

## Selbstentzündung von Heu bei Lagerung von Quaderballen



**Impressum:**

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan  
Internet: [www.LfL.bayern.de](http://www.LfL.bayern.de)

Redaktion: Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft  
Prof.-Dürrwächter-Platz 3, 85586 Poing-Grub  
E-Mail: [Tierernaehrung@LfL.bayern.de](mailto:Tierernaehrung@LfL.bayern.de)  
Tel.: 089/99141-401

1. Auflage: Juni 2010

Druck: Digitaldruck Beck, 85399 Hallbergmoos

Schutzgebühr: 5,-- €

# **Selbstentzündung von Heu bei Lagerung von Quaderballen**

## **Schriftleitung:**

**Dr. Wolfgang Richter<sup>1)</sup>, Dr. Hubert Spiekers<sup>1)</sup>,  
Georg Rößl<sup>1)</sup> und Reinhard Schmid<sup>1)</sup>**

**Dr. Jan-Eric Grunwald<sup>2)</sup>, Dr. Ralf Metzger<sup>2)</sup>,  
Dr. Rolf Treibs<sup>2)</sup> und Gabriele Englberger<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)<sup>3)</sup>, Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan, Internet: <http://www.LfL.bayern.de>

<sup>2)</sup> Bayerisches Landeskriminalamt, Maillingerstraße 15, 80636 München, Internet: <http://www.polizei.bayern.de>

<sup>3)</sup> Gemeinsam erarbeitet von:

- Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub
- Bayerisches Landeskriminalamt, München



# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Danksagung.....</b>	<b>6</b>
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Einführung.....</b>	<b>6</b>
1.1 Bisherige Arbeiten zur Selbstentzündung von Erntegut an der LfL .....	7
1.2 Voruntersuchungen .....	7
1.3 Ergebnisse Voruntersuchung .....	8
1.4 Stand der Arbeiten beim BLKA.....	10
1.5 Literaturergebnisse .....	10
<b>2 Versuchsdurchführung.....</b>	<b>12</b>
2.1 Versuchsaufbau .....	12
2.2 Versuchsverlauf und Ergebnisse Kreutalm.....	14
2.2.1 Botanische Erhebungen.....	14
2.2.2 Vorwelken Trocknungsverlauf.....	14
2.2.3 Roh Nährstoffgehalte .....	15
2.2.4 Temperaturverlauf.....	16
2.2.5 Chemische Analytik .....	18
2.2.6 Mikrobielle Untersuchungen.....	19
<b>3 Orientierungswerte zur Erwärmung.....</b>	<b>20</b>
<b>4 Beratungsempfehlung.....</b>	<b>21</b>
<b>5 Literatur.....</b>	<b>21</b>

## Danksagung

Wir bedanken uns bei allen die zum Gelingen des Projektes beigetragen haben.

Unser besonderer Dank gilt:

Der Freiwilligen Feuerwehr Schlehdorf und dem LVFZ Schwaiganger. Für die Unterstützung der Versuchsdurchführung, Frau Dr. Edith Gebhart, Frau Kerstin Gonda und Herrn Dr. Frank Reckel vom BLKA. Herrn Benedikt Schwaiger von der Glentleiten für die technische Unterstützung.

Herrn Dr. Robert Beck und seinen Mitarbeiterinnen für die mikrobiellen Untersuchungen.

Für die fachliche und organisatorische Unterstützung Herrn Rasso Höck.

*Zum Gedenken an Dr. Johann Stadlbauer*

## Zusammenfassung

Es ist hinreichend bekannt, dass Heu in losem, nicht gepresstem Zustand durch Selbsterhitzung zur Selbstentzündung kommen kann. Bei in Quaderballen gepresstem Heu fehlen bis dato gesicherte Erkenntnisse, ob sich das Heu hier überhaupt bis zur Selbstentzündung erhitzen kann. In Zusammenarbeit von Bayerischem Landeskriminalamt (BLKA), AQU, AVB und ITE sollte durch intensive Beprobungen und Untersuchungen der Nachweis erbracht werden, ob es zur Selbstentzündung kommen kann oder nicht.

Die erforderlichen Untersuchungen wurden auf Flächen des LVFZ Schwaiganger im größeren Praxismaßstab durchgeführt. Es wurde eine Heumenge von 25,7 t Gesamtgewicht eingelagert. Die insgesamt 77 Quaderballen mit einem Gesamtvolumen von etwas über 100 m<sup>3</sup> wurden mit insgesamt 30 Dataloggern zur laufenden Temperaturprotokollierung ausgestattet.

Das Gras trocknete zügig und wurde einen Tag nach dem Schnitt mit etwa 80 % TM in Großballen gepresst. Die Voraussetzungen zur Selbstentzündung waren von der Feuchte daher gegeben. Die Temperaturverläufe waren in den einzelnen Ballen sehr unterschiedlich, so konnten Spitzentemperaturen von knapp 90 °C gemessen werden, während hingegen in anderen Ballen die Temperaturen nicht oder kaum über die Raumtemperatur stiegen. Die höchsten Temperaturen wurden bereits in den ersten 2-3 Wochen nach Einlagerungsbeginn erreicht, anschließend sanken in allen Ballen die gemessenen Temperaturen wieder ab.

Trotz der zum Teil bedenklich hohen Temperaturen kam es in unserem Versuch nicht zu einer Selbstentzündung, sondern lediglich zu einer inneren Verkohlung im Kern. Zu beachten ist hierbei die hohe Verdichtung in den Großballen, die nur einen geringen Eintritt von Sauerstoff zulässt.

## 1 Einführung

Von Seiten der Polizei kamen verstärkt Fragen zur Selbstentzündung von Heu in Großballen auf. Die bisherigen Untersuchungen erfolgten mit losem Heu bzw. Niederdruckballen. Die vorbeugenden Empfehlungen der Versicherer und Feuerwehren zur Temperaturmessung gelten für den Heustock. Über den Temperaturverlauf von Heu in Großballen liegen nur wenige Untersuchungen vor. Wohl aber Verdachtsmeldungen der Feuerwehr (Bild 1), auch

aus Bayern. Es wurde deshalb in Vorversuchen zunächst das Erwärmungsgeschehen von Einzelballen, von denen eine Selbstentzündung nicht erwartet wurde, mit unterschiedlichen Feuchtegehalten aufgezeichnet. Nach Vorliegen dieser Ergebnisse wurde versucht, in einer geeigneten Versuchsanstellung die Selbstentzündung im Praxismaßstab nachzustellen.



