfahren, wie z.B. Luftentfeuchtungstrocknung, nicht vorhanden. Experimentelle Systemvergleiche unter gleichen Bedingungen sind notwendig, um exakte Aussagen für die Praxis hinsichtlich mengen- und qualitätsmäßiger Feld- bzw. Verfahrensverluste bei der Konservierung und Lagerung untersuchen zu können. Hier besteht in der landwirtschaftlichen Praxis großer Wissensbedarf.

Fragestellung

Das Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft (LFZ) Raumberg-Gumpenstein hat insbesondere seit 2007 mit mehreren Projekten einen Schwerpunkt zur Heuqualität gesetzt. Mit dem Projekt „Heutrocknung“ wurden exakte Versuchsbedingungen definiert, um praxisorientierte Aussagen über die Effekte unterschiedlicher Heutrocknungsverfahren treffen zu können. Der interdisziplinäre Ansatz des Projektes verfolgte: Technische Fragen zu Heutrocknungsverfahren und Feldverlustmessung, qualitative Veränderungen im Konservierungsprozess, Veränderungen in der Futterhygiene, Futteraufnahme, tierische Leistungen und Produktqualität sowie Kosten-/Nutzenuntersuchungen der Konservierungsverfahren. In der nachstehenden Arbeit wurden Untersuchungen in

punkto Veränderungen der Heuqualität vom Erntegut bis zur Futtervorlage durchgeführt.

Material und Methoden

Am LFZ Raumberg-Gumpenstein wurde der Systemvergleich zwischen drei Trocknungsverfahren für Raufutter (Bodentrocknung ohne Belüftung, Kaltbelüftung, Luftentfeuchtungstrocknung) und Grassilage (System Rundballensilage) über drei Jahre (2010 bis 2012) und vier unterschiedliche Grünlandaufwüchse (1. bis 4.) angestellt. Die prozessorientierte Fragestellung inkludierte darüber hinaus den Faktor Lagerungsphase, um qualitative Veränderungen vom Feld bis auf den Futtertisch abbilden zu können.

Das Ausgangsmaterial, die 12 ha große „Stainacherwiese“, war ein Dauerwiesen-Mischbestand mit einem durchschnittlichen Artengruppenverhältnis von 57 % Gräsern, 21 % Leguminosen und 22 % Kräutern im 1. Aufwuchs. In den Folgeaufwüchsen verschob sich das Verhältnis auf 51 % Gräser, 24 % Leguminosen und 25 % Kräuter. Im Versuchsjahr 2012 wurden anstatt vier nur drei Aufwüchse geerntet, weil der 2. Aufwuchs aufgrund einer Überflutung der Wiesenfläche und starker Futterschmutzung entsorgt werden musste. Die Mahd der Versuchsfläche wurde im Jahr 2010 ohne Mähauflbereitung, in den Folgejahren 2011 und 2012 mit Knickzetter-Aufbereitung durchgeführt. Futterbearbeitung (Zetten, Schwaden) und Einfuhr des Erntegutes (Ladewagen) wurde in den drei Versuchsjahren und bei allen Aufwüchsen mit den gleichen Maschinen erledigt.

Futteranalysen

Die Probeziehung erfolgte bei der Einfuhr des Ernteguts von mindestens zwei Ladewagen durch mindestens 20 zufällig verteilte Einstiche mittels Stechzylinder (Innendurchmesser 5 cm). In der Lagerungsphase wurden die Heuproben vom Heustock ebenfalls an unterschiedlichen Stellen (mindestens 20 Einstiche) bis in einer Tiefe von 150 cm gezogen. Der dynamische Beprobungsraster war: Einfuhr, nach 7, 14, 30 und nach 60 Tagen sowie vor Fütterungsbeginn. Die gesamte Probenmenge wurde entsprechend dem Mengenbedarf für die Analyse auf folgende Labors aufgeteilt: LFZ Raumberg-Gumpenstein, Futtermittellabor Rosenau, AGES Linz.

Die gravimetrische Bestimmung der absoluten Trockenmasse erfolgte nach Einwaage von 100 g Probe mittels 24 stündiger Ofentrocknung bei 105°C. Für die Wertanalyse wurden mindestens 300 g Probenmaterial bei 50°C über etwa 48 Stunden im Trockenschrank getrocknet. Der durchschnittliche Vermahlungsgrad betrug 1,0 mm. Die chemischen Analysen von Inhaltsstoffen (Weender, Gerüstsubstanzen, HCl-unlösliche Asche) und Mineralstoffen (Mengen- und Spurenelemente) erfolgten mit klassischen Verfahren im Laboratorium des LFZ Raumberg-Gumpenstein nach VD-LUFA-Methodenbuch. Die Verdaulichkeit der organischen Masse wurde mit der *in vitro*-Zweistufenmethode (TILLEY und TERRY 1963) modifiziert durch RESCH (2004) untersucht. Futterenergiewerte wie Umsetzbare Energie (ME) und Nettoenergie-Laktation (NEL) wurden über Regressionskoeffizienten, basierend auf den DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer (1997), berechnet. Für die Bestimmung der wasserlöslichen Kohlenhydrate (Zucker) und Carotin wurde Probenmaterial gefriergetrocknet und ebenfalls auf 1 mm Korngröße gemahlen. Die Zucker- und Carotinanalyse

wurde im Futtermittellabor Rosenau (LK Niederösterreich) in Wieselburg durchgeführt. Organoleptische Bewertungen (Geruch, Farbe, Gefüge und Verunreinigung) erfolgten am frisch beprobten Material mit der ÖAG-Sinnenprüfung nach BUCHGRABER (1999).

Statistische Auswertung

Die Daten des Heuprojektes wurden in einer MS-Access Datenbank erfasst und für die weitere Verarbeitung auf Richtigkeit und Plausibilität kontrolliert. Die deskriptiven Analysen wurden mit Hilfe des Programmes SPSS (Version 21), die mehrfaktoriellen GLM-Analysen mit STATGRAPHICS Centurion XV (Version 15.2.14) durchgeführt. In der Gestaltung des Projektes „Heutrocknung“ wurde Wert darauf gelegt die Ergebnisse statistisch aussagekräftig auswerten zu können (Haupteffekte und Interaktionen). Das Versuchsdesign des Projektes „Heutrocknung“ ermöglichte eine mehrfaktorielle Auswertung der Daten unter Berücksichtigung der Faktoren Jahr, Aufwuchs, Trocknungsverfahren und Lagerungsdauer. Weiters wurde für jeden Qualitätsparameter eine Varianzkomponenten-Analyse durchgeführt. Das Ziel einer derartigen Analyse besteht darin, den Variabilitätsanteil zu schätzen, der jedem Faktor zuzuordnen ist (sogenannte Varianzkomponenten). In den nachstehenden Auswertungen wurde die Variante Grassilage nicht berücksichtigt. Aus der Vielzahl an Ergebnissen wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit in erster Linie statistische Effekte und Mittelwerte herausgearbeitet. In den nachstehenden Mittelwert-Tabellen wurden nur dann Signifikanz-Indizes angeführt, wenn Effekte in den P-Werten erkennbar waren. Ausgewählte grafisch aufbereitete Erkenntnisse sollen darüber hinaus markante Unterschiede, insbesondere hinsichtlich Heutrocknungsverfahren vermitteln.

Ergebnisse und Diskussion

Für die Einstufung von Raufutter-Qualitäten sind Konzentrationen von Inhalts- und Mineralstoffen im Futter sowie die Verwertbarkeit dieser Stoffe vom Nutztier aussagekräftig. Darüber hinaus sind Zucker, Vitamine und der hygienische Zustand von Heu ebenfalls sehr wichtige Qualitätsparameter. Die raufutterverzehrenden Nutztiere geben je nach Leistungsniveau die Maßstäbe für die Qualität vor.

Die nachstehenden Ergebnisse des Systemvergleichs von drei Heutrocknungsverfahren beziehen sich auf insgesamt 11 exakte Einzelversuche (4+4+3 Aufwüchse).

Tabelle 1: Haupt- und Wechselwirkungseffekte von Jahr, Aufwuchs, Trocknungsverfahren und Lagerungsdauer auf unterschiedliche Inhaltsstoffe von Raufutter (P-Werte und R²)

Faktor	TM	XP	XF	NDF	ADF	ADL	NFC	XZ	XL	XA	Sand	Carotin
Jahr (J)	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Aufwuchs (A)	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Trocknungsverfahren (T)	0,106	0,042	0,914	0,527	0,647	0,388	0,884	0,187	0,257	0,952	0,532	0,000
Lagerungsdauer (L)	0,000	0,015	0,554	0,143	0,690	0,850	0,094	0,625	0,000	0,817	0,987	0,000
T × J	0,354	0,552	0,621	0,949	0,632	0,728	0,948	0,044	0,994	0,778	0,586	0,000
T × A	0,142	0,820	0,797	0,710	0,857	0,004	0,849	0,022	0,165	0,950	0,944	0,051
T × L	0,000	0,547	0,858	0,740	0,977	0,281	0,978	0,853	0,725	0,994	0,999	0,389
L × J	0,004	0,498	0,834	0,273	0,951	0,308	0,352	0,997	0,000	0,921	0,958	0,002
L × A	0,982	0,057	0,967	0,592	0,877	0,438	0,665	0,991	0,064	0,992	0,985	0,002
R ²	0,865	0,832	0,572	0,627	0,537	0,716	0,469	0,767	0,769	0,624	0,598	0,891

P-Werte bezogen auf Konfidenzlevel 95 % (Methode LSD)

Inhaltsstoffe von Raufutter

Von zentraler Bedeutung in der Heukonservierung ist die rasche Erhöhung des Trockenmassegehaltes auf ein Niveau über 870 g/kg FM (NYDEGGER et al. 2009), um eine Lagerstabilität zu gewährleisten. MEISSER und WYSS (1999) fordern eine Mindest-TM bei Heu von 850 g/kg FM. Die Schwierigkeit der Produktion von Qualitätsheu fängt bereits am Feld mit der Empfindlichkeit der wertvollen Blattmasse hinsichtlich Abbröckelung an. Je höher der TM-Gehalt der Blätter ansteigt, umso leichter werden die Blattspreiten durch mechanische Bearbeitung (Zetten, Schwaden, Ernte) zerstört und gelangen nicht auf das Futterlager sondern verbleiben als Verlustmasse auf dem Feld liegen. Buchgraber und GINDL (2004) gehen bei durchschnittlichen Bedingungen von 10-20 % Bröckelverlusten aus, HÖHN (1986) von TM-Verlusten in der Größenordnung von 300 bis 700 kg TM/ha in Abhängigkeit vom Pflanzenbestand. Bei einem Vergleich von Schwadverfahren und der Gegenüberstellung von zwei unterschiedlichen Bröckelverlustmessungstechniken brachten SAUTER et al. (2012) Streuungen zwischen 100 und 290 kg TM-Verluste/ha heraus.

Die mehrfaktorielle Auswertung zeigte, dass der Faktor Aufwuchs auf alle Inhaltsstoffe einen hoch signifikanten Einfluss ausübte (P-Werte in *Tabelle 1* kleiner 0,01). Laut Varianzkomponenten-Schätzung hatte der Aufwuchs den größten Effekt auf Rohprotein, Natrium und Kupfer. Mit jedem Aufwuchs stieg der Proteingehalt (121,1 auf 171,9 g/kg TM) und sank der Gehalt an Rohfaser (251,4 auf 195,5 g/kg TM). Die strukturierten Kohlenhydrate (NDF, ADF, ADL) verhielten sich mit jedem Aufwuchs nicht so linear wie die Rohfaser (*Tabelle 2*). Der 1. Aufwuchs enthielt im Durchschnitt die höchsten Zuckeranteile (154,4 g/kg TM), der 3. Aufwuchs mit 120,7 g die geringsten. Der 4. Aufwuchs besaß mit Abstand die höchsten durchschnittlichen β -Carotingehalte (117,6 mg/kg TM). Mit jedem Aufwuchs nahm der Rohaschegehalt zu (75,1 auf 109,3 g/kg TM). Genauso verhielt es sich mit dem Sandanteil (HCl-unlösliche Asche). Interessant ist, dass die Sandwerte beim 3. und 4. Aufwuchs die 20 Gramm-Marke deutlich überschritten. Nach RESCH (2013) ist dieser Umstand, genauso wie Eisenwerte über 800 mg/kg TM ein Hinweis auf Futtermittelverschmutzung mit Erde.

Für den Faktor Jahr waren mit Ausnahme der Trockenmasse nur hoch signifikante Effekte zu beobachten (*Tabelle 1*). Eine Analyse der Varianzkomponenten wies für ~70 % der Parameter den Faktor Jahr als die größte Einflussquelle

Tabelle 2: Auswirkung von Jahr, Aufwuchs, Trocknungsverfahren und Lagerungsdauer auf unterschiedliche Inhaltsstoffe von Raufutter

Faktor	Anzahl	TM	XP	XF	NDF	ADF	ADL	NFC	XZ	XL	XA	Sand	Carotin
Gesamt	198	845,5	142,9	233,3	474,3	275,8	35,9	272,1	137,0	20,8	89,9	24,6	88,3
Jahr													
2010	72	853,2 ^b	149,9 ^c	238,0 ^b	469,6 ^b	277,3 ^b	37,6 ^b	272,7 ^b	119,9 ^a	18,3 ^a	89,4 ^b	22,3 ^a	51,2 ^a
2011	72	837,3 ^a	142,2 ^b	240,0 ^b	497,8 ^c	292,1 ^c	43,9 ^c	256,0 ^a	129,8 ^b	20,0 ^b	84,0 ^a	21,5 ^a	133,8 ^c
2012	54	846,1 ^{ab}	136,7 ^a	221,8 ^a	455,3 ^a	258,1 ^a	26,3 ^a	287,6 ^c	161,4 ^c	24,2 ^c	96,2 ^c	30,1 ^b	80,0 ^b
Aufwuchs													
1	54	846,9 ^a	121,1 ^a	251,4 ^c	504,1 ^c	285,4 ^b	37,2 ^b	283,4 ^b	154,4 ^d	19,9 ^a	71,5 ^a	12,8 ^a	73,5 ^a
2	54	860,5 ^b	134,0 ^b	247,1 ^{bc}	483,5 ^b	290,4 ^b	35,6 ^b	278,9 ^b	127,6 ^b	21,3 ^b	82,3 ^b	16,4 ^a	84,4 ^b
3	54	840,0 ^a	144,7 ^c	239,1 ^b	491,2 ^b	293,9 ^b	39,7 ^c	247,1 ^a	120,7 ^a	20,6 ^b	96,4 ^c	31,2 ^b	77,9 ^{ab}
4	36	834,7 ^a	171,9 ^d	195,5 ^a	418,2 ^a	233,7 ^a	31,2 ^a	279,2 ^b	145,5 ^c	21,4 ^b	109,3 ^d	38,1 ^c	117,6 ^c
Variante													
Bodentrocknung	66	839,4	140,5 ^a	233,1	477,9	278,5	35,6	270,8	134,6	20,5	90,3	25,7	71,5 ^a
Kaltbelüftung	66	852,0	142,8 ^{ab}	234,2	473,4	274,3	35,4	273,4	139,4	20,8	89,5	24,6	97,1 ^b
Entfeuchter	66	845,2	145,4 ^b	232,5	471,5	274,7	36,7	272,1	137,1	21,1	89,9	23,6	96,4 ^b
Lagerungsdauer													
0 (Einfuhr)	33	717,9 ^a	145,1 ^c	230,2	463,7	269,3	34,7	281,5	140,8	20,6 ^a	89,1	24,4	102,2 ^d
nach 7 Tagen	33	874,5 ^b	138,8 ^a	235,7	472,8	276,0	36,5	280,1	137,0	20,4 ^a	87,9	23,8	100,6 ^{cd}
nach 14 Tagen	33	866,6 ^b	139,5 ^{ab}	237,2	486,6	281,3	35,9	264,7	137,6	20,1 ^a	89,0	24,3	96,4 ^{cd}
nach 30 Tagen	33	874,3 ^b	142,5 ^{abc}	235,0	474,4	276,7	36,5	272,8	136,7	20,4 ^a	89,8	24,8	92,1 ^c
nach 60 Tagen	33	875,4 ^b	144,3 ^{bc}	233,5	476,7	275,4	36,0	267,5	134,2	20,2 ^a	91,3	25,7	75,2 ^b
Fütterung	33	864,4 ^b	147,3 ^c	228,1	471,3	276,4	35,9	266,0	135,9	23,2 ^b	92,1	24,9	63,4 ^a

Einheiten: TM [g/kg FM], Carotin [mg/kg TM], übrige Parameter [g/kg TM]

auf die Datenvariabilität der Inhaltsstoffe aus. Unter den vergleichbaren Bedingungen hatte der Faktor Trocknungsverfahren auf den Carotingehalt einen hoch signifikanten und auf Rohprotein einen signifikanten Einfluss. Die untersuchten Trocknungsverfahren wiesen mehrheitlich nur nicht signifikante Effekte hinsichtlich der Futterqualität auf. Der durchschnittliche Vorteil der Luftentfeuchtertrocknung gegenüber Bodentrocknung betrug bei Rohprotein 4,9 g/kg TM. In punkto β -Carotingehalt brachten es beide Belüftungstrocknungsverfahren im Durchschnitt auf ca. 25 mg höhere Gehalte in der TM (Tabelle 2).

Die Lagerungsphase wirkte sich laut Varianzkomponenten-Schätzung am stärksten auf den TM-Gehalt aus. Im Durchschnitt aller Varianten trocknete das Raufutter am Lager innerhalb von 7 Tagen auf über 870 g TM/kg FM ab und erreichte damit Lagerstabilität. Während beide Unterdachtrocknungsverfahren schnell in den lagerstabilen TM-Bereich kamen, gelang dies bei Bodenheu nicht (siehe Abbildung 1) hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Trocknungsverfahren und Lagerungsdauer). Im Gegenteil, dort war die TM-Situation im Mittel der Jahre und Aufwüchse über die gesamte Lagerungsdauer grenzwertig. Der Carotingehalt wurde ebenfalls hoch signifikant während der Lagerung verändert. β -Carotin nahm nach der Einfuhr kontinuierlich ab. Bis zur Fütterung gingen durchschnittlich knapp 40 mg/kg TM verloren, das war eine Abnahme um 38 % gegenüber den Gehaltswerten bei der Einfuhr. Der Proteingehalt nahm anfangs ab und stieg dann gegen Lagerungsende hin an (Abbildung 1). Vermutlich handelt es sich hier um eine dynamische Verschiebung von Inhaltsstoffen, weil im Trend ein leichter Rückgang bei Zucker bzw. Nichtfaser-Kohlehydraten (NFC) zu beobachten war. Der Rohfettgehalt war in den Aufwüchsen relativ konstant bei ~21 g/kg TM. ARRIGO (2010) stellte hingegen Zunahmen von 5 bis 10 g Fett/kg TM vom 1. auf den 3. Aufwuchs fest. Diese Tendenz in der Größenordnung von 3 bis 5 g

Fettzunahme vom 1. zu den Folgeaufwüchsen kam auch in den Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum (RESCH et al. 2006) heraus.

Anhand der Gerüstsubstananalyse lassen sich die Kohlenhydrate in der TM wesentlich realitätsnäher aufschlüsseln als mit der klassischen Rohfaseranalyse (GRUBER et al. 2009). Die Gesamtgehalte an strukturwirksamen Kohlenhydraten (NDF) lagen zwischen Aufwuchs 1 bis 3 relativ eng beieinander (Mittelwerte in Tabelle 2: 483,5 bis 504,1 g NDF/kg TM). Der 4. Aufwuchs hatte mit 418,2 g einen geringen NDF-Gehalt. Diese Werte entsprechen durchaus üblichen Werten der österreichischen Praxis (RESCH 2013). Die Ligningehalte (ADL) waren beim verwendeten Dauerwiesenfutter in einem Bereich von 35,9 g/kg TM (Standardabweichung +/- 9,1 g/kg TM), was gegenüber der Situation in Österreich deutlich geringer war. Das Trocknungsverfahren und die Lagerungsphase übten keinen Einfluss auf die Gehaltswerte der Gerüstsubstanzen aus. Im Vergleich zu durchschnittlichen österreichischen Heuqualitäten (RESCH 2013) war die Heuqualität im Projekt „Heutrocknung“ vom 1. Aufwuchs deutlich besser, in den Folgeaufwüchsen gleichwertig. Der Unterschied machte z.B. im Rohproteingehalt im 1. Aufwuchs durchschnittlich +13 g/kg TM, im 2. Aufwuchs +2,3 g, im 3. Aufwuchs -3,8 g und im 4. Aufwuchs +8,5 g gegenüber dem österreichischen Raufutter aus. Grund dafür war der frühere Erntezeitpunkt im 1. Aufwuchs, bedingt durch das 4-Schnittregime. Bei einer vergleichbaren Seehöhe von 650 m wurde in Österreich der 1. Aufwuchs am 28. Mai (Ableitung über Modell nach RESCH 2011) und im Projekt „Heutrocknung“ am 21. Mai, also eine Woche früher geerntet.

Verdaulichkeit, Futterenergie und sensorische Qualität

Die tatsächliche Futterverwertung in einem Wiederkäuermagensystem kann recht gut über die *in vitro*-Verdaulichkeit

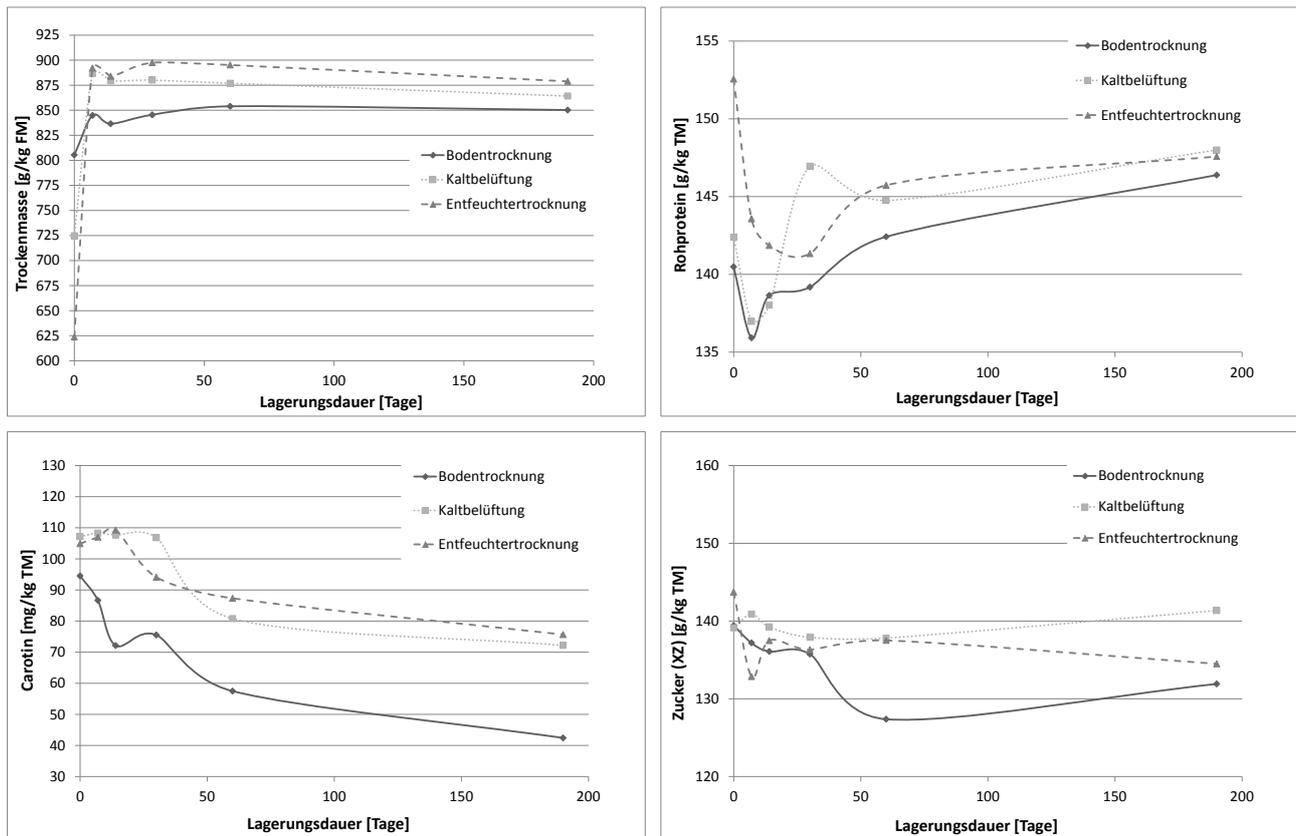


Abbildung 1: Einfluss von Trocknungsverfahren und Lagerungsdauer auf TM-, Protein-, Carotin- und Zuckergehalt von Raufutter

der organischen Masse (dOM) erhoben werden, deswegen wurde diese Methode im Projekt „Heutrocknung“ eingesetzt.

Im Gegensatz zu einer Schätzung der OM-Verdaulichkeit auf Basis Rohfasergehalt (GRUBER et al. 1997), ergab die *in vitro*-Messung eine deutliche Differenzierung der Ergebnisse, insbesondere für den Faktor Trocknungsverfahren, aber auch in der Lagerungsphase zeigte sich ein Abwärtstrend. Die P-Werte der GLM-Analyse lagen bei der Futterenergie (ME bzw. NEL) in allen Hauptfaktor-Effekten zumindest im signifikanten Bereich (Tabelle 3).

In den Qualitäten hing das Versuchsjahr 2010 gegenüber den beiden folgenden Jahren deutlich zurück. Das mag wohl auf den Umstand zurückzuführen sein, dass die Entfeuchteranlage aufgrund technischer Probleme anfänglich nicht optimal lief (Abbildung 3). Die Aufwüchse unterschieden

sich hoch signifikant, wobei der 1. Aufwuchs ein sehr gutes Niveau von durchschnittlich 6,17 MJ NEL/kg TM erreichte. Der Einbruch der OM-Verdaulichkeit und Energie im 3. Aufwuchs konnte in allen drei Jahren beobachtet werden. Hierfür liefern die Inhaltsstoffe (Tabelle 2) keine plausible Erklärung.

Bodentrocknetes Raufutter war allgemein in der Qualität schlechter als die beiden belüfteten Varianten. Zwischen Kaltbelüftung und Luftentfeuchtertrocknung waren die auftretenden Differenzen statistisch nicht absicherbar. In der Lagerungsphase konnte allgemein eine Abnahme der Qualität beobachtet werden. Die OM-Verdaulichkeit sank von der Einfuhr bis zur Fütterung im Durchschnitt um 2,3 Absolut-%-Punkte ab. Die energetische Einbuße war mit 0,33 MJ NEL/kg TM noch stärker ausgeprägt. Von den drei Trocknungsverfahren verlor Bodenheu während der Lage-

Tabelle 3: Haupt- und Wechselwirkungseffekte auf OM-Verdaulichkeit, Energie und sensorische Qualitätsparameter Geruch, Farbe, Struktur und Verunreinigung von Raufutter (P-Werte und R²)

Faktor	dOM	ME	NEL	Geruch	Farbe	Struktur	Schmutz	Punkte
Jahr (J)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,239	0,310	0,001
Aufwuchs (A)	0,000	0,000	0,000	0,542	0,064	0,000	0,000	0,215
Trocknungsverfahren (T)	0,006	0,013	0,014	0,004	0,000	0,000	0,051	0,000
Lagerungsphase (L)	0,149	0,020	0,041	0,008	0,380	0,055	0,011	0,003
T × J	0,143	0,169	0,178	0,075	0,004	0,021	0,617	0,009
T × A	0,184	0,265	0,271	0,011	0,053	0,017	0,264	0,021
T × L	0,985	0,996	0,996	0,583	0,935	0,759	0,942	0,842
L × J	0,924	0,966	0,965	0,806	0,596	0,160	0,104	0,710
L × A	0,130	0,202	0,160	0,702	0,706	0,234	0,035	0,399
R ²	0,666	0,668	0,669	0,454	0,509	0,595	0,490	0,502

P-Werte bezogen auf Konfidenzlevel 95 % (Methode LSD)

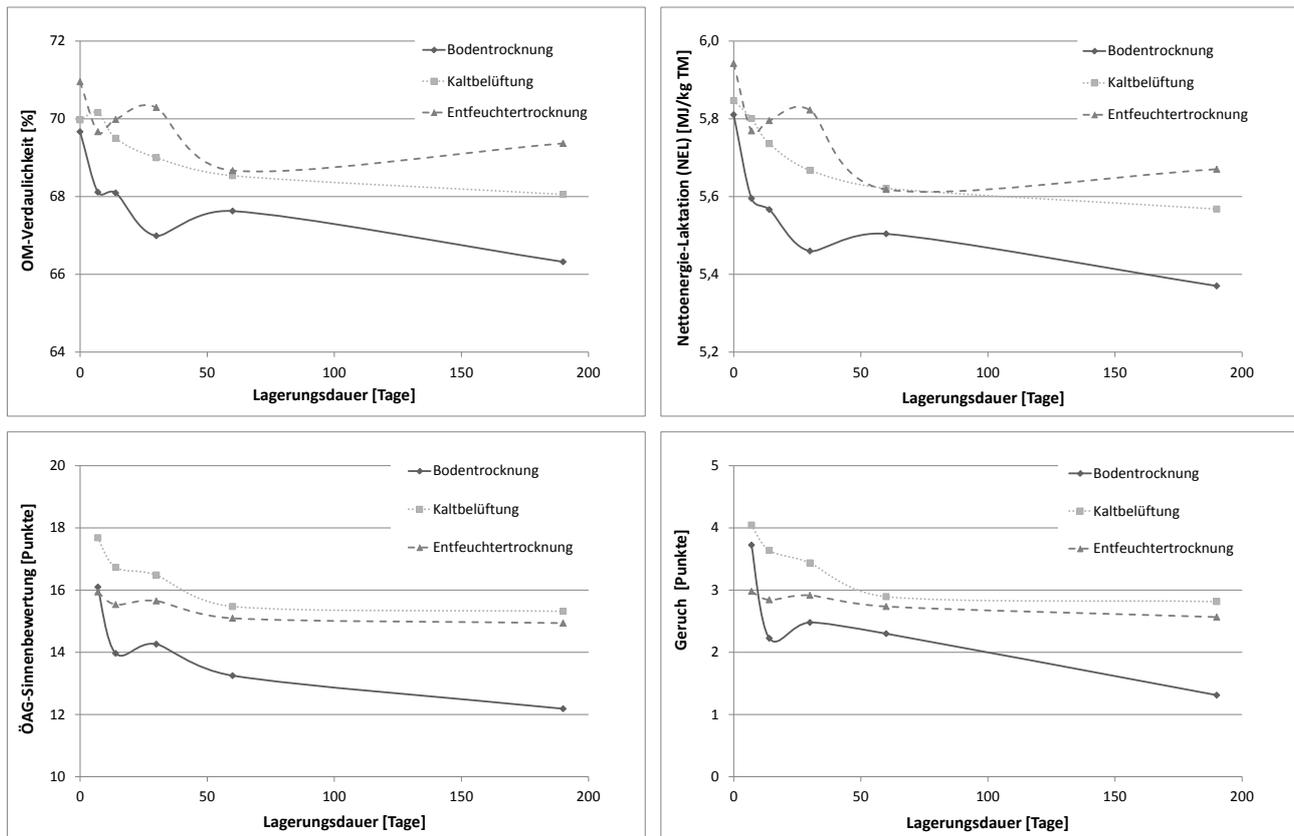


Abbildung 2: Einfluss von Trocknungsverfahren und Lagerungsdauer auf OM-Verdaulichkeit, Nettoenergie und ausgewählte Parameter der ÖAG-Sinnenprüfung von Raufutter

Tabelle 4: Allgemeine Auswirkung von Jahr, Aufwuchs, Trocknungsverfahren und Lagerungsdauer auf OM-Verdaulichkeit, Futterenergie und ÖAG-Sinnenbewertung von Raufutter

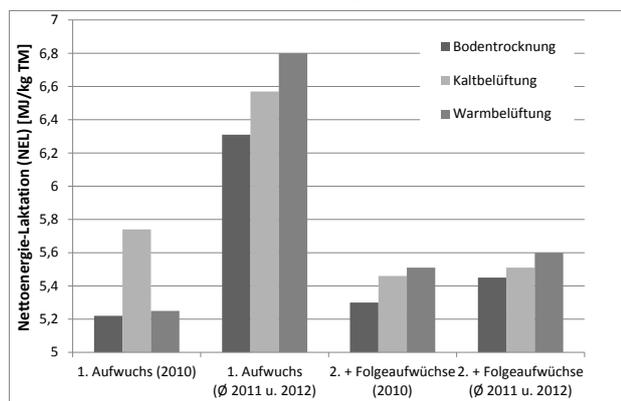
Faktor	Anzahl	dOM	ME	NEL	Geruch	Farbe	Struktur	Schmutz	Punkte
Gesamt	198	68,9	9,62	5,68	2,9	4,0	6,7	1,7	15,2
Jahr									
2010	72	66,6 ^a	9,25 ^a	5,42 ^a	2,2 ^a	3,7 ^a	6,6	1,7	14,2 ^a
2011	72	68,9 ^b	9,67 ^b	5,72 ^b	2,9 ^b	4,0 ^a	6,7	1,8	15,3 ^b
2012	54	71,4 ^c	9,93 ^c	5,89 ^c	3,5 ^c	4,5 ^b	6,8	1,5	16,2 ^b
Aufwuchs									
1	54	72,6 ^c	10,33 ^c	6,17 ^c	3,1	4,0	6,4 ^a	2,1 ^c	15,6
2	54	69,2 ^b	9,76 ^b	5,78 ^b	2,9	4,2	6,8 ^{bc}	1,7 ^b	15,5
3	54	64,2 ^a	8,85 ^a	5,13 ^a	2,6	3,8	6,6 ^b	1,5 ^{ab}	14,6
4	36	69,8 ^b	9,54 ^b	5,62 ^b	2,8	4,3	6,9 ^c	1,3 ^a	15,4
Variante									
Bodentrocknung	66	67,8 ^a	9,44 ^a	5,55 ^a	2,4 ^a	3,4 ^a	6,3 ^a	1,8	14,0 ^a
Kaltbelüftung	66	69,2 ^b	9,66 ^b	5,71 ^b	3,4 ^b	4,5 ^b	6,8 ^b	1,7	16,3 ^b
Entfeuchter	66	69,8 ^b	9,75 ^b	5,77 ^b	2,8 ^{ab}	4,2 ^b	6,9 ^b	1,5	15,4 ^b
Lagerungsdauer									
0 (Einfuhr)	33	70,2	9,92 ^b	5,87 ^b					
nach 7 Tagen	33	69,3	9,68 ^{ab}	5,72 ^{ab}	3,6 ^b	4,2	6,8	2,0 ^b	16,6 ^c
nach 14 Tagen	33	69,2	9,64 ^{ab}	5,70 ^{ab}	2,9 ^{ab}	4,1	6,8	1,6 ^a	15,4 ^{abc}
nach 30 Tagen	33	68,8	9,58 ^a	5,65 ^a	2,9 ^{ab}	4,1	6,7	1,7 ^a	15,5 ^{bc}
nach 60 Tagen	33	68,3	9,48 ^a	5,58 ^a	2,6 ^a	3,9	6,5	1,6 ^a	14,6 ^{ab}
Fütterung	33	67,9	9,41 ^a	5,54 ^a	2,2 ^a	3,8	6,6	1,4 ^a	14,1 ^a

Einheiten: dOM [%], ME und NEL [MJ/kg TM], Parameter der ÖAG-Sinnenprüfung: Geruch, Farbe, Struktur, Schmutz [Punkte]

zung mehr als 0,4 MJ NEL/kg TM, während die Verluste bei Kaltbelüftung bzw. Entfeuchterung mit ~0,25 MJ NEL/kg TM geringer ausfielen. Die Frage inwieweit die mikrobiologische Dynamik während der Lagerung mit den Qualitätsverlusten korrespondierte kann aus den vorhande-

nen Daten beantwortet werden und wird Gegenstand von eigenen Auswertungen von Dr. ADLER (AGES Linz) und RESCH (LFZ Raumberg-Gumpenstein) sein. Der Qualitätsvergleich zwischen dem LFZ-Projekt „Heutrocknung“ (2010-2012) und dem LK-Heuprojekt

LFZ-Projekt „Heutrocknung“ (2010-2012)



LK-Heuprojekt (2010/2012)

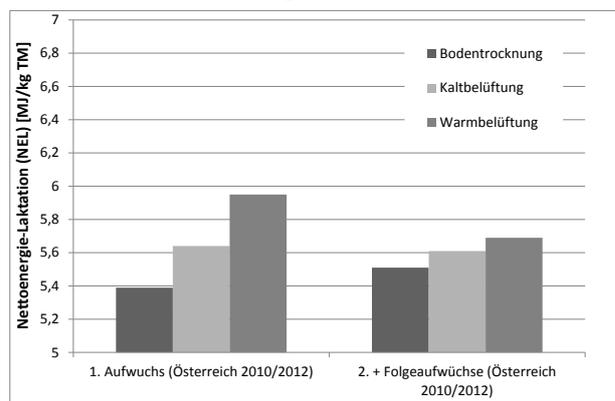


Abbildung 3: Einfluss von Heutrocknungsverfahren auf NEL in Raufutter unterschiedlicher Aufwüchse (links: LFZ-Projekt „Heutrocknung“, rechts: LK-Heuprojekt)

2010/2012 (RESCH 2013) ergab interessante Effekte in Bezug auf die Unterschiede zwischen Trocknungsverfahren und Aufwüchsen (Abbildung 3). Die Abstufung zwischen den geprüften Trocknungsverfahren war im 1. Aufwuchs stärker als in den Folgeaufwüchsen. Die technischen Probleme bei der Luftentfeuchtertrocknung wirkten sich im 1. Aufwuchs 2010 stark negativ auf die NEL-Konzentration aus (Abbildung 3, links). Weiters war das Energie-Niveau im 1. Aufwuchs des LFZ-Projektes (2011-2012) wesentlich höher als die Durchschnittswerte der österreichischen Heubauern (Abbildung 3). Die Energiedifferenzen im 1. Aufwuchs des LK-Heuprojektes wurden durch den Umstand verstärkt, dass Bodenheu um durchschnittlich 10 Tage später geerntet wurde als Warmbelüftungsheu. In den Folgeaufwüchsen konnten nur geringfügige Differenzen zwischen beiden Projekten festgestellt werden.

