

Einfluss unterschiedlicher Trocknungsverfahren auf die Futterhygiene von Raufutter

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

Schlagerwörter: Heu, Trocknungsverfahren, Futterhygiene, Lagerpilze

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

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

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

² LFZ Raumberg-Gumpenstein, Referat für Futtermittelkonservierung und Futtermittelbewertung, Raumberg 38, A-8952 IRDNING

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

Einleitung

Zunehmender Wettbewerb und steigende Futtermittelpreise erfordern eine Beurteilung von Heu - sowohl nach dessen Futterwert als auch nach dessen monetärem Wert. Dies erfolgt zumeist basierend auf seinem Profil an Nähr- und Inhaltsstoffen. Dabei hat die mikrobielle Qualität gerade bei wirtschaftseigenem Grundfutter einen entscheidenden Einfluss auf Gesundheit und Leistung der landwirtschaftlichen Nutztiere. Die mikrobiologische Untersuchung bietet die grundlegende Möglichkeit, Futtermittel im Hinblick auf im Zuge der Lebensmittelsicherheit geforderten Unverdorbenheit und deren graduellen Abstufungen im Vergleich zur normalen Beschaffenheit zu beurteilen.

Ein gewisser Keimbesatz ist dabei für Futtermittel normal, auf pflanzlichen Materialien sind zum Zeitpunkt der Ernte unvermeidbar bestimmte Keimgruppen in mehr oder weniger hohen Zahlen anzutreffen. Im Laufe der Lagerung kann eine Veränderung der Mikroflora durch Umschichtung der Arten eintreten. So können sich an die Bedingungen der Lagerhaltung angepasste oder auch unerwünschte Keime vermehren.

Mikroorganismenbesatz von Grünfutter

Die Primärflora von Grünlandpflanzen ist vor allem durch unterschiedliche Sukzessionen durchwegs saprophytisch oder schwach parasitisch lebender Mikroorganismen charakterisiert. Mit dem Altern der Pflanze nimmt das zunächst bestehende Gleichgewicht zwischen Mikroorganismen und Pflanze zu Ungunsten der Pflanze ab. Die mit dem Alterungsprozess einhergehende Verholzung und die gleichzeitige Abnahme des Wassergehaltes können aber bei Gräsern eine massive Vermehrung von Bakterien und Pilzen verhindern (Dickinson 1976, Campbell 1985, Lengauer 1993). Die auf der Pflanzenoberfläche dominierenden Bakterienarten tragen dabei auch zum Schutz der Pflanze vor Pilzinvansionen bei (Wittenberg 1997). In der Regel nimmt die mikrobielle Kontamination des Grünfutters von Schnitt zu Schnitt zu, worin sich die Schwächung der Pflanze mit dem Alter, aber auch der erhöhte Infektionsdruck seitens der Biosphäre mit fortschreitender Vegetationszeit widerspiegeln (Campbell 1985, Adler und Lew 1995, Buchgraber *et al.*, 1996).

Beim Schnitt und den nachfolgenden Arbeitsschritten der Heuproduktion werden ursprünglich boden- und luftbürtige Mikroorganismen auf das Pflanzenmaterial verbracht. Die Bakterienflora wird zu diesem Zeitpunkt zumeist von gram-negativen Keimgruppen wie Pseudomonaden und epiphytischen Enterobakterien dominiert (Adler 2002). Bei den Pilzen treten neben Hefen meist Spezies aus verschiedenen Gattungen der Hyphomyceten wie *Acremonium*, *Cladosporium*, *Colletotrichum* oder *Verticillium*, sowie gelegentlich auch die toxinogenen Pilzgattungen *Fusarium* und *Alternaria* auf. Ungleich häufiger werden aber Coelomyceten nachgewiesen, wobei sich Spezies aus den Gattungen *Phoma* und *Ascochyta* vielfach als wichtigste, die Pilzflora ganzer Grünlandbestände dominierende Gattungen erweisen (Breton und Zwanepoel 1991, Wittenberg 1997, Adler 2002). Auch Hefen können dem Ursprung nach zur Feldflora gezählt werden, weil sie Futterpflanzen bereits

im Feld besiedeln und von dort aus in die Lagerstätten eingebracht werden. Wegen ihrer fermentativen Fähigkeiten sind sie aber oft entscheidend am Stoffabbau, vor allem in Silagen, beteiligt und in diesem Falle als Verderbanzeiger zu bewerten (Wiedner 2008).

Mit dem Schnitt setzt ein Wettlauf zwischen Trocknung und Verderb des Grünfutters ein. Bei einer ungenügend raschen Trocknung kommt es in feuchtem Futter schnell zu einer massiven Entwicklung der vorhandenen epiphytischen Mikroflora und einer Vermehrung von Keimen. Dies bedeutet Verlust an wichtigen Inhalts- und Wirkstoffen im Futtermittel. Hinzu kommt das Risiko der Bildung von Stoffwechselprodukten der Mikroorganismen (z.B. Toxine), die für das Tier unverträglich sind und zu Leistungsminde-rungen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen.

Versuche haben gezeigt, dass Bakterienpopulationen nach Niederschlagsereignissen im Stande sind, sich in der Phase der Feldtrocknung auf dem geernteten Futter um das 10- bis 100-fache zu vermehren. Während die Pilzkeimzahlen zunächst wenig Veränderung zeigen, verzeichnet die pilzliche Biomasse eine rasche Zunahme. Allein ein einzelnes Ereignis wie starker Taufall oder Regen während der Feldtrocknung kann in einer Verdoppelung der pilzlichen Biomasse im Futter resultieren (Wittenberg 1997).

Wiesen mit einer guten botanischen Zusammensetzung, das Mähen im optimalen Erntestadium sowie eine schnelle Abtrocknung auf dem Feld sind Voraussetzung für eine gute Heubereitung. Mit einer wirksamen Unterdachttrocknung lassen sich auch kurze Schönwetterperioden ausnutzen (Wyss 2008, Nydegger und Wirleitner 2009). Verschiedene fehlerhafte Maßnahmen bei der Heuwerbung, wie etwa ein falscher Schnittzeitpunkt, falsche Wiesenmischungen, Mähen bei zu geringer Schnitthöhe oder etwa zu fest gepresste (Groß-)Ballen, können dagegen zu einer erheblichen Beeinträchtigung der mikrobiologischen Qualität des Erntegutes führen (Strauß und Schoch 2003). Aus einer bereits verminderten Futterqualität bei der Einlagerung können bei längerer Lagerdauer noch zusätzliche Qualitätsverluste resultieren. Die Keimbelastung kann drastisch zunehmen, wenn sowohl ungünstige Ernte- und schlechte Lagerbedingungen vorliegen. Reduzierte Feuchtigkeitsabfuhr und ungenügende Trocknung gelten als Hauptursachen für hohe Keimgehalte in Heu (Buchgraber 2009).

Im Heulager wird die Reliktflora an feldbürtigen Mikroorganismen, die höhere Feuchtigkeitsansprüche stellt, auch durch das Einwirken höherer Temperaturen rasch dezimiert (Wittenberg 1997) und kann dann von einer Lagerflora abgelöst werden (Kaspersson *et al.*, 1984, Breton und Zwanepoel 1991, Undi *et al.*, 1997). Von den feldbürtigen Bakterien und Pilzen produzierte Myzelien, Sporen oder Stoffwechselprodukte verbleiben aber jedenfalls im Heu, auch wenn die betreffenden Mikroorganismen zu diesem Zeitpunkt bereits abgestorben sind.

Mikroorganismen im gelagerten Heu

Mikroorganismen kommen in gelagerten Produkten kaum in Reinkultur vor, sondern vielmehr in Form von Gruppen interagierender Bakterien- und Pilzarten. Meist werden Pilze unter jenen Umweltbedingungen in größter Zahl nachgewie-

sen, unter denen sie am besten überleben oder konkurrieren können und nicht wo ihr eigentliches Wachstumsoptimum liegt (Undi *et al.*, 1997). Abgesehen vom betreffenden Substrat selbst sind dabei der Feuchtigkeitsgehalt bzw. der verfügbare Wassergehalt und die Temperatur die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Sukzession der Mikroflora im gelagerten Heu (Kaspersson *et al.*, 1984, Breton und Zwaenepoel 1991, Undi *et al.*, 1997).

In gelagertem Pflanzenmaterial kann Pilzwachstum in einem weiten Temperaturbereich stattfinden, wobei die meisten Arten in einem Bereich von etwa 10 bis 40°C auftreten und ein Wachstumsoptimum in einem Bereich von 25 bis 35°C aufweisen. Mit dem Überschreiten einer Temperatur von etwa 40°C im Zuge der Heuproduktion und Heulagerung geht ein Rückgang aller wenig thermotoleranten Arten einher (Wittenberg 1997).

Höhere Feuchtigkeit bei der Einlagerung führt zu einem stärkeren Temperaturanstieg im Erntegut. Versuche zeigten, dass sich Luzerneheu mit etwa 76% TM-Gehalt dabei auf bis zu 44°C erwärmte und bereits nach spätestens 8 Tagen Lagerdauer sämtliche Feldpilzarten, wie etwa *Phoma*, *Alternaria* oder *Cladosporium*, eliminiert waren. Die in der frühen Phase der Lagerung herrschenden physikalischen Bedingungen bestimmten schließlich Ausmaß und Artenspektrum der Pilzflora im Verlauf der weiteren Lagerung (Undi *et al.*, 1997).

Sporen von Lagerpilzen sind in geringer Zahl ubiquitär bereits im geernteten Futter vorhanden. Ob und welche Lagerpilzflora sich entwickelt, hängt primär vom Feuchtigkeitsgehalt des Heus im Zusammenspiel mit anderen Faktoren, wie etwa der Temperatur oder einer Belüftung ab (Kaspersson *et al.*, 1984, Albert *et al.*, 1989, Breton und Zwaenepoel 1991, Undi *et al.*, 1997).