*Bild 1: Kreisfeuerwehr Osnabrück meldet Brand von Großballen vermutlich durch Selbstentzündung (HEITHÖFEN - 23.07.2009)*

## **1.1 Bisherige Arbeiten zur Selbstentzündung von Erntegut an der LfL**

In einem Lagerungsversuch wurde Sojaschrot mit unterschiedlichen Feuchtegehalten gelagert (Richter und Bucher 1982). Eine bei konkreten Praxisfällen beobachtete Selbstentzündung konnte jedoch nicht nachgestellt werden. Wohl aber konnten Hinweise zur Lagerdauer und Lagerung gegeben werden. In weiteren Brandfällen wurde die Selbstentzündung von aufgeschlossenem Stroh beobachtet. Hier wurden die durchgeführten Untersuchungen aber vor einer möglichen Selbstentzündung in einem landwirtschaftlichen Betrieb abgebrochen. Es konnten aber auch hier Beratungshinweise erarbeitet werden (Richter 1984). Nicht publizierte Temperaturbeobachtungen im Labormaßstab führten zu keiner Selbstentzündung.

## **1.2 Voruntersuchungen**

In Achselschwang wurden je 2 Quaderballen in einem leer stehenden Stallgebäude gelagert, Feuchtegehalt 16 und 20 %. Die Temperatur wurde mit einem Fluke Datalogger (Stundenwerte auf PC Festplatte) aufgezeichnet (2 Thermometer im trockenen und 3 Thermometer in den feuchten Ballen, ein Thermometer für die Raumtemperatur, Messdauer ca. 3 Monate je nach Temperaturverlauf). Zusätzlich wurde die Temperatur entsprechend dem Merkblatt zur Überwachung der Heutemperatur durch den Betrieb aufgeschrieben, um bei etwaigem Übersteigen der Grenztemperatur von 60 °C die notwendigen Maßnahmen ergreifen zu

können. Ferner erfolgten Rohrnährstoffanalysen, Mikrobiologie von beiden Feuchtestufen mit dem Bohrstock in Abständen je nach Temperaturverlauf. Zugleich wurden vom Bayerischen Landeskriminalamt (BLKA) Proben gezogen und auf mesophile und thermophile Bakterien untersucht. Die ersten Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

### 1.3 Ergebnisse Voruntersuchung

Die unterschiedlichen Feuchtegehalte der Heuballen führten zunächst zu einem höheren mikrobiellen Besatz (Tab. 1), wobei sich die Arten der Feldflora durchsetzten.

Tab. 1: Trockenmassegehalte und Mikrobiologie im Heu nach 3 Monaten Lagerung

Parameter	Heu feucht	Heu trocken
Trockenmasse [TM %]	76,6	91,0
Gesamtkeimgehalt [KbE/g]	$> 10^8$ (unspezifisch)	$4 \cdot 10^7$ (unspezifisch)
Schimmelpilze [KbE/g]	$8 \cdot 10^5$ (Acremonium, Fusarien, Schwärzepilze, Mucorales)	$1,2 \cdot 10^5$ (Acremonium, Fusarien, Schwärzepilze)

Im Gesamtkeimgehalt, der kaum Unterschiede zeigt, wird dies durch den unspezifischen Keimgehalt deutlich. Der Schimmelpilzgehalt verdeutlicht beim trockenen Heu zum feuchten nur geringfügig geringere Keimgehalte also nahezu einheitliche Werte. Bei der Keimzahldifferenzierung zeigt sich jedoch mit den Mucorales beim feuchten Heu beginnender Verderb. Der in Abbildung 1 gezeigte Temperaturanstieg ist auf die Zellatmung und auf die mikrobielle Aktivität der Feldflora zurückzuführen. Der Anstieg ist aber auch im trockenen Heu zu finden, so dass hier noch weitere thermophile Vorgänge wie durch Enzyme anzunehmen sind, die aber bei geringem Feuchtegehalt schnell abklingen. In der Mitte der Ballen steigt die Temperatur am höchsten und sinkt am langsamsten. Es werden Temperaturen von über 40 °C erreicht, die nach ca. 3 Tagen wieder abklingen. Dies wird auch von anderen Autoren (Coblentz u. a. 2004) bestätigt und als erste Phase bezeichnet. Beim feuchten Heu steigt die Temperatur in allen Ballenbereichen in bis zu 4 Tagen auf 50 °C, um dann langsam nach ca. zwei Wochen auf unter 30 °C zu sinken.

Coblentz u. a. 2004 fanden einen engen Zusammenhang ( $r^2 = 0,9$ ) zwischen dem Feuchtegehalt beim Pressen und der Summe an Gradtagen der Erwärmung nach dem Pressen. Theune 1977 fasst die Arbeiten von Watson und Nash 1960 sowie Gregory u. a. 1963 zusammen mit seinen Untersuchungen bei der Heubereitung und ermittelt eine Regression von  $y = 22,74 + 0,76 x$  ( $y = x_{\max}$  °C;  $x = \text{Feuchtegehalt } U = \%$ ) mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,8 ( $P=0,001$ ).

## Temperaturverlauf bei Heuballenlagerung

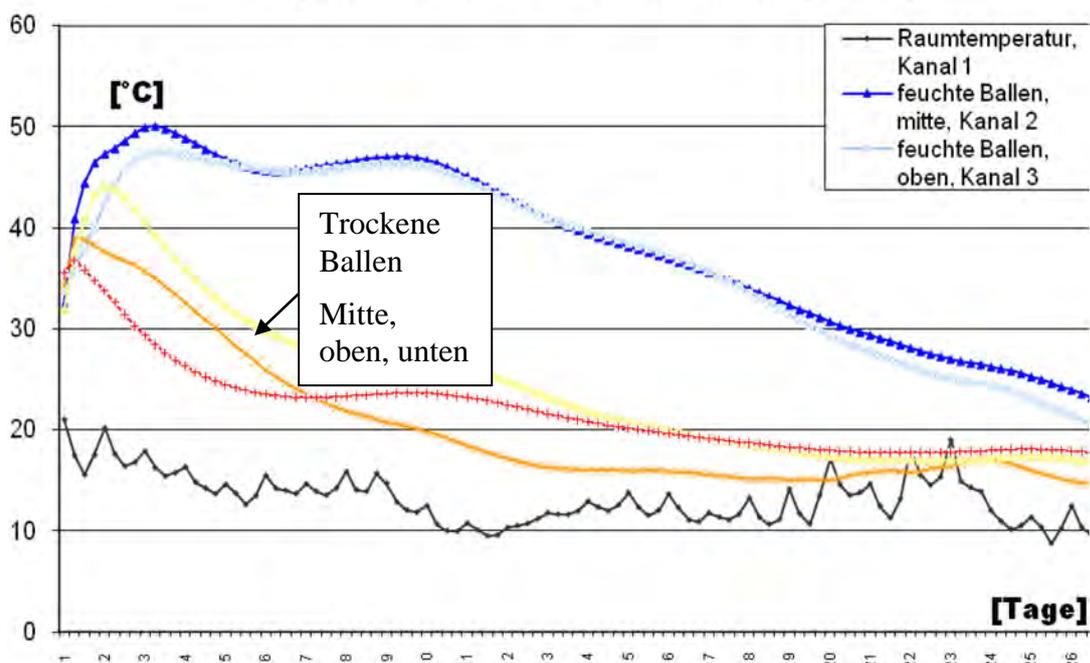


Abb. 1: Temperaturverlauf in Quaderballen bei der Lagerung (feucht TM 76,6 %; trocken TM 91,0 %) - Hübschenried – (Start am 26.08.2007)

In Abbildung 2 wurden die eigenen Voruntersuchungen und Ergebnisse von Meisser und Wyss 1999 eingetragen. Es wird die Beziehung von Feuchtegehalt beim Pressen zur maximal erzielten Temperatur im Ballen deutlich. Während Theune 1977 noch bei seinen HD Ballen erwähnt, dass Ballenstapel im Vergleich zu losem Heu schneller abkühlen können, bedingt durch die beim Stapeln entstehenden Kanäle, ist dies in Abbildung 2 nicht aufzuzeigen. Erklärbar ist dies durch die mittlerweile deutlich höheren Pressdichten von  $180 \text{ kg TM/m}^3$  sowie größeren Volumen und der damit verbundenen langsameren Abkühlung.