Im Projekt „Heutrocknung“ wurden neben zahlreichen Analysen auch organoleptische Bonitierungen von Geruch, Farbe, Gefüge und Verunreinigung (ÖAG-Sinnenprüfung) durchgeführt. Informationen über Geruch, Farbe und Staubigkeit sollten die gesamtheitliche Aussage im Systemvergleich verbessern. Auch in diesem Bereich konnte ein starker Jahreseffekt bestätigt werden (Tabelle 3). Speziell das Versuchsjahr 2010 war in der Geruchs- und Farbbewertung tiefer als die übrigen Jahre. In den Aufwüchsen fiel der 3. Aufwuchs durch schlechtere Konservierungsqualität auf, die übrigen Aufwüchse lagen in den Gesamtpunkten gleich auf. Das Trocknungsverfahren hatte einen großen Einfluss auf die sensorisch erfasste Konservierungsqualität, vor allem auf Geruch, Farbe und Verunreinigung (insbesondere Staubigkeit). Am schlechtesten schnitt im Projekt „Heutrocknung“ die Bodenheuvariante ab mit schlechteren Werten für Geruch und Farbe sowie einen durch den geringeren Blattanteil bewirkten niedrigeren Strukturwert (Tabelle 4).

Mengen- und Spurenelemente

In der Versorgung der Nutztiere spielen Mineralstoffe eine ganz wesentliche Rolle für den Stoffwechsel (RESCH et al. 2009), daher wurden im Projekt „Heutrocknung“ auch Mengen- und Spurenelemente analysiert. Die statistische Auswertung ergab für die Faktoren Jahr und Aufwuchs in allen Parametern hoch signifikante Effekte (Tabelle 5), wobei der Aufwuchs in der Varianzkomponentenana-

lyse jeweils den größten Anteil an der Datenvariabilität aufwies.

Das Raufutter des 1. Aufwuchses wies allgemein die niedrigsten Elementkonzentrationen je kg Trockenmasse auf. Mit jedem weiteren Schnitt stiegen insbesondere die Werte von Phosphor (P), Natrium (Na), Eisen (Fe), Mangan (Mn), Zink (Zn) und Kupfer (Cu) an. Im Vergleich zu den Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum (RESCH et al. 2006) lagen die Elementgehalte mit Ausnahme von Kalium, Mangan und Kupfer im Normalbereich. Die Kaliumgehalte waren relativ niedrig, während Mangan hohe und Kupfer sehr hohe Konzentrationen in der TM aufwiesen.

Der Anstieg der Eisengehalte in den Aufwüchsen von ~500 auf ~2.100 mg/kg TM unterstreicht das Ergebnis der Sandanalyse und liefert einen starken Zusammenhang mit einer erdigen Verunreinigung des 3. und 4. Aufwuchses (RESCH et al. 2013). Das Trocknungsverfahren hatte bei Natrium einen hoch signifikanten (Tabelle 5), bei Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) einen signifikanten Einfluss. Dieser Effekt drückte sich bei Ca und Mg in einer Zunahme der Werte durch Belüftung gegenüber der Bodentrocknung aus. Bei Na wies hingegen das Bodenheu die höchsten Gehalte auf. Die Lagerungsphase hatte keinen Effekt auf Mengen- und Spurenelemente, es zeigte sich bei keinem der untersuchten Elemente eine trendmäßige Zu- oder Abnahme.

Schlussfolgerungen

Für etwa 8.000 österreichische Heumilchbetriebe sind Ergebnisse aus exakten Systemvergleichen äußerst wichtig, um die Qualität des Raufutters zu verbessern bzw. fundierte Entscheidungshilfen für die Heutrocknungstechnik zu erhalten. Das Forschungsprojekt „Heutrocknung“ des LFZ Raumberg-Gumpenstein konnte für ein Vierschnitt-Regime qualitative Unterschiede zwischen drei Trocknungsverfahren feststellen. Unter ansonsten gleichgeschalteten Versuchsbedingungen führten die beiden Heubelüftungsverfahren insbesondere im Bereich der Energiekonzentration zu besseren Heuqualitäten als die Bodenheutrocknung. Die Luftentfeuchtertrocknung fiel in den Parametern Rohprotein, Rohfett, Sandanteil und Calcium positiv auf, allerdings waren diese Vorsprünge gegenüber der Kaltbelüftung im Allgemeinen nicht statistisch absicherbar. Die Effekte zwischen Luftentfeuchtertrocknung und Kaltbelüftung

Tabelle 6: Allgemeine Auswirkung von Jahr, Aufwuchs, Trocknungsverfahren und Lagerungsdauer auf Mengen- und Spurenelemente von Raufutter

Faktor	Anzahl	Ca	P	Mg	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
Gesamt	198	7,9	2,5	3,1	17,5	415	1287	138,4	35,4	11,1
Jahr										
2010	72	9,1 ^b	2,7 ^b	3,3 ^b	17,7 ^b	443 ^b	1018 ^a	138,1 ^b	34,5 ^a	11,7 ^b
2011	72	7,2 ^a	2,4 ^a	2,6 ^a	16,6 ^a	453 ^b	931 ^a	120,2 ^a	34,2 ^a	10,7 ^a
2012	54	7,3 ^a	2,3 ^a	3,2 ^b	18,1 ^b	348 ^a	1912 ^b	156,9 ^c	37,5 ^b	10,9 ^a
Aufwuchs										
1	54	7,2 ^a	2,1 ^a	2,6 ^a	17,8 ^b	279 ^a	504 ^a	97,4 ^a	31,3 ^a	9,6 ^a
2	54	7,6 ^b	2,5 ^b	2,8 ^b	19,2 ^c	333 ^b	717 ^a	121,8 ^b	30,7 ^a	10,1 ^b
3	54	8,6 ^c	2,6 ^{bc}	3,5 ^d	16,1 ^a	523 ^c	1783 ^b	158,0 ^c	38,1 ^b	11,9 ^c
4	36	8,0 ^b	2,7 ^c	3,3 ^c	16,8 ^a	525 ^c	2143 ^c	176,4 ^d	41,6 ^c	12,8 ^d
Variante										
Bodentrocknung	66	7,7 ^a	2,4	3,0	17,3	447 ^b	1360	141,1	35,3	11,1
Kaltbelüftung	66	7,8 ^a	2,5	3,1	17,4	412 ^{ab}	1296	137,6	35,2	11,1
Entfeuchter	66	8,2 ^b	2,5	3,2	17,7	385 ^a	1204	136,5	35,8	11,0
Lagerungsdauer										
0 (Einfuhr)	33	8,1	2,5	3,1	17,0	425	1268	139,4	35,9	11,2
nach 7 Tagen	33	7,7	2,4	3,0	17,4	407	1229	136,0	34,3	10,9
nach 14 Tagen	33	7,7	2,5	3,0	17,4	414	1273	136,3	35,0	11,0
nach 30 Tagen	33	7,9	2,5	3,1	17,4	424	1288	138,6	35,2	11,2
nach 60 Tagen	33	7,9	2,5	3,1	17,6	425	1333	140,9	35,6	11,3
Fütterung	33	7,9	2,5	3,1	17,8	393	1329	139,2	36,5	11,1

Einheiten: Ca, P, Mg und K [g/kg TM]; Na, Fe, Mn, Zn und Cu [mg/kg TM]

änderten sich auch nicht durch Ausklammerung des ersten Versuchsjahres, wo technische Probleme bei der Luftentfeuchtertrocknung die damit erzielte Heuqualität negativ beeinträchtigte. In 5 von insgesamt 11 Vergleichsversuchen war das Heu aus der Luftentfeuchtertrocknung qualitativ besser als kalt belüftetes Heu, in 2 Fällen gleichwertig und in 4 Fällen schlechter. Die 4 Fälle mit schlechteren Ergebnissen der Luftentfeuchtertrocknung hatten jeweils technische Störungen der Anlage als Ursache. Je höher der Wassergehalt im Erntegut wird, umso wichtiger ist eine gut funktionierende Heubelüftung, damit sehr gute Futterqualitäten konserviert und den Nutztieren vorgelegt werden können.

Literatur

- ADLER, A., 2002: Qualität von Futterkonserven und mikrobielle Kontamination. 8. Alpenländisches Expertenforum zum Thema: Zeitgemäße Futterkonservierung, BAL Gumpenstein, 9.-10. April 2002, Tagungsband, 17-25.
- ARRIGO, Y., 2010: Fettgehalt und Fettsäurezusammensetzung von konserviertem Raufutter. *Agrarforschung Schweiz* 1 (10) 2010, 366-371.
- BUCHGRABER, K., 1999: Nutzung und Konservierung des Grünlandfutters im Österreichischen Alpenraum. Habilitationsschrift, Veröffentlichung der BAL Gumpenstein, Heft 31.
- BUCHGRABER, K. und G. GINDL, 2004: Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung. Leopold Stocker Verlag, 2. völlig neu bearbeitete Auflage, 192 S.
- DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft), 1997: DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer 7. erweiterte und überarbeitete Auflage. Hrsg. Universität Hohenheim-Dokumentationsstelle, DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 212 S.
- GINDL, G., 2002: Zeitgemäße Heubereitung und Heuqualität in der Praxis. Bericht über das 8. Alpenländische Expertenforum zum Thema „Zeitgemäße Futterkonservierung“, BAL Gumpenstein, Irnding, 9.-10. April 2002, 67-72.
- GRUBER, L., A. STEINWIDDER, T. GUGGENBERGER und G. WIEDNER, 1997: Interpolation der Verdauungskoeffizienten von Grundfuttermitteln der DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer. Aktualisiertes Arbeitspapier der ÖAG-Fachgruppe Fütterung über die Grundlagen zur Berechnung der Verdaulichkeit und des UDP-Gehaltes auf der Basis der DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (7. Auflage 1997).
- GRUBER, L., 2009: Chemische Zusammensetzung, Analytik und Bedeutung pflanzlicher Gerüstsubstanzen in der Ernährung der Wiederkäuer. Übers. *Tierernährg.* 37 (2009) 45-86.
- HÖHN, E., 1986: Feldverluste bei der Futterente. Eidgenössische Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik (FAT), FAT-Berichte 285, Tänikon, 7 S.
- MEISSER, M. und U. WYSS, 1999: Qualität von unterschiedlich konserviertem Dürrfutter. *AGRARFORSCHUNG* 6 (11-12), 437-440.
- NYDEGGER, F., G. WIRLEITNER, J. GALLER, A. PÖLLINGER, L. CAENEGERN, H. WEINGARTMANN und H. WITTMANN, 2009: Qualitätsheu durch effektive und kostengünstige Belüftung. *Der Fortschrittliche Landwirt* (3) 2009, Sonderbeilage 12 S.
- RESCH, R., 2004: Die Bestimmung der in vitro-Verdaulichkeit mit der modifizierten Zweistufenmethode nach Tilley und Terry (1968) an der Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein. Vervielfältigtes Vortragsmanuskript für das Vorlesungsseminar Grünland II der BOKU von 17. bis 22. Mai 2004, BAL Gumpenstein, 10 S.
- RESCH, R., 2010: 1. Österreichische Heumeisterschaft. Abschlussbericht zur wissenschaftlichen Tätigkeit (3534), LFZ Raumberg-Gumpenstein, 64 S.
- RESCH, R., 2011: Raufutterqualität auf österreichischen Betrieben. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Tätigkeit 3583 (DaFNE 100683) „Praxisheu“, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 56 S.
- RESCH, R., 2013: Einfluss des Managements auf die Raufutterqualität von Praxisbetrieben. Abschlussbericht der wissenschaftlichen

- Tätigkeit 3603 (DaFNE 100842) „Top-Heu“, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 24 S.
- RESCH, R., 2013: Einfluss des Konservierungsmanagements auf die Qualität von Raufutter österreichischer Rinderbetriebe – Ergebnisse aus LK-Heuprojekten. Bericht zur 40. Viehwirtschaftlichen Fachtagung, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning 18.-19. April 2013, 57-72.
- RESCH, R., L. GRUBER, J. GASTEINER, K. BUCHGRABER, G. WIEDNER, E.M. PÖTSCH und T. GUGGENBERGER, 2009: Mineralstoffgehalte machen das Grund- und Kraftfutter wertvoll. ÖAG-Sonderdruck, Info 8/2009, 8 S.
- RESCH, R., T. GUGGENBERGER, G. WIEDNER, A. KASAL, K. WURM, L. GRUBER, F. RINGDORFER und K. BUCHGRABER, 2006: Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. ÖAG-Sonderdruck, Info 8/2006, 20 S.
- SAUTER, J., R. LATSCH und O. HENSEL, 2012: Eine neue Methode zur Bestimmung von Bröckelverlusten. Agrarforschung Schweiz 3 (3) 2012, 164-167.
- STOCKINGER, C., 2009: Milchproduktion in Zukunft – Gewinnen wir den Wettbewerb?, Tagungsband 36. Viehwirtschaftliche Fachtagung zum Thema Milchmarkt, Bestandesbetreuung, Mineralstoffversorgung, Forschungsergebnisse LFZ, Mutterkuhhaltung und Weidehaltung von Milchkühen, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 16.-17. April 2009, 11-18.
- TILLEY, J.M.A. und R.A. TERRY, 1963: A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. Brit. Grassl. Soc. 18, 104-111.

Einfluss unterschiedlicher Trocknungsverfahren auf die Futterhygiene von Raufutter

Effect of different drying methods on feed hygiene of hay

Andreas Adler^{1*}, Peter Kiroje¹, Elisabeth V. Reiter¹ und Reinhard Resch²

Zusammenfassung

Von einem Dauerwiesenbestand des LFZ Raumberg-Gumpenstein geerntetes Futter wurde als Heu konserviert, um den Einfluss von verschiedenen Trocknungsverfahren auf Keimzahldynamik und Artenzusammensetzung der Mikroflora und damit auf die mikrobiologische Qualität des produzierten Futters zu beobachten. Drei verschiedene Trocknungsverfahren wurden verglichen: konventionelle Bodentrocknung, Kaltbelüftung und Entfeuchertrocknung. Der Versuch umfasste insgesamt 11 Schnitte in drei Vegetationsperioden (2010, 2011 und 2012). Probenahmen für die mikrobiologischen Untersuchungen erfolgten zum Zeitpunkt der Einfuhr, im Zuge der Heulagerung (7 - 14 - 30 - 60 Tage nach der Mahd) und zu Fütterungsbeginn.

Die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung zeigen, dass die Keimgehalte der produkttypischen Bakterien und Pilze im frisch eingebrachten Futter jeweils im Verlauf der Vegetationsperiode mit jedem Aufwuchs anstiegen. Während der Heulagerung bis zum Fütterungsbeginn erfolgte dann eine signifikante Abnahme der Reliktflora dieser feldbürtigen Mikroorganismen. Mit zunehmendem Wassergehalt bei der Einfuhr erhöhte sich das Risiko für ein starkes Aufkommen der Lagerflora und einen damit verbundenen Futterverderb massiv. Im Heu der Variante Bodentrocknung waren im Verlauf der Untersuchung in fünf von 11 geprüften Aufwüchsen überhöhte Keimgehalte als Indikator für einen fortgeschrittenen Verderbsprozess festzustellen. Zum Vergleich waren bei Kaltbelüftung bzw. Entfeuchertrocknung nur je zwei von 11 Aufwüchsen von Verderbsprozessen betroffen.

Abhängig vom jeweiligen Trocknungsverfahren hat sich die Trockenmasse (TM) des Futters bei der Einfuhr als limitierend für eine sichere Lagerung erwiesen. Als Grenzen für eine sichere Heulagerung haben sich unter den gegebenen technischen Möglichkeiten bei Bodenheu als Minimum etwa 80 % TM zum Zeitpunkt der Einlagerung, bei Heu aus Kaltbelüftung mindestens 68 % TM und für Heu mit Entfeuchertrocknung mindestens etwa 55 % TM zum Zeitpunkt der Einlagerung herausgestellt. Lagerung mit einem höheren Wassergehalt führte durchwegs zu einem starken Aufkommen der Lagerflora und damit verbundenem späterem Futterverderb.

Mit Heubelüftung oder Entfeuchertrocknung konnten auch kürzere Schönwetterperioden zur Ernte ausgenutzt und Heu hoher mikrobieller Qualität produziert werden. Je höher aber der Wassergehalt des Futters bei der Einfuhr und je

Summary

A study was conducted to evaluate the effect of different drying methods on feed hygiene and microbiological quality of hay. Forage harvested from a permanent meadow at AREC Raumberg-Gumpenstein was conserved as hay to observe the impact of different drying methods on microbial counts and species composition of the microflora and thus on the microbiological quality of the feed produced. Three different drying methods were compared: conventional field drying, cold air drying and dehumidification technique. The study included a total of 11 cuts over three growing seasons (2010, 2011 and 2012). Hay samples for microbiological analysis were taken at the time of harvest, in the course of storage (7 - 14 - 30 - 60 days after mowing) and at the start of feeding.

The results of the microbiological analysis show that the counts of the product-typical bacteria and fungi of freshly stored forage increased during the vegetation period for all growths. In the course of storage until the start of feeding there was a significant decrease in the "relict"-flora of the field borne microorganisms. With higher moisture contents at beginning of storage, the risk of a substantial proliferation of the storage flora associated with a subsequent spoilage significantly increased. Five of eleven cuts of conventionally field dried hay showed excessive microbial counts indicating a progressive spoilage. Only two of 11 cuts of hay generated by cold air drying or dehumidification technique were affected by spoilage processes.

Depending on the drying method, the dry matter (DM) content of the harvested forage has proved to be limiting a safe storage in terms of feed hygiene. Under the given technical options a dry matter content of 80 % has been found as the minimum value for safe storage of conventional field dried hay. The respective minimum dry matter value of hay produced with cold air drying was 68 % and that of hay produced with dehumidification technique was 55 %. Storage of harvested material with a higher moisture content led consistently to a strong increase of storage flora associated with subsequent spoilage.

Cold air drying and dehumidification technique also allow using shorter periods of favorable weather conditions for production of hay with a high microbiological quality. However, the higher the moisture content of the harvested forage at the beginning of storage and the more complex the technology used, the more pro-

¹ Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Institut für Tierernährung und Futtermittel, A-4020 Linz

² LFZ Raumberg-Gumpenstein, Referat für Futterkonservierung und Futterbewertung, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

* Dr. Andreas ADLER, email: andreas.adler@ages.at

aufwändiger die eingesetzte Technik, umso professionelleres Management ist dazu erforderlich.

Schlagwörter: Heu, Trocknungsverfahren, Futterhygiene, Lagerpilze

1. Einleitung

In den letzten Jahren wird der ernährungsphysiologische und gesundheitliche Wert von Lebensmitteln ein immer bedeutenderer Qualitätsfaktor für den Konsumenten. In diesem Zusammenhang werden häufig der Fettgehalt und die im Fett enthaltenden Fettsäuren (FA) von Lebensmitteln genannt. FA werden in gesättigte und ungesättigte FA unterteilt. Die ungesättigten FA werden wiederum in einfach und mehrfach ungesättigte FA eingeteilt. In Hinblick auf die menschliche Ernährung sind die Omega-3 FA und die Omega-6 FA sowie die konjugierten Linolsäuren (CLA) – alle drei sind mehrfach ungesättigte FA – von zentraler Bedeutung, da sie vom menschlichen Organismus nicht selbst synthetisiert werden können und über die Nahrung aufgenommen werden müssen. Insbesondere die Omega-3 FA und die CLA können sich in folgenden Bereichen positiv auf den Gesundheitsstatus des Menschen auswirken: Herz-Kreislauf-Erkrankungen (senken Blutfette), Hauterkrankungen (z.B. Neurodermitis), Rheumatismus sowie entzündungshemmende, antikanzinogene, antidiabetogene, anabole, antithrombotische und antiarteriosklerotische Wirkungen (MacRAE et al. 2005, DEWHURST et al. 2006).

Zahlreiche Studien belegen, dass die Grundfutterbasis (Gras und Graskonserven, Maissilage, Leguminosen) sowie die Kraftfuttermenge und -zusammensetzung das FA-Muster in Milch von Wiederkäuern beeinflussen. Durch grünlandbetonte Futterationen werden die ernährungsphysiologisch wertvollen ungesättigten FA erhöht und die bei zu hoher Aufnahme gesundheitsgefährdenden gesättigten FA reduziert (JAHREIS et al. 1997, LEIBER et al. 2005, COUVREUR et al. 2006, DEWHURST et al. 2006, ELGERSMA et al. 2006, VLAEMINCK et al. 2006, WYSS et al. 2007, BISIG et al. 2008, BUTLER et al. 2008, DGE et al. 2008). Neben der Fütterung wird das Milch-FA-Muster auch von Tierfaktoren (z.B. Rasse, Genetik, Laktationszahl, Laktationsstadium etc.) sowie Umweltfaktoren (Jahreszeit, Herdenmanagement etc.) beeinflusst (KALAC und SAMKOVA 2010).

Im vorliegenden Beitrag wird das Milch-FA-Muster von Grassilage-Milch sowie von Milch dreier Heu-Konservierungsverfahren (Bodentrocknung, Kaltbelüftung, Entfeuchtertrocknung) beleuchtet.

2. Material und Methodik

Die genaue Versuchsanordnung sowie die Ergebnisse zu Futtermittelanalysen, Futter- und Nährstoffaufnahmen, Milchleistung etc. des Fütterungsversuches wurden von anderen Autoren beschrieben und sind im Tagungsband der 42. Viehwirtschaftlichen Fachtagung (2015) nachzulesen (PÖLLINGER 2015, RESCH und GRUBER 2015, GRUBER et al. 2015, FASCHING et al. 2015). Heu und Grassilage stammten von denselben Versuchswiesen und wurden am gleichen Tag/im gleichen Vegetationsstadium geschnitten. In allen drei Versuchsjahren wurde am Ende jeder Erhebungsperiode (4 Erhebungsperioden pro

professional management is required to achieve safe storage and high quality of hay.

Keywords: Hay, drying methods, feed hygiene, fungal species

Versuchsjahr) pro Kuh eine Milchprobe zur Milch-FA-Bestimmung gezogen. Im Erntejahr 2011 wurde in der ersten Erhebungsperiode versehentlich keine Milchprobe gezogen; insgesamt wurden 176 Milchproben untersucht. Die zur FA-Untersuchung herangezogenen Milchproben stammten jeweils aus einer Sammelprobe (insgesamt 100 ml) aus Morgen- und Abendmilch und wurden bis zur Analyse tiefgekühlt (ca. -18 °C) gelagert.

2.1 Fettsäureanalytik

Die FA-Untersuchungen wurden an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt. Die Extraktion des Fettes für die FA-Untersuchung erfolgte nach der von FOLCH et al. (1957) entwickelten Methode mit leichter Modifikation. Die Derivatisierung zu FA-Methylester (FAME) erfolgte nach DGF (2006). Die Bestimmung der Einzel-FA erfolgte mittels Gaschromatograph (Varian, Modell 3900) ausgestattet mit einem Flammen-Ionisierungs-Detektor, einem automatischen Injektor, einem Split-Injektor sowie mit der Säule Supelco SPTM 2380 (100 m × 0,25 mm × 0,2 µm Filmdicke). Die Injektions- und Detektionstemperatur betragen 250 bzw. 260 °C. Als Trägergas diente Helium; es wurde eine konstante Druck-Methode (Säulendruck 3,4 bar) verwendet. Die Säulentemperatur wurde zu Beginn für 1 Minute bei 60 °C gehalten; dann wurde die Temperatur mit 8 °C pro Minute bis auf 120 °C und anschließend mit 1,5 °C pro Minute bis auf 240 °C erhöht. Für die Peak-Identifikation wurde ein Standardmix von 37 FAME (Supelco Inc.) verwendet sowie individuelle Standards von Supelco, Matreya und Larodan. Jede Einzel-FA wurde als g/100 g Gesamt-FA ausgedrückt.

2.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit SAS (Statistical Analysis System, Version 9.4, 2013) als Change-over Design mit mehreren lateinisches Quadraten nach KAPS und LAMBERSON (2007). Die drei Erntejahre wurden getrennt (*Tabelle 2*) und gemeinsam (*Tabelle 3*) ausgewertet. Die Auswertungen erfolgten mit der Prozedur GLM und Kuh, Erhebungsperiode, Konservierungsverfahren und Square als fixe Effekte. In jedem Versuchsjahr wurden jeweils die 4 Kühe mit dem gleichen Kraftfutteranteil zu einem Square zusammengefasst; dies ergab bei 16 Kühen pro Versuch vier Squares. Im Modell wurden als unabhängige Variablen Square, Erhebungsperiode innerhalb Square, Tier innerhalb Square und Konservierungsverfahren definiert. Die Unterschiede zwischen den LSMeans wurden mit einem Tukey-Test getestet. Das Signifikanzniveau wurde bei 0,05 angesetzt. In den Ergebnistabellen sind die Least Square Means (LSMeans), Standardfehler (StErr) und P-Werte dargestellt.

Da im Modell nach KAPS und LAMBERSON (2007) aufgrund einer fehlenden Erhebungsperiode im Erntejahr 2011 die Wechselwirkung Erntejahr*Konservierungsverfahren nicht ausgewertet werden konnte, wurde zusätzlich in einem "herkömmlichen" 3-faktoriellen GLM-Modell

Tabelle 1: Zusammensetzung der FA-Gruppen

SFA	C4:0, C5:0, C6:0, C7:0, C8:0, C10:0, C11:0, C12:0, C13:0anteiso, C13:0, C14:0, C15:0iso, C15:0anteiso, C15:0, C16:0iso, C16:0, C17:0iso, C17:0anteiso, C17:0, C18:0, C19:0anteiso, C19:0, C20:0, C21:0, C22:0, C23:0, C24:0
MUFA	C14:1, C15:1, C16:1cis9, C17:1, Σ C18:1trans, C18:1cis9, C18:1cis11, C20:1, C22:1, C24:1
PUFA	Σ CLA+Omega-3+Omega-6
CLA	CLAcis9trans11
Omega-3 FA	C18:3cis9,12,15, C20:3cis11,14,17, C20:5, C22:5cis7,10,13,16,19, C22:6
Omega-6 FA	C18:2trans9,12, C18:2cis9,12, C18:3cis6,9,12, C20:2, C20:3cis8,11,14, C20:4, C22:2

Tabelle 2: Milch-FA-Muster der vier Gras-Konservierungsverfahren der Erntejahre 2010, 2011 und 2012 (Erntejahre getrennt ausgewertet)

g/100 g FAME	Bodentrocknung	Kaltbelüftung	Entfeuchtertrocknung	Silierung	StdErr	P-Wert
Erntejahr 2010						
SFA	76,5 ^{ab}	77,9 ^a	76,9 ^{ab}	76,1 ^b	0,44	0,032
MUFA	19,7 ^{ab}	18,4 ^b	19,2 ^{ab}	20,2 ^a	0,38	0,015
PUFA	3,78	3,58	3,81	3,64	0,09	0,270
CLA	0,76	0,71	0,75	0,86	0,04	0,068
Omega-3 FA	1,17	1,09	1,17	1,01	0,06	0,200
Omega-6 FA	1,85 ^{ab}	1,79 ^{ab}	1,89 ^a	1,77 ^b	0,03	0,019
Omega-6:Omega-3 FA	1,72	1,81	1,68	1,85	0,11	0,694
Erntejahr 2011						
SFA	78,7	78,8	78,5	78,8	0,49	0,977
MUFA	17,9	17,8	17,9	18,2	0,44	0,944
PUFA	3,32 ^{ab}	3,36 ^a	3,53 ^a	3,04 ^b	0,07	0,001
CLA	0,58 ^b	0,66 ^{ab}	0,72 ^a	0,60 ^b	0,02	0,001
Omega-3 FA	1,06 ^a	1,03 ^a	1,10 ^a	0,89 ^b	0,03	<0,001
Omega-6 FA	1,69 ^{ab}	1,67 ^{ab}	1,70 ^a	1,55 ^b	0,04	0,032
Omega-6:Omega-3 FA	1,60 ^b	1,63 ^b	1,56 ^b	1,76 ^a	0,02	<0,001
Erntejahr 2012						
SFA	76,5	78,2	76,4	77,8	0,62	0,101
MUFA	20,1	18,6	20,3	19,1	0,59	0,138
PUFA	3,38 ^a	3,21 ^{ab}	3,34 ^{ab}	3,11 ^b	0,06	0,019
CLA	0,61	0,61	0,71	0,63	0,03	0,042
Omega-3 FA	1,00 ^a	0,95 ^{ab}	0,95 ^{ab}	0,86 ^b	0,03	0,035
Omega-6 FA	1,77 ^a	1,65 ^{ab}	1,68 ^{ab}	1,62 ^b	0,03	0,028
Omega-6:Omega-3 FA	1,87	1,90	1,86	1,99	0,07	0,628

die Wechselwirkung Erntejahr*Konservierungsverfahren ausgewertet. Die Wechselwirkung war für keine FA-Gruppe signifikant.

2.3 Untersuchte Fettsäuren

Im Ergebnisteil werden folgende sechs FA-Gruppen dargestellt: (1) gesättigte FA (SFA), (2) einfach ungesättigte FA (MUFA), (3) mehrfach ungesättigte FA (PUFA), (4) konjugierte Linolsäure (CLA), (5) Omega-3 FA, (6) Omega-6 FA. *Tabelle 1* zeigt welche Einzel-FA in den jeweiligen FA-Gruppen enthalten sind.

3. Ergebnisse

Tabelle 2 zeigt die getrennte Milch-FA-Auswertung für die Erntejahre 2010, 2011 und 2012. Zwischen den drei Heutrocknungsverfahren zeigten sich im Milch-FA-Muster keine statistisch signifikanten Unterschiede. Einzige Ausnahme war der CLA-Gehalt der Heu-Milch im Jahr 2011, der bei der Bodentrocknung signifikant niedriger war als bei der Entfeuchtertrocknung.

Die aus Grassilage produzierte Milch unterschied sich in bestimmten FA signifikant von der Heu-Milch; es waren jedoch in den drei untersuchten Erntejahren nicht immer die gleichen FA-Gruppen betroffen. So unterschied sich die Grassilage-Milch der Ernte 2010 in den SFA-, MUFA- und Omega-6 FA-Gehalten signifikant von jeweils einem Heutrocknungsverfahren. Im Erntejahr 2011 waren bei Silierung die CLA-, Omega-3 FA-, Omega-6 FA- und PUFA-Gehalte der Milch im Vergleich zu einem, zwei oder allen Heutrocknungsverfahren signifikant niedriger. Die Grassilage-Milch der Ernte 2012 hatte signifikant niedrigere Omega-3 FA-, Omega-6 FA- und PUFA-Gehalte als die Milch aus Bodentrocknungs-Heu (*Tabelle 2*).

