

## Trocknung von Rundballen

### Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit

Martin Holpp, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen

Mit allen Trocknungsanlagen lassen sich Rundballen ab einem Trockenstoffgehalt (TS-Gehalt) von mindestens 65 %, besser 70 % trocknen. Der Zeitvorteil beim Einfahren ist damit geringer als bei Belüftungen für Loseheu, die mit 50-60 % TS beschickt werden können.

Die Trocknung von Ballen mit einem grossen Durchmesser (ab 1,50 m) und einer gleichmässig niedrigen Dichte von zirka 100 kg/m<sup>3</sup> lässt sich gut durchführen. Im Vergleich zu Bodenheu, das mit bis zu 200 kg/m<sup>3</sup> gepresst werden kann, fällt nahezu die doppelte Menge Ballen an. Die benötigte Lagerkapazität ist ähnlich der von Loseheu, das mit einer Dichte von 70-100 kg/m<sup>3</sup> gelagert wird.

Aufgrund der systembedingten ungleichmässigen Abtrocknung und der schlechten Kontrollmöglichkeit des Trocknungsfortschritts sollten die Ballen beim Trocknungsende mehr

als durchschnittlich 90 % TS aufweisen. Diese Abschätzung erfordert einige Erfahrung; Feuchtesonden liefern im Ballen zum Teil unzuverlässige Werte. Ein Wenden der Ballen während der Trocknung begünstigt ein gleichmässigeres Abtrocknen.

Der Energieverbrauch liegt zwischen zirka 40 und 120 kWh/dt TS. Diese grosse Differenz ist auf unterschiedliche Konstruktionen und Anlagenkapazitäten zurückzuführen.

Für das Trocknen der Ballen wurden durchschnittlich 1,1 AKh/ha benötigt. Die Anzahl der Trocknungsplätze ist durch das absätziges Verfahren der begrenzende Faktor für die maximale tägliche Erntemenge. Da vor allem beim ersten Schnitt im Mai wenig Erntetage mit geringem Wetterisiko zur Verfügung stehen, muss die Anlagenkapazität für die Erntemenge in diesem Zeitraum dimensioniert werden. Erst mit ausreichend grossen

Anlagen mit mehr als 16 Plätzen lassen sich arbeits- und betriebswirtschaftliche Einspareffekte durch die Bewirtschaftung grösserer Flächen erreichen.

Im Verfahrenvergleich hat die Loseheubelüftung durch eine höhere Trocknungsleistung und geringe variable Kosten aufgrund des niedrigen Energieverbrauchs Vorteile, die auch durch den geringeren Investitionsbedarf der Rundballenbelüftung nicht aufgehoben werden.

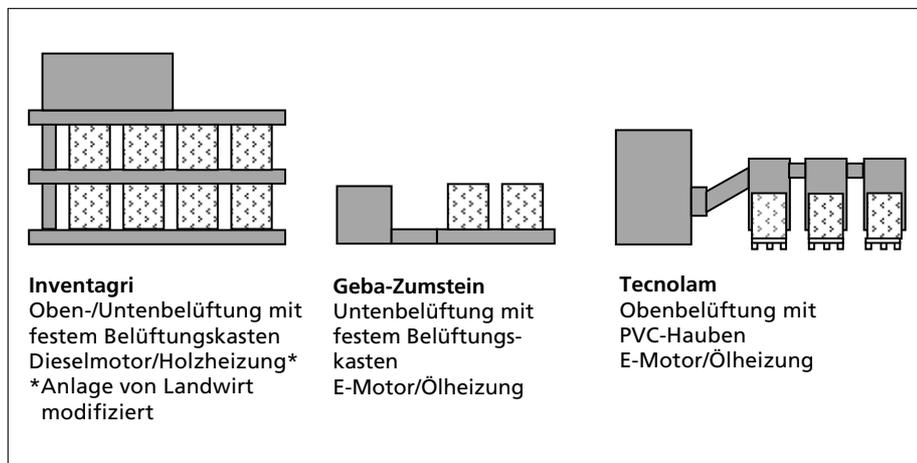


Abb. 1: Aufbau der Anlagen

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Beschreibung der Systeme	2
Versuchsdurchführung	4
Ergebnisse	4
Schlussfolgerungen	9
Literatur	10

## Problemstellung

In der Landwirtschaft findet der Einsatz von Rund- und Quaderballen immer mehr Verbreitung. Die Erntetechnik bietet mit leistungsstarken Pressen, Ladefahrzeugen (Frontlader, Radlader, Teleskoplader) sowie Misch- und Verteilgeräten für Silage, Heu und Stroh eine einheitliche, schlagkräftige Mechanisierung vom Feld bis in den Stall. Die Ansprüche an das Lager sind gering, die Ballen können in vorhandenen Gebäuden, unter einer Plane oder im Freien gestapelt werden.