Bei Maeda u. a. 1988 werden bei großen Rundballen bei 24 % Feuchte beim Pressen geringere Temperaturen erreicht als bei allen anderen (Abb. 2). Bei der Feuchte von 37 % liegt die Temperatur zwischen Theune 1977 und Meisser und Wyss 1999. Die zugehörige Regressionsgleichung ist mit  $y = 27,63 + 0,69 x$  etwa gleich, das Bestimmtheitsmaß aber mit 0,6 verschlechtert.

Wenig Untersuchungen gibt es zur Selbstentzündung, bei der neben den Ballenparametern vor allem eine entsprechend große Stapelgröße als Ursache vermutet wird. Es wurde deshalb ein Versuch mit entsprechender Stapelgröße angelegt. Ferner sollten die bisherigen mikrobiellen Verfahren zum Nachweis der Selbstentzündung überprüft werden.

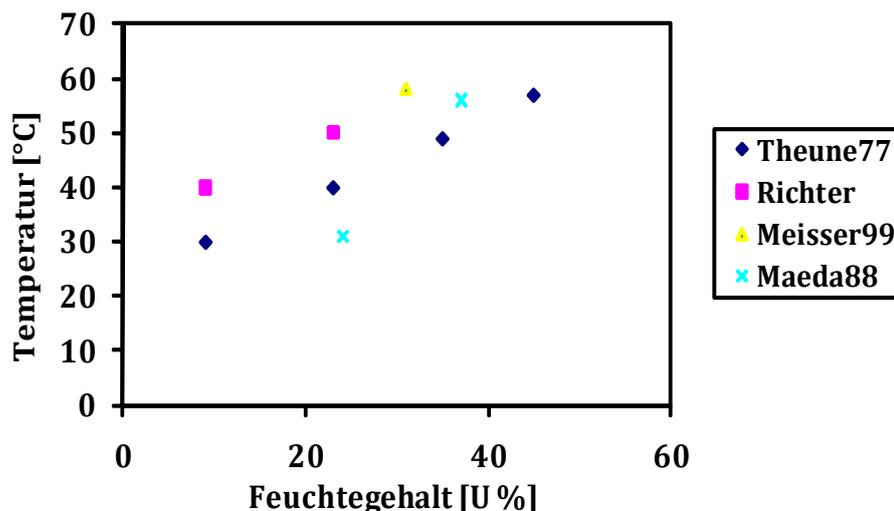


Abb. 2 Abhängigkeit der Höchsttemperatur im Heuballen vom Ausgangsfeuchtegehalt (U %) beim Pressen nach verschiedenen Autoren und eigenen Ergebnissen

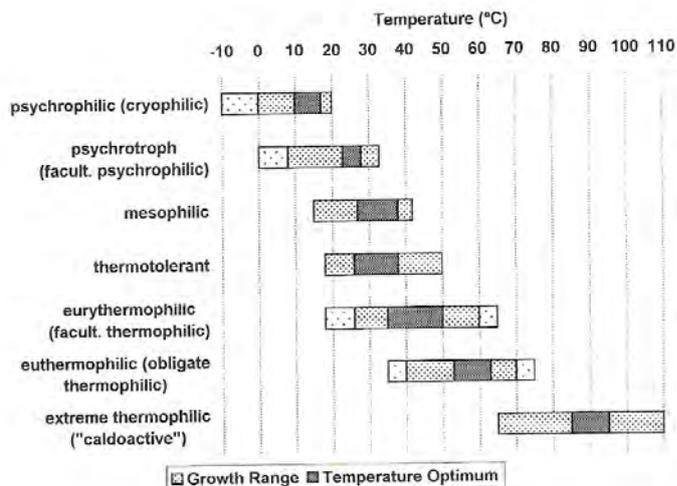
#### 1.4 Stand der Arbeiten beim BLKA

Am Kriminaltechnischen Institut des Bayerischen Landeskriminalamts (BLKA) werden in den Sachgebieten Physik (SG 202) und Mikrospuren/Biologie (SG 204) im Auftrag von Polizei und Staatsanwaltschaften Untersuchungen zur Ursachenermittlungen von Bränden im landwirtschaftlichen Bereich, insbesondere mit Beteiligung von Erntegutlagern, durchgeführt. Hier liefert vor allem die Bestimmung der Zusammensetzung der im Erntegut vorhandenen Mikroorganismen (SG 204) Anhaltspunkte für eine mögliche Selbsterhitzung des Materials (z.B. Glathe 1960, Hussain 1972, Brüscheiler und Schönbacher 1982). Liegt hier ein positives Ergebnis vor, kann eine Selbstentzündung als Brandursache häufig nicht ausgeschlossen werden. In der Literatur sind jedoch bisher nur Studien zur Selbsterhitzung und -entzündung von unverpresstem Heu zu finden (z.B. Glathe 1960, 1962, Hussain 1972, 1973). Heu und Stroh werden aber heutzutage zum überwiegenden Teil vor der Einlagerung zu Ballen gepresst. Dies spiegelt sich auch in den Untersuchungsanträgen an das BLKA zur Brandursachenermittlung bei Bränden von Erntegut wieder. Im Rahmen der in den letzten Jahren am BLKA durchgeführten mikrobiologischen Untersuchungen von Heu- und Strohballen wurde in zahlreichen Fällen eine Selbsterhitzung des Ernteguts festgestellt. Publikationen von Untersuchungen zu den mikrobiologischen Vorgängen bei der Selbsterhitzung von zu Ballen gepresstem Heu und zur Frage, ob sich Heuballen überhaupt bis zur Selbstentzündung erhitzen können, sind nicht bekannt, aber für eine fundierte Bewertung und für die Risikoabschätzung bei positiven Untersuchungsbefunden unverzichtbar.

#### 1.5 Literaturergebnisse

Die Literaturergebnisse von Kutzner 2005 zeigen die Möglichkeit der Selbstentzündung hervorgerufen durch thermophile Mikroorganismen auf.