Vergleicht man die drei Versuchsjahre miteinander, so wurden in bestimmten Milch-FA-Gruppen zwischen den Heutrocknungsverfahren Unterschiede von bis zu 25 % (CLA-Gehalt) gefunden (berechnet als niedrigsten LS-Means-Wert der Heutrocknungsverfahren durch höchsten Wert) (*Tabelle 2*).

Tabelle 3 beschreibt das Milch-FA-Muster der gemeinsamen Auswertung der drei Erntejahre. In der Tabelle sind

Tabelle 3: Milch-FA-Muster aus den vier Gras-Konservierungsverfahren (Erntejahre gemeinsam ausgewertet)

g /100 g FAME	Erntejahre 2010 – 2012				StdErr	P-Wert
	Bodentrocknung	Kaltbelüftung	Entfeuchterrocknung	Silierung		
SFA	77,2	78,4	77,3	77,5	0,38	0,090
MUFA	19,3	18,2	19,2	19,2	0,35	0,110
PUFA	3,47 ^a	3,34 ^{ab}	3,52 ^a	3,25 ^b	0,05	<0,001
CLAc9t11	0,64	0,64	0,71	0,69	0,02	0,048
Omega-3 FA	1,05 ^a	0,99 ^a	1,05 ^a	0,90 ^b	0,03	<0,001
Omega-6 FA	1,78 ^a	1,71 ^{ab}	1,77 ^a	1,66 ^b	0,02	<0,001
Omega-6:Omega-3 FA	1,80	1,85	1,77	1,93	0,05	0,152
C4:0	6,3 ^{ab}	6,2 ^b	6,1 ^b	6,5 ^a	0,09	0,006
C6:0	3,18	3,25	3,15	3,25	0,03	0,052
C8:0	1,79	1,86	1,80	1,79	0,02	0,114
C10:0	3,82 ^{ab}	4,09 ^a	3,95 ^{ab}	3,72 ^b	0,08	0,007
C12:0	4,17 ^{ab}	4,49 ^a	4,35 ^a	4,02 ^b	0,09	0,004
C14:0	13,3 ^{ab}	13,7 ^a	13,6 ^a	13,0 ^b	0,15	0,006
C14:1	1,02	1,08	1,08	1,04	0,02	0,144
C15:0	1,16	1,18	1,16	1,19	0,02	0,593
C16:0	31,7	32,5	32,0	32,5	0,29	0,147
C16:1c9	1,42	1,47	1,49	1,44	0,03	0,483
C17:0	1,01 ^b	0,93 ^c	0,96 ^c	1,06 ^a	0,02	<0,001
C18:0	7,9	7,4	7,4	7,8	0,17	0,031
C18:1t	1,24	1,17	1,29	1,23	0,04	0,232
C18:1c9	15,1	14,0	14,8	15,0	0,32	0,077
C18:2c9,12	1,32 ^a	1,26 ^a	1,30 ^a	1,17 ^b	0,02	<0,001
C18:2t9,12	0,271 ^b	0,263 ^b	0,278 ^b	0,316 ^a	0,004	<0,001
C18:3c9,12,15	0,868 ^a	0,819 ^a	0,867 ^a	0,728 ^b	0,02	<0,001
C20:3c8,11,14	0,061 ^a	0,060 ^{ab}	0,058 ^{ab}	0,054 ^b	0,002	0,029
C20:4	0,098	0,094	0,098	0,093	0,002	0,181
C20:5	0,079 ^a	0,077 ^a	0,079 ^a	0,068 ^b	0,002	<0,001
C24:1	0,049	0,045	0,057	0,054	0,005	0,239
C22:5c7,10,13,16,19	0,076	0,071	0,070	0,073	0,002	0,225

zusätzlich noch jene Einzel-FA aufgelistet, deren Anteil über 1 g/100 g FAME lag sowie bestimmte wichtige Einzel-FA. In der Gesamtauswertung enthielt die Grassilage-Milch mit durchschnittlichen Omega-3 FA-Gehalten von 0,9 g/100 g FAME signifikant weniger Omega-3 FA als die Milch der 3 Heutrocknungsvarianten (1,0 bis 1,1 g). Mit einem Durchschnittsgehalt von 1,7 g Omega-6 FA und 3,3 g PUFA/100 g FAME unterschied sich die Grassilage-Milch signifikant von der Milch aus Bodentrocknung und Entfeuchterrocknung (jeweils 1,8 g Omega-6 FA bzw. 3,5 g PUFA).

4. Diskussion

Aus der Literatur ist bekannt, dass das FA-Muster der Milch durch die botanische Futterzusammensetzung (Anteil an Gräsern, Kräutern und Leguminosen), die Pflanzenarten, das Vegetationsstadium und den Fettgehalt des Futters bestimmt wird. Weiters ist aus der Literatur bekannt, dass Blätter einen höheren Fettgehalt und mehr ungesättigte Fettsäuren enthalten als Stängel und dass es durch Bröckelverluste bei der Graskonservierung zu FA-Verlusten kommen kann (DEWHURST et al. 2006, MOREL et al. 2006, DOHME 2007, WYSS et al. 2007b, HUHTANNEN et al. 2010, BRAACH 2012). Es gibt nur wenige Publikationen, die den Einfluss der Futterkonservierung auf das FA-Muster der Milch untersuchten. Darüber hinaus wurde in den vorhandenen Publikationen großteils Weide/Gras mit Heu bzw. Weide/Gras mit Grassilage verglichen (z.B. MOREL et al. 2006, MOHAMMED et al. 2009, KALAC und SAMKOVA 2010). Es gibt bisher kaum Studien, die Heu- und Grassilage-Milch vergleichen.

WYSS und COLLOMB (2011) führten einem Milchkuh-Fütterungsversuch durch, in dem das Milch-FA-Muster bei heu- bzw. grassilagebasierter Fütterung (Grassilage mit 39 bzw. 57 % TM) verglichen wurde. In ihrer Arbeit waren nur die MUFA-Gehalte der Grassilage-Milch (Grassilage mit 39 % TM) signifikant niedriger als in der Heu-Milch. Ein signifikanter Unterschied in den MUFA-Gehalten wurde in unserer Arbeit nur im ersten Versuchsjahr gefunden (Tabelle 2), nicht jedoch in der Gesamtauswertung (Tabelle 3). HUHTANEN et al. (2010) kommen anhand einer Literaturübersicht zu dem Schluss, dass Milch aus Heu-Rationen tendenziell höhere PUFA-Gehalte enthält als Milch aus Grassilage-Rationen, was sich mit unseren Ergebnissen deckt (Tabelle 3). Auch SHINGFIELD et al. (2005) fanden in aus Heu produzierter Milch höhere PUFA-Gehalte als in Grassilage-Milch sowie keine Unterschiede in den SFA- und MUFA-Gehalten. In SHINGFIELD et al. (2005) waren im Heu deutlich niedrigere PUFA-Gehalte als in der Grassilage enthalten, weshalb die höheren PUFA-Gehalte der Heu-Milch auf einen höheren Transfer von C18:3 (Omega-3 FA) und C18:2 (Omega-6 FA) von der Futterration über den Pansen in die Milch zurückzuführen sein dürften.

Im vorliegenden Projekt hatte die Grassilage einen signifikant höheren Fettgehalt als das Heu der drei Heutrocknungsvarianten. Im Fütterungsversuch hatten die mit Grassilage gefütterten Milchkühe – im Vergleich zu den mit Heu gefütterten – eine signifikant niedrigere Grund- und Gesamtfutteraufnahme sowie Milchleistung, jedoch einen signifikant höheren Milchfettgehalt (siehe Beitrag GRUBER im Tagungsband der 42. Viehwirtschaftlichen Fachtagung, 2015). Über die Gründe wies sich in unserer Studie Heu-

und Grassilage-Milch in den PUFA-Gehalten unterscheiden, kann nur spekuliert werden, zumal das FA-Muster von Heu und Grassilage nicht untersucht wurde. Im vorliegenden Versuch wurde das Gras aller Konservierungsverfahren von der gleichen Fläche und am gleichen Tag geschnitten, weshalb Unterschiede in der botanischen Zusammensetzung sowie im Vegetationsstadium zwischen Heu und Grassilage ausgeschlossen werden können. Prinzipiell könnten die Unterschiede im PUFA-Gehalt der Heu- und Grassilage-Milch daher auf folgendes zurückzuführen sein (SHINGFIELD et al. 2005, DEWHURST et al. 2006, HUHTANEN et al. 2010, KALAC und SAMKOVA 2010): (1) Unterschiede in den oxidativen FA-Verlusten (vor allem ungesättigte FA) während dem Trocknen des Heus bzw. dem Anwelken und Verfüttern der Grassilage, (2) Unterschiede in den Bröckelverlusten/Blattverlusten während der Heu- bzw. Silageerzeugung, (3) Veränderungen im FA-Muster während des Silier-/Gärvorgangs oder (4) Unterschiede im Fettstoffwechsel im Pansen. SHINGFIELD et al. (2005) nehmen an, dass bei Heu-Rationen die Lipolyse (hydrolytische Spaltung von Fetten durch Enzyme) und die Biohydrierung (bakterieller Stoffwechselfvorgang von Wiederkäuern) von Futterfetten im Pansen niedriger sind als in Grassilage und dadurch mehr PUFA in die Milch gelangen.

SEIZ (2012) untersuchte in ihrer Masterarbeit das Milch-FA-Muster von österreichischen Heumilch-Betrieben. SEIZ (2012) fand auch bei im Winter produzierter Heumilch deutlich niedrige SFA- (71,5 g/100 g FAME) und höhere MUFA-Gehalte (21,0 g) als in der vorliegenden Arbeit. Mögliche Ursachen für die zwischen den beiden Arbeiten gefundenen Unterschiede könnten niedrigere Kraftfuttermengen der Heumilchbetriebe in SEIZ (2012), erhebliche Unterschiede im Pflanzenbestand oder Vegetationsstadium oder auch Unterschiede in der Fettsäureanalytik sein.

Abschließend wird das Milch-FA-Muster der Heu- und Grassilage-Milch mit den Ergebnissen aus VELIK et al. (2013) verglichen (in VELIK et al. (2013) sind die Milch-FA-Gehalte in g/100 g Milchfett und nicht in g/100 g FAME dargestellt). Die Heu- und Grassilage-Milch (ca. 20 % Kraftfutter in der Ration) hatte ähnliche SFA- und MUFA-Gehalte wie die Maissilage-Kraftfutter-Milch (Ration aus 70 % Maissilage, 20 % Kraftfutter, 10 % Heu). Die Heu- und Grassilage-Milch hatte jedoch deutlich höhere CLA-, Omega-3 FA- und PUFA-Gehalte als die Maissilage-Kraftfutter-Milch. Die CLA-Gehalte der Heu- und Grassilage-Milch waren mit dem Durchschnittsgehalt von 13 österreichischen Supermarkt-Milchmarken vergleichbar. Auch die Omega-3 FA-Gehalte der Heu-Milch lagen ähnlich wie der Durchschnitt der Supermarkt-Milch; die Omega-3 FA-Gehalte der Grassilage-Milch lagen um rund 0,1 g darunter. Die in VELIK et al. (2013) untersuchte Weide- und Alm-Milch hatte deutlich höhere CLA- und Omega-3 FA-Gehalte als die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Heu- und Grassilage-Milch. Im Gehalt an Omega-6 FA konnten bei der Heu- und Grassilage-Milch im Vergleich zu VELIK et al. (2013) keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden.

5. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass unterschiedliche Heutrocknungsverfahren prinzipiell keinen Einfluss auf das Milch-FA-Muster haben. Milch, die in

grassilagebasierten Milchproduktionssystemen erzeugt wird, hat einen statistisch signifikant niedrigeren Gehalt an mehrfach ungesättigten FA (Omega-3 FA, Omega-6 FA) als Heu-Milch, wenngleich die numerischen Unterschiede gering sind. Die Studienergebnisse sowie die Literatur legen nahe, dass nicht nur die botanische Zusammensetzung und das Vegetationsstadium von Grünlandfutter das Milch-FA-Muster bestimmen, sondern auch Unterschiede in den Produktionsverfahren von Heu bzw. Grassilage sowie der Fettstoffwechsel im Pansen (Lipolyse, Biohydrierung von Fettsäuren) des Rindes daran beteiligt sind.

6. Literatur

- BISIG, W., M. COLLOMB, U. BÜTIKOFER, R. SIEBER, M. BREGY und L. ETTER, 2008: Saisonale Fettsäurezusammensetzung von Schweizer Bergmilch. *Agrarforschung* 15, 38-43.
- BRAACH, J., 2012: Spezielle Milchinhaltsstoffe bei unterschiedlichen Futterrationen im Vergleich zu graslandbasierter Milch. Universität für Bodenkultur, Wien, Masterarbeit.
- BUTLER, G., J.H. NIELSEN, T. SLOTS, C. SEAN, M.D. EYRE, R. SANDERSON und C. LEIFERT, 2008: Fatty acid and fat-soluble antioxidant concentrations in milk from high- and low-input conventional and organic systems: seasonal variation. *J. Sci. Food Agric.* 88, 1431-1441.
- COUVREUR, S., C. HURTAUD, C. LOPEZ, L. DELABY und J.L. PEYRAUD, 2006: The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet, milk fatty acid composition, and butter properties. *J. Dairy Sci.* 89, 1956-1969.
- DEWHURST, R.J., K.J. SHINGFIELD, M.R.F. LEE und N.D. SCOLLAN, 2006: Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131, 168-206.
- DGE, ÖGE, SGE und SVE (eds.), 2008: Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Neuer Umschau Buchverlag, Frankfurt/Main.
- DGF – Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaft (eds.), 2006: Methode C-VI 11 (98) – Fettsäurenmethylester (TMSH-Methode). In: DGF-Einheitsmethoden: Deutsche Einheitsmethoden zur Untersuchung von Fetten, Fettprodukten, Tensiden und verwandten Stoffen. 2. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, Stuttgart.
- DOHME, F., 2007: Fettsäurenmuster von Milch aus reiner Grasfütterung und Gras-Heufütterung. In: Der besondere Wert graslandbasierter Milch (eds: W. Stoll, E. Frioud und M. Lobsiger), Tagungsband, Forschungsanstalt Agroscope Liebefeld-Posieux ALP, 8. November 2007, 108-110.
- DEWHURST, R.J., K.J. SHINGFIELD, M.R.F. LEE und N.D. SCOLLAN, 2006: Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131, 168-206.
- ELGERSMA, A., S. TAMMINGA und G. ELLEN, 2006: Modifying milk composition through forage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131, 207-225.
- FASCHING, C., L. GRUBER, B. MIETSCHNIG, A. SCHAUER, J. HÄUSLER und A. ADELWÖHRER, 2015: Einfluss verschiedener Heutrocknungsverfahren auf Futteraufnahme und Milchproduktion im Vergleich zu Grassilage. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 67-74.
- FOLCH, J., M. LEES und G.H. SLOANE STANLEY, 1957: A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226, 497-509.

- GRUBER, L., R. RESCH, A. SCHAUER, B. STEINER und C. FASCHING, 2015: Einfluss verschiedener Heutrocknungsverfahren auf den Futterwert von Wiesenfutter im Vergleich zur Silierung. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 57-66.
- HUHTANEN, P., K.H. SÜDEKUM, J. NOUSIAINEN und K.J. SHINGFIELD, 2010: Forage conservation, feeding value and milk quality. *Grassland Science in Europe* Vol. 15, 379-399.
- JAHREIS, G., J. FRITSCHKE und H. STEINHART, 1997: Monthly variations of milk composition with special regard to fatty acids depending on season and farm management systems - conventional versus ecological. *Lipid* 98, 356-359.
- KALAC, P. und E. SAMKOVA, 2010: The effect of feeding various forages on fatty acid composition of bovine milk fat: a review. *Czech, J. Anim. Sci.* 55, 521-537.
- KAPS, M. und W. LAMBERSON, 2007: *Biostatistics for animal science*. CABI Publishing, Oxfordshire, UK, Cambridge, USA.
- LEIBER, F., 2005: Causes and extent of variation in yield, nutritional quality and cheese-making properties of milk by high altitude grazing of dairy cows. ETH-Zürich, Dissertation.
- MacRAE, J., L. O'REILLY und P. MORGAN, 2005: Desirable characteristics of animal products from a human health perspective. *Livest. Prod. Sci.* 94, 95-103.
- MOHAMMED, R., C.S. STANTON, J.J. KENNELLY, J.K.G. KRAMER, J.F. MEE, D.R. GLIMM, M. O'DONOVAN und J.J. MURPHY, 2009: Grazing cows are more efficient than zero-grazed and grass silage-fed cows in milk rumenic acid production. *J. Dairy Sci.* 92, 3874-3893.
- MOREL, I., U. WYSS und M. COLLOMB, 2006: Grünfutter- oder Silagezusammensetzung und Milchinhaltsstoffe. *Agrarforschung* 13, 228-233.
- PÖLLINGER, A., 2015: Technische Kennzahlen zu verschiedenen Heutrocknungsmethoden. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 41-48.
- RESCH, R. und L. GRUBER, 2015: Proteinfraktionen von Dauerwiesenfutter in Abhängigkeit von Konservierungsverfahren und Lagerungsdauer. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 49-55.
- SEIZ, M., 2012: Fettsäureverteilung in österreichischer Heumilch – Einfluss der silagefreien Fütterung im Jahresverlauf. Masterarbeit Universität Wien, 132 S.
- SHINGFIELD, K.J., P. SALO-VÄÄNÄNEN, E. PAHKALA, V. TOIVONEN, S. JAAKKOLA, V. PIIRONEN und P. HUHTANEN, 2005: Effect of forage conservation method, concentrate level and propylen glycol on the fatty acid composition and vitamin content of cows milk. *J. Dairy Res.* 72, 349-361.
- VELIK, M., S. BREITFUSS, M. URDL, J. KAUFMANN, A. STEINWIDDER und A. HACKL, 2013: Fettsäuremuster von österreichischer Alm-, Vollweide- und Trinkmilch sowie von Milch aus Maissilage-Ration. 40. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 18.-19. April 2013, Bericht LFZ Raumberg-Gumpenstein, 23-35.
- VLAEMINCK, B., V. FIEVEZ, A.R.J. CABRITA, A.J.M. FONSECA und R.J. DEWHURST, 2006: Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131, 389-417.
- WYSS, U., I. MOREL und M. COLLOMB, 2007: Einfluss der Verfütterung von Grünfutter und dessen Konserven auf das Fettsäuremuster von Milch. 13. Alpenländisches Expertenforum - Milch und Fleisch vom alpenländischen Grünland, 29. März 2007, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 15-20.
- WYSS, U. und M. COLLOMB, 2011: Influence of hay or silage on cow-milk fatty acid composition. *Grassland Science in Europe* Vol. 16, 100-102.

Proteinfractionen von Dauerwiesenfutter in Abhängigkeit von Konservierungsverfahren und Lagerungsdauer

Protein fractions of forage from permanent grassland depending on conservation method and storage length

Reinhard Resch¹* und Leonhard Gruber¹

Zusammenfassung

Das hohe Leistungsniveau heutiger Milchkühe stellt auch hohe Anforderungen an deren Proteinversorgung. Eine Protein-Differenzierung hinsichtlich Abbaubarkeit und Abbaugeschwindigkeit im Pansen ist die Voraussetzung, die Futtermittel hinsichtlich ihres Proteinwertes richtig einzuschätzen. Das Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) unterscheidet fünf Proteinfractionen (A = NPN, B1 = lösliches, rasch abbaubares Protein, B2 = mittelschnell abbaubares Protein, B3 = langsam abbaubares Protein, C = nicht verfügbares Protein, an die Zellwand gebunden). Da der Abbau von Rohprotein in Futtermitteln auch von der Konservierung und der technischen Verarbeitung beeinflusst wird, wurden im HBLFA-Projekt „Heutrocknung“ in elf Versuchen an Dauerwiesenfutter die Effekte von drei Heutrocknungsverfahren (Bodentrocknung, Kaltbelüftung, Entfeuchertrocknung) und der Silierung auf die Proteinfractionen nach dem CNCPS untersucht. Die Silierung wirkte sich stärker auf die Zusammensetzung der Proteinfractionen aus als die Heukonservierung. Grassilage enthielt mehr verwertbare Stickstoffverbindungen (124 g/kg TM) als die einzelnen Heuvarianten (106 bis 111 g/kg TM). In der Erntephase kam es zwischen Mähen und Einfuhr zu merklichen Verlusten an leicht löslichen NPN-Verbindungen. Die drei Verfahren der Heutrocknung unterschieden sich in den einzelnen Proteinfractionen nicht signifikant voneinander, d.h. bodengetrocknetes Heu wies die gleichen Proteinfractionen auf wie kaltbelüftetes oder entfeuchtetes Heu. Während der Lagerung der Futterkonserven traten nur geringfügige Veränderungen der Proteinfractionen in den einzelnen Heutrocknungsverfahren auf, während bei Grassilage deutliche Differenzen zum Erntegut zu verzeichnen waren.

Schlagwörter: Heutrocknung, Trocknungsverfahren, Gärfutter, Proteinqualität, CNCPS

Summary

The high milk yield potential of recent dairy cows makes great demands on their protein supply. It is a prerequisite to properly evaluate the protein value of feed stuffs to differentiate protein regarding extent and rate of degradability. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) is based on five protein fractions (A = NPN, B1 = soluble, rapidly degradable protein, B2 = intermediately degradable protein, B3 = slowly degradable protein, C = unavailable protein, bound in cell walls). The degradation of crude protein in forage depends on the conservation method as well as on technical processing. Knowledge of drying technique effects on protein fractions is unsatisfactory. AREC Raumberg-Gumpenstein carried out the project “Hay drying“ in order to determine the effects of three different drying methods (field drying without ventilation, air ventilation, dehumidification drying) on protein fractions compared to silage conservation. With silage fermentation the proportion of protein fractions changed to a higher extent than with the several hay drying techniques. In grass silage the content of available protein was higher (124 g/kg DM) than in hays of several drying techniques (106 – 111 g/kg DM). During harvest phase from cutting to storage, considerable losses of NPN were observed. Between the three treatments of hay drying no significant differences were found regarding the content of protein fractions, i.e. hay from field drying showed the same protein fractions than ventilated hay. There was no significant advantage of dehumidification drying regarding the protein fractions. During storage, the protein fractions changed only to a small degree with hay, whereas with grass silage considerable changes occurred compared to the original fresh grass.

Keywords: hay drying, drying method, silage, protein quality, CNCPS

1. Einleitung

Die Qualität des Grundfutters hat in österreichischen Milchviehbetrieben einen hohen Stellenwert, weil die Rationen je nach System große Anteile an Gärfutter, Heu und Grünfutter aufweisen. Protein ist in der tierischen Ernährung

von entscheidender Bedeutung. Seit über hundert Jahren wird Futterprotein über die Analyse des Gesamtstickstoffgehaltes nach KJELDAHL (1883) mengenmäßig bewertet. Das hohe Leistungsniveau heutiger Milchkühe stellt auch hohe Anforderungen an deren Proteinversorgung. Eine Protein-Differenzierung hinsichtlich Abbaubarkeit und

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft, Institut für Nutztierforschung, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

* Ansprechpartner: Ing. Reinhard Resch, email: reinhard.resch@raumberg-gumpenstein.at

Abbaugeschwindigkeit im Pansen ist die Voraussetzung, die Futtermittel hinsichtlich ihres Proteinwertes richtig einzuschätzen (RUSSELL et al. 1992, SNIFFEN et al. 1992, FOX et al. 1992). Das Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) unterscheidet fünf verschiedene Rohprotein-Fractionen in Abhängigkeit ihrer Abbaueigenschaften im Pansen (FOX et al. 2004). Schnell löslicher Nichtprotein-Stickstoff (NPN), im Pansen abbaubares Protein mit hoher, mittlerer und geringer Abbaurate sowie zellwandgebundenes, nicht abbaubares Protein.

Der Abbau des Rohproteins im Futtermittel wird von der Konservierung und der technischen Verarbeitung wesentlich beeinflusst (GRUBER et al. 2004). Nach HOEDKE et al. (2010) treten schon während der Anwelkung proteolytische Prozesse auf (hydrolytische Spaltung von Protein bis hin zu Aminosäuren), die vor allem von pflanzlichen Proteasen verursacht werden (KEMBLE 1956, OHSHIMA und McDONALD 1978, SEYFARTH et al. 1989). Die Proteolyse reicht bis in den Gärprozess hinein. Während der Gärung können Aminosäuren durch Mikroorganismen (insbesondere Clostridien) weiter abgebaut werden. Drei mikrobielle Proteinabbauvorgänge (Desmolyse), nämlich Stickland-Mechanismus, Desaminierung und Decarboxylierung werden unterschieden (McDONALD et al. 1991, ROOKE und HATFIELD 2003). Optimale Heubelüftungstrocknung gewährleistet nach WIRLEITNER et al. (2014) auch bei ungünstigen Trocknungsbedingungen die Produktion von futterhygienisch einwandfreiem Heu. Welche Auswirkungen unterschiedliche Heukonservierungstechniken auf Proteinfraktionen ausüben, wurde bis dato nicht erforscht.

Die HBLFA Raumberg-Gumpenstein ist im Forschungsprojekt „Heutrocknung“ u.a. der Frage nachgegangen, inwieweit das Rohprotein von Dauerwiesenfutter und dessen Fraktionen durch den Konservierungsprozess der Silierung bzw. drei unterschiedlichen Heutrocknungsverfahren (Bodentrocknung, Kaltbelüftung, Entfeuchtertrocknung) von der Ernte bis zur Futtervorlage beeinflusst werden.

2. Material und Methoden

2.1 Projekt Heutrocknung

An der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurde der Systemvergleich zwischen vier Konservierungsverfahren (Bodentrocknung, ohne Belüftung; Kaltbelüftung; Entfeuchtertrocknung; Silierung, System Rundballensilage) über drei Jahre (2010, 2011, 2012) und vier Grünlandaufwüchse (1. bis 4. Aufwuchs) durchgeführt. Die prozessorientierte Fragestellung inkludiert darüber hinaus den Faktor Lagerungsphase, um qualitative Futterveränderungen vom Feldbestand bis zur Futtervorlage abbilden zu können.

Das Ausgangsmaterial, die 11 ha große „Stainacher Wiese“, war ein Dauerwiesen-Mischbestand mit einem durchschnittlichen Artengruppenverhältnis von 57 % Gräsern, 21 % Leguminosen und 22 % Kräutern im 1. Aufwuchs. In den Folgeaufwüchsen verschob sich das Verhältnis auf 51 % Gräser, 24 % Leguminosen und 25 % Kräuter. Im Versuchsjahr 2012 wurden anstatt vier nur drei Aufwüchse geerntet, weil der 2. Aufwuchs aufgrund einer Überflutung der Wiesenfläche nach starken Regenfällen und starker Futterverschmutzung für die Fütterung nicht mehr geeignet

war und entsorgt werden musste. Die Mahd der Versuchsfläche wurde im Jahr 2010 ohne Mähauflbereitung, in den Folgejahren 2011 und 2012 mit Knickzetter-Aufbereitung durchgeführt. Futterbearbeitung (Zetten, Schwaden) und Einfuhr des Erntegutes (Ladewagen) wurde in den drei Versuchsjahren und bei allen Aufwüchsen mit den gleichen Maschinen erledigt (PÖLLINGER 2014 und 2015).

2.2 Laboranalyse

Vom 11 ha großen Dauerwiesenbestand wurden bei jedem Aufwuchs vier zufällig verteilte Proben sofort nach dem Mähen vom Mähschwad mittels Stechzylinder (Innendurchmesser 5 cm) gezogen, um die Variabilität des Ausgangsmaterials zu berücksichtigen. Bei der Einfuhr des Erntegutes erfolgte die Probenziehung von mindestens zwei Ladewagen durch mindestens 20 zufällig verteilte Einstiche ebenfalls mittels Stechzylinder (Innendurchmesser 5 cm). In der Lagerungsphase wurden die Heuproben vom Heustock an unterschiedlichen Stellen (mindestens 20 Einstiche) bis zu einer Tiefe von 150 cm gezogen. Der dynamische Beprobungsraster für die Proteinfraktionen war folgender: Feldbestand nach Mähen, zur Einfuhr, nach 30 Tagen sowie vor Fütterungsbeginn. Bei Variante Silierung wurde auf den Beprobungszeitpunkt nach 30 Tagen verzichtet, damit während der Lagerung kein Verderb die Gärfutterqualität für den Fütterungsversuch beeinträchtigt. Im Projekt Heutrocknung wurden die chemischen Untersuchungen (Weender Nährstoffanalyse, Gerüstsubstanzen) an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein nach den Methoden des VDLUFA (1976) durchgeführt. Die Rohprotein-Fractionen des CNCPS wurden basierend auf den Arbeiten von KRISHNAMOORTHY et al. (1982) und LICITRA et al. (1996) analysiert. Der Anteil an Reinprotein (Summe der Rohproteinfraktionen B1 + B2 + B3) ist laut SPIEKERS (2011) ein Indikator für den Proteinabbau, daher wurde dieser Wert rechnerisch ermittelt. Die Gerüstsubstanzen wurden nach Van SOEST et al. (1991) analysiert.

2.3 Statistische Auswertung

Die Daten wurden in einer MS Access-Datenbank erfasst und für die weitere Verarbeitung auf Richtigkeit und Plausibilität kontrolliert. Die statistischen Analysen wurden mit Hilfe der Programme IBM SPSS Statistics (Version 22) und Statgraphics Centurion XV (Version 15.2.14) durchgeführt. Das Versuchsdesign des Projektes „Heutrocknung“ erforderte und ermöglichte eine mehrfaktorielle Auswertung der Daten unter Berücksichtigung der Faktoren Jahr (J), Aufwuchs (A), Konservierungsverfahren (K) und Lagerungsdauer (L). Insgesamt standen 11 Einzelversuche für die Auswertung zur Verfügung. Aus der Vielzahl an Ergebnissen wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit in erster Linie statistische Effekte und Mittelwerte herausgearbeitet. Die Mittelwert-Vergleiche wurden mit dem Verfahren nach Scheffé berechnet, weil es ein strenges Testverfahren ist und für ungleich große Gruppen exakte Werte liefert. In der Darstellung der Ergebnisse wurden der Proteingehalt und die Proteinfraktionen des Feldbestandes unmittelbar nach der Mahd mitberücksichtigt, um eventuelle Abbauprozesse während der Erntephase erfassen zu können.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Gehalte an Rohnährstoffen, die Verdaulichkeit der OM *in vitro* (TILLEY und TERRY 1963), die Energiekonzentration sowie der Gehalt an Mineralstoffen und Carotin wurden von RESCH (2014) für die drei Heuvarianten dargestellt und entsprechen in ihrer Größenordnung den Angaben der in Österreich verwendeten Futterwerttabellen (RESCH et al. 2006, DLG 1997) sowie praxisüblichen österreichischen Verhältnissen (RESCH 2011). Die Gerüstsubstanzen (NDF, ADF, ADL) liegen im Vergleich zu GRUBER et al. (2009) im Normalbereich von Wiesenfutter. Der mittlere Rohproteingehalt lag bei 150 ± 23 g/kg TM (Mittelwert \pm Standardabweichung).

3.1 Ausgangsmaterial

Der Faktor Aufwuchs übte den größten Einfluss auf den Gehalt an Rohprotein (XP) im Ausgangsmaterial aus (Tabelle 1). Obwohl die Anteile der Leguminosen mehr als 20 % betragen, waren die Gehalte an Rohprotein nur durchschnittlich. Der Anteil der Proteinfractionen in den verschiedenen Varianten weicht von Literaturergebnissen

eher ab. Im Vergleich zu Untersuchungen von VOSS (1967), OHSHIMA und McDONALD (1978), GRUBER et al. (2004) und EDMUNDS et al. (2012a) fand sich im Grünfutter ein deutlich höherer Anteil an NPN-Verbindungen (Proteinfraction A) von durchschnittlich mehr als 40 % des XP. Die Gehalte an zellwandgebundenem Protein (Fraktion C) lagen mit durchschnittlich 22,3 % ebenfalls sehr hoch. Die Anteile des rasch abbaubaren Proteins (Fraktion B1) und des langsam abbaubaren Proteins (B3) lagen im Normalbereich (Tabelle 1). Der Anteil der Proteinfraction B2 (mittlere Abbaugeschwindigkeit im Pansen) war im Ausgangsmaterial sehr niedrig. Die Zusammenfassung der B-Fractionen (B1 + B2 + B3) ergibt das im Pansen abbaubare Protein, auch als Reinprotein bezeichnet. Im Grünfutter war im Durchschnitt der Anteil an Reinprotein mit 36,3 % von XP sehr gering.