Landwirtschaftliche Betriebe, die Milch für Rohmilch-Hartkäsesorten liefern, dürfen keine Silage verwenden und sind auf qualitativ hochwertiges Heu angewiesen. Im Frühjahr und unter schlechten Wetterbedingungen ist eine vollständige Bodentrocknung des Heus oft nicht möglich, es muss nachgetrocknet werden. Die entsprechende Belüftungstechnik für Loseheu am Stock ist seit Jahrzehnten erfolgreich im Einsatz.

Um auch in Rundballen hochwertiges Heu zu erhalten, muss entweder mit hohem TS-Gehalt gepresst oder die Ballen anschliessend belüftet werden. Im Sommer 2003 testete Agroscope FAT Tänikon drei verschiedene Bautypen dreier Hersteller im praktischen Einsatz.

Untersucht wurden Trocknungseigenschaften und -qualität, Energieverbrauch, Arbeitszeitbedarf, organisatorische Auswirkungen und Wirtschaftlichkeit. Zur besseren Einschätzung der Trocknungssysteme schliesst sich ein arbeits- und betriebswirtschaftlicher Vergleich mit der Stockbelüftung von Loseheu an.

## Beschreibung der Systeme

Das Verfahren ist grundsätzlich dasselbe wie bei der Loseheubelüftung: Mit einem Ventilator verdichtete Luft strömt durch Kanäle über die Stirnseite/n der Ballen ein. Dort nimmt sie den Weg des geringsten Widerstandes und tritt an der Bauch- bzw. entgegengesetzten Stirnseite wieder aus.

Im Gegensatz zur Loseheubelüftung mit einer kontinuierlichen Trocknungsphase

über mehrere Tage und Wochen hinweg werden Rundballen im absätzigen Verfahren innerhalb eines Trocknungszyklus von durchschnittlich acht bis 24 Stunden auf Lagerfeuchte getrocknet. Die Belüftung mit Kaltluft dauert länger als mit warmer Luft. Auch ist bei kaltem Wetter und feuchter Luft eine zusätzliche Heizung notwendig. Dazu werden meist Ölbrenner verwendet. Abhängig vom System verkürzt ein Wenden der Ballen die Trocknungszeit und vereinheitlicht die Trocknungsqualität. Die heute auf dem Markt erhältlichen Anlagen lassen sich grob in die Kategorien Belüftung von oben und unten (zum Beispiel Fa. Inventagri), Belüftung von unten (zum Beispiel Fa. Geba-Zumstein) und Belüftung von oben (zum Beispiel Fa. Tecnolam) einteilen.

Die Systeme (Abb. 1) unterscheiden sich dabei sowohl in der Konstruktion als auch in den Anschaffungskosten stark voneinander.

### Belüftungssystem Inventagri

Die Belüftungskästen sind tragendes Element der Anlage und werden hydraulisch gesenkt und angehoben. Drei Kästen sind übereinander angeordnet, so dass zwei Lagen Ballen von beiden Stirnseiten her belüftet werden können (Abb. 2 und 3). Die Luftöffnungen haben einen Durchmesser von zirka 80 cm. Zur Vermeidung von an den Stirnseiten austretender Luft liegen die Ballen auf Stahlrinnen auf, die sich in das Futter pressen.

Ein Dieselmotor treibt den auf dem obersten Belüftungskasten aufgebauten Ventilator an. Die Luftanwärmung erfolgt serienmässig mit einem Ölbrenner, optional ist eine Anwärmung auch mit einem Gasbrenner oder Warmwasser-Wärmetauscher möglich.

Die von der FAT getestete Anlage mit einer Kapazität von acht Ballen ist ein modifiziertes Serienmodell. Der Landwirt ersetzte den Originalmotor durch einen stärkeren, und die Luftanwärmung erfolgt über Wärmetauscher für die Wasserkühlung des Motors sowie eine zusätzlich installierte Holzheizung.