In der Regel wird die Lagerpilzflora von einer geringen Artenvielfalt gekennzeichnet. Osmophile oder xerotolerantere Pilze wie *Wallemia sebi* und die Vertreter der *Aspergillus glaucus*-Gruppe oder der Mucorales dominieren meist die Pilzflora bei einer Feuchtigkeit von Heu von bis zu etwa 20 bis 25% und einer Erwärmung auf maximal etwa 35°C (Kaspersson *et al.*, 1984, Undi *et al.*, 1997, Reboux *et al.*, 2006, Padamsee *et al.*, 2012). Wenn auch über das Toxinbildungsvermögen dieser Pilze auf Heu wenig bekannt ist, so bewirkt eine stärkere Verpilzung mit diesen Arten zumindest deutlichen Energieverlust und eine Minderung des Futterwertes (Reiß 1986, Lew und Adler 1996, Anacker 2007, Wiedner 2008).

Ungenügende Trocknung ist eine Hauptursache für hohe Keimgehalte in Heu. Zusätzlich wird durch die Atmung der Pilze laufend Wasser produziert, sodass bei zu dichter Lagerung und mangelnder Belüftung der Feuchtigkeitsgehalt des Heus noch weiter zunehmen kann. Schimmelpilze benötigen für diese Entwicklung auch Nährstoffe, die sie dem befallenen Futter entziehen und in der Folge den Futterwert deutlich mindern. Pilzwachstum im Heu kann andererseits aber auch zu einer Auflockerung der Zellstrukturen und damit zu mehr Feinanteil führen und in einzelnen Fällen würde sich die Verdaulichkeit solchen Futters daher von einwandfreiem Heu womöglich kaum unterscheiden. Höhere Keimgehalte beeinträchtigen aber auch den Geschmack

und somit die Akzeptanz der befallenen Futtermittel. Bei freier Auswahl würden Tiere daher meist das weniger stark verpilzte Heu wählen (Wittenberg *et al.*, 1996).

Eine höhere Ausgangsfeuchtigkeit und damit verbunden eine stärkere Erwärmung des Heus führt zu einer Sukzession unter anderem der *Aspergillus*-Arten, wobei nicht nur die Kardinalpunkte der Wasseraktivität und der Temperaturtoleranz über die Abfolge der *Aspergillus*-Arten entscheiden. Zusätzliche Einflussfaktoren stellen die Art und Zusammensetzung des Heus, sowie die Lagerdauer oder auch die cellulolytische Kapazität der Pilze dar (Kaspersson *et al.*, 1984, Hlödversson und Kaspersson 1986, Reiß 1986, Albert *et al.*, 1989, Breton und Zwaenepoel 1991). Ein höherer Feuchtigkeitsgehalt des Heus ermöglicht auch Bakterien das Wachstum und eine Folge der erhöhten mikrobiellen Stoffwechselfähigkeit ist ein entsprechender Temperaturanstieg.

Bei einer Temperatur von 40°C und mehr setzten sich thermotolerante bzw. thermophile Mikroorganismen durch. Dazu gehören vor allem *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus nidulans* und Actinomyceten (Kaspersson *et al.*, 1984, Reiß 1986, Breton und Zwaenepoel 1991, Undi *et al.*, 1997). Deren Sporen können nach Inhalation allergische Erkrankungen verursachen und bei entsprechendem Infektionsdruck zu einer Ansiedlung im Atmungs- bzw. Verdauungsbereich bei Menschen und Haustieren führen (Kotimaa 1990, McDonald *et al.*, 1991, Reboux *et al.*, 1996, Nydegger und Wirleitner 2009). Vor allem bei Pferden erweisen sich *Aspergillus*-Allergien auch als Wegbereiter für schwere Folgeinfektionen (Kotimaa 1990, Reboux *et al.*, 1996).

Trocknungstechniken

Gute Grundfutterqualitäten sind hauptsächlich durch einen rechtzeitigen Schnitzeitpunkt erzielbar. Als Schwachpunkte bei der Produktion von Bodenheu sind etwa die mechanisch bedingten Verluste durch häufigere Bearbeitung, starke Nährstoffverluste durch die lange Trocknungsphase am Feld sowie eine stärkere Fermentation am Lager zu sehen. Bei zu feucht eingelagertem Heu besteht die Gefahr der Selbsterhitzung. Das größte Problem liegt jedoch im Schlechtwetterrisiko und der langen Erntezeitspanne (Wilhelm 1991, Buchgraber *et al.*, 1994, Wyss 2008, Nydegger und Wirleitner 2009).

Mit einer Heubelüftung oder mittels Entfeuchtertrocknung können dagegen auch kürzere Schönwetterperioden ausgenutzt werden. Durch den intensiveren Abtransport von Restfeuchte kann man selbst bei Einlagerung von Futter mit höherem Wassergehalt die Fermentationsvorgänge im Heustock gering halten (Wilhelm 1991, Buchgraber *et al.*, 1994, Wyss 2008, Nydegger und Wirleitner 2009) und somit das Risiko von Schimmelbefall reduzieren (Buchgraber *et al.*, 1994).

Bei Belüftung trocknet Heu nicht gleichmäßig, sondern schichtweise. Die getrocknete Schicht wandert im Laufe der Zeit in Strömungsrichtung der Luft weiter. Bei niedriger Außentemperatur kann - insbesondere bei Warmlufttrocknung - die feuchte Trocknungsluft an der Oberfläche des Heustocks kondensieren und zu Schimmelbildung führen (Nydegger und Wirleitner 2009).

Auch unterschiedliches Trocknungsverhalten des Pflanzmaterials kann zu einer kleinräumigen ungleichmäßigen Verteilung der Restfeuchte am Heulager führen. So trocknen zarte Blattanteile wesentlich rascher als größere Halme und dickwandige Stängel (Buchgraber *et al.*, 1994).

Besondere Aufmerksamkeit muss bei der Einlagerung des Heus diesen größeren Pflanzteilen gewidmet werden. Hier kann es zu einer oberflächlichen Austrocknung kommen, das Heu kann subjektiv als trocken empfunden werden - aber im Inneren der Stängel oder Knoten ist noch erhebliche Feuchtigkeit vorhanden (Wölk und Sarkar 1983). Beobachtungen von Albert *et al.*, (1989) und Wittenberg (1997) haben ergeben, dass das Pilzwachstum bei unzureichend getrocknetem Heu meist von Verletzungsstellen oder Internodien entlang des Stängels seinen Ausgang nimmt.

Auch gut und trocken eingebrachtes Heu enthält oft noch 20 bis 25% Restfeuchtigkeit. Bis zum Erreichen einer sicheren Lagerreife von maximal 14 bis 15% Feuchte müssen noch erhebliche Wassermengen verdunstet werden. Während dieser Feuchtigkeitsabgabe macht das Heu am Lager eine in der Praxis als „Schwitzen“ bezeichnete Erwärmung durch (Wölk und Sarkar 1983, Buchgraber *et al.*, 1994). Zudem sind im Heu auch noch nicht alle Pflanzenzellen abgestorben und deswegen noch stoffwechselaktiv (Wölk und Sarkar 1983). In dieser Phase der Konservierung kann in einem Heulager ohne Belüftung bereits bei einer Einfuhrfeuchtigkeit von 18 bis 25% rasch eine Temperatur von 40°C erreicht werden (Wittenberg 1997).

Fragestellung

Mit gesteigertem Wettbewerb und höherem Qualitäts- und Leistungsbewusstsein der landwirtschaftlichen Produktion wurden in den letzten Jahren vielfältige technologische Verbesserungsmaßnahmen zur Verringerung des erforderlichen Arbeitsaufwandes und zur Steigerung der Effizienz in der Futtermittelkonservierung entwickelt. In der Heubereitung galt dabei ein Hauptinteresse vor allem einer Beschleunigung der Trocknungsverfahren.

Im Zuge des Projektes „Heutrocknung“, galt es zu ermitteln, welchen Einfluss verschiedene Trocknungsverfahren auf die nachfolgend festzustellende Dynamik der Keimgehalte nehmen und inwieweit die Gattungs- und Artensammensetzung der Mikroflora im Heu beeinflusst werden. Zusätzlich war auch die Auswirkung unterschiedlicher Trocknungsverfahren auf die Interpretation der Analyseergebnisse im Hinblick auf eine Beurteilung der mikrobiologischen Qualität der Heuproben abzuklären. Wichtige Ansatzpunkte des Projektes behandelten den Einfluss der unterschiedlichen Trocknungsverfahren im Hinblick auf

- Keimzahldynamik und Zusammensetzung der Mikroflora sowie auf die nachfolgende
- Beurteilung der mikrobiologischen Qualität von Heuproben

Material und Methoden

Versuchsgrundlagen und Material

Von einem Dauerwiesenbestand des LFZ Raumberg-Gumpenstein geerntetes Futter wurde als Heu konserviert, wobei drei verschiedene Trocknungsverfahren zum Einsatz kamen. Hier wurde zwischen konventioneller Bodentrocknung, Kaltbelüftung und Entfeuchtertrocknung unterschieden. Das Projekt umfasste drei Vegetationsperioden (2010, 2011 und 2012). In den Jahren 2010 und 2011 wurden jeweils vier Schnitte geerntet und im Jahr 2012 konnte die Heuernte nur zu drei Schnitzeitpunkten durchgeführt werden. Hier musste aufgrund einer Schlechtwetterperiode auf einen Schnitt verzichtet werden.

Die Probenahmen erfolgten zu sechs unterschiedlichen Zeitpunkten der Trocknungsperiode, nach der Feldphase (Startphase Konservierungsprozess = „Einfuhr“, im Zuge des Raufutter-Konservierungsprozesses (7 - 14 - 30 - 60 Tage nach der Mahd) und zu Fütterungsbeginn. Der Beginn der Fütterung erfolgte für die drei Trocknungsverfahren aus einem Aufwuchs jeweils zum gleichen Zeitpunkt etwa 140 bis 240 Tage nach der Mahd, abhängig vom Erntezeitpunkt.