Eine Klärung der Frage, ob die thermophilen Bakterien unter bestimmten enzymatischen und physikalischen Bedingungen ursächlich für die Selbstentzündung sind, ist auch mit unseren Ergebnissen nicht möglich, aber auch nicht auszuschließen, wie Coblentz u. a. 2004 vermuten.



Classification of microorganisms according to their temperature range (according to INGRAHAM, 1962 and CROSS, 1968) zit in Kutzner Kompost

*Abb. 3: Klassifizierung von Mikroorganismen im Hinblick auf Temperaturansprüche*

Die bisherige Hypothese der Selbstentzündung ist nachfolgend in fünf Stufen (I–V) beschrieben und in Abbildung 4 veranschaulicht:

I. DIE ALLGEMEINE BIOLOGISCHE PHASE VON CA. 10° BIS 40°C

An der Wärmeentwicklung sind u.a. beteiligt: physiologisch noch lebende Pflanzenteilchen, Protozoen, Algen, Flechten und die mesophilen Mikroorganismen als normale Mikroflora im Heu.

II. DIE MIKROBIOLOGISCHE PHASE VON CA. 40° BIS 75°C

An der Wärmeentwicklung sind hier beteiligt: leistungsfähige thermotolerante und thermophile Pilze und Bakterien des Heues.

III. DIE THERMOPHILE ZERSETZUNGSPHASE VON CA. 55° BIS 85°C

An der Wärmeentwicklung sind hier beteiligt: aerobe, thermophile Bakterien und Actinomyceten. Diese Phase, in der die meisten und wichtigsten Zersetzungsvorgänge ablaufen, bewegt sich zwischen ca. 55° und 85 °C, wo alle vegetativen Zellen zerstört werden.

Die Temperaturentwicklung zwischen 85° und 95 °C (IIIa) wird durch freigewordene und in ihrer Aktivität reduzierte Enzyme, zusammen mit den hier beginnenden rein chemischen Abbaureaktionen verursacht.

IV. DIE CHEMISCHE RUHEPHASE VON CA. 85° BIS 115°C

V. DIE PYROPHORE GASPHESE VON CA. 110° BIS 265°C

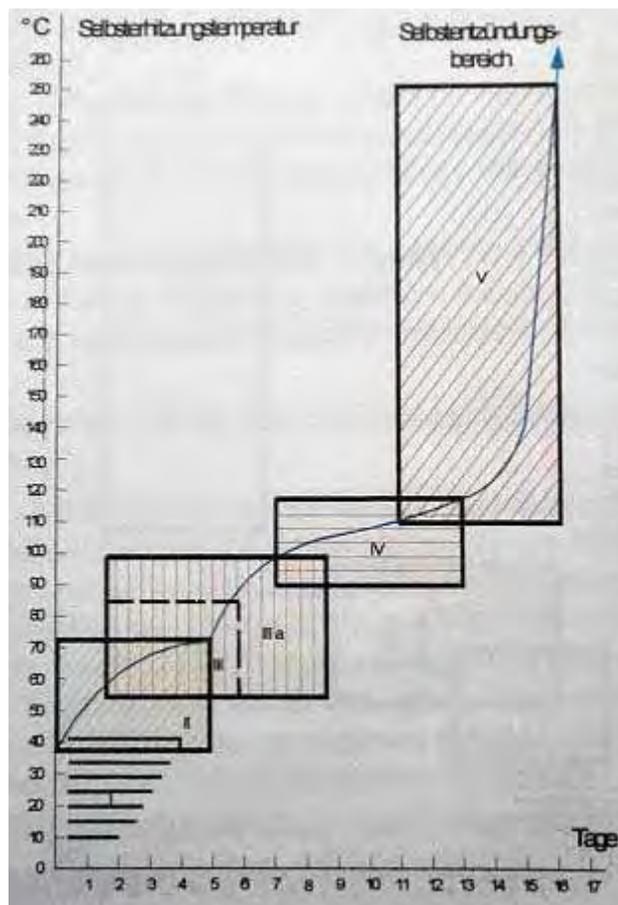


Abb. 4: Phasen der Selbsterhitzung [Hussain 1972 zit. In Kutzner 2005]

## 2 Versuchsdurchführung

Das Projekt wurde von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und dem Bayerischen Landeskriminalamt (BLKA) durchgeführt.

### 2.1 Versuchsaufbau

Für die Durchführung des Versuchs wurde eine zum Abriss vorgesehene Feldscheune der LfL in Schwaiganger nahe der Kreutalm ausgewählt (Bild 2). Auf der nahegelegenen Wiese Höhe Glentleiten wurde der erste Schnitt gemäht (26.05.2008 ab 8°) und 2 Tage vorgewelkt, sowie gepresst (27.05.2008 ab 15°). Am dritten Tag (28.05.08) wurde eingelagert.

Es wurden 77 Quaderballen mit einer Gesamtmasse von ca. 25 t auf einer Grundfläche von ca. 32 m<sup>2</sup> gestapelt. Die maximale Höhe des Stapels in der Mitte betrug ca. 5,5 m.

Die Ballen wurden so dicht wie möglich gestapelt, wobei die einzelnen Ballen ohne horizontalen Versatz Ballen auf Ballen abgelegt worden sind (nicht wie bei einer Ziegelmauer).

Es wurden insgesamt 30 Temperaturmesssonden (NiCr-Ni) platziert, mit denen Temperaturen im Ballenzentrum, an verschiedenen Stoßstellen zwischen zwei oder mehreren Ballen sowie die Außentemperatur über die gesamte Versuchsdauer erhoben und aufgezeichnet werden konnten. An 12 der 30 Temperaturmesssonden waren zusätzlich Schlauchleitungen (PE, i-Ø 3 mm, Länge 5 m bzw. 8 m) angebracht, über die Gasproben für die analytisch-chemische Untersuchung entnommen werden konnten.

Während des Versuchs wurden zudem auch in verschiedenen Erhitzungsstadien Proben aus dem Inneren einiger Ballen für die mikrobiologische Untersuchung entnommen. Die mikrobiologischen Untersuchungen der Heuproben auf mesophile und thermophile Mikroorganismen (Keimzahlbestimmung im Plattengussverfahren) wurden parallel in Labors der LfL und des BLKA durchgeführt.

Um eine maximale Sicherheit bei der Durchführung des nicht ganz ungefährlichen Versuchs zu gewährleisten, wurden die Temperaturdaten von 20 Fühlern im Stundentakt automatisch per e-Mail an die Versuchsverantwortlichen der beteiligten Institute übermittelt. Bei Überschreitung einzeln einstellbarer Schwellenwerte erfolgte auch außerhalb des Stundentakts eine sofortige Alarmierung per SMS.