3.2 Bewertung der Einflussfaktoren

In einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse wurden Faktoreffekte und Zweifach-Wechselwirkungen für die einzelnen Proteinfaktoren untersucht. Das Konservierungsverfahren übte in allen geprüften Parametern einen hoch signifikanten Effekt aus (Tabelle 2). Mit Ausnahme von Proteinfraction

Tabelle 1: Zusammensetzung des Ausgangsmaterials – Inhaltsstoffe und Protein-Fractionen in Abhängigkeit von den Faktoren Jahr und Aufwuchs

Jahr	Aufwuchs	Inhaltsstoffe (g/kg TM)				Proteinfractionen (g/kg TM)							Proteinfractionen (% des XP)					
		XP	NDF	ADF	ADL	A	B1	B2	B3	C	Reinprotein	A	B1	B2	B3	C	Reinprotein	
2010	1	129	532	320	40	50	17	4	44	25	65	35,9	12,0	2,7	31,1	18,3	45,8	
	2	156	451	281	38	60	21	10	32	41	63	36,7	12,8	5,8	19,8	25,0	38,3	
	3	160	472	292	40	59	15	6	44	36	65	37,5	9,5	3,5	27,3	22,2	40,3	
	4	193	402	231	32	78	26	7	49	45	82	38,3	12,6	3,1	24,2	21,8	39,9	
2011	1	140	459	257	39	72	10	0	37	30	48	48,4	6,9	0,0	25,0	19,7	31,9	
	2	145	505	319	41	55	12	0	38	42	50	37,6	8,5	0,0	25,7	28,3	34,1	
	3	147	500	326	51	67	14	0	36	30	51	45,5	9,8	0,0	24,5	20,2	34,3	
	4	173	455	275	44	70	17	1	50	37	68	40,4	9,7	0,5	28,2	21,3	38,3	
2012	1	130	465	267	25	61	8	3	26	32	37	47,0	6,3	2,0	20,1	24,7	28,3	
	2	127	474	288	27	57	10	5	32	27	47	43,5	7,2	3,8	24,9	20,6	35,9	
	4	149	464	276	31	69	13	0	36	36	49	45,2	8,3	0,0	23,6	23,0	31,9	
Mittelwert	1	133	485	281	35	61	12	2	36	29	50	43,8	8,4	1,6	25,4	20,9	35,4	
	2	143	477	296	35	57	14	5	34	37	53	39,2	9,5	3,2	23,4	24,7	36,1	
	3	153	486	309	46	63	15	3	40	33	58	41,5	9,7	1,7	25,9	21,2	37,3	
	4	172	440	260	36	73	18	3	45	39	66	41,3	10,2	1,2	25,3	22,0	36,7	
Gesamtmittelwert		150	471	285	37	64	15	3	39	35	57	41,4	9,4	1,9	24,9	22,3	36,3	

Tabelle 2: Faktor- und Wechselwirkungseffekte von Jahr, Aufwuchs, Konservierungsverfahren und Lagerungsdauer auf Rohprotein und Proteinfractionen von Wiesenfutter (P-Werte und R²)

Faktor	Rohprotein		Proteinfractionen (g/kg TM)					Proteinfractionen (% von XP)						
	XP	A	B1	B2	B3	C	Reinprotein	A	B1	B2	B3	C	Reinprotein	
Jahr (J)	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,411	0,009	<0,001	
Aufwuchs (A)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,045	0,006	0,002
Konservierungsverfahren (K)	<0,001	<0,001	<0,001	0,273	<0,001	0,247	0,773	<0,001	<0,001	0,724	<0,001	0,005	0,029	
Lagerungsdauer (L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	
J × A	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	0,441	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	0,069	0,010	0,037	
J × K	0,800	0,556	0,597	0,401	0,639	0,598	0,479	0,562	0,683	0,303	0,525	0,356	0,326	
J × L	0,196	<0,001	<0,001	0,024	0,048	0,018	0,202	<0,001	<0,001	0,018	0,164	0,034	0,107	
A × K	0,472	0,916	0,589	0,254	0,895	0,802	0,467	0,879	0,771	0,230	0,636	0,744	0,684	
A × L	0,021	<0,001	<0,001	0,015	0,644	0,003	0,192	<0,001	0,008	0,040	0,622	0,143	0,255	
K × L	0,001	<0,001	0,007	0,002	<0,001	<0,001	0,379	<0,001	0,020	0,023	<0,001	<0,001	0,340	
R ²	0,877	0,918	0,967	0,731	0,671	0,686	0,734	0,841	0,955	0,719	0,594	0,644	0,611	

P-Werte bezogen auf Konfidenzlevel 95 % (Methode Scheffé)

B3 waren signifikante Effekte der Faktoren Aufwuchs und Versuchsjahr festzustellen. Der Faktor Lagerungsdauer übte in 8 von 13 Parametern einen hoch signifikanten Einfluss aus.

In den sechs überprüften Zweifach-Wechselwirkungen (Tabelle 2) fiel auf, dass die Kombinationen von Jahr × Konservierungsverfahren und Aufwuchs × Konservierungsverfahren in keinem Parameter signifikante Wirkungen ausübten. Die Wechselwirkung Konservierungsverfahren × Lagerungsdauer stellte sich mit Ausnahme von Reinprotein in jeder Proteinfraktion als hoch signifikant heraus.

Eine Analyse der Varianzkomponenten sollte klären, wie groß der Anteil des Effektes eines Faktors an der gesamten Datenvariabilität der Proteinfaktoren war. Auf den Rohproteingehalt wirkte der Aufwuchs mit 61,5 % am stärksten, das Konservierungsverfahren und die Lagerungsdauer mit rund 6 % nur mäßig. Der Aufwuchs hatte mit 59,6 % auch auf Fraktion C den größten Einfluss. Das Konservierungsverfahren bewirkte auf die Fraktion B3 mit 64,5 % den höchsten Effekt. In acht Parametern brachte das Konservierungsverfahren den geringsten Anteil an Wirkung (Tabelle 3). Die Lagerungsdauer beeinflusste die Datenvariabilität in sieben Parametern am stärksten, d.h. dass sich die betroffenen Proteinfraktionen vom Mähen bis zur Fütterung am stärksten änderten.

Die multiplen Mittelwertvergleiche der vier Versuchs-Faktoren zeigen, ob die Differenzen zwischen den Varianten einer Behandlung signifikante Unterschiede aufweisen (durch unterschiedliche Hochbuchstaben gekennzeichnet). In dieser Datenanalyse (Tabelle 4) wurden die Differenzen der absoluten Gehaltswerte (g/kg TM) und die relativen Anteile der Proteinfraktionen am Rohprotein-Gehalt untersucht.

Wie schon in der Analyse der Varianzkomponenten sichtbar, zeigen sich die wesentlichen Einflussfaktoren auch im Vergleich der Mittelwerte. Der Faktor Konservierungsverfahren beinhaltet die zentrale Fragestellung in diesem Projekt und steht daher im Mittelpunkt des Interesses. Wie zu erwarten, ergab die Silierung einen signifikant höheren Rohproteingehalt (159 g/kg TM) als die Heuvarianten, die sich nur zufällig voneinander unterschieden und deren Proteingehalt um >10 g XP geringer war als Grassilage. Grassilage vom gleichen Ausgangsmaterial beinhaltete signifikant mehr NPN-Verbindungen. EDMUNDS et al. (2012b) fanden heraus, dass mit Zunahme der Ernte-TM die NPN-Verbindungen quadratisch geringer werden. Höhere Gehalte an leicht löslichem Protein (B1) und Protein von mittlerer Abbaugeschwindigkeit (B2), wie sie auch im vorliegenden Projekt 'Heutrocknung' auftraten, sind hingegen atypisch. GRUBER et al. (2004) und EDMUNDS et al. (2012) fanden im Heu höhere B1- und B2-Anteile als in

Tabelle 3: **Faktoreinfluss auf die Datenvariabilität von Rohprotein und Proteinfraktionen von Wiesenfutter in %** (Varianzkomponentenanalyse)

Varianzkomponenten	Rohprotein und Proteinfraktionen (absolut in der TM)							Proteinfraktionen (relativ zu XP)					
	XP	A	B1	B2	B3	C	Reinprotein	A	B1	B2	B3	C	Reinprotein
Jahr	27,0	2,6	12,4	19,7	16,6	22,3	49,6	35,5	7,8	16,9	0,0	8,0	64,7
Aufwuchs	61,5	11,8	5,8	18,8	25,5	59,6	46,7	17,2	0,0	12,5	5,7	5,6	18,3
Konservierungsverfahren	5,6	35,1	1,2	0,0	23,6	1,7	0,0	16,7	0,6	0,0	64,5	26,3	1,6
Lagerungsdauer	6,0	50,5	80,5	61,5	34,3	16,4	3,6	30,6	91,6	70,6	29,8	60,1	15,4

Tabelle 4: **Mittelwerte von Rohprotein und Protein-Fraktionen des Versuchsfutters in Abhängigkeit von den Faktoren Jahr, Aufwuchs, Konservierungsverfahren und Lagerungsdauer**

Faktor	Rohprotein		Proteinfraktionen (g/kg TM)						Proteinfraktionen (% des XP)					
	Anzahl	XP	A	B1	B2	B3	C	Reinprotein	A	B1	B2	B3	C	Reinprotein
Jahr														
2010	60	158 ^c	52,4 ^a	9,3 ^c	23,7 ^b	35,3 ^b	36,9 ^b	68,3 ^c	33,3 ^a	5,8 ^c	14,4 ^b	22,8 ^a	23,7 ^a	43,0 ^c
2011	60	150 ^b	50,8 ^a	7,7 ^b	18,3 ^b	34,7 ^b	38,7 ^b	60,7 ^b	34,1 ^a	5,1 ^b	11,6 ^b	23,4 ^a	25,9 ^b	40,0 ^b
2012	45	134 ^a	55,8 ^b	5,3 ^a	10,0 ^a	30,1 ^a	33,1 ^a	45,4 ^a	41,6 ^b	3,9 ^a	7,0 ^a	22,6 ^a	24,9 ^{ab}	33,6 ^a
Aufwuchs														
1.	45	131 ^a	51,4 ^b	6,0 ^a	11,0 ^a	31,5 ^a	31,1 ^a	48,5 ^a	39,1 ^c	4,5 ^a	7,9 ^a	24,5 ^b	24,0	36,9 ^a
2.	45	142 ^b	51,5 ^b	7,4 ^b	14,9 ^a	31,8 ^a	35,8 ^b	54,2 ^a	36,8 ^{bc}	5,1 ^b	10,0 ^{ab}	22,8 ^{ab}	25,4	37,9 ^{ab}
3.	30	153 ^c	48,2 ^a	8,0 ^b	24,2 ^b	32,6 ^a	40,4 ^b	64,7 ^b	31,5 ^a	5,2 ^b	15,5 ^c	21,3 ^a	26,5	42,1 ^c
4.	45	170 ^d	58,3 ^c	9,4 ^c	24,0 ^b	38,3 ^b	40,1 ^b	71,6 ^b	34,5 ^b	5,3 ^b	13,4 ^{bc}	22,8 ^{ab}	24,0	41,5 ^{bc}
Konservierungsverfahren														
Bodentrocknung	44	144 ^a	48,7 ^a	7,0 ^a	15,8	34,5 ^b	37,7	57,4	34,2 ^a	4,7 ^a	10,4	24,3 ^b	26,4 ^b	39,4
Kaltbelüftung	44	147 ^a	49,9 ^a	7,6 ^a	17,1	34,9 ^b	37,3	59,6	34,3 ^a	5,0 ^a	11,1	24,0 ^b	25,5 ^b	40,1
Entfeuchertrocknung	44	148 ^a	51,0 ^a	7,2 ^a	17,6	35,6 ^b	36,3	60,4	35,0 ^a	4,7 ^a	11,3	24,2 ^b	24,7 ^b	40,2
Silierung	33	159 ^b	64,3 ^b	9,3 ^b	22,6	28,1 ^a	34,2	60,0	41,1 ^b	5,9 ^b	13,1	18,1 ^a	21,8 ^a	37,1
Lagerungsdauer														
Feldbestand	45	155 ^c	63,6 ^c	14,8 ^c	3,3 ^a	38,7 ^b	34,6 ^a	56,7 ^a	41,4 ^b	9,4 ^c	1,9 ^a	24,9 ^b	22,3 ^a	36,3 ^a
Einfuhr Erntegut	45	146 ^{ab}	47,3 ^a	5,9 ^b	20,6 ^b	33,0 ^a	38,8 ^b	59,5 ^{ab}	33,2 ^a	4,0 ^b	12,9 ^b	23,2 ^{ab}	26,7 ^b	40,1 ^b
nach 30 Tagen Lagerung	30	141 ^a	45,8 ^a	4,9 ^a	18,1 ^b	32,7 ^a	38,9 ^b	55,7 ^a	33,0 ^a	3,4 ^a	12,1 ^b	23,6 ^b	27,9 ^b	39,1 ^{ab}
zur Futtervorlage	45	151 ^{bc}	52,4 ^b	4,4 ^a	30,0 ^c	30,0 ^a	34,4 ^a	64,4 ^b	35,0 ^a	2,9 ^a	18,7 ^c	20,3 ^a	23,2 ^a	41,9 ^b
Gesamt	165	145	52,7	7,7	18,0	33,6	36,5	59,3	35,8	5,0	11,3	23,0	24,8	39,4

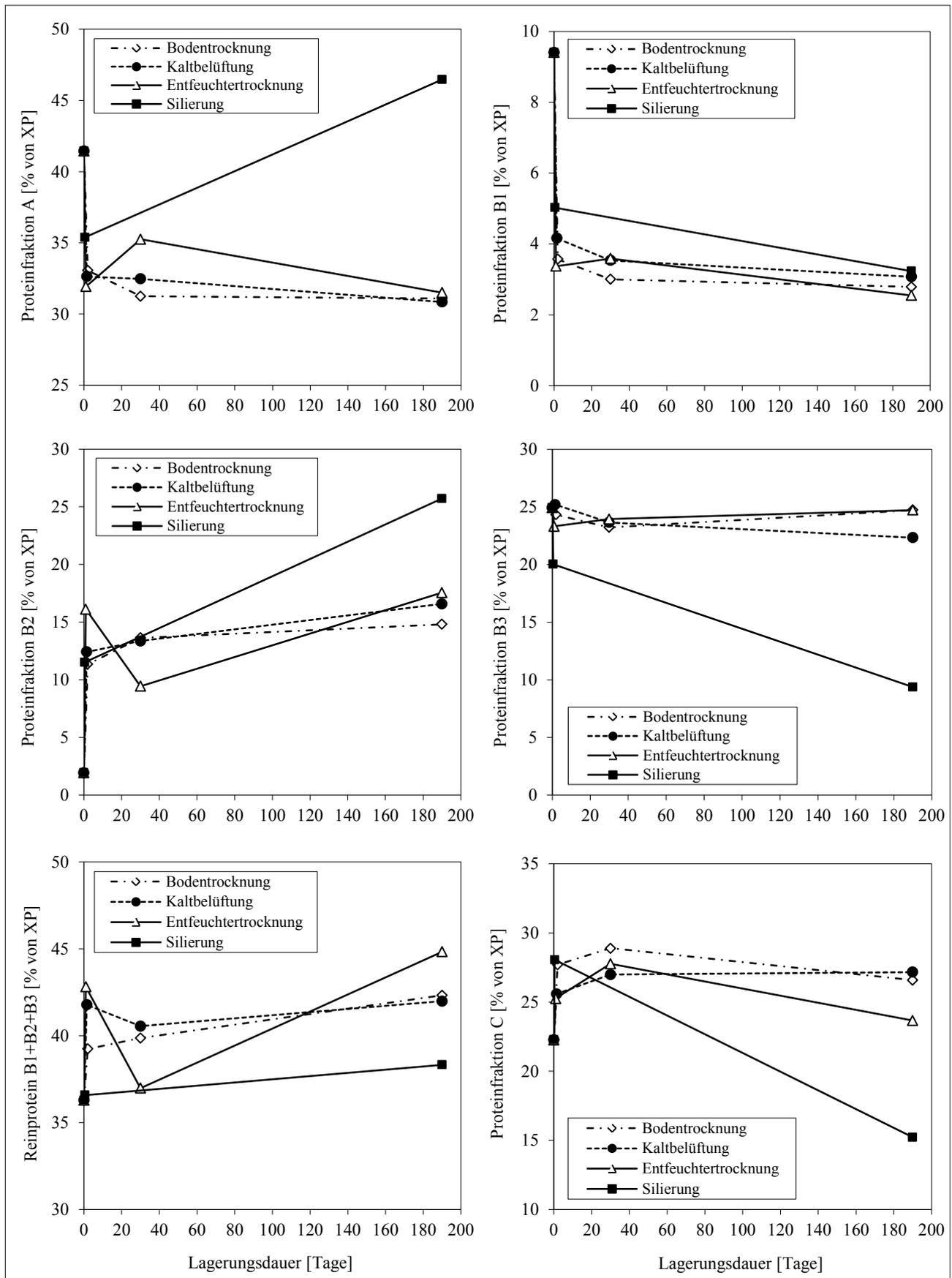


Abbildung 1: Veränderung der Proteinfraktionen A, B1, B2, B3 und C in Abhängigkeit von Konservierungsverfahren und Lagerungsdauer (% des Rohproteins)

der Grassilage. Der Anteil an B3-Protein war in Grassilage signifikant geringer als im Heu. Grassilage enthielt gleich viel Reinprotein wie die verschiedenen Konservierungsvarianten des Heus. In den relativen Anteilen der Proteinfractionen zum Rohprotein wurde klar erkenntlich, dass durch die Gärung der Anteil und der Gehalt an Fraktion A (NPN) erhöht werden, was in den Untersuchungen von VOSS (1967) sowie OHSHIMA und McDONALD (1978) bestätigt wurde. Vorteilhaft war die Tatsache, dass durch die Gärung ein Teil der unverwertbaren C-Fraktion degradiert und damit für den Wiederkäuer verfügbar gemacht wurde. Mit 37,1 % Reinprotein am gesamten Rohprotein wird die Forderung von mindestens 50 % Reinprotein im Gärfutter (SPIEKERS 2011) nicht erfüllt. Die Summe an NPN-Verbindungen und Reinprotein ergab höhere Gehalte an verwertbarem N-Verbindungen in der Grassilage-TM (124 g/kg TM) im Vergleich zu den Heuvarianten (Bodentrocknung 106 g/kg TM; Kaltbelüftung 110 g/kg TM; Entfeuchterrocknung 111 g/kg TM).

Im Durchschnitt aller Untersuchungen bei den 11 Aufwüchsen konnte kein positiv signifikanter Einfluss der Kaltbelüftung oder der Entfeuchterrocknung auf den Anteil der Proteinfractionen gegenüber der Bodentrocknung ohne Belüftung festgestellt werden. Dennoch weist Heu aus der Entfeuchtungstrocknung eine etwas günstigere Zusammensetzung in den Proteinfractionen auf (weniger C, mehr B2, mehr Reinprotein, mehr A, *Tabelle 4*).

Die Veränderungen der Proteinfractionen in zeitlicher Hinsicht (Feldbestand bis Futtevorlage) waren mehr oder weniger stark ausgeprägt (*Abbildung 1*: Wechselwirkungen Konservierungsverfahren × Lagerungsdauer). Im Durchschnitt der Versuche zeigte sich eine starke Veränderung in den Gehalten zwischen Mähen und Einfuhr des geernteten Wiesenfutters (*Tabelle 4*). Die Veränderungen in den Proteinfractionen A, B1 und B2 weisen auf starke proteolytische Vorgänge hin. Während der Lagerungsphase veränderte die Gärung die Proteinfractionen im Gärfutter wesentlich stärker als die mikrobiologischen Prozesse in der Heulagerungsphase, d.h. die mikrobiologische Desmolyse war bei der Gärung stark ausgeprägt.

4. Fazit für die Praxis

Im Forschungsprojekt „Heutrocknung“ der HBLFA Raumberg-Gumpenstein bestanden zwischen dem Verfahren ‘Silierung’ und ‘Heutrocknung’ deutlichere Unterschiede in den Anteilen der 5 Proteinfractionen als innerhalb der 3 Verfahren der Heutrocknung (Bodentrocknung, Kaltbelüftung, Entfeuchterrocknung). Zwischen Mähen und Einfuhr des Ernteguts kam es zu einem signifikanten Abbau und Umbau der einzelnen Proteinfractionen, wobei vor allem leicht lösliche N-Verbindungen verloren gingen. Die einzelnen Konservierungsverfahren der Heutrocknung unterschieden sich in den Proteinfractionen im Durchschnitt der Versuche nicht voneinander, d.h. die Abbaurate des Proteins von Heu aus der Bodentrocknung war ähnlich wie jene des Heus aus der Kaltbelüftung oder Entfeuchterrocknung. Während der Lagerung der Futterkonserven waren die Veränderungen der Proteinfractionen in den einzelnen Heutrocknungsverfahren geringfügig, während beim Gärfutter deutliche Veränderungen auftraten.

5. Literatur

- DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft), 1997: DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer 7. erweiterte und überarbeitete Auflage. Herausgeber: Universität Hohenheim-Dokumentationsstelle, DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 212 S.
- EDMUNDS, B., K.-H. SÜDEKUM, H. SPIEKERS und F.J. SCHWARZ, 2012a: Estimating ruminal crude protein degradation of forages using in situ and in vitro techniques. *Anim. Feed Sci. Technol.* 175, 95-105.
- EDMUNDS, B., H. SPIEKERS, K.-H. SÜDEKUM, H. NUSSBAUM, F.J. SCHWARZ und R. BENNETT, 2012b: Effect of extent and rate of wilting on nitrogen components of grass silage. *Grass Forage Sci.* 69, 140-152.
- FOX, D.G., C.J. SNIFFEN, J.D. O'CONNOR, J.B. RUSSELL und P.J. Van SOEST, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. 3. Cattle requirements and diet adequacy. *J. Anim. Sci.* 70, 3578-3596.
- FOX, D.G., T.P. TYLUTKI, J.B. RUSSELL, M.E. Van AMBURGH, L.E. CHASE, A.N. PELL und T.R. OVERTON, 2004: The Cornell net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112, 29-78.
- GRUBER, L., 2009: Chemische Zusammensetzung, Analytik und Bedeutung pflanzlicher Gerüstsubstanzen in der Ernährung der Wiederkäuer. *Übers. Tierernährg.* 37, 45-86.
- GRUBER, L., S. GRAGGABER, W. WENZL, G. MAIERHOFER, B. STEINER und L. HABERL, 2004: Gehalte an Kohlenhydraten und Protein in Wiesenfutter und Silomais nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) sowie Einfluss der Konservierung (Grünfutter, Silage, Heu). 116. VDLUFA-Kongress, 13.-17. Sept. 2004, Rostock, Kongressband, 366-376.
- HOEDKE, S., M. GABEL und A. ZEYNER, 2010: Der Proteinabbau im Futter während der Silierung und Veränderungen in der Zusammensetzung der Rohproteinfraction. *Übers. Tierernährg.* 38, 157-179.
- KEMBLE, A.R., 1956: Studies on the nitrogen metabolism of the ensilage process. *J. Sci. Food Agric.* 7, 125-130.
- KJELDAHL, J., 1883: Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 366-382.
- KRISHNAMOORTHY, U., T.V. MUSCATO, C.J. SNIFFEN und P.J. Van SOEST, 1982: Nitrogen fractions in selected feedstuffs. *J. Dairy Sci.* 65, 217-225.
- LICITRA, G., T.M. HERNANDEZ und P.J. Van SOEST, 1996: Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 347-358.
- McDONALD, P., A.R. HENDERSON und S.J.E. HERON, 1991: *The Biochemistry of Silage*. Chalcombe Publications, 2nd Ed., Marlow, 340 S.
- OHSHIMA, M. und P. McDONALD, 1978: Review of changes in nitrogenous compounds of herbage during ensilage. *J. Sci. Food Agric.* 29, 497-505.
- PÖLLINGER, A., 2014: Heutrocknungsverfahren im Vergleich. Bericht 19. Alpenländische Expertenforum, 3. April 2014, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 35-44.
- PÖLLINGER, A., 2015: Technische Kennzahlen zu verschiedenen Heutrocknungsmethoden. Bericht 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 41-48.
- RESCH, R., T. GUGGENBERGER, G. WIEDNER, A. KASAL, K. WURM, L. GRUBER, F. RINGDORFER und K. BUCHGRABER, 2006: Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. *Der Fortschrittliche Landwirt* 24, ÖAG-Sonderbeilage 8/2006, 20 S.

- RESCH, R., 2011: Raufutterqualität auf österreichischen Betrieben. Abschlussbericht zur wissenschaftlichen Tätigkeit Nr. 3583, 56 S.
- RESCH, R., 2014: Auswirkungen unterschiedlicher Trocknungsverfahren auf die Raufutterqualität. Bericht zum 19. Alpenländischen Expertenforum, 3. April 2014, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 45-54.
- ROOKE, J.A. und R.D. HATFIELD, 2003: Biochemistry of ensiling. In: BUXTON, D.R., R.E. MUCK und J.H. HARRISON (Hrsg.): Silage Science and Technology. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA, Agronomy 42, 95-139.
- RUSSELL, J.B., J.D. O'CONNOR, D.G. FOX, P.J. Van SOEST und C.J. SNIFFEN, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. Ruminal fermentation. J. Anim. Sci. 70, 3551-3561.
- SEYFARTH, W., O. KNABE und G. WEISE, 1989: Protein degradation during silaging of green fodder. Arch. Anim. Nutr. 39, 685-691.
- SNIFFEN, C.J., J.D. O'CONNOR, P.J. Van SOEST, D.G. FOX und J.B. RUSSELL, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 70, 3562-3577.
- SPIEKERS, H., 2011: Ziele in der Wiederkäuerfütterung. In: Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung. 8. vollständig überarbeitete Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 13-17.
- TILLEY, J.M.A und R.A. TERRY, 1963: A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. Brit. Grassl. Soc. 18, 104-111.
- Van SOEST, P.J. und J.B. ROBERTSON, 1980: Systems of analysis for evaluating fibrous feeds. In: Standardization of Analytical Methodology for Feeds. Eds.: W.J. Pigden, C.C. Balch und M. Graham, Int. Dev. Res. Center, ON, Ottawa, Canada, 49-60.
- Van SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON und B.A. LEWIS, 1991: Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74, 3583-3597.
- VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997: Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VOSS, N., 1967: Untersuchungen über Proteinabbau in Gras- und Luzernesilagen. Das Wirtschaftseigene Futter 13, 130-145.
- WIRLEITNER, G., C. ASCHAUER, M. KITTL, K. NEUHOFFER, F. NYDEGGER, A. PÖLLINGER, R. RESCH, S. JAKSCHITZ-WILD, J. OSTERTAG und S. THURNER, 2014: Empfehlungen für die Belüftungstrocknung von Heu. Der Fortschrittliche Landwirt 32, ÖAG-Sonderbeilage 4/2014, 11 S.

Einfluss verschiedener Heutrocknungsverfahren auf den Futterwert von Wiesenfutter im Vergleich zur Silierung

Influence of different hay drying techniques on the nutritive value of meadow grass compared to silage making

Leonhard Gruber^{1*}, Reinhard Resch², Anton Schauer¹, Barbara Steiner³ und Christian Fasching¹

Zusammenfassung

In einem drei-jährigen Forschungsprojekt wurde der Einfluss unterschiedlicher Konservierungsverfahren auf den Nährstoffgehalt und die Verdaulichkeit des Wiesenfutters untersucht. Der Fokus der Untersuchung lag auf verschiedenen Verfahren der Heutrocknung (Bodentrocknung, Kaltbelüftung, Entfeuchterrocknung), die mit der Silierung als Kontrolle verglichen wurden (Abkürzung BT, KB, ET, SI). Das Futter stammte von einer homogenen Dauerwiese im Alpenraum (Irdning, Steiermark, 700 m NN) und wurde bei Vier-Schnittnutzung für alle Konservierungsverfahren zum gleichen Zeitpunkt geerntet. Alle Schnitte und Konservierungsverfahren wurden nach gängigen Methoden auf ihren Gehalt an Rohnährstoffen, Gerüstsubstanzen und Mineralstoffen untersucht und die Verdaulichkeit *in vitro* (Enzymlöslichkeit) analysiert. Von einer Mischung der vier Aufwüchse eines Konservierungsverfahrens und Jahres (entsprechend dem Trockenmasse-Ertrag) wurde auch die Verdaulichkeit *in vivo* (mit Hammeln) entsprechend den Leitlinien der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie bestimmt.

Die Silage wies den höchsten Gehalt an Rohprotein auf (134, 134, 142, 156 g XP/kg TM in BT, KB, ET und SI). In den für den Futterwert entscheidenden Kriterien (Rohfaser und Gerüstsubstanzen; XF und NDF) sind in der Variante 'Entfeuchterrocknung' die günstigsten Werte zu finden (250, 254, 234, 262 g XF bzw. 483, 486, 459, 478 g NDF/kg), was für die geringsten Bröckelverluste dieses Verfahrens innerhalb der Heuvarianten spricht. Die höheren Gehalte an Rohprotein, Gerüstsubstanzen und auch Mineralstoffen in der Silage sprechen dafür, dass von den Gärmikroben im Silierprozess leicht verfügbare Kohlenhydrate verbraucht werden und sich die anderen Inhaltsstoffe (Nähr- und Mineralstoffe) relativ anreichern. Bröckelverluste können infolge des geringeren Gehaltes an Trockenmasse bei den Silagen nicht der Grund für diese Nährstoffverschiebung sein. Diese Prozesse stimmen mit den Ergebnissen der *in vivo*-Verdauungsversuche gut überein. Die Verdaulichkeit der organischen Masse betrug 67,7, 70,1, 69,9, 68,7 % in BT, KB, ET und SI. Gegenüber der Bodentrocknung

Summary

The influence of different preservation techniques on nutrient content and the digestibility of meadow grass have been assessed in a triennial research project. The focus of this assessment lay on the different hay drying techniques (field drying, cold-air ventilation, dehumidification drying), which were compared with silage-making as control (abbreviations BT, KB, ET, SI). The fodder originated from a homogenous permanent meadow in the alpine region (Irdning, Styria, 700 m sea level) and was harvested four times a year – all preservation methods always at the same date. All cuts and preservation methods were assessed in terms of their nutrient content, cell wall substances and minerals according to the common practices, and digestibility *in vitro* (cellulase solubility) was analysed, as well. A mixture was made from the four growths of each preservation method and year (adequate to the yield of dry matter) and digestibility *in vivo* (with wethers) was determined according to the guidelines of the German Association of Nutrition Physiology.

Silage showed the highest content of crude protein (134, 134, 142, 156 g XP/kg DM in BT, KB, ET and SI). Concerning the criteria being important in terms of feed value (crude fibre and cell wall substances; XF and NDF) the best values are found in the method dehumidification drying (250, 254, 234, 262 g XF and 483, 486, 459, 478 g NDF/kg), which argues for the lowest crumb loss of this method within the hay drying techniques. The better contents in terms of crude protein, cell wall substances and minerals as well indicate that available carbohydrates are consumed by the microbes responsible for fermentation in the silage process, and other ingredients (nutrients and minerals) are enriched, comparatively. Due to the lower content of dry matter at silages, crumb losses cannot be the reason for this shift of nutrients. These processes correspond with the results from the *in vivo* digestibility trials. The digestibility of the organic matter amounted for 67.7, 70.1, 69.9, and 68.7% in BT, KB, ET and SI. In contrary to the field drying technique digestibility improved by 2.4 and 2.2 % in cold-air ventilation and dehumidification drying, whereas silage was

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

² HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

³ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Abteilung für Analytische Chemie, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

* Ansprechpartner: Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, email: leonhard.gruber@raumberg-gumpenstein.at

verbesserte sich die Verdaulichkeit in der Kaltbelüftung bzw. in der Entfeuchtertrocknung um 2,4 bzw. 2,2 Prozentpunkte, während die Silage gegenüber dem Bodenheu um nur 1,0 Prozentpunkte besser ausstieg. Dies entspricht einer Energiekonzentration der konservierten Wiesenfutter von 5,5, 5,8, 5,7 und 5,7 MJ NEL/kg TM.

Insgesamt sind diese Unterschiede zwischen den Konservierungsverfahren als gering zu bezeichnen und sie zeigen, dass in allen Verfahren auf hohem Niveau und mit großer Sorgfalt gearbeitet wurde. Es muss allerdings betont werden, dass das Verfahren der Bodentrocknung (und zum Teil auch der Kaltbelüftung) einem höheren Wetterisiko ausgesetzt ist als die Entfeuchtertrocknung und die Silierung, was wichtige Argumente für diese Verfahren darstellen.

Schlagwörter: Heutrocknung, Wiesenfutter, Nährstoffe, Verdaulichkeit, Mineralstoffe

only 1% better than the field cured hay. This agrees with an energy concentration of 5.5, 5.8, 5.7 and 5.7 MJ NEL/kg DM of the preserved meadow grass.

On the whole these differences between the preservation methods are low, and they show that in total there has been worked on a high level and with large accurateness. On the other hand it has to be mentioned that the field drying technique (and partially also the method of cold-air ventilation) is exposed to a higher weather risk than the dehumidification drying and silage making, which represents important reasons for these procedures.

Keywords: Hay drying, meadow grass, crude nutrients, digestibility, minerals

1. Einleitung

Die geographische Lage und die klimatischen Verhältnisse in Österreich erfordern, dass ein relativ großer Anteil des wirtschaftseigenen Grundfutters zu konservieren ist. Die jährliche Gesamtfutterproduktion des österreichischen Wirtschaftsgrünlandes inklusive Feldfutterbau beträgt im Durchschnitt der letzten 10 Jahre netto rund 6,713 Millionen Tonnen Trockenmasse. Davon werden etwa 25 % als Grünfutter sowie Weide genutzt und 75 % über die Futtermittelkonservierung in Form von Silage (3/4) und Heu (1/4) für die Stall- und Winterfütterung bereitgestellt (RESCH 2015). Angesichts der bekannten Vorteile der Silagebereitung (geringeres Wetterisiko, geringere Massen- und Energieverluste, hohe Schlagkraft etc.; NUSSBAUM 2009) hat die Bedeutung der Silierung in den vergangenen 45 Jahren stark zugenommen. Während im Jahr 1970 noch 78 % des Grundfutters als Heu konserviert wurden, lag der Anteil im Jahr 2010 nur noch bei 23 % (RESCH 2015).

Andererseits hat die Bedeutung von Heu durch gezielte Marketingprogramme wie 'Heumilch' und 'Heumilchkäse' sowie durch ein geändertes Konsumverhalten im letzten Jahrzehnt wieder zugenommen (PÖLLINGER 2014). Derzeit zählt die 'ARGE Heumilch' über 8.000 Bauern und 60 Molkereien, Käsereien und Sennereien zu ihren Mitgliedern (ARGE HEUMILCH 2014). Die Heumilchanlieferung lag 2013 bei 323.354 Tonnen. Das entspricht 11 % der gesamten Milchanlieferung Österreichs (AMA 2014, BMLFUW 2014). Weiters wird die Heumilcherzeugung durch öffentliche Gelder im Rahmen der ÖPUL-Maßnahme 'Silageverzicht' gefördert. Diese Maßnahme hat eine regional möglichst flächendeckende silagefreie Wirtschaftsweise sowie den Erhalt der pflanzlichen und tierischen Biodiversität zum Ziel (ÖPUL 2007). Im Jahr 2014 nahmen 9.606 Betriebe an der Maßnahme Silageverzicht teil (BMLFUW 2014).

Doch unabhängig davon, ob das Wiesenfutter als Silage oder Heu konserviert und verfüttert wird, ist die Qualität des wirtschaftseigenen Grundfutters von enormer Bedeutung für das Leistungsniveau und auch damit für die Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung (GRUBER 2013). Um den Kraftfutteranteil gering zu halten und dennoch eine möglichst hohe Energieversorgung der Kühe sicherzustellen, ist eine hohe Grundfutterqualität die entscheidende Voraussetzung.

Die Konservierung (d.h. die Verhinderung des Nährstoffabbaues im Grünfutter nach dem Schnitt, der durch pflanzeneigene Enzyme und durch Mikroorganismen erfolgt) wird bei der Heuwerbung durch Entzug des Wassers auf 12 bis 14 % TM erreicht und bei der Silierung durch die Wirkung der Säuerung und damit Ausschaltung der zum Verderb führenden Mikroorganismen bewirkt.