Wasseruntersuchung

Die Bestimmung der Trockenmasse der Heuproben erfolgte in Anlehnung an VDLUFA-Methode 3.1: Berechnung nach Einwaage von 100 g Heu und Rückwaage nach 24 Stunden Trocknung mit 105°C.

Mikrobiologische Untersuchung und Qualitätsbeurteilung

Zur mikrobiologischen Qualitätsbeurteilung der Heuproben wird die Keimzahl an aeroben, mesophilen Bakterien, Hefen Schimmel- und Schwärzepilzen entsprechend VDLUFA-Methode 28.1.2 bestimmt: Von der mit einer Schere zerkleinerten Probe werden mit einer gepufferten Peptonlösung eine Ausgangssuspension (jeweils 20 g Probe und 380 ml

Tabelle 1: Orientierungswerte (in 10⁶ KBE/g bzw. 10³ KBE/g) des VDLUFA für produkttypische und verderbanzeigende Mikroorganismen in Heu, zusammengefasst zu Keimgruppen (KG) 1 bis 7 (VDLUFA 28.1.4).

Keimgruppen (KG)	Wichtige Indikatorkeime, u.a.	Orientierungswert
	Mesophile aerobe Bakterien	x 10⁶ KBE/g
KG 1	Produkttypische Bakterien	Gelbkeime, Pseudomonas, Enterobacteriaceae 30
KG 2	Verderbanzeigende Bakterien	Bacillus, Micrococcus 2
KG 3	Verderbanzeigende Bakterien	Streptomyceten 0,15
	Schimmel- und Schwärzepilze	x 10³ KBE/g
KG 4	Produkttypische Schimmel- und Schwärzepilze	Schwärzepilze, Acremonium, Fusarium, Aureobasidium 200
KG 5	Verderbanzeigende Schimmel- und Schwärzepilze	Aspergillus, Penicillium, Scopulariopsis, Wallemia 100
KG 6	Verderbanzeigende Schimmelpilze	Mucorales 5
	Hefen	x 10³ KBE/g
KG 7	Verderbanzeigende Hefen	alle Gattungen 150

Suspendierungslösung) und daraus eine dezimale Verdünnungsreihe hergestellt. Von geeigneten Verdünnungsstufen werden Keimzählplatten nach dem Oberflächenverfahren mit einem Nachweismedium für Bakterien (Tryptose-Agar mit TTC) bzw. mit zwei Nachweismedien für Hefen, Schimmel- und Schwärzepilze (Bengalrot-Chloramphenicol-Agar mit Tergitol sowie Dichloran-Glycerin-(DG 18)-Agar) hergestellt. Die beimpften Keimzählplatten werden nach entsprechender Bebrütung ausgezählt.

Die Qualitätsbewertung der Heuproben auf Basis der ermittelten Untersuchungsergebnisse erfolgt nach den in VDLUFA-Methode 28.1.4 festgelegten Orientierungswerten für Keimgehalte (vergl. *Tabelle 1*). Erntefrisches Heu kann dabei aber wesentlich höhere Keimgehalte an feldbürtigen (produkttypischen) Keimgruppen aufweisen, als im Orientierungswert-Schema angegeben - das Schema ist für die Beurteilung erntefrischer Proben daher nur bedingt geeignet. Bei guter Lagerung nehmen diese Keimgehalte innerhalb einiger Wochen erfahrungsgemäß ab (Bucher und Thalmann 2006).

Orientierungswerte sind in VDLUFA-Methode 28.1.4 festgelegt als Obergrenzen von Keimgehalten für Heu im Zustand der Unverdorbenheit (vergl. *Tabelle 1*). Zur Beschreibung der Qualität wurden vier Qualitätsstufen (QS I bis IV) festgelegt (VDLUFA 28.1.4):

Überschreitet dabei der Keimgehalt keiner Keimgruppe den Orientierungswert, werden Keimgehalt und Qualität als normal bewertet (QS I). Überschreitet dagegen der Keimgehalt bei mindestens einer Keimgruppe den Orientierungswert maximal um das 5-fache bzw. um das 10-fache, wird eine geringgradig herabgesetzte (QS II) bzw. deutlich herabgesetzte Qualität (QS III) befundet.

Überschreitet schließlich der Keimgehalt bei mindestens einer Keimgruppe den Orientierungswert um mehr als das 10-fache, wird der Keimgehalt als überhöht beurteilt und eine Unverdorbenheit des Futters ist nicht mehr gegeben (VDLUFA 28.1.4), das Futter wird als verdorben eingestuft (QS IV).

Ergebnisse und Diskussion

Produkttypische Mikroorganismen

Frisches Grünfütter ist zum Zeitpunkt der Ernte unvermeidbar in unterschiedlicher Weise durch Bakterien, Hefen,

Schimmel- oder Schwärzepilze besiedelt. Mit dem mehr oder weniger stark angetrockneten Pflanzenmaterial werden diese feldbürtigen Mikroorganismen („Feldflora“) in das Heulager verbracht.

Im gegenständlichen Projekt wurde in allen drei Untersuchungs-jahren und im Heu aller drei Trocknungsverfahren eine sehr ähnliche Feldflora festgestellt: Die Bakterienflora wurde zumeist von gram-negativen Keimgruppen wie Pseudomonaden und epiphytischen Enterobakterien dominiert. Bei den Pilzen traten neben Hefen meist Spezies aus verschiedenen Gattungen der Hyphomyceten wie *Acremonium*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Colletotrichum* oder *Verticillium*, sowie gelegentlich auch die toxinogenen Pilzgattungen *Fusarium* und *Alternaria* auf. In noch größeren Zahlen wurden aber *Coelomyceten* nachgewiesen, wobei sich Spezies aus den Gattungen *Phoma* und *Ascochyta* als dominierende Pilze erweisen.

Diese Ergebnisse decken sich sowohl mit Beobachtungen aus eigenen früheren Untersuchungen (Adler 2002) als auch mit den Erfahrungen anderer Autoren (Breton und Zwaenepoel 1991, Wittenberg 1997, Wiedner 2008).

Die statistische Auswertung der im Zuge des Projektes ermittelten Keimzahldaten (über alle Versuchsglieder hinweg) zeigt einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem jeweiligen Erntetermin bzw. Aufwuchs oder der

Tabelle 2: Einfluss von Versuchsjahr, Aufwuchs, Trocknungsverfahren und Lagerdauer auf den Gehalt an produkttypischen Bakterien (KG 1), Pilzen (KG 4) und Hefen (KG 7) im Heu

Ursache/Keimgruppe	Signifikanz (p-Wert, 95%)		
	KG 1	KG 4	KG 7
2010-2012 (Aufwuchs 1-4) logarithmiert			
Jahr	0,098	0,784	0,018
Aufwuchs	0,000	0,000	0,000
Trocknungsverfahren	0,701	0,020	0,000
Lagerungsdauer	0,000	0,000	0,000
Jahr x Trocknungsverfahren	0,819	0,063	0,159
Jahr x Lagerungsdauer	0,821	0,971	0,699
Aufwuchs x Trocknungsverfahren	0,077	0,040	0,004
Aufwuchs x Lagerungsdauer	0,334	0,277	0,280
Trocknungsverfahren x Lagerungsdauer	0,905	0,887	0,979

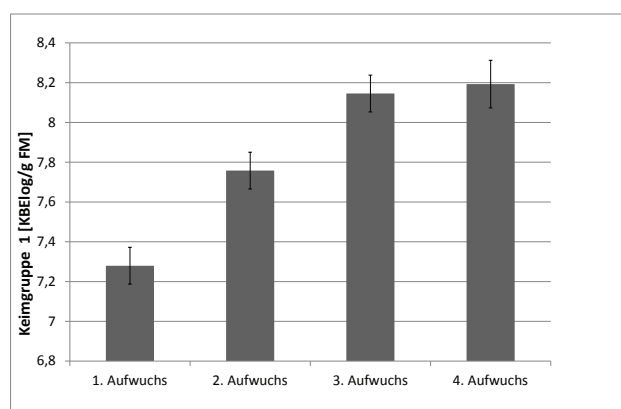
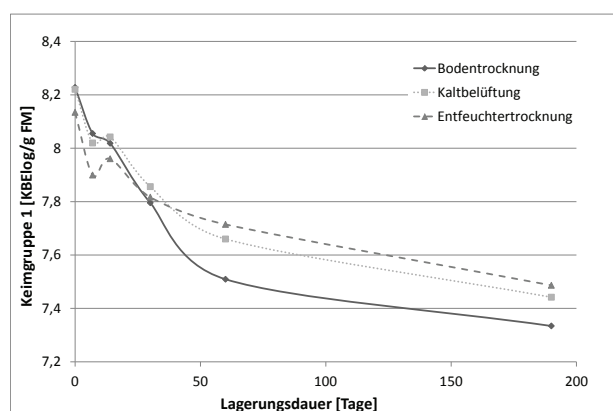


Abbildung 1: Gehalt an produkttypischen Bakterien (KG 1) im Heu Ernte 2010 bis 2012 je nach Aufwuchs bzw. je nach Trocknungsverfahren und unterschiedlicher Lagerdauer



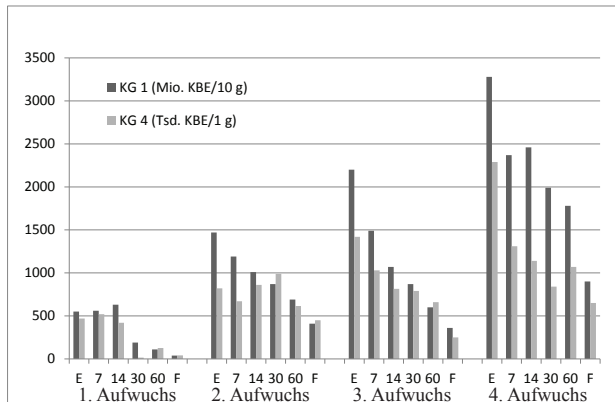


Abbildung 2: Keimzahldynamik der produkttypischen Bakterien (KG 1) und Pilze (KG 4) in Heu nach Kaltbelüftung von den 4 Aufwüchsen 2011 zu verschiedenen Probenahmeterminen (Einfuhr, nach 7 - 14 - 30 - 60 Tagen Lagerdauer sowie bei Fütterungsbeginn), KG 1 in Mio. KBE je 10 Gramm.