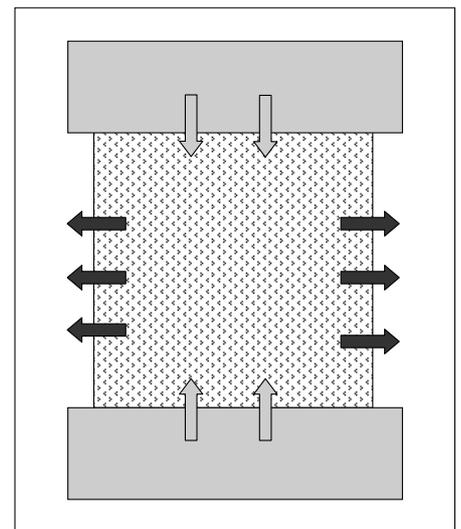


Abb. 2: Belüftungsprinzip Inventagri: Oben-/Untenbelüftung mit bauchseitigem Luftaustritt.



Abb. 3: Belüftungssystem Inventagri.

Zur Führung des Trocknungsprozesses steht eine elektronische Steuerung zur Verfügung, die eine Anpassung der Belüftung an das Trocknungsgut sowie die Umgebungsparameter erlaubt. Durch Klappen kann der Luftstrom für den mittleren Belüftungsboden abgeschaltet werden. Die Belüftung der Ballen erfolgt nur von je einer Stirnseite durch den oberen und unteren Kasten. Die Luft strömt entlang des weichen Ballenkerns und tritt an der drucklosen Stirnseite wieder aus. Wenn der Kern trocken ist, schliesst man die Klappen und die Luft breitet sich von beiden Stirnseiten besser Richtung Bauchseite aus.

Bei dieser Anlage ist eine nachträgliche Aufstockung der Ballenanzahl nicht möglich. Die Konstruktion erlaubt einen Betrieb im Freien. Zusätzliche Planen an den Seiten schützen vor Regen und nächtlicher Luftfeuchtigkeit. Die heute verfügbaren, weiterentwickelten Systeme des Anbieters belüften auf zwei Ebenen in zwei hintereinanderliegenden Reihen acht bis 24 Ballen.

### Belüftungssystem Geba-Zumstein

Der Belüftungskasten ist einstockig konstruiert, die Ballen liegen in zwei Reihen hintereinander (Abb. 4). Belüftungssegmente zu vier Ballenplätzen können bis zu einer Anlagengröße von 32 Ballen aneinandergereiht werden. Die Luftzufuhr erfolgt über einen keilförmig zulaufenden Luftkanal an der Rückseite, in den

Luftleitbleche eingeschraubt sind. Die Ballen liegen ebenfalls auf Stahlrinnen auf, um ein Entweichen der Luft beim Übergang vom Belüftungskasten in den Ballen zu vermeiden. An der oberen Stirnseite deckt sie ein Holzdeckel lose ab. Die Luft tritt von unten durch eine Öffnung von zirka 80 cm Durchmesser in die Ballen ein und an der Bauchseite wieder aus (Abb. 5). Der durch einen Elektromotor angetriebene Ventilator ist an den Luftkanal angeflanscht und entsprechend der Anzahl an Belüftungsplätzen dimensioniert. An dieser Anlage leistet er 4 kW. Die Luftanwärmung erfolgt durch einen fahrbaren Brenner, der im Freien steht. Ein Gebläse fördert die Luft über einen flexiblen Schlauch mit zirka 50 cm Durchmesser zur Ansaugöffnung des Ventilators.

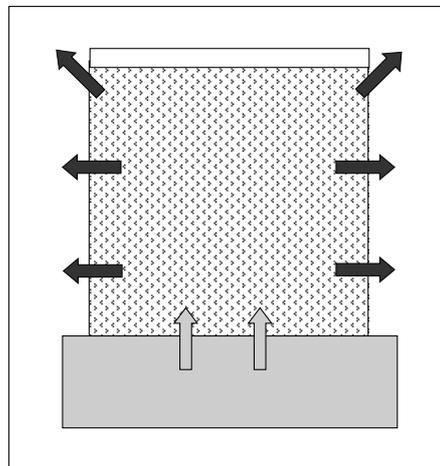


Abb. 5: Belüftungsprinzip Geba-Zumstein.



Abb. 4: Belüftungssystem Geba-Zumstein: Untenbelüftung mit Holzdeckel auf oberer Stirnseite und bauchseitigem Luftaustritt.

Die Lüftungssteuerung beschränkt sich auf je einen Ein- und Ausschalter für den Ventilator und den Heizbrenner. Der Trocknungsprozess wird durch den Bediener überwacht.