HUSS (1987) gibt folgende technische, betriebswirtschaftliche und ernährungsphysiologische Kriterien an, die für die Auswahl des Konservierungsverfahrens 'Heutrocknung' oder 'Silierung' maßgeblich sind:

1. der erforderliche Arbeitsaufwand bzw. die Möglichkeit der Mechanisierung
2. die für ein Verfahren notwendigen Investitionen und Betriebskosten
3. die Witterungsabhängigkeit eines Verfahrens bzw. die Möglichkeit einer gleichmäßigen Auslastung der vorhandenen Betriebsmittel und Arbeitskräfte
4. die bei einem Verfahren auftretenden und unvermeidbaren Nährstoffverluste.

Dabei ist bei der Heuwerbung mit folgenden Arten von Verlusten zu rechnen:

1. Atmungsverluste: durch Tätigkeit der Enzyme in den noch lebenden Zellen (bis 65 % TM)
2. Witterungsverluste: bei Regenwetter werden wasserlösliche Nährstoffe ausgewaschen
3. mechanische Verluste: Abbröckeln der nährstoffreichen Blätter vom Stängel durch Erntemaschinen
4. Lagerverluste: nach der Einlagerung im Heustock durch mikrobielle Nachgärung
5. Wertigkeitsminderung: Rückgang der Verdaulichkeit und Energieverwertung durch Konservierung gegenüber frischem Grünfutter

Bei der Gärfutterbereitung wird die rasche Unterbindung des Nährstoffabbaues im Silo nach Veratmung des eingeschlossenen Sauerstoffs vorerst durch Sauerstoffmangel bewirkt, der die noch lebenden Pflanzenzellen abtötet und die Entwicklung aerober Mikroorganismen verhindert. Als zweiter Faktor kommt die Absenkung des pH-Wertes hinzu, die ebenfalls zur Abtötung der Zellen beiträgt und nur relativ säuretoleranten Mikroorganismen eine weitere Vermehrung

erlaubt (HUSS 1987). GROSS (1974) führt folgende Arten von Verlusten an, die bei der Gärfutterbereitung anfallen: Feldverluste, Gärungsverluste, Gärtsaftverluste, Abraumverluste, Nachgärluste.

Im folgenden Beitrag werden die Ergebnisse zum Futterwert von Heu aus verschiedenen Trocknungsverfahren im Vergleich zur Silierung berichtet. Als Verfahren der Heutrocknung wurden die Bodentrocknung, Kaltbelüftung sowie Entfeuchertrocknung mit der Silagebereitung durch Rundballen in einem interdisziplinären Forschungsprojekt an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein verglichen. Die technischen Kennzahlen zu den Verfahren werden von PÖLLINGER (2014 und 2015) diskutiert. Über den Futterwert des Grünlandbestandes bei der Ernte und dessen Veränderungen durch die Konservierung und während der Lagerung berichten RESCH (2014) sowie RESCH und GRUBER (2015). FASCHING et al. (2015) charakterisieren die Futteraufnahme und Milchproduktion dieser Futtervarianten aus der Heutrocknung und Silierung und VELIK et al. (2015) stellen deren Einfluss auf die Milchqualität dar.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden im Versuchswirtschaftsbetrieb der HBLFA Raumberg-Gumpenstein an den drei hintereinander folgenden Jahren 2010, 2011 und 2012 durchgeführt ('Stainacher Wiese', ca. 11 Hektar).

2.1 Versuchsplan sowie Beschreibung der Verfahren und der Versuchsfläche

Der Versuchsplan ist in *Tabelle 1* angeführt. Weiters werden wichtige Charakteristika der vier Konservierungsverfahren von der Ernte bis zur Konservierung beschrieben. Die Verfahren unterschieden sich im Wesentlichen im für die Konservierung erforderlichen Gehalt an Trockenmasse (TM) und der davon sich ergebenden sog. Feldliegezeit. In den vier Konservierungsverfahren (Bodentrocknung, Kaltbelüftung, Entfeuchertrocknung, Silierung) wurden im Mittel aller drei Versuchsjahre und aller Aufwüchse 4, 3, 2 und 1 Mal pro Schnitt gezettet. Das geerntete Futter lag dementsprechend 45, 33, 24 und 11 Stunden auf dem Feld und der Gehalt an Trockenmasse bei der Einfuhr betrug 78, 71, 62 und 38 %. Weitere Angaben zur Ernte und den Konservierungsverfahren finden sich bei PÖLLINGER (2014 und 2015).

Das Ausgangsmaterial war ein Dauerwiesen-Mischbestand mit einem durchschnittlichen Artengruppenverhältnis von 57 % Gräsern, 21 % Leguminosen und 22 % Kräutern im 1. Aufwuchs. In den Folgeaufwüchsen verschob sich das

Verhältnis auf 51 % Gräser, 24 % Leguminosen und 25 % Kräuter. Im Versuchsjahr 2012 wurden anstatt vier nur drei Aufwüchse geerntet, weil der 2. Aufwuchs aufgrund einer Überflutung der Wiesenfläche nach starken Regenfällen und starker Futtermverschmutzung für die Fütterung nicht mehr geeignet war und entsorgt werden musste. Die Mahd der Versuchsfläche wurde im Jahr 2010 ohne Mähauflbereitung, in den Folgejahren 2011 und 2012 mit Knickzetter-Aufbereitung durchgeführt. Futterbearbeitung (Zetten, Schwaden) und Einfuhr des Erntegutes (Ladewagen) wurde in den drei Versuchsjahren und bei allen Aufwüchsen mit den gleichen Maschinen erledigt (PÖLLINGER 2014, RESCH und GRUBER 2015).

2.2 Chemische Analysen und Verdauungsversuche mit Hammeln

Von den einzelnen Aufwüchsen der vier Konservierungsvarianten, die im Fütterungsversuch mit Milchkühen entsprechend ihrem Ertragsanteil (Trockenmasse-Basis) verfüttert wurden (FASCHING et al. 2015), wurden täglich Proben entnommen und diese pro Fütterungs-Periode von einer Dauer von vier Wochen zu einer Sammelprobe gepoolt (d.h. 4 Proben pro Konservierungsvariante und Versuchsjahr). Von diesen Proben wurde der Gehalt an Trockenmasse und Rohnährstoffen (TM, XP, XL, XF, XX, XA) entsprechend den Analysenvorschriften (VDLUFA 2007 bzw. ALVA 1983) sowie auch der Gehalt an Gerüstsubstanzen (NDF, ADF, ADL) nach Van SOEST et al. (1991) mit Tecator-Geräten untersucht. Von diesen Proben wurde auch die Verdaulichkeit *in vitro* nach der Zellulase-Methode (Enzym-Löslichkeit; ELOS) ebenfalls nach VDLUFA (2007) bestimmt. Die Berechnung der Energie-Konzentration aus ELOS und dem Gehalt an Nährstoffen erfolgte nach dem Berechnungsschema der GfE (2008). Die Mineralstoffe Ca und Mg wurden komplexometrisch bestimmt, P spektralfotometrisch sowie K, Na, Mn, Zn und Cu mit Atomabsorptionsspektroskopie. Die Trockenmasse-Bestimmung erfolgte durch Trocknung der Einzelproben bei 104 °C für 24 h. Die bei der Trocknung von Silagen entstehenden Verluste über flüchtige Substanzen wurden nach den Angaben von WEISSBACH und KUHLA (1995) berücksichtigt.

Zur Bestimmung der Verdaulichkeit *in vivo* (mit Hammeln) wurden – aus Kapazitätsgründen – pro Versuchsjahr die vier Aufwüchse jeder Konservierungsvariante entsprechend ihrem Ertragsanteil (Trockenmasse-Basis) zusammengesetzt und als Summe aller vier Aufwüchse gemeinsam verfüttert. Auch von diesen Futterproben und den aus dem Verdauungsversuch korrespondierenden Kotproben wurden die Analysen der Nähr- und Mineralstoffe nach den oben

Tabelle 1: Versuchsplan und Beschreibung der Verfahren

Verfahren	Bodentrocknung (BT)	Kaltbelüftung (KB)	Entfeuchertrocknung (ET)	Silierung (SI)
Anzahl Zetten ¹⁾	4	3	2	1
Feldliegezeit (h)	45,4	32,6	24,3	10,7
Trockenmasse bei Ernte (%)	78,3	70,6	61,5	37,8
Bröckel- und Rechverluste (kg TM je ha) ¹⁾	377	272	196	155
Versuchsjahre		2010, 2011, 2012		
Versuchsfläche		Stainacher Wiese (ca. 11 ha), 4-Schnitt-Nutzung		
Anteil der 4 Aufwüchse (% der TM)		24 / 27 / 29 / 20		

¹⁾ nach PÖLLINGER (2014)

beschriebenen Verfahren durchgeführt. Die Verdaulichkeit der Versuchsfutter wurde mit Hammeln nach den Leitlinien der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE 1991) für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen festgestellt (14 Tage Vorperiode und 14 Tage Sammelperiode, Futterniveau 1 kg TM Versuchsration pro Tag, 4 Tiere pro Futtermittel). Die Berechnung der Energiekonzentration (GE, ME, NEL) und des Proteinwertes (nXP, RNB) erfolgte nach den Vorgaben der GfE (2001). Die dafür erforderlichen Angaben zum Gehalt an UDP (undegraded dietary protein) wurden der DLG-Tabelle für Wiederkäuer (1997) entnommen.

2.3 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse wurde mit der Prozedur GLM von Statgraphics Centurion XV (Version 15.2.14) nach folgenden Modellen durchgeführt.

Modell 1:

Analyse der Einzelaufwüchse (N = 176)

4 Konservierungsvarianten, 4 (2010, 2011) bzw. 3 Aufwüchse (2012), 3 Jahre,

4 Fütterungsperioden (lateinisches Quadrat im Fütterungsversuch) = 176

$$y_{ijk} = \mu + K_i + A_j + J_k + (K \times A)_{ij} + (K \times J)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

y_{ijk} = Beobachtungswert des abhängigen Parameters
 μ = Intercept
 K_i = fixer Effekt der Konservierung i (i = BT, KB, ET, SI)
 A_j = fixer Effekt des Aufwuchses j (j = 1, 2, 3, 4)
 J_k = fixer Effekt des Jahres k (k = 2010, 2011, 2012)
 $(K \times A)_{ij}$ = Wechselwirkung zwischen Konservierung i und Aufwuchs j
 $(K \times J)_{ik}$ = Wechselwirkung zwischen Konservierung i und Jahr k
 ε_{ijklm} = Random Error

Modell 2:

Analyse der Verdauungsversuche (N = 12)

4 Konservierungsvarianten, 3 Jahre = 12

$$y_{ij} = \mu + K_i + J_j + \varepsilon_{ij}$$

y_{ij} = Beobachtungswert des abhängigen Parameters
 μ = Intercept
 K_i = fixer Effekt der Konservierung i (i = BT, KB, ET, SI)
 J_j = fixer Effekt des Jahres j (k = 2010, 2011, 2012)
 ε_{ij} = Random Error

Der multiple Vergleich der Mittelwerte erfolgte nach der Methode Tukey HSD. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen eines fixen Effektes werden durch unterschiedliche Hochbuchstaben gekennzeichnet. In den Tabellen werden die Least Squares-Mittelwerte mit dem RMSE (Root mean square error, d.h. Wurzel des random error ε) und den P-Werten für die fixen Effekte und Wechselwirkungen angeführt.

3. Ergebnisse und Diskussion

In den nachfolgenden zwei Abschnitten werden die Ergebnisse sowohl hinsichtlich der vier Einzelaufwüchse als

auch der Mischproben aus den vier Einzelaufwüchsen für die Verdauungsversuche diskutiert.

3.1 Ergebnisse zu den Einzelaufwüchsen

Die Ergebnisse zu den Analysen der Einzelaufwüchse sind in der *Tabelle 2* (Haupteffekte von Konservierung, Aufwuchs und Versuchsjahr) bzw. *Tabelle 3* (Wechselwirkung Konservierung \times Jahr) angeführt.

Der Faktor ‘Konservierung’ übte einen signifikanten Einfluss auf den Gehalt an Rohprotein, Rohfett und Rohasche aus, nicht jedoch an Rohfaser. Die Silage wies in diesen Kriterien gegenüber den drei Heuvarianten höhere Werte auf. Dagegen war der Gehalt an NDF in den Grassilagen niedriger. Im Durchschnitt aller Einzelaufwüchse wurde bei der Bodentrocknung der niedrigste Energiegehalt festgestellt und bei der Silage der höchste (P = 0,024). Die tatsächlichen Unterschiede waren allerdings gering (5,92^b, 6,00^{ab}, 5,99^{ab}, 6,09^a MJ NEL/kg TM in BT, KB, ET und SI). Mit Ausnahme des Kaliums bestanden in allen Mineralstoffen signifikante Unterschiede, wobei durchwegs in den Silagen die höchsten Werte vorlagen.

Wie zu erwarten, übt der Faktor ‘Aufwuchs’ in allen Nährstoffparametern einen hochsignifikanten Einfluss aus. Dies ergibt sich aus der unterschiedlichen Morphologie der Pflanzen in der generativen Phase des ersten Aufwuchses und dessen höherem Stängelanteil. Dagegen nimmt mit den weiteren Aufwüchsen in Folge der vegetativen Phase der Pflanzen der Anteil der Blätter mehr und mehr zu. Dies wirkt sich entscheidend auf den Gehalt an Gerüstsubstanzen und – damit zusammenhängend – auf die Verdaulichkeit sowie Energiekonzentration aus (GRUBER et al. 2010). Mit der Nummer des Aufwuchses erhöht sich auch der Gehalt an Rohprotein und an den Mengenelementen, nicht jedoch an Spurenelementen.

Es ist nicht überraschend, dass auch das Jahr signifikant auf den Gehalt an Nähr- und Mineralstoffen sowie die Energiekonzentration wirkt, was sich durch die von Jahr zu Jahr sich ändernden Klima- und damit Wachstumsbedingungen erklärt. Besonders die Faktoren Temperatur, Lichtintensität und Wasserversorgung spielen eine wichtige Rolle (SCHAUMBERGER 2011, PÖTSCH et al. 2014). Aus der Sicht der Konservierung und damit der Hauptfragestellung des vorliegenden Projektes beeinflussen die Wetterbedingungen ganz besonders zum Zeitpunkt der Ernte die Futterqualität.

3.2 Ergebnisse der Verdauungsversuche

Die Ergebnisse zu den Verdauungsversuchen sind in der *Tabelle 4* (Haupteffekte von Konservierung, Aufwuchs und Versuchsjahr) bzw. *Tabelle 5* (Wechselwirkung Konservierung \times Jahr) angeführt. Wie bereits ausgeführt, wurden für die Verdauungsversuche – aus Kapazitätsgründen – die Einzelaufwüchse innerhalb eines Versuchsjahres entsprechend dem Ertrag (auf Trockenmasse-Basis) wie auch im Fütterungsversuch mit Milchkühen (FASCHING et al. 2015) gemischt und daher gemeinsam verfüttert.

Es ist daher vorauszuschicken, dass in Folge der wesentlich geringeren Anzahl an Proben (N = 176 vs. N = 12) statistisch signifikante Unterschiede gegenüber der Analyse der Einzelaufwüchse seltener sind, obwohl die Differenzen

Tabelle 2: Gehalt des Wiesenfutters an Inhaltsstoffen in Abhängigkeit von Konservierungsverfahren, Aufwuchs und Jahr (Haupteffekte)
[Datenmaterial Einzelaufwüchse, Modell 1, N = 176]

Parameter	Einheit	Konservierung					Aufwuchs					Jahr			P-Werte			
		BT	KB	FT	SI	1	2	3	4	2010	2011	2012	RMSE	K	A	J	K × A	K × J
Rohnährstoffe																		
Trockenmasse	g/kg FM	889 ^a	890 ^a	889 ^a	403 ^b	773	762	756	780	764	779	760	30	<0,001	0,003	0,002	<0,001	0,066
Rohprotein	g/kg TM	140 ^b	140 ^b	141 ^b	157 ^a	129	138	145	165	149	150	134	9	<0,001	<0,001	<0,001	0,027	0,807
Rohfett	g/kg TM	24 ^b	25 ^b	24 ^b	35 ^a	26	28	27	28	26	28	2	2	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001
Rohfaser	g/kg TM	244	242	238	236	253	254	249	204	249	245	226	2	0,283	<0,001	<0,001	0,978	0,485
NfE	g/kg TM	501 ^a	504 ^a	509 ^a	476 ^b	518	496	483	493	488	487	518	2	<0,001	<0,001	<0,001	0,781	0,459
Rohasche	g/kg TM	91 ^{ab}	89 ^{ab}	88 ^b	95 ^a	73	84	96	110	88	90	94	12	0,020	<0,001	0,043	0,425	0,320
Gerüstsubstanzen und Nichtfaser-Kohlenhydrate																		
NDF	g/kg TM	469 ^a	463 ^a	462 ^a	430 ^b	476	471	465	413	466	462	440	22	<0,001	<0,001	<0,001	0,389	0,204
ADF	g/kg TM	274	274	272	280	284	290	286	240	288	279	259	21	0,267	<0,001	<0,001	0,904	0,606
ADL	g/kg TM	31 ^b	30 ^b	30 ^b	34 ^a	30	31	34	29	34	32	27	4	<0,001	<0,001	<0,001	0,687	0,554
NFC	g/kg TM	276	283	284	283	296	279	267	284	271	270	304	19	0,254	<0,001	<0,001	0,115	0,227
Verdaulichkeit in vitro, Energiekonzentration und Proteinwert																		
ELOS	g/kg TM	647	658	656	652	659	648	629	675	650	647	662	30	0,346	<0,001	0,036	0,714	0,862
ME	MJ/kg TM	9,94 ^b	10,05 ^{ab}	10,04 ^{ab}	10,19 ^a	10,12	10,00	9,79	10,30	9,96	10,00	10,20	0,34	0,012	<0,001	0,002	0,792	0,663
NEL	MJ/kg TM	5,92 ^b	6,00 ^{ab}	5,99 ^{ab}	6,09 ^a	6,04	5,95	5,81	6,20	5,93	5,96	6,11	0,24	0,024	<0,001	0,001	0,797	0,664
UDP	% des XP	19,3 ^a	19,3 ^a	19,2 ^a	15,0 ^b	16,7	18,8	18,8	18,6	18,9	17,9	17,9	1,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,085
nXP	g/kg TM	133	135	135	135	131	133	132	142	135	135	134	4	0,227	<0,001	0,623	0,197	0,814
RNB	g/kg TM	1,01 ^b	0,84 ^b	1,06 ^b	3,46 ^a	-0,31	0,81	2,05	3,82	2,33	2,40	0,05	0,96	<0,001	<0,001	<0,001	0,012	0,821
Mengen- und Spurenelemente																		
Calcium	g/kg TM	7,8 ^b	7,9 ^b	8,1 ^b	10,0 ^a	7,7	8,1	8,9	9,1	9,0	8,0	8,3	0,8	<0,001	<0,001	<0,001	0,531	0,700
Phosphor	g/kg TM	2,4 ^a	2,4 ^a	2,5 ^a	2,7 ^b	2,2	2,5	2,5	2,7	2,6	2,4	2,4	0,3	<0,001	<0,001	<0,001	0,969	0,390
Magnesium	g/kg TM	2,9 ^b	2,9 ^b	3,0 ^b	3,4 ^a	2,6	2,8	3,3	3,5	3,1	2,9	3,2	0,4	<0,001	<0,001	<0,001	0,946	0,652
Kalium	g/kg TM	16,8	17,6	17,3	17,5	17,3	17,6	17,6	18,6	17,9	17,2	16,8	1,7	0,164	<0,001	0,003	0,305	0,032
Natrium	g/kg TM	0,43 ^{ab}	0,39 ^{bc}	0,33 ^c	0,47 ^a	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,43	0,35	0,12	<0,001	<0,001	<0,001	0,297	0,500
Mangan	mg/kg TM	132 ^b	125 ^b	128 ^b	153 ^a	26	28	27	28	134	119	151	27	<0,001	<0,001	<0,001	0,949	0,248
Zink	mg/kg TM	36 ^b	36 ^b	36 ^b	40 ^a	253	254	249	204	36	37	38	4	<0,001	<0,001	0,066	0,882	0,827
Kupfer	mg/kg TM	10,6 ^b	10,3 ^b	10,4 ^b	11,5 ^a	518	496	483	493	11,3	10,5	10,3	1,0	<0,001	<0,001	<0,001	0,817	0,961

zwischen den Konservierungsvarianten ähnlich sind (Tabelle 2 vs. Tabelle 4). Die Silage wies den höchsten Gehalt an Rohprotein auf (134, 134, 142, 156 g XP/kg TM in BT, KB, ET und SI). In den für den Futterwert entscheidenden Kriterien (Rohfaser und Gerüstsubstanzen) sind in der Variante 'Entfeuchter Trocknung' die günstigsten Werte zu finden (250, 254, 234, 262 g XF bzw. 483, 486, 459, 478 g NDF/kg TM in BT, KB, ET und SI). Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass bei diesem Ernteverfahren (innerhalb der Heuvarianten) die geringsten Bröckelverluste (zwischen Mähen und Lagerung) und Fermentationsverluste (während der Lagerung) stattgefunden haben.

Für die Silierung gilt, dass die Gär Mikroben während der Fermentation im Silo ganz besonders die leicht verfügbaren Kohlenhydrate als Nährstoffsubstrat heranziehen und zu den flüchtigen Fettsäuren abbauen (McDONALD et al. 1991). Indirekt wird dadurch den Mikroorganismen des Pansens leicht verfügbare Energie entzogen (Van SOEST 1994). Dieser Fermentationsprozess im Silo ist an den charakteristischen Parametern festzustellen (Tabelle 4).

In der Silage werden Protein und die Gerüstsubstanzen relativ angereichert, während der Gehalt an Nichtfaser-Kohlenhydraten geringer wird (269, 272, 285, 242 g NFC/kg TM in BT, KB, ET und SI). Dies stimmt auch gut mit den Ergebnissen der *in vivo*-Verdauungsversuche (mit Hammeln) überein. Die Verdaulichkeit der organischen Masse betrug 67,7, 70,1, 69,9, 68,7 % dOM in BT, KB, ET und SI. Gegenüber der Bodentrocknung verbesserte sich die Verdaulichkeit in der Kaltbelüftung bzw. in der Entfeuchter Trocknung um 2,4 bzw. 2,2 Prozentpunkte, während die Silage gegenüber dem Bodenheu um nur 1,0 Prozentpunkte besser ausstieg. Insgesamt sind diese Unterschiede zwischen den Konservierungsverfahren als gering zu bezeichnen und sie zeigen, dass in allen Verfahren auf hohem Niveau und mit großer Sorgfalt gearbeitet wurde. Es muss allerdings betont

Tabelle 3: Gehalt des Wiesenfutters an Inhaltsstoffen in Abhängigkeit von Konservierungsverfahren × Jahr (Wechselwirkung)
[Datenmaterial Einzelaufwüchse, Modell 1, N = 176]

Parameter	Einheit	Bodentrocknung			Kaltbelüftung			Entfeuchtertrocknung			Silierung		P-Wert K × J		
		2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2012		RMSE	
Rohnährstoffe															
Trockenmasse	g/kg FM	892	896	879	891	897	882	892	896	879	382	429	400	30	0,066
Rohprotein	g/kg TM	143	144	132	145	145	129	145	147	132	164	162	145	9	0,807
Rohfett	g/kg TM	23	25	26	23	25	26	22	24	26	35	36	34	2	<0,001
Rohfaser	g/kg TM	254	255	224	255	243	227	249	241	225	239	243	227	2	0,485
NfE	g/kg TM	490	486	526	492	500	521	503	499	524	466	464	499	2	0,459
Rohasche	g/kg TM	89	91	92	85	86	97	82	89	92	96	95	95	12	0,320
Gerüstsubstanzen und Nichtfaser-Kohlenhydrate															
NDF	g/kg TM	480	482	444	476	465	448	476	464	448	432	439	418	22	0,204
ADF	g/kg TM	289	281	253	290	271	260	285	276	255	288	287	267	21	0,606
ADL	g/kg TM	34	32	27	33	29	27	33	32	25	37	35	30	4	0,554
NFC	g/kg TM	264	258	307	270	278	300	275	275	302	273	268	308	19	0,227
Verdaulichkeit in vitro, Energiekonzentration und Proteinwert															
ELOS	g/kg TM	637	641	662	656	655	662	654	649	665	654	643	658	30	0,862
ME	MJ/kg TM	9,77	9,87	10,18	9,95	10,06	10,14	9,95	9,95	10,21	10,19	10,12	10,26	0,34	0,663
NEL	MJ/kg TM	5,80	5,87	6,10	5,92	6,00	6,08	5,92	5,93	6,12	6,08	6,03	6,15	0,24	0,664
UDP	% des XP	20,3	19,0	18,7	20,0	18,8	19,0	20,1	18,7	18,8	15,0	15,0	15,0	1,1	0,085
nXP	g/kg TM	133	133	134	135	135	133	135	135	134	136	135	134	4	0,814
RNB	g/kg TM	1,65	1,74	-0,37	1,63	1,61	-0,71	1,61	2,03	-0,45	4,42	4,22	1,75	0,96	0,821
Mengen- und Spurenelemente															
Calcium	g/kg TM	8,1	7,3	7,9	8,5	7,4	7,9	8,7	7,7	7,8	10,6	9,6	9,7	0,8	0,700
Phosphor	g/kg TM	2,5	2,3	2,3	2,5	2,3	2,3	2,7	2,3	2,4	2,8	2,5	2,8	0,3	0,390
Magnesium	g/kg TM	3,1	2,7	3,0	3,0	2,8	3,0	3,1	2,8	3,1	3,3	3,2	3,6	0,4	0,652
Kalium	g/kg TM	17,5	16,8	16,1	18,6	17,0	17,1	18,3	17,3	16,3	17,0	17,9	17,6	1,7	0,032
Natrium	g/kg TM	0,47	0,49	0,35	0,44	0,41	0,31	0,38	0,34	0,29	0,46	0,50	0,44	0,12	0,500
Mangan	mg/kg TM	132	115	149	130	109	135	131	117	137	143	133	184	27	0,248
Zink	mg/kg TM	35	35	37	35	35	37	35	37	36	39	40	41	4	0,827
Kupfer	mg/kg TM	11,2	10,4	10,1	10,7	10,2	10,0	11,0	10,2	9,9	12,2	11,2	11,0	1,0	0,961

werden, dass das Verfahren der Bodentrocknung (und zum Teil auch der Kaltbelüftung) einem höheren Wetterisiko ausgesetzt sind als die Entfeuchtertrocknung und die Silierung, was wichtige Argumente für diese Verfahren darstellen. Dies zeigen auch die Ergebnisse der drei einzelnen Versuchsjahre in *Tabelle 5* bzw. der Einfluss des Versuchsjahres in *Tabelle 4*. Auch hinsichtlich der Gehalte an Mineralstoffen zeigt sich, dass die beiden Verfahren Entfeuchtertrocknung und Silierung in Folge geringerer Bröckelverluste und damit Bewahrung der nähr- und mineralstoffreichen Blätter höhere Werte aufweisen. So beträgt z.B. der Gehalt an Calcium in BT, KB, ET und SI 7,8, 7,6, 8,4 bzw. 9,7 g/kg TM und an Phosphor 2,3, 2,2, 2,5 bzw. 2,8 g/kg TM (*Tabelle 4*).

COULON et al. (1997) haben Wiesenfutter einer Bergdauerriese zum gleichen Zeitpunkt geerntet, das Futter entweder als Heu oder Grassilage konserviert und bei Schafen die Verdaulichkeit sowie bei Kühen die Milchleistung gemessen. Sowohl die Verdaulichkeit als auch die Futteraufnahme und Milchleistung waren bei Grassilage höher. SHINGFIELD et al. (2002) verglichen Heu mit Grassilagen unterschiedlicher Behandlungen hinsichtlich ihres Einflusses auf die Verdaulichkeit. Es wurden nur geringe Unterschiede in der Verdaulichkeit der OM zwischen Heu (wegen ungünstiger Wetterbedingungen eine Woche später geerntet) und Grassilage 'Unbehandelt', 'Inoculant-Enzyme' und 'Ameisensäure' festgestellt (70,2, 70,6, 71,1, 72,0 % DOM). Auch VERBIC et al. (1999) fanden beim Vergleich von Heu mit unterschiedlich behandelten bzw. erzeugten Grassilagen (Anwelgrade, Silierzusatz) nur geringe Unterschiede in der *in situ*-Abbaubarkeit, wobei das Futter zum gleichen Zeitpunkt geerntet worden war. TURNER et al. (2003) haben den Einfluss des Regens auf die *in situ*-Abbaubarkeit von Heu (Wiesenschwengel) und TURNER et al. (2004) auf Futteraufnahme, Verdaulichkeit, *in situ*-Abbaubarkeit und Pansenfermentation beschrieben. Mit dem Grad der Feuchtigkeit

Tabelle 4: Gehalt des Wiesenfutters an Roh Nährstoffen, Gerüstsubstanzen und Nichtfaser-Kohlenhydraten, Verdaulichkeit *in vivo* und *in vitro*, Energiekonzentration, Proteinwert sowie Gehalt an Mineralstoffen in Abhängigkeit von Konservierungsverfahren und Versuchsjahr (Haupteffekte) [Datenmaterial Verdauungsversuche, Modell 2, N = 12]

Parameter	Einheit	Konservierung				2010	Jahr		RMSE	P-Werte	
		BT	KB	ET	SI		2011	2012		K	J
Gehalt an Roh Nährstoffen											
TM	g/kg FM	882 ^a	879 ^a	870 ^a	365 ^b	745	763	739	24	<0,001	0,403
Rohprotein	g/kg TM	134 ^b	134 ^b	142 ^{ab}	156 ^a	151	147	126	7	0,024	0,005
Rohfett	g/kg TM	25 ^b	25 ^b	23 ^b	36 ^a	27	27	27	3	0,007	0,996
Rohfaser	g/kg TM	250	254	234	262	265	242	243	12	0,110	0,055
NfE	g/kg TM	502 ^a	503 ^a	511 ^a	458 ^b	468	495	517	10	0,002	0,001
Rohasche	g/kg TM	90	83	91	87	89	88	87	8	0,666	0,944
Gehalt an Gerüstsubstanzen und Nichtfaser-Kohlenhydraten											
NDF	g/kg TM	483	486	459	478	503	463	463	25	0,607	0,112
ADF	g/kg TM	288	294	270	301	299	282	284	17	0,267	0,383
ADL	g/kg TM	29 ^b	31 ^{ab}	29 ^b	36 ^a	36	33	25	2	0,023	0,001
NFC	g/kg TM	269	272	285	242	231	274	296	20	0,165	0,009
Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe <i>in vivo</i>											
OM	%	67,7	70,1	69,9	68,7	68,3	69,6	69,3	1,3	0,205	0,403
Rohprotein	%	58,3	60,3	60,6	59,1	62,1	61,1	55,5	2,1	0,534	0,009
Rohfett	%	37,5 ^b	37,6 ^b	32,0 ^b	55,2 ^a	41,1	43,3	37,4	5,5	0,009	0,379
Rohfaser	%	65,6	67,7	67,1	70,2	67,2	66,7	69,1	1,9	0,118	0,251
NfE	%	72,7	75,5	75,2	72,0	72,1	75,0	74,4	1,7	0,096	0,112
Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen und Nichtfaser-Kohlenhydrate <i>in vivo</i>											
NDF	%	65,0	67,3	66,3	66,6	66,5	66,0	66,4	1,7	0,446	0,879
ADF	%	59,4	62,1	58,8	62,1	60,9	59,8	61,1	3,0	0,430	0,815
NFC	%	79,7	82,6	82,9	80,2	78,7	82,9	82,5	2,7	0,410	0,116
Energiekonzentration und Proteinwert <i>in vivo</i>											
ME	MJ/kg TM	9,35	9,73	9,62	9,71	9,51	9,70	9,60	0,24	0,279	0,578
NEL	MJ/kg TM	5,49	5,76	5,69	5,72	5,60	5,74	5,67	0,17	0,294	0,527
UDP	% des XP	19,1 ^a	19,3 ^a	18,4 ^a	15,0 ^b	18,4	17,7	17,7	0,5	<0,001	0,181
nXP	g/kg TM	126	130	130	130	130	131	126	3	0,262	0,093
RNB	g/kg TM	1,27 ^{ab}	0,70 ^b	1,93 ^{ab}	4,19 ^a	3,37	2,62	0,08	1,07	0,029	0,011
Verdaulichkeit und Energiekonzentration <i>in vitro</i>											
ELOS	g/kg TM	638	646	661	639	630	649	659	14	0,254	0,064
ME _{ELOS}	MJ/kg TM	9,82	9,90	10,05	10,09	9,79	10,01	10,10	0,18	0,349	0,129
Gasb. HFT	ml/200 mg	43,7	43,6	44,9	41,6	44,0	42,9	43,4	2,6	0,500	0,842
ME _{HFT}	MJ/kg TM	9,60	9,57	9,86	9,69	9,69	9,72	9,63	0,90	0,637	0,903
Gehalt an Mengen- und Spurenelementen											
Calcium	g/kg TM	7,8 ^b	7,6 ^b	8,4 ^{ab}	9,7 ^a	8,9	7,5	8,7	0,5	0,012	0,019
Phosphor	g/kg TM	2,3	2,2	2,5	2,8	2,8	2,4	2,1	0,2	0,064	0,012
Magnesium	g/kg TM	2,9	2,9	2,8	3,2	3,1	2,8	2,9	0,2	0,126	0,081
Kalium	g/kg TM	16,6	15,6	16,9	18,5	17,7	16,8	16,2	1,0	0,055	0,187
Natrium	g/kg TM	0,38	0,36	0,40	0,51	0,51	0,46	0,26	0,10	0,352	0,033
Mangan	mg/kg TM	125	130	127	135	128	126	134	9	0,596	0,426
Zink	mg/kg TM	34	33	36	38	35	37	33	2	0,069	0,108
Kupfer	mg/kg TM	10,2	9,6	9,3	10,5	10,5	9,9	9,3	0,6	0,165	0,093

verschlechterten sich die Parameter des Futterwertes. In der vorliegenden Untersuchung waren zum Zeitpunkt der Ernte relativ günstige Erntebedingungen gegeben. REES (1982) hat die unterschiedlichen Quellen der Verluste an Trockenmasse während der Heuwerbung diskutiert. ROTZ und MUCK (1994) haben die Veränderungen der Grundfutterqualität während der Ernte und Lagerung beschrieben und für verschiedene Pflanzen das Ausmaß an Trockenmasse-Verlusten sowie der Verminderung des Nährstoffgehaltes angegeben.