Lagerdauer und den entsprechenden Gehalten an produkttypischen Bakterien, Pilzen und Hefen im Heu (Tabelle 2 sowie Abbildungen 1, 2, und 3). Die Ergebnisse sind über die drei Versuchsjahre hinweg gut vergleichbar, eine Jahrgangsschwankung ist nicht oder nur tendenziell feststellbar.

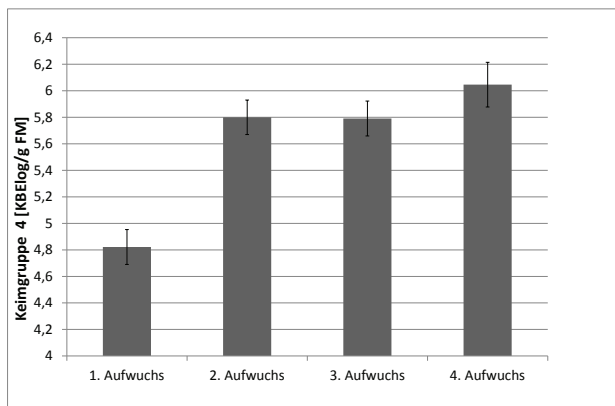


Abbildung 3: Gehalt an produkttypischen (Schimmel- und Schwärze-)Pilzen (KG 4) im Heu Ernte 2010 bis 2012 je nach Aufwuchs bzw. je nach Trocknungsverfahren und unterschiedlicher Lagerdauer

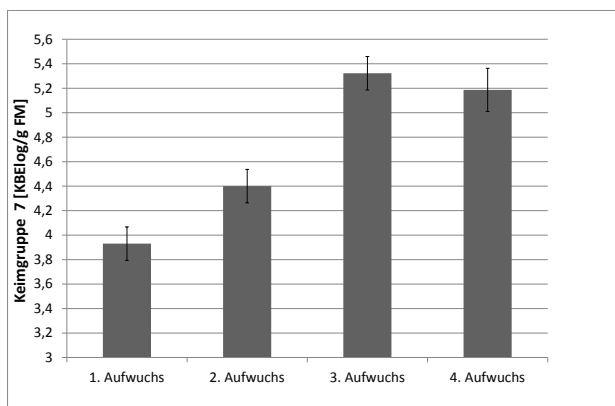


Abbildung 4: Gehalt an produkttypischen Hefen (KG 7) im Heu Ernte 2010 bis 2012 je nach Aufwuchs bzw. je nach Trocknungsverfahren und unterschiedlicher Lagerdauer

Die im Heu festgestellten Keimgehalte an produkttypischen Bakterien (KG 1) steigen mit jedem Aufwuchs im Verlauf der Vegetationsperiode an.

Eine Zunahme des epiphytischen Mikrobenbesatzes auf einem Graslandstandort im Verlauf der Vegetationsperiode wurde auch von Fehrmann und Müller (1990) beobachtet. Dabei könnten die Schwächung der Pflanze mit dem Alter, aber auch der erhöhte Infektionsdruck seitens der Biosphäre mit der fortschreitenden Vegetationszeit (Campbell 1985, Adler und Lew 1995) zu der festgestellten Zunahme der mikrobiellen Kontamination des Grünfutters beigetragen haben.

Am Beispiel von kaltbelüftetem Heu aus dem Jahr 2011 wird die Keimzahldynamik der produkttypischen Bakterien (KG 1) und Pilze (KG 4) im Laufe der Ernte- und Lagerperiode gezeigt: Die im Pflanzenmaterial nach der Feldphase, das heißt unmittelbar nach Einfuhr („E“), festgestellten Keimgehalte steigen mit jedem Aufwuchs im Verlauf der Vegetationsperiode an. Im Zuge des Konservierungsprozesses (7 - 14 - 30 - 60 Tage nach der Mahd) bis zum Fütterungsbeginn („F“) ist jeweils eine signifikante Abnahme der Reliktflora der feldbürtigen Mikroorganismen am Lager zu erkennen.

Im Laufe der Lagerung kommt es zu einer Veränderung der Mikroflora. Die Zahl der ursprünglichen Keime nimmt

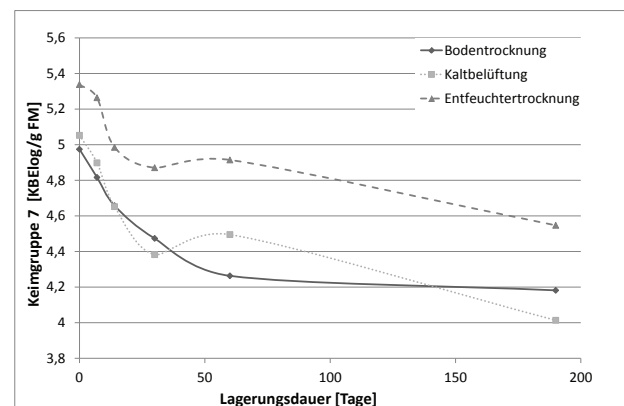
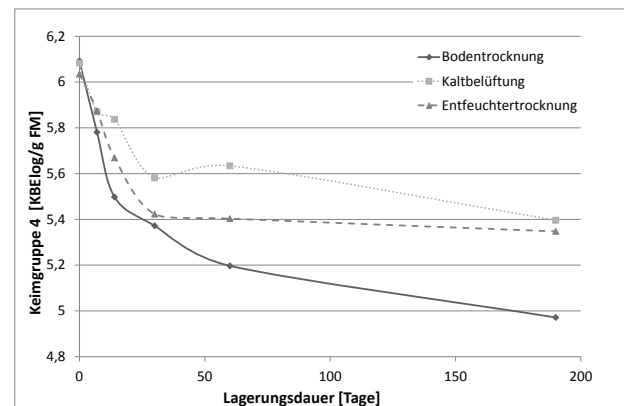


Tabelle 3: Keimzahldynamik in Heu aus Bodentrocknung vom 1. Aufwuchs 2012 zu verschiedenen Probenahmeterminen (Einfuhr, nach 7 - 14 - 30 - 60 Tagen Lagerdauer sowie zu Fütterungsbeginn)

Jahr	Aufwuchs	Trocknung	Lagerdauer	KG 1	KG 2	KG 3	KG 4	KG 5	KG 6	KG 7
				Millionen KBE/g			Tausend KBE/g			
2012	1	Boden	Einfuhr	109	0,1	<0,1	870	<0,1	<1,0	75
2012	1	Boden	7 Tage	79	0,9	<0,1	235	<0,1	1,5	30
2012	1	Boden	14 Tage	81	1,1	<0,1	108	<0,1	<1,0	10
2012	1	Boden	30 Tage	20	1,2	<0,1	142	4,5	2	9
2012	1	Boden	60 Tage	12	0,8	<0,1	35	43	1	4
2012	1	Boden	Fütterung	3,4	0,8	<0,1	8	27	0,4	5

Tabelle 4: Einfluss von Versuchsjahr, Aufwuchs, Trocknungsverfahren und Lagerdauer auf den Gehalt an verderbanzeigenden Bakterien (KG 2), Streptomyceten (KG 3) und Pilzen (KG 5 und 6) im Heu

2010-2012 (Aufwuchs 1-4) logarithmiert Ursache/Keimgruppe	Signifikanz (p-Wert)			
	KG 2	KG 3	KG 5	KG 6
Jahr	0,000	0,000	0,075	0,001
Aufwuchs	0,001	0,032	0,000	0,000
Trocknungsverfahren	0,007	0,053	0,003	0,000
Lagerungsdauer	0,560	0,423	0,000	0,019
Jahr x Trocknungsverfahren	0,000	0,003	0,315	0,690
Jahr x Lagerungsdauer	0,707	0,609	0,982	0,986
Aufwuchs x Trocknungsverfahren	0,015	0,000	0,020	0,003
Aufwuchs x Lagerungsdauer	0,474	0,879	0,839	0,980
Trocknungsverfahren x Lagerungsdauer	0,651	0,980	0,760	0,709

ab, die Reliktflora an feldbürtigen Mikroorganismen kann mehr oder weniger rasch dezimiert werden. Die Auswertung der Daten zeigt dabei, dass nach Bodentrocknung im Durchschnitt die Zahl der produkttypischen Bakterien einer geringfügig stärkeren und die produkttypischen Pilze einer wesentlich stärkeren Reduktion unterliegen als bei Kaltbelüftung oder Entfeuchtungstrocknung (vergl. *Abbildung 1* und *3*). Tendenziell ist dabei in Proben mit einem relevanten Aufkommen von Lagerpilzen ein stärkerer Rückgang der feldbürtigen Mikroflora zu beobachten.

Der Gehalt an Hefekeimen zeigt bei Entfeuchtungstrocknung ebenso wie in den beiden anderen Trocknungsvarianten eine deutliche Abnahme der Keimzahlen. Die Keimgehalte im Heu, das mittels Entfeuchtung produziert wurde, liegen aber selbst bei durchschnittlicher Betrachtung über die gesamte Lagerdauer etwa doppelt so hoch ($> 0,3$ log-Stufen höher) als in den anderen Varianten.

Am Beispiel von Bodenheu vom 1. Aufwuchs 2012 soll die Abnahme der Reliktflora an feldbürtigen Mikroorganismen am Lager gezeigt werden: die Keimgehalte der produkttypischen Bakterien (KG 1), der Schimmel- und Schwärzepilze (KG 4) sowie der Hefen (KG 7) gehen im Verlauf der Lagerung um mehr als eine (Bakterien und Hefen) bzw. zwei Logstufen (Pilze) zurück. Lagerpilze kommen in diesem Zeitraum nicht in relevantem Maße auf, deutlicher Indikator für eine erfolgreiche Trocknung und Lagerung.