Mit einer entsprechenden Überdachung kann die Anlage auch im Freien betrieben werden. Der modulare Aufbau der Anlage hat den Vorteil, dass die Anlage relativ einfach auf die gewünschte Trocknungsleistung zu dimensionieren ist. Zudem kann zum Beispiel die Heizung im Winter noch zum Beheizen der Werkstatt dienen. Die getestete Anlage hat eine Kapazität von vier Ballen.

### Belüftungssystem Tecnomat

Die Anlage besteht aus einem kompakten, gedämmten Block, in dem Ventilator, Elektromotor und Ölbrenner untergebracht sind. Die Belüftungskanäle und -hauben bestehen aus kunststoffbeschichtetem Gewebe (Abb. 6). Die Luftzuleitung erfolgt über einen Verteiler mit Sperrklappen zu den bis zu vier Belüftungssträngen. Die Hauben lassen sich mit einer Seilzugmechanik an einem Metallausleger hochziehen. Unten am Ballen schliesst ein Zurring luftdicht ab. Während der Trocknung stehen die Ballen für eine gute Luft- und Feuchtigkeitsableitung auf Holzpaletten. In den Belüftungshauben ist ein Zwischenboden mit Löchern am äusseren Rand eingezogen. Dadurch tritt die Luft vorwiegend in die dichteren Randzonen ein und nicht direkt am Kern. Durch die Haubenkonstruktion bedingt, tritt ein Teil der Luft auch von der Bauchseite in den Ballen ein und er-

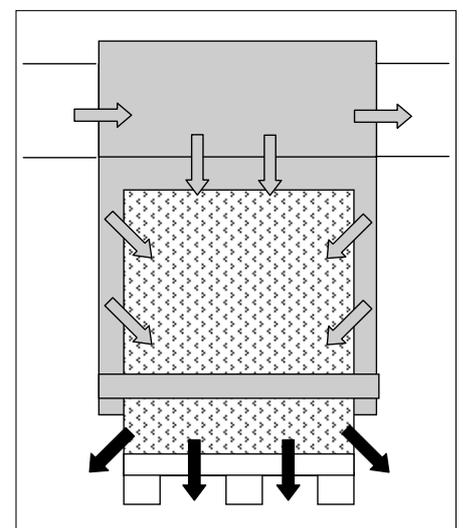


Abb. 7: Belüftungsprinzip Tecnomat.



Abb. 6: Belüftungssystem Tecnomat: Obenbelüftung mit Hauben und Luftaustritt an unterer Stirnseite.

möglicht die Trocknung von Ballen mit fester Randzone (Abb. 7).

Über den Schaltschrank lassen sich die Heizungstemperatur sowie die Einschalt-dauer von Ventilator und Heizung steuern. Die Anlage ist für einen Betrieb im Freien konzipiert. Bei Regen können die Ballen allerdings unterhalb der Hauben nass werden. Eine zusätzliche Überdachung empfiehlt sich daher.

Die getestete Anlage hat eine Kapazität von neun Ballen in drei Strängen. Durch Verlängerung der Stränge bzw. Anschluss eines weiteren Stranges ist eine Erweiterung möglich.

Alternativ zum Ventilatorantrieb mit Elektromotor hat der Hersteller auch eine Ausführung mit Zapfwellenantrieb durch den Traktor im Programm. Die Abwärme des Kühlwassers und der Abgase erwärmt die Prozessluft. Dies ermöglicht ein hoffernes Aufstellen der Anlage bzw. erlaubt einen Betrieb auch dort, wo die Anschlussleistung des Stromversorgungsnetzes gering dimensioniert ist.

### Versuchsdurchführung

Im zweiten und dritten Schnitt von Juli bis September 2003 wurden in acht Durchgängen insgesamt 56 Ballen gepresst. Auf der Inventagri wurden 24 Ballen in drei Zyklen getrocknet, mit der Tecnomat-Anlage 24 Ballen in fünf Zyklen und auf der Geba-Zumstein-Anlage acht Ballen in zwei Zyklen.

Die Messungen konnten nicht mit vollständig identischem Material durchgeführt werden, da einerseits die Anlagen nicht zeitgleich zur Verfügung standen und es unter anderem dadurch zu Futter- und Pressunterschieden kam. Vor allem

die Trockenheit hatte entscheidenden Einfluss auf den Aufwuchs, es stand ab August kaum mehr Futter zur Verfügung. Der TS-Gehalt zum Zeitpunkt des Pressens schwankte bei den einzelnen Ballen von 61–83 % und lag im Schnitt bei 75 %. Das Futter stammte von Natur- und Kunstwiesen.