### Übersicht 1: Daten zum Versuch mit Großballen

<b>Standort:</b>	Kreut-Alm
<b>Laufzeit:</b>	28.05.08 – 14.07.08
<b>Material:</b>	Heu, 1. Schnitt
<b>Ballen:</b>	77 Quaderballen, Maße je: 0,8m × 1,2m × 1,5m
<b>Angestrebte TM-Gehalte:</b>	70 – 80 % TM
<b>Tatsächlich erreichte TM-Gehalte:</b>	72 – 85 % TM
<b>Anzahl Messensoren:</b>	22 LKA, 8 LfL
<b>Messintervall:</b>	5 min (LKA), 60 min (LfL)
<b>Datentransfer:</b>	stündlich per E-Mail

- Bestandsaufnahmen vor dem Schnitt
- Laufende TM-Messung bei der Anwelkphase
- Wägung der einzulagernden Heumenge
- Positionierung der Messensoren laut Plan
- Intensive Beprobung für Mikrobiologie



Bild 2: Feldscheune mit eingelagerten Ballen

## 2.2 Versuchsverlauf und Ergebnisse Kreutalm

### 2.2.1 Botanische Erhebungen

Der 1. Schnitt erfolgte Ende Mai entsprechend der Höhenlage. Vorher wurde eine Bestandsaufnahme zur Beschreibung des Ausgangsmaterials durchgeführt (siehe Tabelle 2).

Tab. 2: Botanik der im Versuch genutzten Pflanzenbestände der Kreutalm (Anteil (%) der Hauptbestandbildner)

Versuchsbezeichnung	VNr. 2008/3	VNr. 2008/3	VNr. 2008/3	VNr. 2008/3
<b>Schlagbezeichnung Arten</b>	Penzberg Koppel (Plan Nr: 12) Ostseite unten	Penzberg Koppel (Plan Nr: 12) Westseite oben	Hauskoppel (Plan Nr: 8)	Klärteich- koppel (Plan Nr: 9)
Deutsches Weidelgras	17	8	4	7
Wiesenschwingel	7	3	7	3
Wiesenfuchsschwanz	32	30	34	15
Wiesenrispe	10	6	5	7
Knaulgras		3	3	5
Wolliges Honiggras		5	4	5
Gemeine Rispe	7	10	12	32
Goldhafer		2	4	4
Weißklee/Rotklee	2	3	2	2
Kräuter*	25	30	25	20

\*(Löwenzahn, Hahnenfuß, Bärenklau, Storchenschnabel, Gundelrebe, Frauenmantel, Ampfer, rote Lichtnelke, Euphorbia, Wegerich, Taubnessel)

Die Hauptbestandbildner waren Wiesenfuchsschwanz, Wiesenrispe und Weidelgras mit einem sehr hohen Kräuteranteil. Zwischen den einzelnen Koppeln zeigten sich deutliche Unterschiede von der Nr. 12 als gewünschten Bestand, bis zur Nr. 9 mit Anzeichen einer Überweidung. Die botanische Zusammensetzung ist im Hinblick auf das Risiko der Selbstentzündung dann von Bedeutung, wenn überwiegend feinstängelige bzw. feinblättrige Pflanzen überwiegen, die zu einer größeren Dichte der Ballen führen.

### 2.2.2 Vorwelken Trocknungsverlauf

Eines der großen Probleme bei diesem Versuch lag darin, dem Ziel TM-Gehalt so nahe wie möglich zu kommen. Denn mit dem Wirbelbettrockner zur Bestimmung des TM-Gehaltes lag ein Ergebnis frühestens nach einer Stunde vor und zudem um 1-3 % Punkten über der tatsächlichen TM. Der Vorwelkverlauf ist in Abbildung 5 dargestellt. Es zeigt sich ein sehr schneller Vorwelkverlauf von frisch mit ca. 22 % TM der relativ hoch aber für einen älteren Bestand üblich ist und einer schnellen Abtrocknung auf fast 45 %, wenn der erste Wert am 2. Tag als Endwert des 1. Tages gilt. Bis 16° am 2. Vorwelktag wurde der Ziel TM-Gehalt von 80 % erreicht und sogar bis zu 85 % überschritten. Die Mischproben zwischen 15° und

16° schwankten zwischen 79 und 85 %. Unter Berücksichtigung der Überschätzung durch den Wirbelbettrockner kann die angestrebte Ziel-TM als erreicht angesehen werden.

Der schnelle Abtrocknungsverlauf der bei diesem späten Schnittzeitpunkt möglich ist, zeigt aber günstige Wetterbedingungen zum Vorwelken an, so dass keine Risikoerhöhung durch erhöhten Epiphytenbesatz über die Feldphase gegeben war.

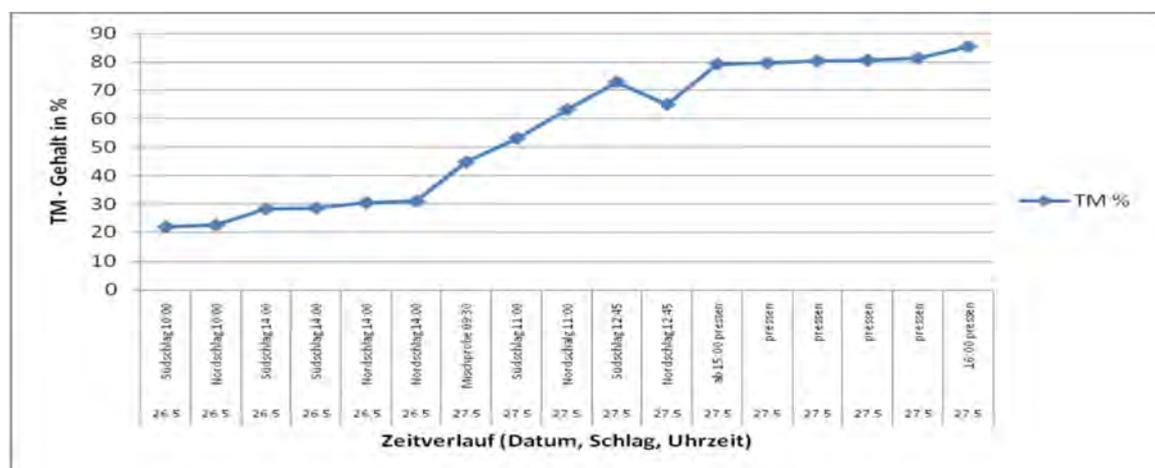


Abb. 5: Trockensubstanzverlauf ab dem Mähen bis zum Pressen, Kretz Alm 2008

### 2.2.3 Rohrnährstoffgehalte

Aus der Tabelle 3 sind die Trockenmasse- und Rohrnährstoffgehalte des Ausgangsmaterials und der beprobten selbsterhitzten Ballen ersichtlich. In den selbsterhitzten Ballen zeigt sich ein erhöhter Gehalt an Trockenmasse. Gleichzeitig ist der Gehalt an Rohfaser erhöht und der Gehalt an Energie erniedrigt.