Es ist bekannt, dass erntefrisches sowie nicht hinreichend lang gelagertes Heu wesentlich höhere Keimgehalte bei den Keimgruppen 1, 4 und 7, als im Orientierungswertschema angeben, aufweisen kann. Bei Lagerung nach guter fachlicher Praxis nehmen diese Keimgehalte innerhalb einiger Wochen erfahrungsgemäß ab (VDLUFA 28.1.4). Die Beurteilung der ermittelten Keimgehalte wird im Zuge des

Projekts daher nur für Heuproben nach einer Lagerdauer von mindestens 30 Tagen vorgenommen: Im Bodenheu (*Tabelle 3*) überschreitet nach einer Lagerdauer von 30 Tagen der Keimgehalt keiner Keimgruppe den entsprechenden Orientierungswert (vergl. *Tabelle 1*). Dieses Heu wird folglich mit (der optimalen) Qualitätsstufe I bewertet.

Verderbanzeigende Mikroorganismen

Auf dem Heulager kann die Reliktflora an feldbürtigen Mikroorganismen vielfach mehr oder weniger rasch von einer Lagerflora ergänzt oder abgelöst werden. Welche Lagerflora sich entwickelt, hängt primär vom Feuchtigkeitsgehalt des Heus im Zusammenspiel mit anderen Faktoren, wie etwa der Temperatur oder einer Belüftung ab (Reiß 1986).

Im Heu aller drei Trocknungsverfahren war die Lagerflora von einer geringen Artenvielfalt gekennzeichnet. Als verderbanzeigende Bakterien waren verschiedene Bazillus-Arten vorherrschend, dazu kamen vereinzelt Actinomyceten. *Penicillium*, *Scopulariopsis*, sowie vor allem osmophile oder xerotolerantere Pilze wie *Wallemia sebi*, Vertreter der *Aspergillus glaucus*-Gruppe oder der Mucorales dominierten die Pilzflora. Vor allem in Proben mit hohen Pilzkeimzahlen wurden auch *Aspergillus niger* und in hohen Zahlen *Aspergillus fumigatus* nachgewiesen. Die nachgewiesene Lagerpilzflora entspricht den Erfahrungen aus anderen Studien (Kaspersson *et al.*, 1984, Undi *et al.*, 1997, Reboux *et al.*, 2006, Padamsee *et al.*, 2012).

Die statistische Auswertung der ermittelten Keimzahldaten zeigt für die verderbanzeigenden Mikroorganismen einen zumeist signifikanten Zusammenhang mit dem jeweiligen Erntetermin bzw. Aufwuchs (*Tabelle 4*) oder dem angewendeten Trocknungsverfahren (*Tabelle 4* sowie *Abbildungen 5* und *6*).

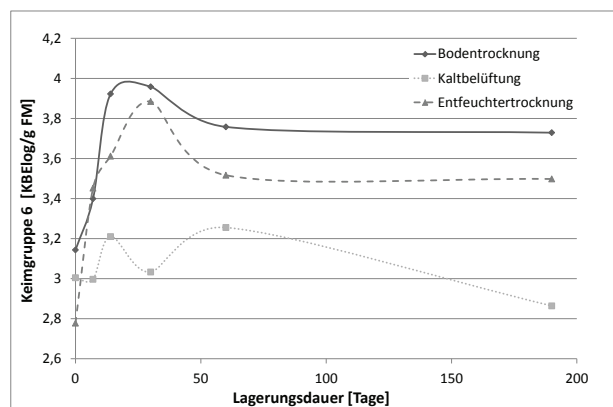
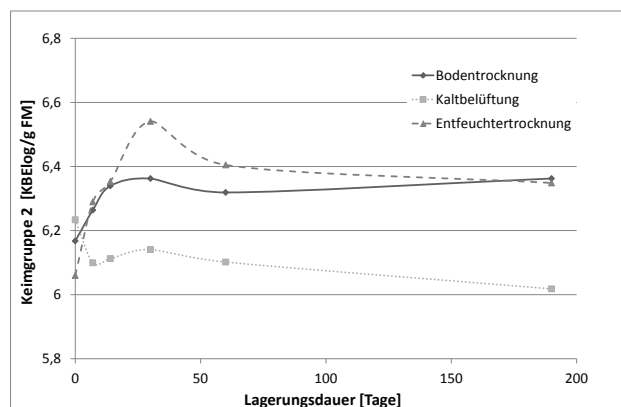


Abbildung 5: Gehalt an verderbanzeigenden Bakterien (KG 2) bzw. Mucorales (KG 6) im Heu 2010 bis 2012 aus verschiedenen Trocknungsverfahren und nach unterschiedlicher Lagerdauer

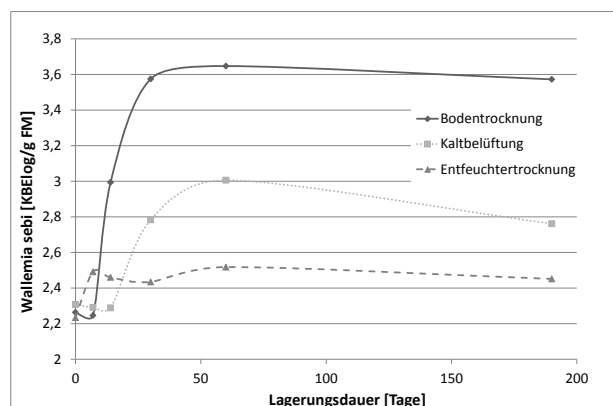
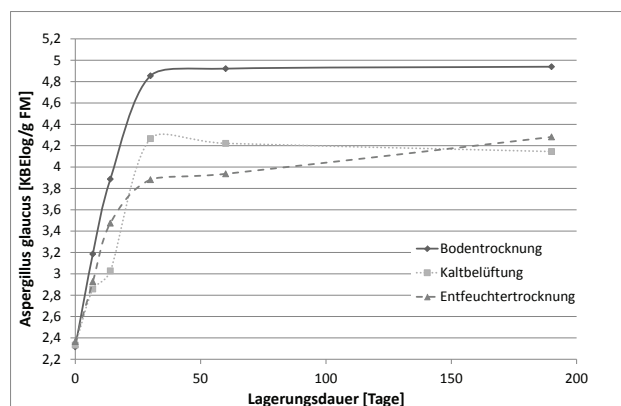


Abbildung 6: Gehalt an verderbanzeigenden Pilzen der *Aspergillus glaucus*-Gruppe und von *Wallemia sebi* im Heu 2010 bis 2012 aus verschiedenen Trocknungsverfahren und nach unterschiedlicher Lagerdauer

Vom dritten oder vierten Aufwuchs produziertes Heu weist im Verlauf der Lagerung durchwegs höhere Gehalte an Lagerpilzen auf als früher geerntetes Futter. Als Gründe für eine stärkere Verpilzung am Lager können Veränderungen in der Struktur der Futterpflanzen, die zu einem feineren und weicherem Pflanzengewebe mit einer geringeren Widerstandskraft gegen Lagerpilze führen, in Frage kommen. Ganz wesentlich dürfte aber vor allem eine höhere Luftfeuchtigkeit und damit eine geringere Trocknungsfähigkeit der Luft bei fortgeschrittenem Jahresverlauf zur stärkeren Verpilzung beitragen haben.

Außer im Kaltluft-getrockneten Heu nehmen die Gehalte der verderbanzeigenden Bakterien (KG 2) und Mucorales (KG 6) im Verlauf der Lagerung zu.

Nach Bodentrocknung sind im Heu durchschnittlich mindestens dreimal höhere (mehr als 0,5 log-Stufen) Gehalte an wichtigen verderbanzeigenden Pilzen festzustellen als bei Kaltbelüftung oder Entfeuchtungstrocknung. Die Daten zeigen, dass die dynamische Entwicklung der Keimzahlen von *Wallemia sebi* später eintritt als bei Pilzen der *Aspergillus glaucus*-Gruppe oder auch der Mucorales.

Die Untersuchungsergebnisse für Bodenheu vom 4. Aufwuchs 2010 (Tabelle 5) zeigen - in Zusammenhang mit der bereits weit fortgeschrittenen Vegetationsperiode - erhebliche Keimgehalte im eingebrachten Futter. Das Erntegut wurde für diese Variante mit einer Trockenmasse von etwa 67% eingelagert und einem allmählichen Rückgang der

Feldflora steht nicht unerwartet eine rasante Entwicklung der Lagerpilze gegenüber. Die festgestellten Gehalte der verderbanzeigenden Pilze sind nach 14 Tagen Lagerung als überhöht zu bewerten. Vertreter der *Aspergillus glaucus*-Gruppe und der Mucorales dominieren die Lagerpilzflora zu diesem Probenahmetermin, wobei die Entwicklung von *Wallemia sebi* den Aspergillusarten etwa eine Woche nachläuft. Im Verlauf der weiteren Lagerung kommt wohl im Zusammenhang mit dem hohen Wassergehalt des Heus auch *Aspergillus fumigatus* stark auf. Gegen Ende der Lagerung sind schließlich auch überhöhte Gehalte an verderbanzeigenden *Bazillus*-Arten (KG 2) festzustellen.

Kalt belüftetes Heu vom 4. Aufwuchs 2010 wurde vom selben Dauerwiesenbestand wie das Heu aus Bodentrocknung gewonnen und wies bei der Einfuhr wie dieses einen erheblichen Besatz an feldbürtigen Mikroorganismen auf (Tabelle 6).

Das Erntegut wurde mit einer Trockenmasse von etwa 66% eingelagert und anschließend belüftet, wodurch im Vergleich mit dem Bodenheu eine etwas stärkere Abfuhr von Wasser erreicht werden konnte. In diesem Falle steht dem allmählichen Rückgang der Feldflora eine etwas mäßiger Entwicklung der Lagerpilze gegenüber. Letztlich ist aber auch bei dieser Variante eine sichere Lagerung des Erntegutes nicht gewährleistet, und aus dem überhöhten Gehalt an Lagerpilzen ist ein fortgeschrittener Verderbnisprozess erkennbar.