Zwei Pressentypen verschiedener Hersteller kamen zum Einsatz. Die Festkammerpresse der Firma Orkel hat 1,20 m Durchmesser bei 1,20 m Breite. Die Ballen haben einen weichen Kern und einen harten Rand. Diese Pressen eignen sich hauptsächlich bei trockenem Heu, Stroh und Silage. Die Pressdichte ist meist höher als die von Bänderpressen.

Die Bänderpresse der Firma Deutz-Fahr mit variabler Kammer hat 1 m Breite. Die Ballen mit 1,20 m bzw. 1,50 m haben über den Querschnitt hinweg durchgehend eine relativ gleichmässige Dichte. Durch den grösseren Durchmesser und die lockere Pressung eignen sie sich auch für Material, das noch eine gewisse Restfeuchte abgeben muss.

Die Ballen aus der Festkammerpresse hatten ein Gewicht von 388 kg, was einer Pressdichte von  $\varnothing 209 \text{ kg/m}^3$  entspricht. Die Ballen aus der Bänderpresse hatten bei einem Durchmesser von 1,50 m eine Masse von 261 kg (Pressdichte  $\varnothing 110 \text{ kg/m}^3$ ), bei einem Durchmesser von 1,20 m eine Masse von 277 kg (Pressdichte  $\varnothing 195 \text{ kg/m}^3$ ). Das höhere Gewicht der kleineren Ballen lässt sich auf das feine Futter und technische Faktoren zurückführen.

Damit lässt sich eine Einteilung in drei Ballentypen vornehmen:

1. Bänder –  $d=1,50 \text{ m}$  – niedrige Dichte – getrocknet auf Inventagri und Tecnomat

2. Bänder –  $d=1,20 \text{ m}$  – hohe Dichte – getrocknet auf Geba-Zumstein

3. fest –  $d=1,20 \text{ m}$  – hohe Dichte – getrocknet auf Inventagri und Tecnomat

Die Typen 2 und 3 sind sehr ähnlich, da es aufgrund der hohen Dichte zu einer Aufhebung der durch das Pressverfahren bedingten Unterschiede kommt.

Nicht alle Ballentypen wurden auf allen Anlagen getrocknet. Für die Geba-Zumstein ist daher nur eine eingeschränkte Aussage hinsichtlich der Trocknungsleistung möglich.

### Ergebnisse

#### Anlagenluftdruck

Der Anlagenluftdruck (gemessen im Belüftungskanal) hängt neben der Leistung des Ventilators auch von der Dichte der Ballen ab. Bei dichten Ballen ist der Luftdurchsatz gering und es wird ein höherer Druck erreicht als bei lose gepressten Ballen mit höherem Luftdurchsatz. Die Inventagri erreichte mit 20 mbar den maximalen Wert, die Tecnomat 10–13 mbar und die Geba-Zumstein 5,5 mbar. Je höher der Druck ist, desto besser können stärker verdichtete Ballen durchlüftet werden.

#### Trocknungstemperaturen

Die Trocknungstemperaturen mit Heizung lagen bei der Inventagri und Geba-Zumstein im Belüftungskanal bei 15–20 °C über der Aussentemperatur, mit der Tecnomat können Werte bis 60 °C er-

reicht werden. Die örtlichen Vorschriften zum Betrieb von Heubelüftungsanlagen (maximale Temperaturen, Mindestabstände etc.) sind aber zu beachten, eine Lufttemperatur von 40°C sollte nicht überschritten werden.

Zusätzlich ist eine Besonderheit der Tecnomat-Anlage zu erwähnen: Bedingt durch die gemeinsame Anordnung von E-Motor und Ventilator in einem gedämmten Block wird allein durch die Abwärme der beiden Bauteile ohne Heizung eine Temperaturerhebung der Zuluft von 12-15°C erreicht.

### Trocknungsdauer und -leistung

Die erzielte Trockensubstanz schwankte von 79-99 %. Die Belüftungsdauer bewegte sich bei einer Anfangstrockensubstanz von 61-84 % in einer Bandbreite von neun bis 26 Stunden. Dabei verdunsteten pro Ballen 26-96 kg Wasser.