Coblentz u. a. 2004 weisen darauf hin, dass jede Selbsterhitzung mit TM-Verlusten einhergeht. In unserem Versuch, in dem nur zwei erwärmte Ballen auf Rohrnährstoffe hin untersucht wurden, kann ein TM Verlust nur indirekt aufgezeigt werden, da die Ballen zwar eingewogen aber wegen der vereinfachten Wiegung (Radlastmesser) nicht ausgewogen wurden. Durch einen Vergleich der Rohrnährstoffgehalte kann aber der Verlust verdeutlicht werden. Die Differenz im Rohaschegehalt beträgt 1,4 %-Punkte. Dies entspräche einem TM Verlust von über 20 %-Punkten. Wenig verändern sich Rohprotein-, und Rohfettgehalt. Deutliche Veränderungen zeigten der Rohfasergehalt und die stickstofffreien Extraktstoffe (Coblentz u. a. 2004). Dies beruht auf dem Abbau der Hemicellulosen und Zucker, wie dies auch schon Festenstein 1971 in seinen Untersuchungen feststellte.

Einbußen in der Qualität bei der Lagerung durch Selbsterhitzung sind generell zu vermeiden. Die hier aufgezeigten Verluste spielen bei dem Einsatz in der Pferdefütterung eine geringere Rolle. Bei höherem Leistungsniveau wie in der Milchviehhaltung ist eine hohe Qualität zwingend, da ein Ausgleich durch Kraftfutter kaum noch möglich ist. Wirtschaftliche Einbußen sind daher bei der Übertragung auf die Milchviehhaltung zu berücksichtigen.

Tab. 3: Vergleich der Rohnähstoffgehalte im Ausgangsmaterial und in zwei selbsterhitzten Quaderballen (% TM)

	TM %	Roh- asche	Orga- nische Sub- stanz	Roh- protein	Roh- fett	Roh- faser	Nfe.	NEL, MJ/kg TM
<b>AGM</b>	83,5	6,7	93,3	14,7	2,4	29,2	47,1	5,9
<b>SE</b>	91,4	8,1	92,0	14,8	2,8	37,0	37,4	5,6

AGM = Ausgangsmaterial Mittelwert aus allen frischen und vorgewelkten Proben (TM nur 2 Mischproben vor dem Pressen)

SE = Selbsterhitzte Ballen (B7 und C7 am 21. Tag)

#### 2.2.4 Temperaturverlauf

Die zwischen dem Pressen und dem Einlagern über Nacht im Freien gelagerten Ballen hatten beim Einlagern in ihrem Zentrum Temperaturen zwischen 42,5 °C und 54,7 °C, mit einem Mittelwert von 50,1 °C.

Die in der Zeit danach aufgezeichneten Temperaturmesswerte zeigen eine sehr starke Inhomogenität innerhalb des Stapels.

Bereits in der Überblicksgraphik fällt auf, dass die Messpunkte in den Ballenzentren und an den horizontalen Auflageflächen zwischen zwei Ballen deutlich höhere Temperaturen ohne Modulation mit den Außentemperaturschwankungen (Tag/Nacht) erkennen lassen.

Die Temperaturfühler, die an senkrechten Stoßflächen zwischen zwei Ballen, oder an Stößen an Kanten und Ecken zwischen vier oder acht Ballen platziert sind, zeigen deutlich niedrigere Temperaturen und modulieren im Tag/Nacht-Takt mit der Außentemperatur. Trotz der dichten Packung wird der Haufen an den senkrechten Stoßflächen der Ballen offenbar erheblich von Luft durchströmt und gekühlt (Abbildung 6).

Die im Heustock erreichten Maximaltemperaturen lassen sich grob in vier Bereiche einteilen: über 88 °C (an zwei Stellen gemessen), um 70 °C (drei Stellen), um 60 °C (7 Stellen) und etwa zwischen 40 und 50 °C (10 Messstellen).

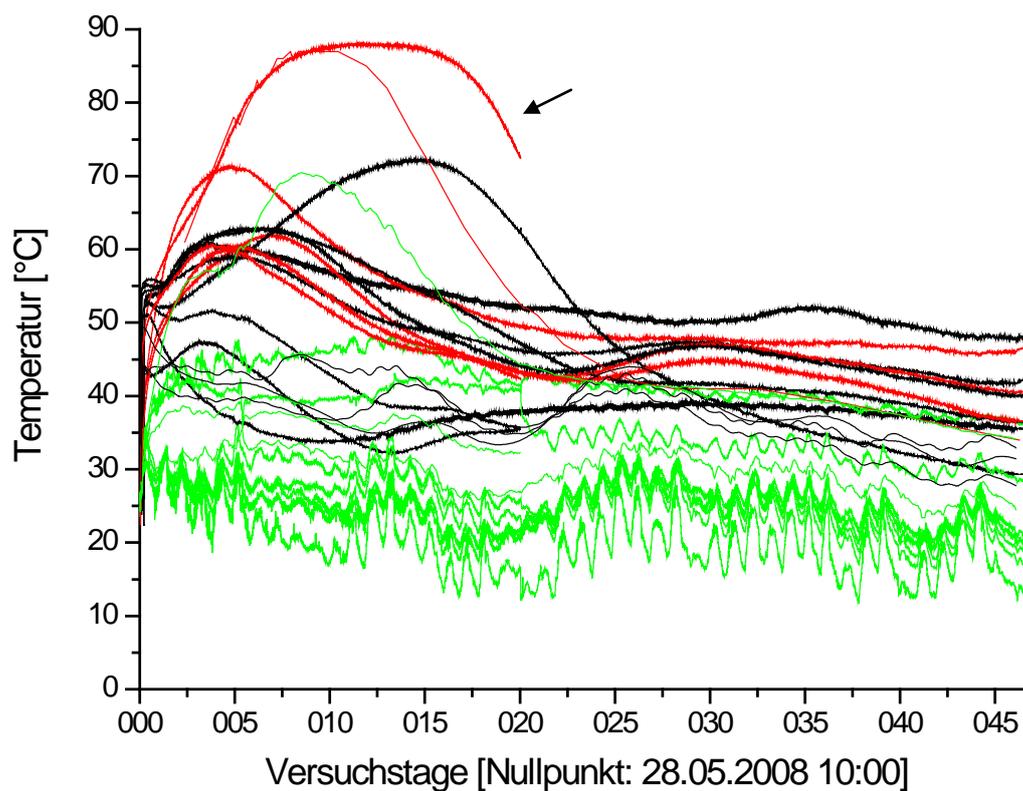


Abb. 6: Selbsterwärmung an verschiedenen Messpunkten im Heu. Ballenzentren schwarz), horizontale Auflageflächen (rot), sonstige Stoßflächen (grün)

Auf Grund der stetigen Temperaturabnahme wurden nach 20 Versuchstagen ein Teil des Heulagers abgetragen und die abgetragenen Ballen untersucht.



Bild 3: Verkohlter Bereich im Heuhaufen

Am Ort des Messfühlers mit den höchsten Messwerten (schwarzer Pfeil in Abbildung 6) waren die Ballen im Kern deutlich angebräunt (Bild 3 und 4).