Tabelle 5: Keimzahldynamik in Heu aus Bodentrocknung vom 4. Aufwuchs 2010 zu verschiedenen Probenahmeterminen (Einfuhr, nach 7 - 14 - 30 - 60 Tagen Lagerdauer sowie zu Fütterungsbeginn)

Jahr	Aufwuchs	Trocknung	Lagerdauer	KG 1	KG 2	KG 3	KG 4	KG 5	KG 6	KG 7
				Millionen KBE/g			Tausend KBE/g			
2010	4	Boden	Einfuhr	358	5,5	<0,1	2780	<1,0	20	240
2010	4	Boden	7 Tage	265	8	<0,1	840	38	12	290
2010	4	Boden	14 Tage	93	5,5	<0,1	730	1020	200	140
2010	4	Boden	30 Tage	134	5	<0,1	620	5160	100	130
2010	4	Boden	60 Tage	77	8,5	0,1	790	5710	80	175
2010	4	Boden	Fütterung	57	21	0,2	360	9550	750	450

Tabelle 6: Keimzahldynamik in kaltbelüftetem Heu vom 4. Aufwuchs 2010 zu verschiedenen Probenahmeterminen (Einfuhr, nach 7 - 14 - 30 - 60 Tagen Lagerdauer sowie zu Fütterungsbeginn)

Jahr	Aufwuchs	Trocknung	Lagerdauer	KG 1	KG 2	KG 3	KG 4	KG 5	KG 6	KG 7
				Millionen KBE/g			Tausend KBE/g			
2010	4	Kalt	Einfuhr	393	6,5	<0,1	2620	<1,0	12,5	230
2010	4	Kalt	7 Tage	120	8,5	<0,1	1220	6,5	6,5	320
2010	4	Kalt	14 Tage	288	6,5	<0,1	1400	1,5	5	230
2010	4	Kalt	30 Tage	97	3,5	<0,1	660	482	3,5	160
2010	4	Kalt	60 Tage	58	2,0	<0,1	710	1680	9,0	170
2010	4	Kalt	Fütterung	24	11	<0,1	640	2200	2,5	105

Nur bei Heu, dem mittels Entfeuchtungstrocknung genügend Wasser entzogen werden konnte, ließ sich bei diesem Aufwuchs (2010/4) eine im mikrobiologischen Sinne sichere Lagerung erzielen.

Wassergehalt, Temperatur und Konservierung

Zu hohe Feuchtigkeitsgehalte im eingebrachten Futter in Verbindung mit ungenügender Trocknung unter Dach ist eine Hauptursache für hohe Keimbelastung im Heu und damit für mikrobiologisch bedingte Qualitätsverluste. Ein im Bodenheu festgestellter höherer durchschnittlicher Wassergehalt kann somit ein wichtiger Risikofaktor im Hinblick auf ein nachfolgendes starkes Aufkommen der Lagerflora und einen damit verbundenen späteren Verderb sein.

Abbildung 7 zeigt die Dynamik des Wassergehaltes der mit unterschiedlichen Trocknungsverfahren produzierten Heuchargen über den Verlauf der Lagerung hinweg. Bei der Variante mit Entfeuchtungstrocknung wurde feuchteres Futter eingebracht, und am Lager wurde wesentlich mehr

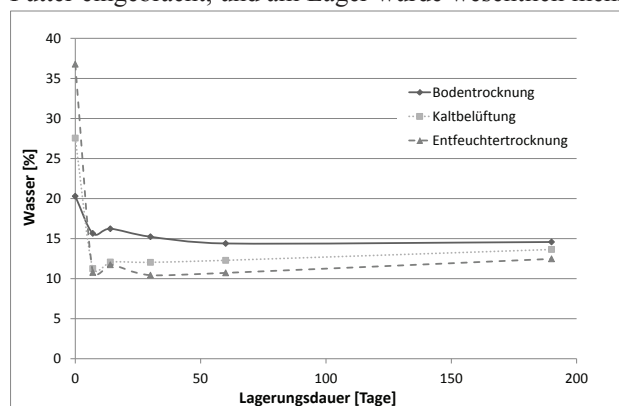


Abbildung 7: Wassergehalt im Heu bei verschiedenen Trocknungsvarianten nach unterschiedlicher Lagerdauer (Durchschnitt Ernte 2010 bis 2012)

Wasser (durchschnittlich etwa 27%) als bei den anderen Varianten abtransportiert. Umgekehrt erfolgte im Zuge der Bodentrocknung bereits am Feld eine stärkere Anwelkung des Futters, am Lager reduzierte sich der Wassergehalt nur mehr in geringerem Ausmaß. Im Durchschnitt wurde Bodenheu mit etwa 80% Trockenmasse eingebracht.

Bis zum Erreichen einer sicheren und stabilen Lagerfähigkeit des Futters bei einer Trockenmasse von mindestens etwa 85% waren daher immer noch erhebliche Wassermengen durch Verdunstung abzuführen - was aber nicht in allen Varianten erreicht werden konnte. Im Verlauf der gesamten Lagerdauer verblieb im Heu nach Bodentrocknung im Durchschnitt ein höherer Wassergehalt als bei belüftetem oder entfeuchtetem Futter (Abbildung 7).

Mittels Entfeuchtertrocknung wurden jeweils in den ersten Tagen der Lagerung die größten Wassermengen aus dem Heu abgeführt. Das Verfahren findet aber dann seine Grenze, wenn Futter mit einem zu geringen Trockenmassegehalt eingelagert wird: Futter vom 2. Aufwuchs 2010 wurde mit nur 43,4% TM eingebracht und binnen weniger Tage auf durchschnittlich 93% TM getrocknet. Das sehr dicht gepackte Material trocknete dabei allerdings nicht gleichmäßig, vielmehr bildeten sich eine Fülle kompakter, mehrere Dezimeter großer linsenförmiger Zonen erhöhter Feuchtigkeit, die erst allmählich Wasser abgaben. Diese kleinen dichtgepackten Zonen mit hohem Feuchtigkeitsgehalt genügten aber für eine intensive Entwicklung von Lagerpilzen und entsprechendem Futterverderb.

Je feuchter das Futter eingebracht wird, umso höhere Wassermengen müssen in der frühesten Phase der Lagerung durch Verdunstung oder durch unterstützende technische Maßnahmen (Kaltbelüftung, Entfeuchtertrocknung) abgeführt werden, um eine sichere Lagerung zu gewährleisten und mikrobiologisch bedingte Qualitätsminderung und Futterverderb zu verhindern. In Tabelle 7 werden die untersuchten Heuchargen jeder Trocknungsvariante nach aufsteigendem Wassergehalt zum Zeitpunkt der Einfuhr gereiht

Tabelle 7: Zusammenhang von Trockenmasse (%) im eingebrachten Futter je nach Trocknungsverfahren und ermittelter Qualitätsstufe im Heu im Verlauf der Lagerung (graue Markierung = QS IV)

Jahr/Aufwuchs	Bodentrocknung TM (%)	Jahr/Aufwuchs	Kaltbelüftung TM (%)	Jahr/Aufwuchs	Entfeuchtung TM (%)
2010/3	87,2	2012/2	77,8	2012/1	73,7*
2010/1	83,9*	2012/1	77,3	2011/2	71,1
2010/2	83,3	2011/2	75,7	2011/4	69,2
2011/2	83,0	2010/3	75,5	2012/3	67,0
2012/2	81,4	2012/3	74,7	2012/2	64,6
2012/1	80,2	2010/1	72,7	2010/4	64,0
2012/3	79,0	2011/4	72,7	2010/3	63,2
2011/4	78,8	2011/3	69,1	2010/1	61,9
2011/1	77,4	2011/1	67,7	2011/1	57,9
2011/3	75,6	2010/2	65,8	2011/3	54,8
2010/4	66,9	2010/4	65,6	2010/2	43,4

* Bei Bodenheu 2010/1 und bei Heu der Entfeuchtervariante 2012/1 haben primär andere Faktoren als der Wassergehalt im eingebrachten Futter zum Verderbsprozess beigetragen

und in Zusammenhang mit einer im Verlauf der weiteren Lagerung gegebenenfalls festgestellten mikrobiologisch bedingten Qualitätsminderung gebracht.

Heuvarianten mit überhöhten Keimgehalten als Indikator für einen fortgeschrittenen Verderbsprozess sind in der *Tabelle 7* grau markiert. Es ist deutlich zu erkennen, dass mit einem höheren Wassergehalt bei der Einfuhr das Risiko für einen späteren Futterm Verderb stark ansteigt. Die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung zeigen, dass im Heu nach Bodentrocknung im Verlauf von drei Jahren in fünf von 11 geprüften Aufwüchsen überhöhte Keimgehalte (VDLUFA 28.1.4) festgestellt und damit das Futter als verdorben (Qualitätsstufe IV) eingestuft werden mussten. Bei Kaltbelüftung bzw. Entfeuchtertrocknung waren je zwei von 11 Aufwüchsen von Verderb betroffen. Vor Auswertung der Daten ist allerdings noch zu berücksichtigen, dass Bodenheu vom 1. Aufwuchs 2010 (2010/1) durch die feuchte Abluft von Heu aus der nahe gelegenen Luftentfeuchter-Box massiv beeinträchtigt wurde und sich damit nicht die der ursprünglichen Trockenmasse entsprechende Keimzahlentwicklung entwickeln konnte. Das Ergebnis für Bodenheu 2010/1 kann aus diesem Grunde nur bedingt in die weiteren Überlegungen einbezogen werden.

Auch ein weiteres Ergebnis bedarf einer kritischen Hinterfragung: Bei der Produktion von Heu der Variante Entfeuchtertrocknung 2012/1 führten mehrfach Stromausfälle zu einem Stillstand der Anlage und damit zu einem viel zu geringen Abtransport von Feuchtigkeit aus dem Lagergut. Zusätzlich dürften bei der Probenahme die Zonen erhöhter Feuchtigkeit und dem daraus resultierenden massiveren Keimbesatz einmal getroffen und ein andermal verfehlt worden sein, sodass die ermittelten Ergebnisse (sowohl der mikrobiologischen als auch der TM-Untersuchungen) einen übergroßen Streubereich zwischen den verschiedenen Probenahmeterminen aufweisen. In diesem Sinne wird auch Heu der Entfeuchter-Variante 2012/1 von den weiteren Überlegungen ausgeschlossen.