Hinsichtlich der Bestimmung der Verdaulichkeit und Energiekonzentration mit *in vivo*- bzw. *in vitro*-Methoden ist festzustellen, dass – zumindest für das vorliegende Datenmaterial – die ELOS-Methode (De BOEVER et al. 1986) mit den aktuellen Formeln zur Energiebewertung (GfE 2008) etwas überhöhte Werte liefert. Insgesamt war die Übereinstimmung zwischen *in vivo*-Daten und beiden *in*

in vitro-Methoden (ELOS, HFT) nicht ganz zufriedenstellend (GRUBER, unveröffentlichte Ergebnisse). Die mittlere Energiekonzentration des vorliegenden Datenmaterials ergab für Hammel, ELOS und HFT 5,67, 5,93 bzw. 5,72 MJ NEL/kg TM.

Abschließend ist festzuhalten, dass die durchschnittliche Energiekonzentration der konservierten Wiesenfutter in dieser Untersuchung 5,5, 5,8, 5,7 und 5,7 MJ NEL/kg TM in BT, KB, ET und SI betrug, also selbst bei höchstem Aufwand (Entfeuchertrocknung) bzw. bei sehr sorgfältiger Vorgangsweise bei der Ernte und Konservierung (Kaltbelüftung und Silierung) nicht die Höhe von 6,0 MJ NEL/kg TM erreichte, die doch recht häufig als Zielgröße beim Einsatz für hochleistende Milchkühe gefordert bzw. hingestellt wird, und das bei einer den Standort dieser Untersuchung (700 m Seehöhe) doch extrem hohen Schnitthäufigkeit von vier Schnitten pro Jahr

Tabelle 5: Gehalt des Wiesenfutters an Roh Nährstoffen, Gerüstsubstanzen und Nichtfaser-Kohlenhydraten, Verdaulichkeit *in vivo* und *in vitro*, Energiekonzentration, Proteinwert sowie Gehalt an Mineralstoffen in Abhängigkeit von Konservierungsverfahren und Versuchsjahr (Wechselwirkung Konservierung × Jahr) [Datenmaterial Verdauungsversuche, Modell 2, N = 12]

Parameter	Einheit	Bodentrocknung			Kaltbelüftung			Entfeuchtertrocknung			Silierung		
		2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012
Gehalt an Roh Nährstoffen													
TM	g/kg FM	893	887	867	887	878	873	877	875	858	323	412	360
Rohprotein	g/kg TM	137	142	123	140	144	120	162	143	119	165	160	143
Rohfett	g/kg TM	22	26	26	23	27	25	23	24	23	41	32	35
Rohfaser	g/kg TM	273	239	237	272	247	243	229	233	239	286	249	251
NfE	g/kg TM	484	496	525	484	505	522	485	507	540	420	473	482
Rohasche	g/kg TM	84	97	89	81	77	91	100	93	79	88	85	88
Gehalt an Gerüstsubstanzen und Nichtfaser-Kohlenhydraten													
NDF	g/kg TM	523	466	459	514	470	473	444	465	468	529	451	453
ADF	g/kg TM	310	273	282	306	282	292	253	282	276	326	289	286
ADL	g/kg TM	35	29	24	37	30	25	32	33	21	39	40	30
NFC	g/kg TM	233	269	303	242	282	292	270	275	310	176	271	280
Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe <i>in vivo</i>													
OM	%	67,3	67,1	68,8	69,6	72,1	68,7	69,1	69,3	71,2	67,3	70,1	68,7
Rohprotein	%	58,6	61,0	55,2	62,7	61,9	56,3	66,6	60,2	55,1	60,6	61,4	55,4
Rohfett	%	34,6	42,6	35,3	33,2	47,2	32,5	34,9	31,3	29,8	61,4	51,9	52,2
Rohfaser	%	66,4	63,8	66,7	68,2	68,1	66,8	65,5	64,8	71,1	68,9	70,0	71,6
NfE	%	71,7	71,8	74,6	74,2	78,3	74,1	73,3	75,7	76,6	69,3	74,2	72,3
Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen und Nichtfaser-Kohlenhydrate <i>in vivo</i>													
NDF	%	66,5	64,2	64,3	68,3	68,1	65,7	64,6	65,7	68,7	66,8	65,9	67,1
ADF	%	62,1	55,3	60,7	63,2	62,2	60,9	54,8	59,7	61,8	63,5	62,0	60,9
NFC	%	77,2	77,8	84,1	80,0	86,3	81,7	81,1	83,3	84,2	76,3	84,3	80,2
Energiekonzentration und Proteinwert <i>in vivo</i>													
ME	MJ/kg TM	9,31	9,25	9,48	9,65	10,13	9,41	9,49	9,53	9,84	9,60	9,88	9,65
NEL	MJ/kg TM	5,46	5,43	5,59	5,70	6,04	5,55	5,60	5,63	5,85	5,63	5,85	5,69
UDP	% des XP	20,2	18,7	18,5	20,1	18,9	18,8	18,3	18,4	18,5	15,0	15,0	15,0
nXP	g/kg TM	127	126	124	131	136	123	132	129	128	130	132	127
RNB	g/kg TM	1,62	2,51	-0,31	1,46	1,26	-0,61	4,85	2,25	-1,33	5,57	4,45	2,57
Verdaulichkeit und Energiekonzentration <i>in vitro</i>													
ELOS	g/kg TM	609	647	658	627	658	652	666	649	668	618	641	659
ME _{ELOS}	MJ/kg TM	9,47	9,95	10,05	9,65	10,13	9,93	10,11	9,89	10,14	9,93	10,06	10,27
Gasb. HFT	ml/200 mg	45,9	42,6	42,7	45,4	43,4	41,9	46,8	42,9	45,1	37,9	42,8	44,0
ME _{HFT}	MJ/kg TM	9,58	9,68	9,54	9,60	9,77	9,35	10,22	9,60	9,74	9,34	9,83	9,90
Gehalt an Mengen- und Spurenelementen													
Calcium	g/kg TM	7,8	7,1	8,4	8,1	6,5	8,4	9,6	7,7	8,1	10,1	8,8	10,0
Phosphor	g/kg TM	2,4	2,3	2,1	2,4	2,2	2,0	3,0	2,3	2,1	3,3	2,6	2,3
Magnesium	g/kg TM	3,1	2,7	2,9	3,2	2,7	2,9	2,7	2,8	2,8	3,5	2,9	3,1
Kalium	g/kg TM	17,2	16,9	15,7	16,4	14,3	16,0	16,9	17,7	16,2	20,3	18,2	17,0
Natrium	g/kg TM	0,31	0,54	0,28	0,45	0,39	0,23	0,59	0,40	0,20	0,68	0,52	0,33
Mangan	mg/kg TM	121	120	135	120	129	139	139	120	122	130	134	139
Zink	mg/kg TM	33	35	34	32	33	33	38	38	32	39	40	35
Kupfer	mg/kg TM	10,8	10,4	9,6	10,9	8,7	9,1	9,2	10,1	8,7	11,1	10,6	9,8

(gleichbedeutend einer Aufwuchsdauer von 6 Wochen pro Schnitt). In einem 4-jährigem Versuch unter Verwendung der Kaltbelüftung haben GRUBER et al. (2000) bei einer Nutzungsfrequenz von 2, 3 und 4 Schnitten pro Jahr einen Energiegehalt von 4,53, 5,24 bzw. 5,85 MJ NEL/kg TM erreicht. RESCH (2013) hat in einer umfangreichen Untersuchung (n = 725) über mehrere Jahre (2007 – 2012) über ganz Österreich im Durchschnitt eine Verdaulichkeit (*in vitro*) von 69,7 % dOM und eine Energiekonzentration von 5,70 MJ NEL ermittelt. Für Grassilage wurden von RESCH et al. (2009) in einem noch umfangreicheren Datenmaterial (4 Erhebungsjahre, n = 2.550) eine durchschnittliche Energiekonzentration von 5,87 MJ NEL ermittelt. Diese Werte sind ähnlich den Daten der vorliegenden Untersuchung, wobei natürlich auf die große Streubreite der aus der landwirtschaftlichen Praxis stammenden Daten hinzuweisen ist.

4. Schlussfolgerungen

Wiesenfutter aus der intensiven Nutzung (4 Schnitte pro Jahr) einer Dauerwiese in der alpinen Region der Obersteiermark (700 m) wurde entweder als Silage konserviert oder mit drei verschiedenen Verfahren der Heutrocknung (Bodentrocknung, Kaltbelüftung, Entfeuchtertrocknung). In der Silage wurden höhere Gehalte an Rohprotein und Gerüstsubstanzen festgestellt, was auf die Fermentation leicht löslicher Kohlenhydrate als Folge des Gärprozesses im Silo zurückzuführen ist (Van SOEST 1994). Dies führte – gegenüber den aufwendigen Trocknungsverfahren (Kaltbelüftung und Entfeuchtertrocknung) – zu einer etwas geringeren Verdaulichkeit von 1,3 Prozentpunkten, nicht jedoch der Energiekonzentration. Bezüglich der Trocknungsverfahren zeigte sich, dass durch Kaltbelüftung und Entfeuchtertrocknung geringere Bröckelverluste entstehen

und das Futter einen höheren Gehalt an Rohprotein sowie Nichtfaser-Kohlenhydraten und dadurch einen geringeren Gehalt an Gerüstsubstanzen aufweist. Dies schlägt sich gegenüber der Bodentrocknung in einer höheren Verdaulichkeit (2,3 Prozentpunkte) und Energiekonzentration (0,24 MJ NEL) nieder. Die Unterschiede zwischen Kaltbelüftung und Entfeuchtertrocknung waren gering. Es ist allerdings festzustellen, dass sich sowohl die Silierung als auch die Entfeuchtertrocknung besonders gegenüber der Bodentrocknung (und zum Teil auch der Kaltbelüftung) durch ein wesentlich geringeres Wetterrisiko auszeichnen. Inwieweit der mit den Verfahren verbundene Mehraufwand ökonomisch gerechtfertigt ist, hängt von der einzelbetrieblichen Situation ab und muss nach betriebswirtschaftlichen Kriterien genau beurteilt werden.

5. Literatur

- ALVA (Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten), 1983: Österreichisches Methodenbuch für die Untersuchung von Futtermitteln, Futterzusatzstoffen und Schadstoffen. Selbstverlag ALVA.
- AMA, 2014: Marktbericht-Milch und Milchprodukte. Agrar Markt Austria. 12. Ausgabe 2013, 24 S.
- ARGE HEUMILCH, 2014: ARGE Heumilch. Informationen der Internethomepage: <http://www.heumilch.at/heumilch/die-arge-heumilch/>, besucht am 16.12.2014.
- BMLFUW, 2014: Grüner Bericht 2014. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 1010 Wien, 329 S.
- COULON, J.B., P. PRADEL und I. VERDIER, 1997: Effect of forage conservation (hay or silage) on chemical composition of milk. *Annales de Zootechnie* 46, 21-26.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1997: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer, 7. Auflage, DLG-Verlag Frankfurt am Main, 212 S.
- De BOEVER, J.L., B.G. COTTYN, F.X. BUYSSE, F.W. WAINMAN und J.M. VANACKER, 1986: The use of an enzymatic technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of compound feedstuffs for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 14, 203-214.
- FASCHING, C., L. GRUBER, B. MIETSCHNIG, A. SCHAUER, J. HÄUSLER und A. ADELWÖHRER, 2015: Einfluss verschiedener Heutrocknungsverfahren auf den Milchproduktionswert im Vergleich zu Silage. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2015, 67-74.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 1991: Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 65, 229-234.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Frankfurt am Main, DLG-Verlag, 135 S.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2008: Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Neue Gleichungen zur Schätzung der Umsetzbaren Energie für Wiederkäuer von Gras- und Maisprodukten. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 17, 191-198.
- GROSS, F., 1974: Die Silierungsverluste. In: Gärfutter (F. GROSS und K. RIEBE). Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 283 S.
- GRUBER, L., A. STEINWIDDER, T. GUGGENBERGER, A. SCHAUER, J. HÄUSLER, R. STEINWENDER und B. STEINER, 2000: Einfluss der Grünlandbewirtschaftung auf Ertrag, Futterwert, Milcherzeugung und Nährstoffausscheidung. Bericht 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung BAL Gumpenstein, 6.-8. Juni 2000, 41-88.
- GRUBER, L., A. SCHAUER, J. HÄUSLER, A. ADELWÖHRER, K.-H. SÜDEKUM, F. WIELSCHER, M. URDL und S. KIRCHHOF, 2010: Einfluss des Wachstumsstadiums von Dauerspähewiesenfutter auf Ertrag, Futterwert, Futteraufnahme und Leistung bei Milchkühen im Laufe einer ganzen Vegetationsperiode. 122. VDLUFA-Kongress, Kiel, 21.-24. September 2010, Kongressband, 633-671.
- GRUBER, L., 2013: Grundfutterqualität, Kraftfutterniveau und genetisches Potenzial als Schlüsselfaktoren für die Höhe der Milchleistung. Tagungsband ZAR-Seminar, 21. März 2013, Salzburg, 21-40.
- HUSS, W., 1987: Wirtschaftsfuttermittel und ihre Konservierung. In: Tierernährung und Futtermittelkunde (K.-H. MENKE und W. HUSS). Verlag Eugen Ulmer Stuttgart (Uni-Taschenbücher), 3. Auflage, 424 S.
- McDONALD, P., A.R. HENDERSON und S.J.E. HERON, 1991: The Biochemistry of Silage. Chalcombe Publications, 2nd Ed., Marlow, 340 S.
- NUSSBAUM, H., 2009: Futterkonservierung. In: Erfolgreiche Milchviehfütterung (H. SPIEKERS, H. NUSSBAUM und V. POTTHAST). DLG-Verlag Frankfurt am Main, 576 S.
- ÖAG (Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau), 2006: Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. Hrsg.: R. Resch, T. Guggenberger, L. Gruber, F. Ringdorfer, K. Buchgraber, G. Wiedner, A. Kasal und K. Wurm. *Der fortschrittliche Landwirt* 84 (Heft 24/2006), Sonderbeilage, 20 S.
- ÖPUL, 2007: Sonderrichtlinie des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft: GZ BMLFUW-LE.1.1.8/0073-II/8/2007.
- PÖLLINGER, A., 2014: Heutrocknungsverfahren im Vergleich. 19. Alpenländisches Expertenforum, 03. April 2014, LFZ Raumberg Gumpenstein, A-8952 Irnding, 35-44.
- PÖLLINGER, A., 2015: Technische Kennzahlen zu verschiedenen Heutrocknungsmethoden. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2015, 41-48.
- PÖTSCH, E.M., A. ASEL, A. SCHAUMBERGER und R. RESCH, 2014: Impact of climate change on grassland productivity and forage quality in Austria. 25th EGF General Meeting „The Future of European Grasslands“, Aberystwyth, Wales, Grassland Science in Europe, No. 19, 7.-11. September 2014, 139-141.
- REES, D.V.H., 1982: A discussion of sources of dry matter loss during the process of haymaking. *J. Agric. Eng. Res.* 27, 469-479.
- RESCH, R., G. WIEDNER, F. TIEFENTHALLER, K. WURM, W. STROMBERGER, P. FRANK und C. MEUSBURGER, 2009: Qualitätsbewertung von österreichischen Grassilagen und Silomais aus Praxisbetrieben. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Tätigkeit Nr. 3561 „Silagequalität“, 86 S.
- RESCH, R., 2013: Einfluss des Konservierungsmanagements auf die Qualität von Raufutter österreichischer Rinderbetriebe – Ergebnisse aus LK-Heuprojekten. 40. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 18.-19. April 2013, Bericht LFZ Raumberg-Gumpenstein 2013, 57-72.
- RESCH, R., 2014: Auswirkungen unterschiedlicher Trocknungsverfahren auf die Raufutterqualität. 19. Alpenländisches Expertenforum, 3. April 2014, LFZ Raumberg Gumpenstein, A-8952 Irnding, 45-54.
- RESCH, R., 2015: Grundfutter-Nettoerträge für Österreichs Wirtschaftsgrünland, Feldfutter und Silomais in den Jahren 2004 bis 2013. Unveröffentlichte Datenzusammenstellung auf Basis von Grundfutter-Jahresstatistiken der HBLFA Raumberg-Gumpenstein für das Bundesamt Statistik Austria.

- RESCH, R. und L. GRUBER, 2015: Proteinfraktionen von Dauerwiesenfutter in Abhängigkeit von Konservierungsverfahren und Lagerungsdauer. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2015, 49-55.
- ROTZ, C.A. und R.E. MUCK, 1994: Changes in forage quality during harvest and storage. In: G.C. FAHEY et al. (Eds.) Forage Quality, Evaluation and Utilization. Proceedings of the National Conference on Forage Quality, Evaluation and Utilization. University of Nebraska, Lincoln, 13-15 April 1994. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, 828-868.
- SCHAUMBERGER, A. 2011: Räumliche Modelle zur Vegetations- und Ertragsdynamik im Wirtschaftsgrünland. Dissertation, Technische Universität Graz, Institut für Geoinformation, 264 S.
- SHINGFIELD, K.J., S. JAAKKOLA und P. HUHTANEN, 2002: Effect of forage conservation method, concentrate level and propylene glycol on diet digestibility, rumen fermentation, blood metabolite concentrations and nutrient utilisation of dairy cows. Anim. Feed Sci. Technol. 97, 1-21.
- TURNER, J.E., W.K. COBLENTZ, D.A. SCARBROUGH, R.T. RHEIN, K.P. COFFEY, Z.B. JOHNSON, C.F. ROSENKRANS Jr., D.W. KELLOG und J.V. SKINNER, 2003: Changes in nutritive value of tall fescue hay as affected by natural rainfall and moisture concentration at baling. Anim. Feed Sci. Technol. 109, 47-63.
- TURNER, J.E., W.K. COBLENTZ, K.P. COFFEY, R.T. RHEIN, B.C. MCGINLEY, N.W. GLADÁMENZ-CABRERA, C.F. ROSENKRANS, Z.B. JOHNSON, D.W. KELLOG und J.V. SKINNER, 2004: Effects of natural rainfall and spontaneous heating on voluntary intake, digestibility, *in situ* disappearance kinetics, passage kinetics and ruminal fermentation characteristics of tall fescue hay fed to growing steers. Anim. Feed Sci. Technol. 116, 15-33.
- Van SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON, B.A. LEWIS, 1991: Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74, 3583-3597.
- Van SOEST, P.J., 1994: Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd Ed., Cornell University Press, Ithaca und London, 476 S.
- VDLUFA (Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997: Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VELIK, M., J. KAUFMANN und L. GRUBER, 2015: Einfluss von Gras-Konservierungsverfahren auf das Milch-Fettsäurenmuster. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2015, 75-80.
- VERBIC, J., E.R. ØRSKOV, J. ŽGAJNAR, X.B. CHEN und V. ŽNIDARSIC-PONGRAC, 1999: The effect of method of forage preservation on the protein degradability and microbial protein synthesis in the rumen. Anim. Feed Sci. Technol. 82, 195-212.
- WEISSBACH, F. und S. KUHLA, 1995: Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. Übers. Tierernährg. 23, 189-214.

Einfluss verschiedener Heutrocknungsverfahren auf Futteraufnahme und Milchproduktion im Vergleich zu Grassilage

Effect of different hay drying methods on dry matter intake and milk performance compared to grass silage

Christian Fasching^{1*}, Leonhard Gruber¹, Benjamin Mietschnig², Anton Schauer¹,
Johann Häusler¹ und Andrea Adelwöhrer¹

Zusammenfassung

Auf Grund von Qualitäts- und Förderprogrammen besteht das Grundfutter von mittlerweile mehr als 8.000 österreichischen Milchviehbetrieben ausschließlich aus Heu. Nachdem es wenig bis keine Literaturstellen zum Vergleich der Konservierungsverfahren von Heu bzw. von Heu mit Silage gibt, wurde an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein ein dreijähriger Fütterungsversuch (2011 - 2013) angestellt, bei dem die Konservierungsverfahren Bodentrocknung, Kaltbelüftung, Entfeuchtertrocknung und Silierung miteinander verglichen wurden.

Die Futtergrundlage für den Versuch wurde von einer 11 ha großen Dauerwiese gewonnen. Das Versuchsdesign folgte einem Lateinischen Quadrat mit 4 Gruppen und 4 Perioden in vierfacher Wiederholung (n = 16 Tiere). Das Grundfutter wurde *ad libitum* vorgelegt und bestand ausschließlich aus dem Versuchsfutter. Die Kraftfütterzuteilung erfolgte leistungsbezogen und lag im Mittel bei 20 % der TM-Aufnahme.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass der Nährstoffgehalt vom Konservierungsverfahren beeinflusst wird. Der Rohproteingehalt von Silage liegt im Mittel um 2 % über dem vom Heu. Die höchste Energiekonzentration wird von der Kaltbelüftung, gefolgt von der Entfeuchtertrocknung, erreicht. Der Verlust an leicht löslichen Kohlenhydraten führt dazu, dass die Energiekonzentration von bodengetrocknetem Heu am niedrigsten ist. Auch die Grundfutteraufnahme wird vom Konservierungsverfahren signifikant beeinflusst. Die TM-Aufnahme aus dem Grundfutter ist bei der Kaltbelüftung und der Entfeuchtertrocknung am höchsten. Im Vergleich zur Kaltbelüftung kommt es bei der Silagevariante zu einer um 1,16 kg niedrigeren TM-Aufnahme pro Tag. Auf Grund der deutlichen Unterschiede in der Nährstoffkonzentration und der TM-Aufnahme ist auch die Milchleistung der Gruppen mit Kaltbelüftung und Entfeuchtertrocknung signifikant höher als die der Bodentrocknung und Silierung.

Im Vergleich zur Silierung und Bodentrocknung kann mit der Unterdachttrocknung von Wiesenfutter eine höhere Nährstoffkonzentration, eine höhere Grundfutteraufnahme

Summary

Due to quality and support programs, the forage of now more than 8,000 Austrian dairy farms consists of hay, entirely. Since there exist nearly no references to compare the conservation methods in terms of hay or hay silage, a three-year feeding trial (2011 - 2013) was carried out at the HBLFA Raumberg-Gumpenstein. In this project the conservation methods field drying, cold-air ventilation, dehumidification, and silage have been compared.

The forage for the trial was harvested on 11 ha permanent grassland. The design of the experiment corresponded to a Latin square design with 4 groups and 4 periods in quadruplicate (n = 16 animals). The forage was provided *ad libitum* and consisted of experimental feed, entirely. The rationing of concentrate was carried out basing on performance and was 20% of DM intake on average.

The results clearly show that the nutrient content is influenced by the method of conservation. On average the crude protein content of silage is 2% higher than the one of hay. The highest energy concentration is obtained by cold-air ventilation, followed by dehumidification. The loss of disposable carbohydrates leads to the lowest values of energy concentration of field dried hay. The forage intake is significantly influenced by the method of conservation. The DM intake regarding the forage is highest in the variant cold-air ventilation and dehumidification drying. Compared to cold-air ventilation, silage variant results in a lower by 1.16 kg DM intake per day. Based on the considerable differences in nutrient concentration and DM intake, also the milk yield of the groups with cold-air ventilation and dehumidification drying is significantly higher than that of the field drying and silage making.

In comparison to the silage making and field drying, barn-drying can lead to higher nutrient concentration, higher forage intake and higher milk yield. How far the additional expenditure of these methods is justifiable, depends on the individual situation of the farm and must ultimately be assessed in a very precise way.

Keywords: hay, hay drying, dairy, milk performance

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

² Universität für Bodenkultur, Institut für Nutztierwissenschaften, A-1180 Wien

* Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Christian Fasching, email: christian.fasching@raumberg-gumpenstein.at

me und höhere Milchleistung erwartet werden. Inwieweit der Mehraufwand dieser Verfahren gerechtfertigt ist, hängt von der einzelbetrieblichen Situation ab und muss nach betriebswirtschaftlichen Kriterien genau beurteilt werden.

Schlagwörter: Heu, Heutrocknung, Milch, Milchproduktionswert, Heumilch

Einleitung und Literatur

Da auf Grund der klimatischen Verhältnisse in Österreich Futterkonserven für 180 - 200 Futtertage – das entspricht ca. 5 Mio. Tonnen TM – angelegt werden müssen, hat die Futterkonservierung große Bedeutung (GINDL 2002). Vor 45 Jahren wurde das Futter vorwiegend als Heu konserviert. Da die Qualität von Bodenheu den Anforderungen von Hochleistungskühen kaum bzw. nicht entspricht, nahm die Silagegewinnung auf Kosten der Heubereitung zu. Während im Jahr 1970 noch 80 % des Grundfutters als Dürrfutter konserviert wurden, lag der Anteil im Jahr 2005 nur noch bei 23 % (RESCH 2007, PÖLLINGER 2014).

Durch gezielte Marketingprogramme wie „Heumilch“ und „Heumilchkäse“ sowie durch ein geändertes Konsumentenverhalten hat die Bedeutung von Heu im letzten Jahrzehnt wieder zugenommen (PÖLLINGER 2014). Derzeit zählt die „ARGE Heumilch“ über 8.000 Bauern und 60 Molkereien, Käsereien und Sennereien zu ihren Mitgliedern (ARGE HEUMILCH 2014). Die Heumilchanlieferung lag 2013 bei 323.354 t. Das entspricht 11,03 % der gesamten Milchlieferung Österreichs (AMA 2014, BMLFUW 2014). Weiters wird die Heumilcherzeugung durch öffentliche Gelder im Rahmen der ÖPUL-Maßnahme „Silageverzicht“ gefördert. Diese Maßnahme hat eine regional möglichst flächendeckende silagefreie Wirtschaftsweise sowie den Erhalt der pflanzlichen und tierischen Biodiversität zum Ziel (ÖPUL 2007). Im Jahr 2014 nahmen 9.606 Betriebe an der Maßnahme „Silageverzicht“ teil (BMLFUW 2014).

Für Heubetriebe haben sich die Anforderungen an die Grundfutterqualität deutlich verschärft. So wird auch für das Dürrfutter ein Energiegehalt von 6,0 MJ NEL und ein Eiweißgehalt von 14 % erwartet bzw. gefordert (PÖLLINGER 2014). Da in der Rinderhaltung die Konservierung von Grundfutter einen wesentlichen Teil der Produktionskosten ausmacht, besteht auch aus wirtschaftlicher Sicht Optimierungsbedarf (GINDL 2002). Laut Berechnungen liegen 24 % der Gewinnreserven der Milchproduktion im Grundfutter und dessen Qualität (STOCKINGER 2009).

Der überwiegende Teil des konservierten Grundfutters stammt in Österreich von Dauergrünlandflächen in einer Seehöhe von 400 - 2.000 m. Die traditionelle Bodentrocknung nutzt die Sonnenenergie zur Futtertrocknung. Dieses Verfahren erfordert jedoch die längste Feldphase und ist somit dem höchsten Wetterrisiko ausgesetzt. Bei einem Trockenmassegehalt von 80 % zur Ernte erhöht sich die Wahrscheinlichkeit von Qualitätseinbußen durch Bröckelverluste (RESCH et al. 2009) sowie durch Entwicklung der epiphytischen Mikroflora (ADLER 2002). HILFIKER (1989) kam bei den Bröckelverlusten von Heu mit über 70 % Trockenmasse zum Erntezeitpunkt zu ähnlichen Ergebnissen. Bei zu feuchtem Erntegut sind auch massive Qualitätseinbußen durch Bakterien- und Schimmelpilzbe-

fall zu erwarten. Die Energiekonzentration kann auf Grund dessen um bis zu 2 MJ NEL/kg TM abnehmen (MEISSER und WYSS 1999, GINDL 2002).

Bei Unterdachtrocknung vermindert sich das Wetterrisiko durch kürzere Feldphasen. Auch die Bröckelverluste fallen geringer aus. Zusätzlich entspannt sich bei Verwendung einer Heubelüftung die Arbeitssituation während der Erntezeit, wodurch die Landwirte weniger belastet werden (HILFIKER 1989, RESCH 2014).

Auf Grund der starken Verbreitung der Silowirtschaft ist die Bedeutung des Heus – sowohl in der Fütterung als auch in der Forschung – ins Hintertreffen geraten. Es gibt wenig Studien, bei denen Heu im Vordergrund steht. Jene von KNAUS et al. (2012), HALMEMIES-BEAUCHET-FILLEAU et al. (2013), COULON et al. (1997), BEAUCHEMIN et al. (1997), NELSON und SATTER (1990), NELSON und SATTER (1992), MÜNGER (2011) und JANS (1991) sind in *Tabelle 1* zusammengefasst. Nachdem keine dieser Arbeiten die unterschiedlichen Heutrocknungsverfahren von Wiesenfutter behandelt (URDL et al. 2010), wurde diese Fragestellung an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojektes bearbeitet (PÖLLINGER 2014, RESCH 2014, GRUBER et al. 2015, PÖLLINGER 2015, RESCH und GRUBER 2015, VELIK et al. 2015). Im folgenden Beitrag wird der Einfluss verschiedener Heutrocknungsverfahren auf Futteraufnahme und Milchproduktion im Vergleich zu Grassilage dargestellt.

Material und Methoden

Das Grundfutter wurde von der 11 ha großen „Stainacher Wiese“, einem Dauerwiesen-Mischbestand mit einem Artengruppenverhältnis von 57 % Gräsern, 21 % Leguminosen und 22 % Kräutern (1. Aufwuchs) bzw. 51 % Gräser, 24 % Leguminosen und 25 % Kräuter (Folgeaufwuchs) gewonnen (RESCH und GRUBER 2015). Die Konservierung erfolgte durch Bodentrocknung ohne Belüftung, Kaltbelüftung, Entfeuchtertrocknung und Silierung, System Rundballen. Geerntet wurden jährlich vier Aufwüchse, wobei der Schnitzeitpunkt für alle Konservierungsformen derselbe war. Um die Witterungseinflüsse auszuschalten, kam es zur Wiederholung des Versuches über 3 Jahre (2010 - 2012). Eine Ausnahme stellt das Jahr 2012 dar. Auf Grund einer Überschwemmung und der damit verbundenen Futtermittelverschmutzung musste der dritte Aufwuchs aus dem Versuch genommen werden.

Der Fütterungsversuch fand bei jeder Wiederholung im Winterhalbjahr des darauffolgenden Jahres (2011 - 2013) statt. Das Versuchsdesign folgte einem sogenannten Lateinischen Quadrat mit 4 Gruppen und 4 Perioden (4 × 4) in vierfacher Wiederholung (n = 16 Tiere). Jede Periode dauerte vier Wochen, sodass ein Durchgang 16 Wochen in Anspruch nahm. Während der Vorperiode wurden die Futteraufnahmekapazität und das Milchleistungspotenzial der Versuchstiere erfasst. Im Anschluss daran begann der Versuch, wobei die Konservierungsform mit jeder Periode wechselte. Um sogenannte „carry over-Effekte“ zu vermeiden, wurde die erste Woche einer Periode nicht in die Auswertung einbezogen. Die Ergebnisse resultieren somit aus den Erhebungen der letzten drei Wochen einer Periode.

Die Versuchstiere setzten sich aus den Rassen Fleckvieh, Brown Swiss und Holstein sowie aus Kreuzungen dieser

Tabelle 1: Literaturübersicht zum Vergleich der Futtermittel- und Milchleistung bei Fütterung von Heu oder Silage

Autor	Konservierung des GF	LM kg	Futtermittel			Milchleistung (kg/Tag) bzw. Milchhaltsstoffe (%)			Anmerkung	
			GF	KF	GES	KF-Anteil %	Milch	Fett		Eiweiß
KNAUS et al. (2012)	Heu	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	19,3 ²	4,03	3,35	19,2 ¹	Auswertung des LKV Daten aus Tirol
	Heu, GS, MS	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	20,6 ²	4,10	3,34	20,7 ¹	
HALMEMIES-BEAUCHET-FILLEAU et al. (2013)	Heu	617	13,5	9,0	22,5	40	29,3	3,12	28,5	GS b mit Silierzusatz ⁴
	GS a	617	13,5	9,0	22,5	40	31,2	2,97	29,8	
	GS b	617	13,5	9,0	22,5	40	32,7	3,13	32,4	
COULON et al. (1997)	Heu ⁵	k.A.	12,5	5,6	18,1	31 ³	19,5	3,22	18,5 ¹	GS mit Silierzusatz ⁴
	GS	k.A.	11,5	5,7	17,2	33 ³	20,2	3,12	18,8 ¹	
BEAUCHEMIN et al. (1997)	Heu	683	10,4	13,5	23,9	55	31,2	3,19	26,5 ¹	Luzerneheu bzw. GS
	GS	666	8,6	12,5	21,1	55	30,3	3,14	27,3 ¹	
NELSON und SATTTER (1990)	Heu a	k.A.	11,1	9,0	20,1	45	26,6	3,25	24,9 ¹	Luzerneheu bzw. GS a früher b mittlerer c später Nutzungszeitpunkt
	Heu b	k.A.	10,3	8,4	18,7	45	25,5	3,20	24,4 ¹	
	Heu c	k.A.	10,5	8,6	19,1	45	25,5	3,12	24,1 ¹	
	GS a	k.A.	12,1	9,9	22,0	45	27,2	3,31	26,7 ¹	
	GS b	k.A.	12,3	10,0	22,3	45	27,0	3,21	26,0 ¹	
	GS c	k.A.	12,4	10,1	22,5	45	27,7	3,25	27,2	
NELSON und SATTTER (1992)	Heu a	651	14,3	9,5	23,8	40	30,0	3,09	27,8 ¹	Luzerneheu bzw. GS a früher b später Nutzungszeitpunkt a höherer Anteil löslicher KH
	Heu b	660	14,0	9,3	23,3	40	30,5	3,09	29,1 ¹	
	GS a	650	12,4	8,3	20,7	40	30,1	3,03	28,9 ¹	
	GS b	640	13,1	8,8	21,9	40	27,5	3,25	26,4 ¹	
	Heu ⁵ a	635	17,6	3,3	20,9	16	32,2	3,90	31,4 ¹	
	Heu ⁵ b	635	17,6	3,3	20,9	16	30,3	4,10	30,1 ¹	
MÜNGER (2011)	Heu ⁵	725	15,2	3,7	18,9	20 ³	24,4	4,01	25,8 ¹	GS TM: 25,5% GS XA: 13,3% GS TM: 44,3% bzw. 44% Rüben im KF enthalten GS TM: 42,9% GS XA: 16,7%
	Versuch 1	710	14,2	3,9	18,1	22 ³	23,1	4,36	23,6 ¹	
	Versuch 2	695	14,0	4,6	18,6	25 ³	23,8	3,97	23,2 ¹	
	Versuch 3	718	13,6	6,2	19,8	31 ³	25,0	4,22	25,0 ¹	
	Versuch 4	717	13,3	6,1	19,4	31 ³	24,4	4,48	24,9 ¹	
JANS (1991)	Versuch 1	697	12,7	6,7	19,4	35 ³	25,8	4,24	26,1 ¹	Rüben im KF enthalten
	Versuch 2	701	12,9	6,1	19,0	32 ³	25,2	4,50	26,3 ¹	
	Versuch 3	700	14,6	4,0	18,6	22 ³	23,7	4,46	24,6 ¹	
	Versuch 4	690	14,2	3,7	17,9	21 ³	21,7	4,37	22,2 ¹	
	Versuch 5	690	14,2	3,7	17,9	21 ³	21,7	4,37	22,2 ¹	

¹ ECM berechnet nach der Formel von GIE (2001) aus der Milchleistung und den Milchhaltsstoffen: ECM = Milch kg × (Fett % × 0,38 + Eiweiß % × 0,21 + 0,95) / 3,2

² Tagesmilchleistung berechnet aus 305 Tage-Laktationsleistung / 305

³ KF-Anteil berechnet aus der KF-Aufnahme / GES-Aufnahme × 100

⁴ Silierzusätze z.B. Ameisensäure, Formalin

⁵ Heu wurde mittels Heubeblüftung getrocknet

Abkürzungen: GF = Grundfutter, KF = Kraftfutter, GES = Gesamtfutter, LM = Lebendmasse, GS = Grassilage

Rassen zusammen. Die Gruppeneinteilung erfolgte in Abhängigkeit der Rasse, des Laktationstages und des genetischen Leistungspotenzials.