Der verbleibende Teil des Heulagers wurde schließlich nach 45 Versuchstagen abgetragen und der Versuch beendet.



*Bild 4: Geöffneter Heuballen*

Besonders auffällig ist die bereits angeführte hohe Variation der Temperaturen innerhalb des Heustocks. Die höchsten Temperaturen sind in zwei relativ weit voneinander entfernten Bereichen mit Maxima von knapp 90 °C aufgetreten, drei weitere Messfühler kamen auf Maxima von gut 70 °C. Die übrigen Fühler lagen deutlich unter 70 °C.

### **2.2.5 Chemische Analytik**

Im Brandanalytik-Labor des BLKA wurden sowohl Gasproben (jeweils 0,5 l) aus den für die Probenahme verlegten PE-Schläuchen als auch vor Ort entnommene Heuproben mittels folgender Methoden untersucht:

Gasproben: 16 mittels Headspace-GC/FID, 8 mittels SPME-GC/MS,

Heuproben: 8 mittels Headspace-GC/FID, 4 davon zusätzlich mittels SPME-GC/MS

Dabei war in allen Gas- und Heuproben eine Vielzahl von niedermolekularen, flüchtigen, organischen Substanzen nachweisbar. Als hauptsächliche sauerstoffhaltige Verbindungsklassen waren zu benennen:

- Alkohole
- Aldehyde
- Ketone
- Carbonsäureester
- Carbonsäuren

Von insgesamt etwa 40 Substanzen waren etwa 30 identifizierbar. Darüber hinaus waren sehr geringe Spuren weiterer, u.a. auch schwefelhaltiger Substanzen enthalten. Vorkommen und Verteilung dieser Stoffe zeigte in allen Fällen ähnliche Muster. Eine quantitative Bestimmung der Inhaltsstoffe war bei den gegebenen Versuchsbedingungen nicht vorgesehen.

Bei den Substanzen, die eine auffällige zeitliche Verteilung aufwiesen, handelte es sich um:

Ethanol,  
 Essigsäure in Verbindung mit Propionsäure,  
 Furfural (Furan-2-carboxaldehyd) in Verbindung mit 5-Methyl-furfural (5-Methyl-2-furancarboxaldehyd),

Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt den zeitlichen Verlauf des Nachweises dieser Substanzen am Ort des Messfühlers der in Abbildung 3 mit dem schwarzen Pfeil markierten Temperaturkurve. Diese Substanzen könnten sich demzufolge im Zusammenspiel mit anderen Indikatoren als mögliche chemische Marker für den Erhitzungsprozess und dessen zeitlichen Verlauf eignen.

Tab. 4: *Zeitlicher Verlauf von Substanzen der Gasanalytik*

Versuchsdauer (Tagen)	0	1	2	4	6	9	15	20
Ethanol	+	++	++	+	+	(+)	0	0
Essigsäure und Propionsäure	0	0	(+)	+	+	++	+	++
Furfural und 5-Methylfurfural	0	0	0	(+)	(+)	++	++	++
Temperatur (°C)	51	56	62	71	81	87	88	71

Stark nachweisbar:        ++  
 Nachweisbar:            +  
 Schwach nachweisbar:    (+)  
 Nicht nachweisbar:      0

### 2.2.6 Mikrobielle Untersuchungen

An zwei Stellen im Heustock wurden Maximaltemperaturen von über 88 °C erreicht, zu einer Selbstentzündung kam es nicht. Im Laufe des Versuchs wurden wiederholt Heuproben entnommen, die parallel in zwei Labors (BLKA, LfL) mikrobiologisch auf ihren Besatz an mesophilen und thermophilen Mikroorganismen untersucht wurden (Keimzahlbestimmung im Plattengussverfahren). Im Gegensatz zu den Angaben in einschlägiger Literatur korrelieren die im Versuch gewonnenen Keimzahlen nicht mit den Maximaltemperaturen, die an den Orten der Probennahme erreicht wurden. So wurden z.B. bei vier verschiedenen Proben, die sich jeweils auf ca. 47 °C, 59 °C, 72 °C und 88 °C erhitzt hatten, annähernd gleiche Keimzahlwerte nachgewiesen (Abb. 7). Zudem erreichten bei den nicht selbsterhitzten Neutralproben vom Rand des Heustocks die Zahlen der mesophilen Keime nur sehr selten die in der Literatur angegebenen Wertebereiche für Normalheu.

Im Gegensatz zu den Beschreibungen anderer Autoren (z.B. Brüscheiler und Schönbacher 1982; Glathe 1960 u. 1962; Hussain 1972 u. 1973) lässt sich aus den in diesem Versuch gewonnenen mikrobiologischen Daten nicht erkennen, ob eine Selbsterhitzung am Ort der Probennahme stattgefunden hat oder nicht. Daher erscheint – nach momentanem Erkenntnisstand – diese Methode der mikrobiologischen Untersuchung nicht für den Nachweis einer Heuselbsterhitzung geeignet.

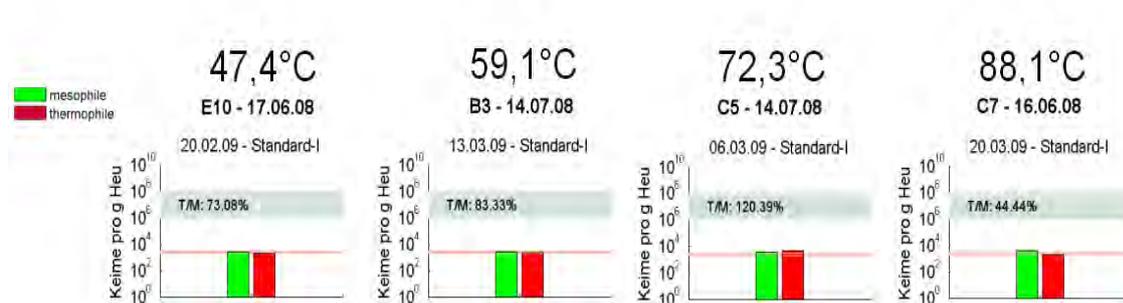


Abb. 7: Keimzahlen (Balken) von vier Heuproben, die sich im Versuchsverlauf auf Temperaturen zwischen 47,4 und 88,1 °C erhitzt hatten. Angaben in der Überschrift: Ballenbezeichnung und Maximaltemperatur der Probe. Grün bzw. rot markierte Bereiche: Bei Schwartz (1964) angegebene Wertebereiche für mesophile (grün) und thermophile (rot) Keime in normalem (nicht selbsterhitztem) Heu. T\M Wert: Verhältnis von thermophilen zu mesophilen Keimen in Prozent.

### 3 Orientierungswerte zur Erwärmung

In der Literatur werden die Schäden durch Erhitzung in Abhängigkeit von der Erwärmungshöhe der Dauer bemessen. Ausdrücken lässt sich dies in sogenannten Gradtagen.