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen lässt sich aus *Tabelle 7* sehr deutlich ablesen, dass unter den gegebenen technischen Möglichkeiten Bodenheu mit mehr als 20% Wassergehalt zum Zeitpunkt der Einfuhr auch unter Berücksichtigung einer weiteren Feuchtigkeitsabgabe am Lager nicht sicher gelagert werden kann. Einlagerung mit

höherer Feuchtigkeit bringt das massive Risiko eines nachfolgenden starken Aufkommens der Lagerflora und eines damit verbundenen späteren Verderbs mit sich. Ebenso zeigt die Auswertung die Grenzen für eine sichere Heulagerung bei Kaltbelüftung bei maximal 32% Wassergehalt und bei Entfeuchtertrocknung bei maximal etwa 45% Wassergehalt.

Diese Ergebnisse stehen für Bodenheu in Einklang mit der Erfahrung, dass auch gut und trocken eingebrachtes Heu oft noch 20 bis 25% Restfeuchtigkeit enthält (Buchgraber *et al.*, 1994). Bis zum Erreichen einer sicheren Lagerreife müssen dann noch erhebliche Wassermengen in möglichst kurzer Zeit verdunstet werden und erst ab einem Restfeuchtegehalt von etwa 14 bis 15% ist Raufutter schließlich auch über einen längeren Zeitraum lagerfähig (Wölk und Sarkar 1983, Buchgraber *et al.*, 1994).

Auch dieser Erfahrungswert kann durch die vorliegenden Versuchsergebnisse für Bodenheu bestätigt werden: Heu aus Bodentrocknung (Ernte 2010 bis 2012), das zu Fütterungsbeginn mit Qualitätsstufe I oder II bewertet wurde, wies je nach Erntetermin zum Zeitpunkt der Einlagerung zwar Wassergehalte von zunächst 12,8% bis immerhin 21,2% auf. Bereits nach einer Woche Lagerung wurden in den betreffenden Chargen aber nur mehr 8,6% bis maximal 14,6% Feuchte gemessen (und auch im Verlauf der nachfolgenden Lagermonate wurde ein durchschnittlicher Feuchtegehalt von etwa 15% nicht überschritten).

In Bodenheu, das zu Fütterungsbeginn als verdorben (QS IV) einzustufen war, waren dagegen auch nach einer Woche Lagerung noch immer mindestens etwa 18% bis 26% Wassergehalt festzustellen und im weiteren Lagerverlauf verblieb der Wassergehalt dieser Proben durchschnittlich über einer Marke von etwa 16%.

Kalt belüftetes Heu und Heu nach Entfeuchtertrocknung wiesen über alle drei Erntejahre hinweg nach spätestens einer Woche Lagerung meist einen Wassergehalt von unter 15% auf, ein Zusammenhang mit der mikrobiologischen Qualitätsbeurteilung konnte nicht festgestellt werden.

In *Tabelle 8* sind jene Keimgruppen als Verderbsindikatoren angeführt, deren Keimgehalt(e) den Orientierungswert für Heu um mehr als das 10-fache überschritten und somit dazu geführt haben, dass das Futter gemäß VDLUFA Orientierungswertschema als verdorben (QS IV) einzustufen ist.

Tabelle 8: Zusammenhang von Wassergehalt (%) im eingebrachten Futter, je nach Trocknungsverfahren, und dem Nachweis überhöhter Keimgehalte an unterschiedlichen Keimgruppen (KG) als Indikator für einen fortgeschrittenen Verderbsprozess (QS IV)

Jahr/ Aufwuchs	Trocknung Methode	TM (%)	Wasser (%)	Keimgruppen (KG) und wichtige Indikatorkeime als Verderbsanzeiger in verschiedenen Heuchargen
2010/1	Boden	83,9	16,1*	KG5 / KG6 (<i>A. glaucus</i> , <i>A. fumigatus</i> / Mucorales)
2012/3	Boden	79,0	21,0	KG5 / KG6 (<i>A. glaucus</i> , <i>A. fumigatus</i> , <i>A. niger</i> , <i>Wallemia</i> sp. / Mucorales)
2011/1	Boden	77,4	22,6	KG5 (<i>A. glaucus</i> , <i>Wallemia</i> sp.)
2011/3	Boden	75,6	24,4	KG2 / KG5 / KG6 (<i>Bacillus</i> sp. / <i>A. glaucus</i> , <i>A. fumigatus</i> / Mucorales)
2010/4	Boden	66,9	33,1	KG2 / KG5 / KG6 (<i>Bacillus</i> sp. / <i>A. glaucus</i> , <i>Penicillium</i> sp., <i>Wallemia</i> sp., <i>A. fumigatus</i> / Mucorales)
2010/2	Kaltluft	65,8	34,2	KG5 / KG6 (<i>A. glaucus</i> / Mucorales)
2010/4	Kaltluft	65,6	34,4	KG5 (<i>A. glaucus</i>)
2012/1	Entfeuchter	73,7	26,3*	KG5 / KG 6 (<i>A. glaucus</i> , <i>A. fumigatus</i> / Mucorales)
2010/2	Entfeuchter	43,4	56,6	KG2 / KG5 / KG6 / KG7 (<i>Bacillus</i> sp. / <i>A. glaucus</i> , <i>A. fumigatus</i> , <i>A. niger</i> / Mucorales / Hefen)

* Bei Bodenheu 2010/1 und bei Heu der Entfeuchtervariante 2012/1 haben primär andere Faktoren als der Wassergehalt im eingebrachten Futter zum Verderbsprozess beigetragen

Als wichtigste Indikatoren für einen beginnenden Verderbsprozess wurden Vertreter der *Aspergillus glaucus*-Gruppe festgestellt. In Heuchargen der Qualitätsstufe IV wurden meist *A. glaucus*-Vertreter als häufigste verderbanzeigende Pilze nachgewiesen. Diese Pilze waren dabei auch die frühesten Indikatoren für einen beginnenden Verderbsprozess - die dynamische Entwicklung ihrer Keimzahlen setzte bereits sowohl in einem sehr frühen Abschnitt der Lagerung als auch bei einem relativ geringeren Wassergehalt als bei anderen Pilzen ein. Weitere wichtige Verderbsindikatoren waren *Aspergillus fumigatus* und Vertreter der Mucorales.

Wallemia sp. wurde in hohen Keimzahlen (> 100.000 KBE je Gramm Heu) vor allem in Heuchargen aus Bodentrocknung festgestellt. In kalt belüftetem Heu war dieser Pilz als Verderbsindikator von geringerer Bedeutung, in der Heuvariante mit Entfeuchtertrocknung wurde *Wallemia* sp. nicht in relevanten Keimzahlen nachgewiesen. Überhöhte Gehalte an verderbanzeigenden Bakterien (vor allem *Bacillus* sp.) wurden nur in den für die jeweilige Trocknungsvariante am feuchtesten eingebrachten Heuchargen festgestellt. Erhöhte und überhöhte Hefekonzentrationen waren vor allem in der Heuvariante mit Entfeuchtertrocknung nachgewiesen.

Die VDLUFA-Orientierungswerte für Heu wurden unabhängig von Tierart und Alter der Tiere erstellt. Dies ist bei Verfütterung an empfindliche Tiere, wie etwa solche, die leicht auf Schimmelpilzsporen mit Atembeschwerden reagieren, zusätzlich zu berücksichtigen. Deshalb wird beispielsweise für die Verfütterung an Pferde im Allgemeinen Heu der Qualitätsstufe I, allenfalls der Qualitätsstufe II, empfohlen (VDLUFA 28.1.4). In der gegenständlichen Untersuchung wiesen zum Zeitpunkt des Fütterungsbeginns sechs Chargen von Bodenheu, acht Chargen von kaltbelüftetem Heu und ebenfalls sechs Chargen von Heu mit Entfeuchtertrocknung die Qualitätsstufe I oder II auf. Je eine Charge von kaltbelüftetem Heu und von Heu nach Entfeuchtertrocknung waren aufgrund erhöhter Keimgehalte an produkttypischen Pilzen (KG 4) in Qualitätsstufe III einzustufen. Nur bei Heu aus Entfeuchtertrocknung führten zweimal erhöhte Keimgehalte an verderbanzeigenden Pilzen (KG 5 und 6) und an Hefen (KG 7) zu einer Einstufung in Qualitätsstufe III.

Fazit

Der Besatz von frisch eingebrachtem Futter an produkttypischen Bakterien und Pilzen steigt im Verlauf einer Vegetationsperiode mit jedem Aufwuchs an. Während der Lagerung bis zum Fütterungsbeginn erfolgt dann eine signifikante Abnahme der Reliktflora dieser feildürftigen Mikroorganismen.

Je feuchter das Futter eingebracht wird, umso höhere Wassermengen müssen abgeführt werden, um eine sichere Lagerung zu gewährleisten und mikrobiologisch bedingte Qualitätsminderung und Futterverderb zu verhindern. Mit einem höheren Wassergehalt bei der Einfuhr steigt das Risiko für ein starkes Aufkommen der Lagerflora und einen damit verbundenen Futterverderb stark an.

Im Hinblick auf Futterhygiene ist bei Bodenheu neben Schlechtwetterrisiko und der langen Erntezeitspanne auch zu bedenken, dass Wasser vom Heustock im Vergleich zu anderen Trocknungsverfahren langsamer und in geringerem Maße durch Verdunstung abgeführt wird. Das damit verbundene Verderbsrisiko wird durch die ermittelten Ergebnisse widerspiegelt: in fünf von 11 Aufwüchsen wurden überhöhte Keimgehalte und damit QS IV festgestellt. Bei Kaltbelüftung bzw. Entfeuchtertrocknung waren nur je zwei von 11 Aufwüchsen von Verderbsprozessen betroffen.