Bei allen drei Wiederholungen wurden die Aufwüchse jeder Konservierungsform gemischt und zweimal täglich als alleiniges Grundfutter vorgelegt. Vier verschiedene Kraftfutterniveaus (35, 30, 25, 20 % der TM-Aufnahme) bildeten die Grundlage der Kraftfutterzuteilung. In Abhängigkeit von der Milchleistung wurde jedes Niveau einem der vier Tiere einer Gruppe zugeteilt. Um den Rückgang der Milchleistung im Laktationsverlauf zu berücksichtigen, wurde der Kraftfutteranteil in jeder Periode bei allen Tieren um 5 % vermindert. Das ergibt für jede Gruppe einen durchschnittlich gleich hohen Kraftfutteranteil von 20 %.

Datenerhebung und Laboranalyse

Zweimal täglich erfolgte die tierindividuelle Ein- und Rückwaage des Grundfutters. Gleichzeitig wurden die Proben zur Trockenmassebestimmung genommen. Diese erfolgte durch Trocknung der Einzelproben bei 104 °C für 24 h. Die Berücksichtigung der Verluste in Form von flüchtigen Substanzen bei Silagen erfolgte nach den Angaben von WEISSBACH und KUHLA (1995).

Zur Bestimmung der Inhaltsstoffe wurde für jede Versuchsperiode eine Sammelprobe des Heus bzw. der Silage sowie des Kraftfutters angelegt. Die Weender Analyse (TM, XP, XL, XF, XX, XA) erfolgte im Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein nach den Methoden des VDLUFA (1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997). Die Gerüstsubstanzen (NDF, ADF, ADL) wurden nach Van SOEST et al. (1991) wie bei der Weender Analyse mit Tecator-Geräten analysiert.

Die Bestimmung der Verdaulichkeit der Grundfuttermittel erfolgte *in vivo* mit Hammeln an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein nach den Leitlinien der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE 1991). Der Nährstoffgehalt, die Verdaulichkeit und die Energiekonzentration der vier Konservierungsvarianten sind in der Arbeit von GRUBER et al. (2015) angeführt. Diese Ergebnisse wurden für die Berechnung der Nährstoffaufnahme im vorliegenden Fütterungsversuch herangezogen. Bei den Kraftfuttermitteln wurde die Verdaulichkeit von der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer übernommen (DLG 1997).

Zur Energiebewertung kam die Gleichung der GfE (2001) zur Anwendung. Die Versorgung mit nutzbarem Rohprotein am Dünndarm (nXP) wurde ebenfalls entsprechend den Angaben der GfE (2001) – unter Berücksichtigung des in der DLG-Futterwerttabelle (DLG 1997) angegebenen UDP-Gehalts der eingesetzten Futtermittel – kalkuliert.

Die Erfassung der Milchmenge sowie die Probenahme zur Analyse der Milchinhaltstoffe, erfolgten automatisch. Die gepoolte Milchprobe des Morgen- und Abendmelks, wurde anschließend im Qualitätslabor St. Michael auf den Gehalt an Fett, Eiweiß und Laktose sowie Zellzahl und Harnstoff untersucht.

Statistische Auswertung

Die Erfassung und Verarbeitung der Daten erfolgte mit Hilfe einer MS-Access Datenbank, die Kontrolle und Plausibilitätsprüfung mit Statgraphics Centurion XV (15.2.14). Zur

statistischen Auswertung kam das Statistikprogramm SAS (Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), unter Verwendung der Prozedur MIXED, zur Anwendung. Dazu wurde folgendes Modell aufgestellt:

$$Y_{ijklm} = \mu + K_i + J_j + P_k + W_l + T_m + (K \times J)_{ij} + (J \times P)_{jk} + (J \times W)_{jl} + (P \times W)_{kl} + \epsilon_{ijklm}$$

Y_{ijklm} = Beobachtungswert der abhängigen Parameter

μ = Intercept

K_i = fixer Effekt der Konservierungsform i ($i = 1, 2, 3, 4$)

J_j = fixer Effekt des Jahres ($j = 1, 2, 3$)

P_k = fixer Effekt der Periode ($k = 1, 2, 3, 4$)

W_l = fixer Effekt der Versuchswoche ($l = 1, 2, 3$)

T_m = zufälliger Effekt des Tieres m

$(K \times J)_{ij}$ = Wechselwirkung zwischen Konservierungsform i und Jahr j

$(J \times P)_{jk}$ = Wechselwirkung zwischen Jahr j und Periode k

$(J \times W)_{jl}$ = Wechselwirkung zwischen Jahr j und Versuchswoche l

$(P \times W)_{kl}$ = Wechselwirkung zwischen Periode k und Versuchswoche l

ϵ_{ijklm} = Restkomponente

Der paarweise Mittelwertvergleich wurde mit dem Verfahren nach Tukey-Kramer durchgeführt. Als Signifikanzschwelle diente eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($p < 0,05$).

Ergebnisse und Diskussion

Die durchschnittlichen Nährstoffgehalte im Grund- und Gesamtfutter sind in *Tabelle 2* dargestellt. Der Gehalt an Rohprotein wurde vom Konservierungsverfahren signifikant beeinflusst ($P < 0,001$). Die Heutrocknungsvarianten waren der Silierung um etwa 2 % unterlegen. Zu einem ähnlichen Unterschied kommt es in der Studie von JANS (1991). Mit 15,0 % liegt der Rohproteingehalt der Silage um 1,5 % über dem Gehalt vom Heu (13,5 %). COULON et al. (1997) beobachtete das Gegenteil. Die Silage (14,1 %) hatte im Vergleich zum Heu (14,6 %) einen leicht niedrigeren Rohproteingehalt.

Die Konservierungsverfahren unterscheiden sich hinsichtlich des Rohaschegehaltes nur geringfügig. Mit 9,4 % war jener der Silage signifikant höher als der Rohaschegehalt der Heuvarianten.

Auch bei der Energiekonzentration kommt es zu einem signifikanten Einfluss des Konservierungsverfahrens ($P < 0,001$). Die höchste Konzentration wird mit der Kaltbelüftung erreicht. Auch die Entfeuchtertrocknung wirkt sich gegenüber der Silierung leicht vorteilhaft aus. Ein deutlich unterdurchschnittlicher Energiegehalt (5,51 MJ NEL) wurde mit der Bodentrocknung erzielt. Van SOEST (1982) beschreibt, dass es in Folge der Silierung zu Fermentationsverlusten kommt. Diese sind unter anderem eine Erklärung für den niedrigeren Energiegehalt der Silage im Vergleich zum Heu aus Kaltluft- und Entfeuchtertrocknung.

JANS (1991) kommt zum Ergebnis, dass trotz Belüftung der Energiegehalt von Heu im Mittel um 0,29 MJ NEL

Tabelle 2: Nährstoffkonzentration im Grund- und Gesamtfutter (in der TM)

Parameter	Einheit	Konservierungsform				Residual- standardabw.	P-Werte		
		Boden- trocknung	Kalt- belüftung	Entfeuchter- trocknung	Silierung		Konservierung	Jahr	Konservierung × Jahr
Nährstoffkonzentration im Grundfutter (in der TM)									
Rohprotein	g	136 ^a	136 ^a	138 ^b	156 ^c	2	<0,001	<0,001	<0,001
Rohfaser	g	251 ^a	247 ^b	243 ^c	241 ^d	5	<0,001	<0,001	<0,001
Rohasche	g	87,5 ^a	86,0 ^b	85,4 ^b	93,8 ^c	2,8	<0,001	<0,001	<0,001
Kohlenhydrate	g	753 ^{ab}	753 ^a	752 ^b	715 ^c	4	<0,001	<0,001	<0,001
N-freie Extraktstoffe	g	276 ^a	283 ^b	283 ^b	279 ^c	5	<0,001	<0,001	<0,001
NDF	g	477 ^a	470 ^b	469 ^b	436 ^c	5	<0,001	<0,001	<0,001
ADF	g	281 ^a	278 ^b	279 ^b	285 ^c	5	<0,001	<0,001	<0,001
ADL	g	31,5 ^a	29,7 ^b	30,7 ^c	33,7 ^d	1,3	<0,001	<0,001	<0,001
ruminale N-Bilanz	g	1,48 ^a	0,95 ^b	1,35 ^c	4,29 ^d	0,31	<0,001	<0,001	<0,001
NEL	MJ	5,51 ^a	5,75 ^b	5,72 ^c	5,69 ^d	0,02	<0,001	<0,001	<0,001
Nährstoffkonzentration im Gesamtfutter (in der TM)									
Rohprotein	g	140 ^a	141 ^a	143 ^b	157 ^c	2	<0,001	<0,001	<0,001
Rohfaser	g	211 ^a	209 ^a	205 ^b	203 ^c	6	<0,001	<0,001	<0,001
Rohasche	g	75,2 ^a	74,4 ^{ab}	73,5 ^b	80,4 ^c	2,8	<0,001	<0,001	<0,001
Kohlenhydrate	g	759 ^a	760 ^a	759 ^a	729 ^b	4	<0,001	<0,001	<0,001
N-freie Extraktstoffe	g	345 ^a	349 ^b	351 ^b	348 ^b	10	0,002	<0,001	<0,001
NDF	g	414 ^a	410 ^b	408 ^b	380 ^c	9	<0,001	<0,001	<0,001
ADF	g	238 ^a	237 ^{ab}	236 ^b	241 ^c	7	<0,001	<0,001	<0,001
ADL	g	27,8 ^a	26,4 ^b	27,1 ^c	29,6 ^d	1,2	<0,001	<0,001	0,001
ruminale N-Bilanz	g	0,52 ^a	0,13 ^b	0,40 ^a	2,81 ^c	0,34	<0,001	<0,001	<0,001
NEL	MJ	6,07 ^a	6,24 ^b	6,24 ^b	6,21 ^c	0,07	<0,001	<0,001	<0,001

unter dem von Silage liegt. Auch RESCH (2007) kommt zu ähnlichen Resultaten. Er unterscheidet die Konservierungsverfahren von Heu nicht, beschreibt aber höhere Energiekonzentrationen bei Silage, unabhängig vom Aufwuchs. Es soll betont werden, dass das Wiesenfutter in der vorliegenden Untersuchung für alle Konservierungsvarianten zum selben Erntezeitpunkt geerntet worden ist.

Die Ergebnisse zur Futter-, Nährstoff-, und Energieaufnahme werden in der *Tabelle 3* dargestellt. Das Konservierungsverfahren beeinflusst die Grundfutteraufnahme signifikant ($P > 0,001$). Die TM-Aufnahme aus dem Grundfutter ist bei der Kaltbelüftung (15,79 kg TM/Tag) und der Entfeuchtertrocknung (15,77 kg/Tag) am höchsten. Diese zwei Gruppen unterscheiden sich bedeutend von der Bodentrocknung (15,42 kg TM/Tag), welche sich von der Silierung (14,63 kg TM/Tag) durch eine signifikant höhere Grundfutteraufnahme abhebt. Im Vergleich zur Kaltbelüftung kommt es bei der Silagevariante zu einer um 1,16 kg niedrigeren TM-Aufnahme pro Tag.

Von RESCH et al. (2010) werden die Ergebnisse der Futtermitteluntersuchungen von österreichischen Grassilagen und Silomais beschrieben. Demnach repräsentiert die im Versuch verwendete Silage eine durchschnittliche Gärqualität. Aus diesem Grund ist es auszuschließen, dass der Unterschied in der TM-Aufnahme von Heu und Silage aus einer unterdurchschnittlichen Qualität bzw. schlechteren Futterakzeptanz resultiert. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stimmen auch mit denen von JARRIGE et al. (1974) überein. Von ihnen werden die Unterschiede in der Futteraufnahme zwischen Heu und Silage auf Veränderungen während des Silierprozesses zurückgeführt. Sie stellen die durchschnittliche TM-Aufnahme der verschiedenen Futtermittel in Beziehung zu der von Grünfutter und geben für Heu eine um 18,5 % und für Silage eine um 30 % niedrigere Aufnahme an. In ihrer Arbeit wird auch zwischen den Konservierungsformen von Heu unterschieden. Nach JARRIGE et al. (1974) ist die TM-Aufnahme von Bodenheu bzw. von

Heu einer Unterdachtrocknung um 21,3 % bzw. 13,8 % niedriger als die von Grünfutter. Die Unterschiede zwischen Bodentrocknung und Unterdachtrocknung erklären sie insofern, als dass bei Niederschlag der Anteil an leicht löslichen Inhaltsstoffen sinkt und die Zellwand-Bestandteile zunehmen. Zu einer Abnahme der löslichen Inhaltsstoffe kommt es auch bei der Silierung. Mikroorganismen verstoffwechseln lösliche Kohlenhydrate und erhöhen damit den Gehalt an Gerüstsubstanzen. Der negativ korrelierte Zusammenhang von TM-Aufnahme und Lignin-Gehalt wird auch von Van SOEST (1994) erwähnt. Im selben Zusammenhang beschreiben GRUBER et al. (2004) den Einfluss der Grundfutterqualität (MJ NEL) auf die Futteraufnahme. Sie geben an, dass diese pro MJ NEL des Grobfutters um 0,89 kg bis 0,98 kg steigt. Dies erklärt unter anderem die höhere Futteraufnahme der Varianten Kaltbelüftung und Entfeuchtertrocknung.

Von INRA (1989) wird beschrieben, dass die TM-Aufnahme von Heu höher ist als die von Silage. Der VDMI (Voluntary Dry Mass Intake) von unterdachgetrocknetem bzw. unter guten Bedingungen bodengetrocknetem Heu ist mit dem von frischen Grünfutter zu vergleichen, während der VDMI der durch Silierung gewonnenen Futterkonserven im Durchschnitt um 3,5 % hinter dem von Grünfutter zurückbleibt. Auch SPIEKERS et al. (2009) kommt zu denselben Ergebnissen. Sie geben bei vergleichbaren Energiegehalten der Futtermittel an, dass bei Heu höhere Futteraufnahmen zu erwarten sind.

Die Ergebnisse im vorliegenden Versuch stimmen auch mit denen von BEAUCHEMIN et al. (1997), NELSON und SATTER (1992), COULON et al. (1997) und JANS (1991) überein. Sie alle stellten bei Heufütterung eine höhere Gesamtfutteraufnahme fest. Anders stellte sich die Situation im Versuch von NELSON und SATTER (1990) dar. Sie verglichen Silage mit Luzerneheu und stellten fest, dass – unabhängig vom Vegetationsstadium – die tägliche TM-Aufnahme von Silage höher ist.

Tabelle 3: Futter-, Nährstoff- und Energieaufnahme

Parameter	Einheit	Konservierungsform				P-Werte			
		Boden-trocknung	Kalt-belüftung	Entfeuchter-trocknung	Silierung	Residual-standardabw.	Konservierung	Jahr	Konservierung × Jahr
Lebendmasse	kg	621 ^a	624 ^{ab}	625 ^b	621 ^a	12	0,003	0,675	0,018
Futteraufnahme (TM pro Tag)									
Grundfutter	kg	15,42 ^a	15,79 ^b	15,77 ^b	14,63 ^c	1,01	<0,001	0,846	<0,001
Krafftutter	kg	3,91 ^{ab}	3,89 ^{ab}	3,97 ^b	3,77 ^a	0,57	<0,001	<0,001	0,075
Gesamtfutter	kg	19,32 ^a	19,68 ^a	19,73 ^a	18,40 ^b	1,25	<0,001	0,002	<0,001
Gesamtfutter	g/kg LM	31,35 ^a	31,83 ^a	31,87 ^a	29,90 ^b	2,03	<0,001	0,068	<0,001
Gesamtfutter	g/kg LM ^s	156,1 ^a	158,6 ^a	158,9 ^a	148,8 ^b	10,0	<0,001	0,031	<0,001
NDF	g/kg LM	13,23 ^a	13,59 ^a	13,55 ^a	11,16 ^b	1,49	<0,001	0,838	<0,001
Krafftutteranteil	% der TM	19,64	19,09	19,75	19,69	2,46	0,180	<0,001	0,011
Energie- und Nährstoffaufnahme aus Grundfutter (pro Tag)									
XP	g	2.148 ^a	2.253 ^b	2.278 ^b	2.252 ^b	295	0,041	0,022	<0,001
nXP	g	1.960 ^a	2.070 ^b	2.066 ^b	1.889 ^c	150	<0,001	0,366	<0,001
NEL	MJ	84,8 ^a	90,4 ^b	89,9 ^b	83,4 ^a	5,3	<0,001	0,827	<0,001
Energie- und Nährstoffaufnahme aus Gesamtfutter (pro Tag)									
XP	g	2.770 ^a	2.873 ^{ab}	2.909 ^b	2.853 ^{ab}	321	0,068	0,008	<0,001
nXP	g	2.665 ^a	2.773 ^b	2.782 ^b	2.570 ^c	195	<0,001	<0,001	<0,001
NEL	MJ	117,4 ^a	122,9 ^b	123,0 ^b	114,8 ^c	7,8	<0,001	<0,001	<0,001
RNB	g	16,83 ^a	15,88 ^a	20,27 ^a	45,25 ^b	24	<0,001	<0,001	<0,001

Auf Grund der konservierungsbedingten Unterschiede in der Energiedichte und der Grundfutteraufnahme kommt es auch bei der Energieaufnahme aus dem Grundfutter zu einem signifikanten Einfluss ($P < 0,001$). Mit einer Energieversorgung von 90,4 MJ NEL/Tag bzw. 89,9 MJ NEL/Tag aus dem Grundfutter ist die Kaltbelüftung bzw. Entfeuchtertrocknung der Bodentrocknungs- (84,8 MJ NEL/Tag) und Silagevariante (83,4 MJ NEL/Tag) deutlich überlegen.

In der *Tabelle 4* sind die Ergebnisse zu Milchleistung und Milchinhaltsstoffen angeführt. Die tägliche Milchleistung der Silagevariante (23,1 kg ECM) ist signifikant niedriger als die der Heuvarianten ($P < 0,001$). Wie es auch von JARRIGE et al. (1974) beschrieben wird, kann dies durch eine bedeutend niedrigere Gesamtfutteraufnahme erklärt werden. Die Gruppe der Entfeuchtertrocknung erreicht die höchste Milchleistung (24,4 kg ECM). Mit einer Differenz von 0,8 kg ECM besteht ein deutlicher Unterschied zur Bodentrocknung (23,6 kg ECM). Eine Erklärung hierfür ist eine geringere Nährstoffaufnahme durch den bei Bodenheu niedrigeren Gehalt an leicht löslichen Kohlenhydraten und dem damit verbundene Anstieg an Zellwand-Bestandteilen (JARRIGE et al. 1974). Auch GRUBER et al. (2004) brin-

gen eine niedrigere Energiekonzentration im Grundfutter mit einer niedrigeren Futteraufnahme in Zusammenhang. Die Kaltbelüftung weicht nur geringfügig von beiden Varianten ab und liegt mit 24,0 kg ECM genau in der Mitte.

COULON et al. (1997) kommt zu gegensätzlichen Ergebnissen. In seiner Studie erbringt die Heugruppe trotz höherer Futteraufnahme eine geringere Milchleistung, wobei der Gehalt an Milchfett und Milchprotein bei der Silagegruppe niedriger und der Verlust an Körpermasse höher war.

In Hinblick auf die Fragestellung des Projektes ist die tägliche Milchleistung aus dem Grundfutter (nach NEL) entscheidend. Sie ist bei den Varianten Kaltbelüftung (17,0 kg) und Entfeuchtertrocknung (16,8 kg) signifikant höher ($P > 0,001$) als bei der Bodentrocknungsvariante (15,2 kg) und Silierung (14,7 kg). Die Ergebnisse resultieren aus den Unterschieden sowohl im Energiegehalt als auch in der Futteraufnahme der Konservierungsvarianten.

Die Situation beim Gehalt an Milchfett und Milcheiweiß ist dieselbe. Innerhalb der Heuvarianten bestehen keine nennenswerten Abweichungen. Die Unterschiede zwischen der Silage- und den Heuvarianten sind hingegen signifikant, wobei der Milchfettgehalt bei der Silagegruppe höher und

Tabelle 4: Milchleistung und Milchinhaltsstoffe

Parameter	Einheit	Konservierungsform				P-Werte			
		Boden-trocknung	Kalt-belüftung	Entfeuchter-trocknung	Silierung	Residual-standardabw.	Konservierung	Jahr	Konservierung × Jahr
Milchleistung und Milchinhaltsstoffe									
Milch	kg	23,8 ^a	24,2 ^{ab}	24,6 ^b	23,2 ^c	1,5	<0,001	<0,001	0,058
ECM	kg	23,6 ^a	24,0 ^{ab}	24,4 ^b	23,1 ^c	1,5	<0,001	<0,001	0,044
Fettgehalt	%	4,13 ^a	4,09 ^a	4,09 ^a	4,19 ^b	0,22	0,001	0,178	0,923
Eiweißgehalt	%	3,19 ^a	3,22 ^a	3,21 ^a	3,10 ^b	0,11	<0,001	0,012	0,144
Laktosegehalt	%	4,58	4,59	4,59	4,59	0,11	0,989	0,224	0,918
Fettmenge	g	979	981	990	970	88	0,587	<0,001	0,178
Eiweißmenge	g	754 ^a	770 ^a	772 ^a	715 ^b	64	<0,001	<0,001	0,022
Laktosemenge	g	1.092 ^{ab}	1.108 ^a	1.115 ^a	1.066 ^b	86	0,014	<0,001	0,056
Harnstoff	mg/kg	183 ^a	173 ^b	169 ^b	180 ^a	23	<0,001	<0,001	<0,001
Zellzahl	1.000/ml	168	181	158	162	147	0,784	0,192	0,576
Milch aus GF	kg	15,2 ^a	17,0 ^b	16,8 ^b	14,7 ^a	1,7	<0,001	0,696	<0,001
Milch aus GES	kg	25,4 ^a	27,2 ^b	27,3 ^b	24,5 ^c	2,6	<0,001	<0,001	<0,001

der Milcheiweißgehalt niedriger ist. Die Ergebnisse decken sich mit denen von KNAUS et al. (2012), BEAUCHEMIN et al. (1997) und JANS (1991). Sie beobachten bei Heurationen einen höheren Gehalt an Milcheiweiß und einen niedrigeren Gehalt an Milchfett. Van SOEST (1982) führt den niedrigeren Milcheiweißgehalt insofern auf das Konservierungsverfahren zurück, als dass im Pansen auf Grund der Silierung weniger leicht lösliche Kohlenhydrate zur Verfügung stehen. Im Vergleich zu Heu limitiert dieser Umstand das ruminale Mikrobewachstum. Der niedrigere Milcheiweißgehalt der Silagegruppe resultiert somit aus einer geringeren Anflutung von Mikrobenprotein am Dünndarm.

Den höheren Milchfettgehalt bei Silage führt Van SOEST (1982) ebenfalls auf den Silierprozess zurück. Er begründet es mit dem Abbau an leicht löslichen Kohlenhydraten und den dadurch, im Vergleich zu Heu, höheren Gehalt an Gerüstsubstanzen.

Schlussfolgerung

In Hinblick auf die wesentlichsten Parameter der vorliegenden Studie ist die Kaltbelüftung unter günstigen Voraussetzungen kaum zu überbieten. Die signifikanten Wechselwirkungen von Konservierung \times Jahr bringen aber zum Ausdruck, dass der Einfluss des Konservierungsverfahrens vom Jahr bzw. von den Witterungsverhältnissen während der Feld- und Belüftungsphasen abhängig ist. Auch wenn mit der Kaltbelüftung qualitativ hochwertiges Heu produziert werden kann und dadurch die Futteraufnahme und Milchleistung gegenüber Bodentrocknung und Silierung höher sind, muss dies auf Grund ungünstiger Voraussetzungen nicht immer der Fall sein. Die Vorteile der Konservierungsverfahren Silierung und Entfeuchtertrocknung kommen insbesondere dann zur Geltung, wenn die Voraussetzungen für einen erstklassigen Konservierungsprozess nicht gegeben sind.

Es bleibt unbestritten, dass Verfahren wie Silierung und Warmlufttrocknung wetterunabhängiger sind. In wie weit ein Mehraufwand dieser Systeme gerechtfertigt ist, kann mit der vorliegenden Studie nicht geklärt werden. Dazu ist es notwendig, die einzelbetriebliche Situation nach betriebswirtschaftlichen Kriterien genau zu beurteilen.

Literatur

ADLER, A., 2002: Qualität von Futterkonserven und mikrobielle Kontamination. 8. Alpenländisches Expertenforum, 9.-10. April 2002, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, A-8952 Irnding, 17-25.

AMA, 2014: Marktbericht-Milch und Milchprodukte. Agrar Markt Austria. 12. Ausgabe 2013, 24 S.

ARGE HEUMILCH, 2014: ARGE Heumilch. <http://www.heumilch.at/heumilch/die-arge-heumilch/>, besucht am 16.12.2014.

BEAUCHEMIN, K.A., L.M. RODE und M.V. ELIASON, 1997: Chewing activities and milk production of dairy cows fed alfalfa as hay, silage, or dried cubes of hay or silage. *J. Dairy Sci.* 80, 324-333.

BMLFUW, 2014: Grüner Bericht 2014. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 1010 Wien, 329 S.

COULON, J.B., P. PRADEL und I. VERDIER, 1997: Effect of forage conservation (hay or silage) on chemical composition of milk. *Annales de Zootechnie* 46, 21-26.

DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1997: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer, 7. Auflage. DLG-Verlag Frankfurt am Main, 212 S.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 1991: Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohrnährstoffen an Wiederkäuern. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 65, 229-234.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, NR. 8: Empfehlung zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 135 S.

GINDL, G., 2002: Zeitgemäße Heubereitung und Heuqualität in der Praxis. 8. Alpenländisches Expertenforum, 9.-10. April 2002, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, A-8952 Irnding, 67-72.

GRUBER, L., R. RESCH, A. SCHAUER, B. STEINER und C. FASCHING, 2015: Einfluss verschiedener Heutrocknungsverfahren auf den Futterwert von Wiesenfutter im Vergleich zur Silierung. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 57-66.

GRUBER, L., F. SCHWARZ, D. ERDIN, B. FISCHER, H. SPIEKERS, H. STEINGASS, U. MEYER, A. CHASSOT, T. JILG und A. OBERMAIER, 2004: Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. 116. VDLUFA-Kongress, Rostock, 484-504 S.

HALMEMIES-BEAUCHET-FILLEAU, A., P. KAIRENIUS, S. AHVENJÄRVI, V. TOIVONEN, P. HUHTANEN, A. VANHATALO, D.I. GIVENS und K.J. SHINGFIELD, 2013: Effect of forage conservation method on plasma lipids, mammary lipogenesis, and milk fatty acid composition in lactating cows fed diets containing a 60:40 forage-to-concentrate ratio. *J. Dairy Sci.* 96, 5267-5289.

HILFIKER, J., 1989: Betriebswirtschaftlicher Vergleich zwischen Bodentrocknung und Heubelüftung. *FAT Berichte* 371, CH-8356 Tänikon TG, 1-7.

INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1989: Ruminant Nutrition: Recommended Allowances and Feed Tables. INRA and John Libbey Eurotext, Paris-London-Rom, 389 S.

JANS, F., 1991: Grassilage oder Dürrfutter für Hochleistungskühe? *Landwirtschaft Schweiz* 4, 333-336.

JARRIGE, R., C. DEMARQUILLY und J.P. DULPHY, 1974: The voluntary intake of forages. In: *Proceedings 5th General Meeting European Grassland Federation 1973*, 98-106.

KNAUS, W., F. SCHIPFLINGER, K. MODER und R. BAUMUNG, 2012: Effekte einer silagefreien Fütterung auf die Leistung von Milchkühen in Tirol. *Züchtungskunde* 84, 191-198.

MEISSER, M. und U. WYSS, 1999: Qualität von unterschiedlich konserviertem Dürrfutter. *Agrarforschung* 6, 437-440.

MÜNGER, A., 2011: Einfluss von Dürrfutter mit hohem Gehalt an löslichen Kohlenhydraten auf die Pansenfermentation von laktierenden Kühen. *Forum angewandte Forschung*, 6.4-7.4. 2011, 61-64.

NELSON, W.F. und L.D. SATTER, 1990: Effect of stage of maturity and method of preservation of alfalfa on production by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73, 1800-1811.

NELSON, W.F. und L.D. SATTER, 1992: Impact of stage of maturity and method of preservation of alfalfa on digestion in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75, 1571-1580.

- ÖPUL, 2007: Sonderrichtlinie des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft: GZ BMLFUW-LE.1.1.8/0073-II/8/2007.
- PÖLLINGER, A., 2014: Heutrocknungsverfahren im Vergleich. 19. Alpenländisches Expertenforum, 3. April 2014, LFZ Raumberg Gumpenstein, A-8952 Irnding, 35-44.
- PÖLLINGER, A., 2015: Technische Kennzahlen zu verschiedenen Heutrocknungsmethoden. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 41-48.
- RESCH, R., 2007: Neue Futterwerttabellen für den Alpenraum. 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung 19.-20. April 2007, HBLFA Raumberg Gumpenstein, A-8952 Irnding, 61-75.
- RESCH, R., 2014: Auswirkungen unterschiedlicher Trocknungsverfahren auf die Raufutterqualität. 19. Alpenländisches Expertenforum, 3. April 2014, LFZ Raumberg Gumpenstein, A-8952 Irnding, 45-54.
- RESCH, R. und L. GRUBER, 2015: Proteinfractionen von Dauerwiesenfutter in Abhängigkeit von Konservierungsverfahren und Lagerungsdauer. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 49-55.
- RESCH, R., L. GRUBER, J. GASTEINER, K. BUCHGRABER, G. WIEDNER, E.M. PÖTSCH und T. GUGGENBERGER, 2009: Mineralstoffgehalte machen das Grund- und Kraftfutter wertvoll. ÖAG-Sonderdruck, Info 8/2009, 8 S.
- RESCH, R., G. WIEDNER, F. TIEFENTHALLER, K. WURM, W. STROMBERGER, P. FRANK und C. MEUSBURGER, 2010: Qualitätsbewertung von österreichischen Grassilagen und Silomais aus Praxisbetrieben. Abschlussbericht, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irnding, 87 S.
- SPIEKERS, H., H. NUSSBAUM und V. POTTHAST, 2009: Erfolgreiche Milchviehfütterung, 5. erweiterte und aktualisierte Auflage. DLG-Verlag, D-60489 Frankfurt am Main, 576 S.
- STOCKINGER, C., 2009: Milchproduktion in Zukunft – Gewinnen wir den Wettbewerb? 36. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 16.-17. April 2009, Bericht LFZ Raumberg Gumpenstein, 11-18.
- URDL, M., A. PÖLLINGER, R. RESCH und A. ADLER, 2010: Einfluss des Konservierungsverfahrens von Wiesenfutter auf Nährstoffverluste, Futterwert, Milchproduktion und Milchqualität – Projektvorstellung. 37. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 19.-20. April 2010, Bericht LFZ Raumberg-Gumpenstein, 83-93.
- Van SOEST, P.J., 1982: Nutritional Ecology of the Ruminant. Cornell University Press, Ithaca and London, 373 S.
- Van SOEST, P.J., 1994: Nutritional Ecology of the Ruminant. Cornell University Press, Ithaca and London, 476 S.
- Van SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON und B.A. LEWIS, 1991: Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74, 3853-3597.
- VDLUFA, 1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997: Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Darmstadt.
- VELIK, M., J. KAUFMANN und L. GRUBER, 2015: Einfluss von Gras-Konservierungsverfahren auf das Milch-Fettsäurenmuster. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 75-80.
- WEISSBACH, F. und S. KUHLA, 1995: Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfutter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. Übers. Tierernähr. 23, 189-214.

Einfluss von Gras-Konservierungsverfahren auf das Milch-Fettsäurenmuster

Impact of grass conservation methods on milk fatty acid profile

Margit Velik^{1*}, Leonhard Gruber¹ und Josef Kaufmann¹

Zusammenfassung

Fettsäuren (FA) in Milch haben eine ernährungsphysiologische und gesundheitliche Bedeutung und sind auch dazu geeignet den Wert der grünlandbasierten Milchproduktion hervorzuheben. Studien, die das FA-Muster von aus Heu bzw. aus Grassilage produzierter Milch vergleichen, gibt es – auch international – bisher nur in sehr begrenztem Umfang. Im vorliegenden Beitrag wurde in drei Milchkuh-Fütterungsversuchen das FA-Muster von Heu-Milch und Grassilage-Milch über drei Erntejahre verglichen. Das Heu wurde mit drei unterschiedlichen Trocknungsverfahren (Bodentrocknung, Kaltbelüftung, Entfeuchterrocknung) produziert.