Insbesondere beim Pressen im Lohn ist die Frage, wer den Zeitpunkt des Pressens vorgibt, von rechtlicher Relevanz im Hinblick auf mögliche Schadensansprüche oder Versicherungsleistungen. Ein möglicher Rahmen wäre sich auf Qualitätskriterien wie die ermittelten Gradtage (Coblentz u. a. 2004) zu einigen. In Tabelle 5 werden Orientierungswerte für Quaderballen vorgeschlagen.

Tab. 5: Vorschlag zu Orientierungswerten für die Erwärmung von Quaderballen

Gradtage	Rohfaser %-Punkte*	NfE %-Punkte*	MJ NEL/kg TM
< 300	< 1	> 10	> 5,9
800	1 - 3	8 - 10	5,7
1600	3 - 5	6 - 8	5,6
> 1600	> 7	4 - 6	< 5,5

\*Zu-/bzw. Abnahme

In diesen Orientierungswerten sind die Verluste durch Schimmelbildung und deren Folgen nicht berücksichtigt. Die Ermittlung der Gradtage kann über Heuermometer erfolgen. Vorgeschlagen werden 3 Termine je Woche an 3 typischen Ballen (Mitte, außen, oben).

## 4 Beratungsempfehlung

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich Großballen auf Grund der hohen Dichte weniger leicht selbst entzünden als loses Heu oder Kleinballen. Dennoch wurde auch beim Großballenversuch eine derart starke Erwärmung beobachtet, dass unter noch ungünstigeren Bedingungen eine Selbstentzündung nicht ausgeschlossen werden kann.

Zur Vermeidung sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Den größten Einfluss auf die Temperatur bei der Nacherwärmung hat der Feuchtegehalt beim Pressen.
- Ein hoher Trockenmassegehalt ist grundsätzlich anzustreben.
- Der Grenzfeuchtegehalt liegt bei  $U \leq 16 \%$
- Bei grenzwertigem Feuchtegehalt sollte die Zugabe von Propionsäure in Erwägung gezogen werden.
- Wie bei Heu allgemein ist auch bei Quaderballen eine Messung des Temperaturverlaufs im Heulager erforderlich und vorgeschrieben (§16 VVB).
- Bei Stocktemperaturen über 60 °C muss in Abständen von höchstens 5 Stunden gemessen werden, spätestens ab 70 °C Stocktemperatur ist die Benachrichtigung der Feuerwehr erforderlich.
- Die Temperaturmessung ist wichtig, liefert aber gerade bei Heuballen immer nur eine punktuelle Information. Es muss deswegen auch auf andere Auffälligkeiten geachtet werden, insbesondere auf:
  - Kondenswasser- oder Schimmelbildung, insbesondere an Kanälen im Bereich der Stoßstellen zwischen den Ballen
  - auffälliger säuerlicher oder tabakartiger Geruch
- Unabhängig von der Brandgefahr führt jede Erwärmung zu Nährstoffverlusten (ca. 0,1 – 0,3 MJ NEL/kg TM)

## 5 Literatur

- Brüschweiler, W., Schönbächler, R. (1982): Erfahrungen bei der mikrobiologischen Untersuchung von Heu bei Verdacht auf Selbstentzündung.  
Archiv für Kriminologie 170, 106-117
- Coblentz, W. K., Jennings, J. A., Coffey, K. P. (2004): Biology and effects of spontaneous heating in hay.  
Progressive Hay Grower. 9(4):12-15  
[http://ucanr.org/alf\\_symp/2004/04-295.pdf](http://ucanr.org/alf_symp/2004/04-295.pdf)
- Deleja-Hotko, Yvonne, Haunschmied, Martina (2007): Heu- Selbst - Entzündung, Grundlagen.  
Schriftenreihe Vorbeugender Brandschutz. 01. Brandverhütungsstelle OÖ.
- Glathe, H. (1960): Die mikrobiologische Analyse im Dienste der Brandursachenermittlung.  
Kriminalistik 14, 121-123

- Glathe, H. (1962): Selbsterhitzung und Selbstentzündung – Ursache, Nachweis und Verhütung.  
Die Feuerwehr 12/8
- Gregory, P. H., Lacey, M. E., Festenstein, G. N., Skinner, F. A. (1963): Microbial and biochemical changes during the moulding of hay. *J. Gen. microbial.* 33, 147-174.
- Hussain, H.M. (1972): Biologische Selbsterhitzung von Heu und ihre Weiterentwicklung bis zur Selbstentzündung.  
*Grundlagen der Kriminalistik* 8/1, 359-375
- Hussain, H.M. (1973): Ökologische Untersuchungen über die Bedeutung thermophiler Mikroorganismen für die Selbsterhitzung von Heu.  
*Z. allg. Mikrobiol.* 13/4, 323-334
- Kreisfeuerwehr Osnabrück (2009): Einsätze - Heuballen durch Selbstentzündung in Brand geraten.
- Kutzner, H.-J. (2005): *Microbiology of Composting (2). Biotechnology second Edition.*
- Maeda, Y., Okamoto, M. Yoshida, N. (1988): Heat damage in hay-making of big round bale. *Japan Grassl. Sci.* 34, 193-201.
- Meisser, M., Wyss, U. (1999): Qualität von unterschiedlich konserviertem Dürrfutter. *Agrarforschung*, 6, 11-12, 437-440.
- Richter, W. (1982): Sojaschrot nicht zu lange lagern - Gefahr der Erwärmung bei der Lagerung von loser Ware.  
*Bayer. Landw. Wochenbl.*, 172, 14, 26
- Richter, W., Bucher, E. (1982): Lagerung von Sojaschrot mit erhöhtem Feuchtegehalt. *Schule und Beratung* 4, IV-4
- Richter, W. (1984): Gefahr der Selbstentzündung beim Aufschluss von Stroh mit Natronlauge.  
*Brandwacht*, 39, 15
- Richter, W. 1984: Selbstentzündung von aufgeschlossenem Stroh.  
*BLT, SD-Nr.* 632
- Rothbaum, H.P. 1963: Spontaneous combustion of hay.  
*J. Appl. Chem.* 13, 291-302
- Schwartz, E. 1964: *Handbuch der Feuer- und Explosionsgefahr*, 6. Auflage. *Feuerschutzverlag Ph.L.Jung, München.*
- Theune, H.H. 1977: Konservierungsmittel bei der Heubereitung.  
*Das Wirtschaftseigene Futter*, 23, 2, 88 – 100.
- Watson, S. J., Nash, M. J. (1960): *The conservation of grass and forage crops.* Oliver and Boyd, Edinburgh and London.
- VVB 2010: Verordnung über die Verhütung von Bränden (BayRS 215-2-1-I), zuletzt geändert durch Verordnung vom 11. April 2010 (GVBl S. 201), [http://by.juris.de/by/BrandVerhV\\_BY\\_rahmen.htm](http://by.juris.de/by/BrandVerhV_BY_rahmen.htm)