Grenzen für eine sichere Heulagerung: Abhängig vom gewählten Trocknungsverfahren hat sich der Wassergehalt des Futters bei der Einfuhr als limitierend für eine sichere Lagerung erwiesen. Unter den gegebenen technischen Möglichkeiten konnte Bodenheu mit maximal 20% Wassergehalt zum Zeitpunkt der Einfuhr, Heu aus Kaltbelüftung mit maximal 32% und Heu mit Entfeuchtertrocknung mit maximal etwa 45% Einfuhrfeuchte sicher gelagert werden. Lagerung mit einem höheren Wassergehalt führte durchwegs zu einem starken Aufkommen der Lagerflora und damit verbundenem späterem Futterverderb.

Bis zum tatsächlichen Erreichen einer sicheren Lagerreife müssen vom frisch eingelagerten Heu aber noch erhebliche Wassermengen in möglichst kurzer Zeit verdunstet werden. Es zeigte sich, dass Heu aus Bodentrocknung bereits nach einer Woche Lagerung nur mehr maximal 14,6% Wasser-

gehalt aufweisen durfte, um über einen längeren Zeitraum lagerfähig zu sein und zu Fütterungsbeginn mit Qualitätsstufe I oder II bewertet zu werden.

Mit Heubelüftung oder Entfeuchtertrocknung können auch kürzere Schönwetterperioden zur Ernte ausgenutzt werden. Durch den intensiveren Abtransport von Restfeuchte vom Heustock konnte im Versuch mit diesen Trocknungsverfahren das Risiko von Schimmelbefall und Futterverderb im Vergleich zu Bodenheu erheblich reduziert werden. Allerdings würde in der landwirtschaftlichen Praxis nicht zu jedem der im Versuch gewählten Erntetermine auch tatsächlich der Weg einer Heuproduktion mittels Bodentrocknung eingeschlagen worden sein - etwa kurz vor einer herannahenden Schlechtwetterfront.

Unter den im Zuge der Untersuchung gegebenen Verhältnissen wurde durch Kaltbelüftung im Vergleich zu den anderen Trocknungsverfahren der höchste Anteil von Heuchargen der besten Qualitätsstufen produziert: zum Zeitpunkt des Fütterungsbeginns wies Heu von acht der 11 geprüften Aufwüchse mit dieser Trocknungsvariante Qualitätsstufe I oder II auf. Im Vergleich dazu wurden je sechs Chargen von Bodenheu und von Heu nach Entfeuchtertrocknung in QS I oder II eingestuft.

Ein je höherer Wassergehalt des Futters bei der Einfuhr anfällt und je aufwändigere Technik eingesetzt wird, umso professionelleres Management ist erforderlich. Gerade bei der Produktion von Heu mittels Entfeuchtertrocknung führten bei einem Aufwuchs technische Probleme wiederholt zu einem Ausfall der Anlage, damit zu einem zu geringen Abtransport von Feuchtigkeit aus dem Lagergut und so letztlich zu Futterverderb.

Literatur

- Adler, A., 2002: Qualität von Futtermitteln und mikrobielle Kontamination. In Bericht: 8. Alpenländisches Expertenforum „Zeitgemäße Futtermittelherstellung“. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 17-25.
- Adler, A., Lew, H., 1995: Dynamik der epiphytischen Mikroflora auf Grünlandpflanzen im Zusammenhang mit verschiedenen Düngungsvarianten. Die Bodenkultur 46, 223-240.
- Albert, R. A., Huebner, B., Davis, L. W., 1989: Role of water activity in the spoilage of alfalfa hay. J. Dairy Sci. 72:2573 - 2581.
- Anacker, G., 2007: Mikrobiologische Belastung von Hauptfutterkomponenten - Ursache für Gesundheitsprobleme in Milchviehherden. Abschlussbericht, Themen-Nr.: 44.02.520/2006, Hrsg.: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Breton, A., Zwaenepoel, P., 1991: Succession of moist hay mycoflora during storage. Can. J. Microbiol. 37, 248-251.
- Bucher, E., Thalmann, A., 2006: Mikrobiologische Untersuchung von Futtermitteln - Orientierungswerte zur Beurteilung der Unverdorbenheit. Feed Magazine (6) 16-23.
- Buchgraber, K., 2009: Qualitätsveränderungen bei der Lagerung von Silage und Heu. In Bericht: 15. Alpenländ. Expertenforum „Grundfutterqualität - aktuelle Ergebnisse und zukünftige Entwicklungen“, Lehr- und Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein, 73-79.
- Buchgraber, K., Resch, R., Adler, A., 1996: Einfluss des Nutzungszeitpunktes bei der Silierung von Grünlandfutter. Veröff. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein 27, 1-38.
- Buchgraber, K., Gindl, G., Deutsch, A., 1994: Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung. Leopold Stocker Verlag, Graz.
- Campbell, R., 1985: Plant microbiology. Edw. Arnold Publ. Ltd., London.
- Dickinson, C. H., 1976: Fungi on the aerial surfaces of higher plants. In: Dickinson, C. H., Preece, T. F., (Eds.): Microbiology of aerial plant surfaces. Academic Press, London, 293-324.
- Fehrmann, E., Müller, Th., 1990: Jahresverlauf des epiphytischen Mikrobenbesatzes auf einem Graslandstandort. Das wirtschaftseigene Futter, 36, 66-78.
- Hlödversoon, R., Kaspersson, A., 1986: Nutrient losses during deterioration of hay in relation to changes in biochemical composition and microbial growth. Anim. Feed. Sci. Technol. 15, 149-165.
- Kaspersson, A., Hlödversoon, R., Palmgren, U., Lindgren, S., 1984: Microbial and biochemical changes occurring during deterioration of hay and preservative effect of urea. Swedish J. agric. Res. 14, 127-132.
- Kotimaa, M., 1990: Spore exposure arising from stored hay, grain and straw. J. Agricult. Sci. Finland, 62, 285-291.
- Lengauer, E., 1993: Die Mikroflora auf lebenden und abgestorbenen Pflanzenteilen, ihre Bedeutung und ihre Auswirkung. In: Mykotoxine in der landwirtschaftlichen Produktion (II). Aktuelle Probleme der landwirtschaftlichen Produktion. Veröffentlichungen der Bundesanstalt für Agrarbiologie Linz, 21, 83-124.
- Lew, H., Adler, A., 1996: Mikrobielle Qualität von Grund- und Kraftfutter. Bericht über die 23. Tierzuchttagung „Futterbewertung und Futterqualität, Stoffwechsel und Gesundheit, Milchviehfütterung sowie alternative Formen der Rindermast“. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 29-38.
- McDonalds, P., Henderson, A. R., Heron, S. J. E., 1991: The biochemistry of silage. 2nd ed., Chalcombe Publications, Marlow, Bucks, UK.
- Nydegger, F., Wirleitner, G., 2009: Qualitätshau durch effektive und kostengünstige Belüftung. Der fortschrittliche Landwirt, Sonderbeilage „Heubelüftung“, Info 3/2009, 1-12.
- Padamsee, M., Kumar, T. K. A., Riley, R., Binder, M., Boyd, A., Calvo, A. M., Furukawa, K., Hesse, C., 2012: The genome of the xerotolerant mold *Wallemia sebi* reveals adaptations to osmotic stress and suggests cryptic sexual reproduction. Fungal Genetics and Biology, 49, 217-226.
- Reboux, G., Reiman, M., Roussel, S., Taattloa, K., Millon, L., Dalphin, J. C., Piarroux, R., 2006: Impact of agricultural practices on microbiology of hay, silage and flour on Finnish and French farms. Ann Agric Environ Med. 13, 267-73.
- Reiß, J., 1986: Schimmelpilze - Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung. Springer-Verl., Berlin.
- Strauß, G., Schoch, M., 2003: Veränderung der mikrobiologischen Heu- und Strohqualität in Rheinland-Pfalz. Kurzfassungen der Referate, 115. VDLUFA-Kongress, Saarbrücken, 152-153.
- Undi, M., Wittenberg, K. M., Holliday, N. J., 1997: Occurrence of fungal species in stored alfalfa forage as influenced by moisture content at baling and temperature during storage. Canadian J. Animal Sci., 77, 95-103.
- VDLUFA-Methode 3.1: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln - Feuchtigkeit. VDLUFA-Verlag, Darmstadt. Methodenbuch Band III, 1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997.

- VDLUFA-Methode 28.1.2: Futtermitteluntersuchung - Bestimmung der Keimgehalte an aeroben, mesophilen Bakterien, Schimmel- und Schwärzepilzen und Hefen. VDLUFA-Verlag, Darmstadt. Methodenbuch III, 7. Erg. 2007.
- VDLUFA-Methode 28.1.4: Futtermitteluntersuchung - Verfahrensweisung zur mikrobiologischen Qualitätsbeurteilung. VDLUFA-Verlag, Darmstadt. Methodenbuch III, 7. Erg. 2007.
- Wiedner, G., 2008: Futterhygiene bei Grund- und Kraftfuttermitteln, Erfahrungen aus der Praxis. 39-43. In: Tagungsband Fortbildung für Tierärzte, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 2008.
- Wilhelm, H. 1991: Futterkonservierung. Leopold Stocker Verlag, Graz.
- Wittenberg, K. M., 1997: Microbial and nutritive changes in forage during harvest and storage as hay. 265-270, Session 14. In: Proceedings XVIII International Grassland Congress, Canada, 1997.
- Wittenberg, K. M., Undi, M., Bossuyt, C., 1996: Establishing a feed value for moulded hay. *Animal Feed Science and Technology*, 60, 301-310.
- Wölk, M., Sarkar, S., 1983: Heustockselbststzündungen von 1970 bis 1990 in Württemberg - ihre Ursache, Ausmaß des Schadens und Verhütungsmaßnahmen. *Das Wirtschaftseigene Futter*, 39, 228-235.
- Wyss, U., 2008: Grassilage und Heu - gute Qualität ernten. *Schweizer Landtechnik*, Juni/Juli 2008, 24-27.