Zwischen den drei Heutrocknungsverfahren zeigten sich im Milch-FA-Muster keine statistisch signifikanten Unterschiede. Die aus Grassilage produzierte Milch unterschied sich jedoch in bestimmten FA signifikant von der Heu-Milch. Es waren jedoch in den drei untersuchten Erntejahren nicht immer die gleichen FA betroffen. In der Gesamtauswertung unterschied sich die Grassilage-Milch im Gehalt an mehrfach ungesättigten FA (PUFA) von der Heu-Milch. Die Grassilage-Milch hatte mit durchschnittlichen Omega-3 FA-Gehalten von 0,9 g/100 g FAME signifikant niedrigere Gehalte als die Milch der drei Heutrocknungsvarianten (1,0 bis 1,1 g). Mit einem Durchschnittsgehalt von 1,7 g Omega-6 FA unterschied sich die Grassilage-Milch signifikant von der Heu-Milch aus Bodentrocknung und Entfeuchterrocknung (jeweils 1,8 g). Grassilage- und Heu-Milch unterschieden sich nicht im Gehalt an gesättigten und einfach ungesättigten FA.

Wenngleich die numerischen Unterschiede im Milch-FA-Muster zwischen Heu- und Grassilage-Milch klein sind, sind sie auf alle Fälle von hohem wissenschaftlichen Wert. Das Milch-FA-Muster wird jedoch von zahlreichen anderen Faktoren (z.B. botanische Zusammensetzung und Vegetationsstadium von Grünland, Kraftfutteranteil der Ration, Tierfaktoren, Umweltfaktoren etc.) beeinflusst. Daher dürften die Projektergebnisse für die landwirtschaftliche Praxis (z.B. Differenzierung der Heu-Milch von Milch, die aus grassilagebasierter Milchproduktion stammt) nur begrenzt nutzbar sein.

Schlüsselwörter: Heutrocknung, Silage, Omega-3 Fettsäuren, Milchkuh

Summary

Fatty acids in milk have positive effects regarding nutritional physiology and human health and are suitable to emphasise the value of grassland based milk production systems. Studies, comparing the milk fatty acid profile of hay and grassilage based milk production, are rare. In the present study, hay and grass silage was produced in 3 consecutive years. Each year, a feeding trial with dairy cows was undertaken. Hay was produced with 3 hay drying methods (field drying without ventilation, air ventilation, dehumidification drying).

Hay drying method had no significant impact on milk fatty acid profile. However, milk from grass silage based diets (grass silage milk) significantly differed in some fatty acids compared to milk from hay based diets (hay milk). In the 3 feeding trials, not always the same milk fatty acids were affected. Overall, grass silage milk significantly differed in PUFA contents compared to hay milk. Omega-3 FA contents of grass silage milk were at 0.9 g/100 g FAME significantly lower compared to all 3 hay conservation methods (1.0 to 1.1 g omega-3 FA). Moreover, grass silage milk differed at 1.7 g omega-6 FA contents significantly from hay milk produced by field drying without ventilation and dehumidification drying (1.8 g omega-6 FA each). Contents of saturated and monounsaturated milk fatty acids were not affected by grass conservation method.

Although observed milk fatty acid differences in hay and grass silage produced milk are small, they are definitely valuable for the scientific community. However, several other factors affect milk fatty acid profile (e.g. botanical composition and vegetative stage of green forage, concentrate content of diets, animal intrinsic factors, environmental factors etc.). Hence, for practical use (e.g. differentiation of hay from grass silage milk), suitability of results is limited.

Keywords: hay conservation, silage, omega-3 fatty acids, dairy cow

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, Stabstelle Analytik, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

* Ansprechpartner: Dr. Margit Velik, email: margit.velik@raumberg-gumpenstein.at

1. Einleitung

In den letzten Jahren wird der ernährungsphysiologische und gesundheitliche Wert von Lebensmitteln ein immer bedeutenderer Qualitätsfaktor für den Konsumenten. In diesem Zusammenhang werden häufig der Fettgehalt und die im Fett enthaltenen Fettsäuren (FA) von Lebensmitteln genannt. FA werden in gesättigte und ungesättigte FA unterteilt. Die ungesättigten FA werden wiederum in einfach und mehrfach ungesättigte FA eingeteilt. In Hinblick auf die menschliche Ernährung sind die Omega-3 FA und die Omega-6 FA sowie die konjugierten Linolsäuren (CLA) – alle drei sind mehrfach ungesättigte FA – von zentraler Bedeutung, da sie vom menschlichen Organismus nicht selbst synthetisiert werden können und über die Nahrung aufgenommen werden müssen. Insbesondere die Omega-3 FA und die CLA können sich in folgenden Bereichen positiv auf den Gesundheitsstatus des Menschen auswirken: Herz-Kreislauf-Erkrankungen (senken Blutfette), Hauterkrankungen (z.B. Neurodermitis), Rheumatismus sowie entzündungshemmende, antikanzinogene, antidiabetogene, anabole, antithrombotische und antiarteriosklerotische Wirkungen (MacRAE et al. 2005, DEWHURST et al. 2006).

Zahlreiche Studien belegen, dass die Grundfutterbasis (Gras und Graskonserven, Maissilage, Leguminosen) sowie die Kraftfuttermenge und -zusammensetzung das FA-Muster in Milch von Wiederkäuern beeinflussen. Durch grünlandbetonte Futterationen werden die ernährungsphysiologisch wertvollen ungesättigten FA erhöht und die bei zu hoher Aufnahme gesundheitsgefährdenden gesättigten FA reduziert (JAHREIS et al. 1997, LEIBER et al. 2005, COUVREUR et al. 2006, DEWHURST et al. 2006, ELGERSMA et al. 2006, VLAEMINCK et al. 2006, WYSS et al. 2007, BISIG et al. 2008, BUTLER et al. 2008, DGE et al. 2008). Neben der Fütterung wird das Milch-FA-Muster auch von Tierfaktoren (z.B. Rasse, Genetik, Laktationszahl, Laktationsstadium etc.) sowie Umweltfaktoren (Jahreszeit, Herdenmanagement etc.) beeinflusst (KALAC und SAMKOVA 2010).

Im vorliegenden Beitrag wird das Milch-FA-Muster von Grassilage-Milch sowie von Milch dreier Heu-Konservierungsverfahren (Bodentrocknung, Kaltbelüftung, Entfeuchterrocknung) beleuchtet.

2. Material und Methodik

Die genaue Versuchsanordnung sowie die Ergebnisse zu Futtermittelanalysen, Futter- und Nährstoffaufnahmen, Milchleistung etc. des Fütterungsversuches wurden von anderen Autoren beschrieben und sind im Tagungsband der 42. Viehwirtschaftlichen Fachtagung (2015) nachzulesen (PÖLLINGER 2015, RESCH und GRUBER 2015, GRUBER et al. 2015, FASCHING et al. 2015). Heu und Grassilage stammten von denselben Versuchswiesen und wurden am gleichen Tag/im gleichen Vegetationsstadium geschnitten. In allen drei Versuchsjahren wurde am Ende jeder Erhebungsperiode (4 Erhebungsperioden pro Versuchsjahr) pro Kuh eine Milchprobe zur Milch-FA-Bestimmung gezogen. Im Erntejahr 2011 wurde in der ersten Erhebungsperiode versehentlich keine Milchprobe gezogen; insgesamt wurden 176 Milchproben untersucht. Die zur FA-Untersuchung herangezogenen Milchproben stammten jeweils aus einer Sammelprobe (insgesamt 100 ml)

aus Morgen- und Abendmilch und wurden bis zur Analyse tiefgekühlt (ca. -18 °C) gelagert.

2.1 Fettsäureanalytik

Die FA-Untersuchungen wurden an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt. Die Extraktion des Fettes für die FA-Untersuchung erfolgte nach der von FOLCH et al. (1957) entwickelten Methode mit leichter Modifikation. Die Derivatisierung zu FA-Methylester (FAME) erfolgte nach DGF (2006). Die Bestimmung der Einzel-FA erfolgte mittels Gaschromatograph (Varian, Modell 3900) ausgestattet mit einem Flammen-Ionisierungs-Detektor, einem automatischen Injektor, einem Split-Injektor sowie mit der Säule Supelco SPTM 2380 (100 m × 0,25 mm × 0,2 µm Filmdicke). Die Injektions- und Detektionstemperatur betragen 250 bzw. 260 °C. Als Trägergas diente Helium; es wurde eine konstante Druck-Methode (Säulendruck 3,4 bar) verwendet. Die Säulentemperatur wurde zu Beginn für 1 Minute bei 60 °C gehalten; dann wurde die Temperatur mit 8 °C pro Minute bis auf 120 °C und anschließend mit 1,5 °C pro Minute bis auf 240 °C erhöht. Für die Peak-Identifikation wurde ein Standardmix von 37 FAME (Supelco Inc.) verwendet sowie individuelle Standards von Supelco, Matreya und Larodan. Jede Einzel-FA wurde als g/100 g Gesamt-FA ausgedrückt.

2.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit SAS (Statistical Analysis System, Version 9.4, 2013) als Change-over Design mit mehreren lateinischen Quadraten nach KAPS und LAMBERSON (2007). Die drei Erntejahre wurden getrennt (Tabelle 2) und gemeinsam (Tabelle 3) ausgewertet. Die Auswertungen erfolgten mit der Prozedur GLM und Kuh, Erhebungsperiode, Konservierungsverfahren und Square als fixe Effekte. In jedem Versuchsjahr wurden jeweils die 4 Kühe mit dem gleichen Kraftfuttermittelanteil zu einem Square zusammengefasst; dies ergab bei 16 Kühen pro Versuch vier Squares. Im Modell wurden als unabhängige Variablen Square, Erhebungsperiode innerhalb Square, Tier innerhalb Square und Konservierungsverfahren definiert. Die Unterschiede zwischen den LSMeans wurden mit einem Tukey-Test getestet. Das Signifikanzniveau wurde bei 0,05 angesetzt. In den Ergebnistabellen sind die Least Square Means (LSMeans), Standardfehler (StErr) und P-Werte dargestellt.

Da im Modell nach KAPS und LAMBERSON (2007) aufgrund einer fehlenden Erhebungsperiode im Erntejahr 2011 die Wechselwirkung Erntejahr*Konservierungsverfahren nicht ausgewertet werden konnte, wurde zusätzlich in einem "herkömmlichen" 3-faktoriellen GLM-Modell die Wechselwirkung Erntejahr*Konservierungsverfahren ausgewertet. Die Wechselwirkung war für keine FA-Gruppe signifikant.

2.3 Untersuchte Fettsäuren

Im Ergebnisteil werden folgende sechs FA-Gruppen dargestellt: (1) gesättigte FA (SFA), (2) einfach ungesättigte FA (MUFA), (3) mehrfach ungesättigte FA (PUFA), (4) konjugierte Linolsäure (CLA), (5) Omega-3 FA, (6) Omega-6 FA. Tabelle 1 zeigt welche Einzel-FA in den jeweiligen FA-Gruppen enthalten sind.

Tabelle 1: Zusammensetzung der FA-Gruppen

SFA	C4:0, C5:0, C6:0, C7:0, C8:0, C10:0, C11:0, C12:0, C13:0anteiso, C13:0, C14:0, C15:0iso, C15:0anteiso, C15:0, C16:0iso, C16:0, C17:0iso, C17:0anteiso, C17:0, C18:0, C19:0anteiso, C19:0, C20:0, C21:0, C22:0, C23:0, C24:0
MUFA	C14:1, C15:1, C16:1cis9, C17:1, Σ C18:1trans, C18:1cis9, C18:1cis11, C20:1, C22:1, C24:1
PUFA	Σ CLA+Omega-3+Omega-6
CLA	CLAcis9trans11
Omega-3 FA	C18:3cis9,12,15, C20:3cis11,14,17, C20:5, C22:5cis7,10,13,16,19, C22:6
Omega-6 FA	C18:2trans9,12, C18:2cis9,12, C18:3cis6,9,12, C20:2, C20:3cis8,11,14, C20:4, C22:2

Tabelle 2: Milch-FA-Muster der vier Gras-Konservierungsverfahren der Erntejahre 2010, 2011 und 2012 (Erntejahre getrennt ausgewertet)

g/100 g FAME	Bodentrocknung	Kaltbelüftung	Entfeuchtertrocknung	Silierung	StdErr	P-Wert
Erntejahr 2010						
SFA	76,5 ^{ab}	77,9 ^a	76,9 ^{ab}	76,1 ^b	0,44	0,032
MUFA	19,7 ^{ab}	18,4 ^b	19,2 ^{ab}	20,2 ^a	0,38	0,015
PUFA	3,78	3,58	3,81	3,64	0,09	0,270
CLA	0,76	0,71	0,75	0,86	0,04	0,068
Omega-3 FA	1,17	1,09	1,17	1,01	0,06	0,200
Omega-6 FA	1,85 ^{ab}	1,79 ^{ab}	1,89 ^a	1,77 ^b	0,03	0,019
Omega-6:Omega-3 FA	1,72	1,81	1,68	1,85	0,11	0,694
Erntejahr 2011						
SFA	78,7	78,8	78,5	78,8	0,49	0,977
MUFA	17,9	17,8	17,9	18,2	0,44	0,944
PUFA	3,32 ^{ab}	3,36 ^a	3,53 ^a	3,04 ^b	0,07	0,001
CLA	0,58 ^b	0,66 ^{ab}	0,72 ^a	0,60 ^b	0,02	0,001
Omega-3 FA	1,06 ^a	1,03 ^a	1,10 ^a	0,89 ^b	0,03	<0,001
Omega-6 FA	1,69 ^{ab}	1,67 ^{ab}	1,70 ^a	1,55 ^b	0,04	0,032
Omega-6:Omega-3 FA	1,60 ^b	1,63 ^b	1,56 ^b	1,76 ^a	0,02	<0,001
Erntejahr 2012						
SFA	76,5	78,2	76,4	77,8	0,62	0,101
MUFA	20,1	18,6	20,3	19,1	0,59	0,138
PUFA	3,38 ^a	3,21 ^{ab}	3,34 ^{ab}	3,11 ^b	0,06	0,019
CLA	0,61	0,61	0,71	0,63	0,03	0,042
Omega-3 FA	1,00 ^a	0,95 ^{ab}	0,95 ^{ab}	0,86 ^b	0,03	0,035
Omega-6 FA	1,77 ^a	1,65 ^{ab}	1,68 ^{ab}	1,62 ^b	0,03	0,028
Omega-6:Omega-3 FA	1,87	1,90	1,86	1,99	0,07	0,628

3. Ergebnisse

Tabelle 2 zeigt die getrennte Milch-FA-Auswertung für die Erntejahre 2010, 2011 und 2012. Zwischen den drei Heutrocknungsverfahren zeigten sich im Milch-FA-Muster keine statistisch signifikanten Unterschiede. Einzige Ausnahme war der CLA-Gehalt der Heu-Milch im Jahr 2011, der bei der Bodentrocknung signifikant niedriger war als bei der Entfeuchtertrocknung.

Die aus Grassilage produzierte Milch unterschied sich in bestimmten FA signifikant von der Heu-Milch; es waren jedoch in den drei untersuchten Erntejahren nicht immer die gleichen FA-Gruppen betroffen. So unterschied sich die Grassilage-Milch der Ernte 2010 in den SFA-, MUFA- und Omega-6 FA-Gehalten signifikant von jeweils einem Heutrocknungsverfahren. Im Erntejahr 2011 waren bei Silierung die CLA-, Omega-3 FA-, Omega-6 FA- und PUFA-Gehalte der Milch im Vergleich zu einem, zwei oder allen Heutrocknungsverfahren signifikant niedriger. Die Grassilage-Milch der Ernte 2012 hatte signifikant niedrigere

Omega-3 FA-, Omega-6 FA- und PUFA-Gehalte als die Milch aus Bodentrocknungs-Heu (Tabelle 2).

Vergleicht man die drei Versuchsjahre miteinander, so wurden in bestimmten Milch-FA-Gruppen zwischen den Heutrocknungsverfahren Unterschiede von bis zu 25 % (CLA-Gehalt) gefunden (berechnet als niedrigsten LS-Means-Wert der Heutrocknungsverfahren durch höchsten Wert) (Tabelle 2).

Tabelle 3 beschreibt das Milch-FA-Muster der gemeinsamen Auswertung der drei Erntejahre. In der Tabelle sind zusätzlich noch jene Einzel-FA aufgelistet, deren Anteil über 1 g/100 g FAME lag sowie bestimmte wichtige Einzel-FA. In der Gesamtauswertung enthielt die Grassilage-Milch mit durchschnittlichen Omega-3 FA-Gehalten von 0,9 g/100 g FAME signifikant weniger Omega-3 FA als die Milch der 3 Heutrocknungsvarianten (1,0 bis 1,1 g). Mit einem Durchschnittsgehalt von 1,7 g Omega-6 FA und 3,3 g PUFA/100 g FAME unterschied sich die Grassilage-Milch signifikant von der Milch aus Bodentrocknung und Entfeuchtertrocknung (jeweils 1,8 g Omega-6 FA bzw. 3,5 g PUFA).

Tabelle 3: Milch-FA-Muster aus den vier Gras-Konservierungsverfahren (Erntejahre gemeinsam ausgewertet)

g /100 g FAME	Erntejahre 2010 – 2012				StdErr	P-Wert
	Bodentrocknung	Kaltbelüftung	Entfeuchterrocknung	Silierung		
SFA	77,2	78,4	77,3	77,5	0,38	0,090
MUFA	19,3	18,2	19,2	19,2	0,35	0,110
PUFA	3,47 ^a	3,34 ^{ab}	3,52 ^a	3,25 ^b	0,05	<0,001
CLAc9t11	0,64	0,64	0,71	0,69	0,02	0,048
Omega-3 FA	1,05 ^a	0,99 ^a	1,05 ^a	0,90 ^b	0,03	<0,001
Omega-6 FA	1,78 ^a	1,71 ^{ab}	1,77 ^a	1,66 ^b	0,02	<0,001
Omega-6:Omega-3 FA	1,80	1,85	1,77	1,93	0,05	0,152
C4:0	6,3 ^{ab}	6,2 ^b	6,1 ^b	6,5 ^a	0,09	0,006
C6:0	3,18	3,25	3,15	3,25	0,03	0,052
C8:0	1,79	1,86	1,80	1,79	0,02	0,114
C10:0	3,82 ^{ab}	4,09 ^a	3,95 ^{ab}	3,72 ^b	0,08	0,007
C12:0	4,17 ^{ab}	4,49 ^a	4,35 ^a	4,02 ^b	0,09	0,004
C14:0	13,3 ^{ab}	13,7 ^a	13,6 ^a	13,0 ^b	0,15	0,006
C14:1	1,02	1,08	1,08	1,04	0,02	0,144
C15:0	1,16	1,18	1,16	1,19	0,02	0,593
C16:0	31,7	32,5	32,0	32,5	0,29	0,147
C16:1c9	1,42	1,47	1,49	1,44	0,03	0,483
C17:0	1,01 ^b	0,93 ^c	0,96 ^c	1,06 ^a	0,02	<0,001
C18:0	7,9	7,4	7,4	7,8	0,17	0,031
C18:1t	1,24	1,17	1,29	1,23	0,04	0,232
C18:1c9	15,1	14,0	14,8	15,0	0,32	0,077
C18:2c9,12	1,32 ^a	1,26 ^a	1,30 ^a	1,17 ^b	0,02	<0,001
C18:2t9,12	0,271 ^b	0,263 ^b	0,278 ^b	0,316 ^a	0,004	<0,001
C18:3c9,12,15	0,868 ^a	0,819 ^a	0,867 ^a	0,728 ^b	0,02	<0,001
C20:3c8,11,14	0,061 ^a	0,060 ^{ab}	0,058 ^{ab}	0,054 ^b	0,002	0,029
C20:4	0,098	0,094	0,098	0,093	0,002	0,181
C20:5	0,079 ^a	0,077 ^a	0,079 ^a	0,068 ^b	0,002	<0,001
C24:1	0,049	0,045	0,057	0,054	0,005	0,239
C22:5c7,10,13,16,19	0,076	0,071	0,070	0,073	0,002	0,225

4. Diskussion

Aus der Literatur ist bekannt, dass das FA-Muster der Milch durch die botanische Futterzusammensetzung (Anteil an Gräsern, Kräutern und Leguminosen), die Pflanzenarten, das Vegetationsstadium und den Fettgehalt des Futters bestimmt wird. Weiters ist aus der Literatur bekannt, dass Blätter einen höheren Fettgehalt und mehr ungesättigte Fettsäuren enthalten als Stängel und dass es durch Bröckelverluste bei der Graskonservierung zu FA-Verlusten kommen kann (DEWHURST et al. 2006, MOREL et al. 2006, DOHME 2007, WYSS et al. 2007b, HUHTANNEN et al. 2010, BRAACH 2012). Es gibt nur wenige Publikationen, die den Einfluss der Futterkonservierung auf das FA-Muster der Milch untersuchten. Darüber hinaus wurde in den vorhandenen Publikationen größtenteils Weide/Gras mit Heu bzw. Weide/Gras mit Grassilage verglichen (z.B. MOREL et al. 2006, MOHAMMED et al. 2009, KALAC und SAMKOVA 2010). Es gibt bisher kaum Studien, die Heu- und Grassilage-Milch vergleichen.

WYSS und COLLOMB (2011) führten einem Milchkuh-Fütterungsversuch durch, in dem das Milch-FA-Muster bei heu- bzw. grassilagebasierter Fütterung (Grassilage mit 39 bzw. 57 % TM) verglichen wurde. In ihrer Arbeit waren nur die MUFA-Gehalte der Grassilage-Milch (Grassilage mit 39 % TM) signifikant niedriger als in der Heu-Milch. Ein signifikanter Unterschied in den MUFA-Gehalten wurde in unserer Arbeit nur im ersten Versuchsjahr gefunden (Tabelle 2), nicht jedoch in der Gesamtauswertung (Tabelle 3). HUHTANNEN et al. (2010) kommen anhand einer Literaturübersicht zu dem Schluss, dass Milch aus Heu-Rationen

tendenziell höhere PUFA-Gehalte enthält als Milch aus Grassilage-Rationen, was sich mit unseren Ergebnissen deckt (Tabelle 3). Auch SHINGFIELD et al. (2005) fanden in aus Heu produzierter Milch höhere PUFA-Gehalte als in Grassilage-Milch sowie keine Unterschiede in den SFA- und MUFA-Gehalten. In SHINGFIELD et al. (2005) waren im Heu deutlich niedrigere PUFA-Gehalte als in der Grassilage enthalten, weshalb die höheren PUFA-Gehalte der Heu-Milch auf einen höheren Transfer von C18:3 (Omega-3 FA) und C18:2 (Omega-6 FA) von der Futterration über den Pansen in die Milch zurückzuführen sein dürften.

Im vorliegenden Projekt hatte die Grassilage einen signifikant höheren Fettgehalt als das Heu der drei Heutrocknungsvarianten. Im Fütterungsversuch hatten die mit Grassilage gefütterten Milchkühe – im Vergleich zu den mit Heu gefütterten – eine signifikant niedrigere Grund- und Gesamtfutteraufnahme sowie Milchleistung, jedoch einen signifikant höheren Milchfettgehalt (siehe Beitrag GRUBER im Tagungsband der 42. Viehwirtschaftlichen Fachtagung, 2015). Über die Gründe wies sich in unserer Studie Heu- und Grassilage-Milch in den PUFA-Gehalten unterscheiden, kann nur spekuliert werden, zumal das FA-Muster von Heu und Grassilage nicht untersucht wurde. Im vorliegenden Versuch wurde das Gras aller Konservierungsverfahren von der gleichen Fläche und am gleichen Tag geschnitten, weshalb Unterschiede in der botanischen Zusammensetzung sowie im Vegetationsstadium zwischen Heu und Grassilage ausgeschlossen werden können. Prinzipiell könnten die Unterschiede im PUFA-Gehalt der Heu- und Grassilage-Milch daher auf folgendes zurückzuführen sein (SHINGFIELD et al. 2005, DEWHURST et al. 2006, HUHTANNEN et al.

2010, KALAC und SAMKOVA 2010): (1) Unterschiede in den oxidativen FA-Verlusten (vor allem ungesättigte FA) während dem Trocknen des Heus bzw. dem Anwelken und Verfüttern der Grassilage, (2) Unterschiede in den Bröckelverlusten/Blattverlusten während der Heu- bzw. Silageerzeugung, (3) Veränderungen im FA-Muster während des Silier-/Gärvorgangs oder (4) Unterschiede im Fettstoffwechsel im Pansen. SHINGFIELD et al. (2005) nehmen an, dass bei Heu-Rationen die Lipolyse (hydrolytische Spaltung von Fetten durch Enzyme) und die Biohydrierung (bakterieller Stoffwechselvorgang von Wiederkäuern) von Futterfetten im Pansen niedriger sind als in Grassilage und dadurch mehr PUFA in die Milch gelangen.

SEIZ (2012) untersuchte in ihrer Masterarbeit das Milch-FA-Muster von österreichischen Heumilch-Betrieben. SEIZ (2012) fand auch bei im Winter produzierter Heumilch deutlich niedrige SFA- (71,5 g/100 g FAME) und höhere MUFA-Gehalte (21,0 g) als in der vorliegenden Arbeit. Mögliche Ursachen für die zwischen den beiden Arbeiten gefundenen Unterschiede könnten niedrigere Kraftfuttermengen der Heumilchbetriebe in SEIZ (2012), erhebliche Unterschiede im Pflanzenbestand oder Vegetationsstadium oder auch Unterschiede in der Fettsäureanalytik sein.

Abschließend wird das Milch-FA-Muster der Heu- und Grassilage-Milch mit den Ergebnissen aus VELIK et al. (2013) verglichen (in VELIK et al. (2013) sind die Milch-FA-Gehalte in g/100 g Milchfett und nicht in g/100 g FAME dargestellt). Die Heu- und Grassilage-Milch (ca. 20 % Kraftfutter in der Ration) hatte ähnliche SFA- und MUFA-Gehalte wie die Maissilage-Kraftfutter-Milch (Ration aus 70 % Maissilage, 20 % Kraftfutter, 10 % Heu). Die Heu- und Grassilage-Milch hatte jedoch deutlich höhere CLA-, Omega-3 FA- und PUFA-Gehalte als die Maissilage-Kraftfutter-Milch. Die CLA-Gehalte der Heu- und Grassilage-Milch waren mit dem Durchschnittsgehalt von 13 österreichischen Supermarkt-Milchmarken vergleichbar. Auch die Omega-3 FA-Gehalte der Heu-Milch lagen ähnlich wie der Durchschnitt der Supermarkt-Milch; die Omega-3 FA-Gehalte der Grassilage-Milch lagen um rund 0,1 g darunter. Die in VELIK et al. (2013) untersuchte Weide- und Alm-Milch hatte deutlich höhere CLA- und Omega-3 FA-Gehalte als die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Heu- und Grassilage-Milch. Im Gehalt an Omega-6 FA konnten bei der Heu- und Grassilage-Milch im Vergleich zu VELIK et al. (2013) keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden.

5. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass unterschiedliche Heutrocknungsverfahren prinzipiell keinen Einfluss auf das Milch-FA-Muster haben. Milch, die in grassilagebasierten Milchproduktionssystemen erzeugt wird, hat einen statistisch signifikant niedrigeren Gehalt an mehrfach ungesättigten FA (Omega-3 FA, Omega-6 FA) als Heu-Milch, wenngleich die numerischen Unterschiede gering sind. Die Studienergebnisse sowie die Literatur legen nahe, dass nicht nur die botanische Zusammensetzung und das Vegetationsstadium von Grünlandfutter das Milch-FA-Muster bestimmen, sondern auch Unterschiede in den Produktionsverfahren von Heu bzw. Grassilage sowie der

Fettstoffwechsel im Pansen (Lipolyse, Biohydrierung von Fettsäuren) des Rindes daran beteiligt sind.

6. Literatur

- BISIG, W., M. COLLOMB, U. BÜTIKOFER, R. SIEBER, M. BREGY und L. ETTER, 2008: Saisonale Fettsäurezusammensetzung von Schweizer Bergmilch. *Agrarforschung* 15, 38-43.
- BRAACH, J., 2012: Spezielle Milchhaltsstoffe bei unterschiedlichen Futterationen im Vergleich zu graslandbasierter Milch. Universität für Bodenkultur, Wien, Masterarbeit.
- BUTLER, G., J.H. NIELSEN, T. SLOTS, C. SEAN, M.D. EYRE, R. SANDERSON und C. LEIFERT, 2008: Fatty acid and fat-soluble antioxidant concentrations in milk from high- and low-input conventional and organic systems: seasonal variation. *J. Sci. Food Agric.* 88, 1431-1441.
- COUVREUR, S., C. HURTAUD, C. LOPEZ, L. DELABY und J.L. PEYRAUD, 2006: The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet, milk fatty acid composition, and butter properties. *J. Dairy Sci.* 89, 1956-1969.
- DEWHURST, R.J., K.J. SHINGFIELD, M.R.F. LEE und N.D. SCOLLAN, 2006: Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131, 168-206.
- DGE, ÖGE, SGE und SVE (eds.), 2008: Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Neuer Umschau Buchverlag, Frankfurt/Main.
- DGF – Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaft (eds.), 2006: Methode C-VI 11 (98) – Fettsäurenmethylester (TMSH-Methode). In: DGF-Einheitsmethoden: Deutsche Einheitsmethoden zur Untersuchung von Fetten, Fettprodukten, Tensiden und verwandten Stoffen. 2. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, Stuttgart.
- DOHME, F., 2007: Fettsäurenmuster von Milch aus reiner Grasfütterung und Gras-Heufütterung. In: Der besondere Wert graslandbasierter Milch (eds: W. Stoll, E. Frioud und M. Lobsiger), Tagungsband, Forschungsanstalt Agroscope Liebefeld-Posieux ALP, 8. November 2007, 108-110.
- DEWHURST, R.J., K.J. SHINGFIELD, M.R.F. LEE und N.D. SCOLLAN, 2006: Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131, 168-206.
- ELGERSMA, A., S. TAMMINGA und G. ELLEN, 2006: Modifying milk composition through forage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131, 207-225.
- FASCHING, C., L. GRUBER, B. MIETSCHNIG, A. SCHAUER, J. HÄUSLER und A. ADELWÖHRER, 2015: Einfluss verschiedener Heutrocknungsverfahren auf Futteraufnahme und Milchproduktion im Vergleich zu Grassilage. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 67-74.
- FOLCH, J., M. LEES und G.H. SLOANE STANLEY, 1957: A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226, 497-509.
- GRUBER, L., R. RESCH, A. SCHAUER, B. STEINER und C. FASCHING, 2015: Einfluss verschiedener Heutrocknungsverfahren auf den Futterwert von Wiesenfutter im Vergleich zur Silierung. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 57-66.
- HUHTANEN, P., K.H. SÜDEKUM, J. NOUSIAINEN und K.J. SHINGFIELD, 2010: Forage conservation, feeding value and milk quality. *Grassland Science in Europe* Vol. 15, 379-399.
- JAHREIS, G., J. FRITSCHKE und H. STEINHART, 1997: Monthly variations of milk composition with special regard to fatty acids depen-

- ding on season and farm management systems - conventional versus ecological. *Lipid* 98, 356-359.
- KALAC, P. und E. SAMKOVA, 2010: The effect of feeding various forages on fatty acid composition of bovine milk fat: a review. *Czech. J. Anim. Sci.* 55, 521-537.
- KAPS, M. und W. LAMBERSON, 2007: *Biostatistics for animal science*. CABI Publishing, Oxfordshire, UK, Cambridge, USA.
- LEIBER, F., 2005: Causes and extent of variation in yield, nutritional quality and cheese-making properties of milk by high altitude grazing of dairy cows. ETH-Zürich, Dissertation.
- MacRAE, J., L. O'REILLY und P. MORGAN, 2005: Desirable characteristics of animal products from a human health perspective. *Livest. Prod. Sci.* 94, 95-103.
- MOHAMMED, R., C.S. STANTON, J.J. KENNELLY, J.K.G. KRAMER, J.F. MEE, D.R. GLIMM, M. O'DONOVAN und J.J. MURPHY, 2009: Grazing cows are more efficient than zero-grazed and grass silage-fed cows in milk rumenic acid production. *J. Dairy Sci.* 92, 3874-3893.
- MOREL, I., U. WYSS und M. COLLOMB, 2006: Grünfütter- oder Silagezusammensetzung und Milchinhaltsstoffe. *Agrarforschung* 13, 228-233.
- PÖLLINGER, A., 2015: Technische Kennzahlen zu verschiedenen Heutrocknungsmethoden. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 41-48.
- RESCH, R. und L. GRUBER, 2015: Proteinfractionen von Dauerwiesenfutter in Abhängigkeit von Konservierungsverfahren und Lagerungsdauer. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 49-55.
- SEIZ, M., 2012: Fettsäureverteilung in österreichischer Heumilch – Einfluss der silagefreien Fütterung im Jahresverlauf. Masterarbeit Universität Wien, 132 S.
- SHINGFIELD, K.J., P. SALO-VÄÄNÄNEN, E. PAHKALA, V. TOIVONEN, S. JAAKKOLA, V. PIIRONEN und P. HUHTANEN, 2005: Effect of forage conservation method, concentrate level and propylen glycol on the fatty acid composition and vitamin content of cows milk. *J. Dairy Res.* 72, 349-361.
- VELIK, M., S. BREITFUSS, M. URDL, J. KAUFMANN, A. STEINWIDDER und A. HACKL, 2013: Fettsäuremuster von österreichischer Alm-, Vollweide- und Trinkmilch sowie von Milch aus Maissilage-Ration. 40. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 18.-19. April 2013, Bericht LFZ Raumberg-Gumpenstein, 23-35.
- VLAEMINCK, B., V. FIEVEZ, A.R.J. CABRITA, A.J.M. FONSECA und R.J. DEWHURST, 2006: Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131, 389-417.
- WYSS, U., I. MOREL und M. COLLOMB, 2007: Einfluss der Verfütterung von Grünfütter und dessen Konserven auf das Fettsäuremuster von Milch. 13. Alpenländisches Expertenforum - Milch und Fleisch vom alpenländischen Grünland, 29. März 2007, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 15-20.
- WYSS, U. und M. COLLOMB, 2011: Influence of hay or silage on cow-milk fatty acid composition. *Grassland Science in Europe* Vol. 16, 100-102.