Die Trocknungsleistung in Kilogramm Wasser pro Stunde und Dezitonne Trockensubstanz ist bei lose gepressten Ballen um 20-60 % höher als bei dicht gepressten (Tab. 1). Dies lässt auch den Schluss zu, dass bei der Geba-Zumstein, deren Belüftungssystem mit dem der Tecnomat vergleichbar ist, bei lockeren Ballen mit einer zumindest 20 % höheren Trocknungsleistung gerechnet werden kann.

Die besseren Trocknungsleistungen der Inventagri und Tecnomat sind neben den höheren Umgebungstemperaturen zum Trocknungszeitpunkt auch auf den höheren Anlagenluftdruck zurückzuführen. Bei der Inventagri kommen zusätzlich die Vorteile der aufwendigen Konstruktion mit oben- und untenliegenden Luftkanälen zum Tragen.

### Trocknungsqualität

Aus Proben von verschiedenen Stellen im Ballen lassen sich anlagenspezifische

Trocknungsmuster ableiten. Die Abtrocknung war immer ungleichmässig, an manchen Stellen erreichte die Trockensubstanz Werte höher 95 %, an anderen lagen sie unter 70 %. Der für die Lagerstabilität notwendige Mindestwert von 88 % wurde nicht immer erreicht (Abb. 8).

Bei der Inventagri konnte die Luft durch die parallele Belüftung von beiden Stirnseiten nur an der Bauchseite der Ballen entweichen. Bei lockeren, grossen Ballen kam es zu einer relativ sicheren, gleichmässigen Trocknung. Bei Ballen aus der Festkammerpresse mit dichtem Rand konnte die Feuchtigkeit hingegen schlechter entweichen, sie sammelte sich im Randbereich.

Bei der Geba-Zumstein war es mit dicht gepressten Ballen ähnlich. Der Bereich am Lufteintritt und der Kern wurden durchgehend getrocknet, hauptsächlich im Randbereich kam es zu unzureichender Durchlüftung. Aufgrund der Erfahrungen ist zu erwarten, dass sich mit locker gepressten, grösseren Ballen Ergebnisse auf dem Trocknungsniveau der anderen Anlagen erzielen lassen.

Die Tecnomat hat den konstruktiven Vorteil, dass die Luft sowohl durch die Stirn- als auch Bauchseite gepresst wird. Auch der harte Rand von Ballen aus der Festkammerpresse konnte getrocknet werden. Problematisch war hingegen die mittlere Zone, ebenso war der Bereich an der Luftaustrittsseite nicht ausreichend getrocknet. Lockere Ballen mit grossem Durchmesser wurden relativ gut getrocknet.

Insgesamt lässt sich festhalten: Ballen mit grossem Durchmesser und gleichmässig niedriger Pressdichte trocknen wesentlich besser als solche mit kleinem Durchmesser, einer harten Randzone und hoher Pressdichte. Durch die niedrige Dichte ist auch sichergestellt, dass nach dem Trocknen noch vorhandene Feuchte im Lager verdunsten kann. Eine ungleichmässige Dichteverteilung im Ballen ist immer nachteilig. Ein Risiko stellen auch punktuelle Verdichtungen im Ballen dar, sie führen an diesen Stellen zu einer ungenügenden Abtrocknung. Es ist kaum möglich, verdichtete Stellen durch eine Verlängerung der Belüftungszeit zu trocknen, da die Luft immer den Weg des geringsten Widerstands geht.

Problematisch ist in dieser Hinsicht neben der Pressdichte auch die Handhabung der Ballen: Durch den grossen Durchmesser und die sehr lockere Pressdichte sind sie mit einer Ballengabel am Frontlader relativ instabil. Beim Einsatz einer Ballenzange werden sie zum Teil stark verformt und damit verdichtet. Vor allem beim Feld-Hof-Transport ohne Anhänger kommt es zu starken Belastungen. Im Hinblick auf eine erfolgreiche Trocknung müssen der Umschlag und Transport der Ballen daher sehr vorsichtig erfolgen.

Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Ballen während der Trocknungsversuche in keinem Durchgang gewendet. Aus den Ergebnissen ist aber abzuleiten, dass bei den einseitig belüftenden Anlagen ein Wenden nach einem Drittel bis zur Hälfte der Belüftungszeit eine leichte Beschleunigung des Trocknungsvorgangs

Tab. 1: Trocknungsleistung der Anlagen

Presssystem	Dichte kg/m <sup>3</sup>	Inventagri kg h <sup>-1</sup> dt <sup>-1</sup> TS	Geba kg h <sup>-1</sup> dt <sup>-1</sup> TS	Tecnomat kg h <sup>-1</sup> dt <sup>-1</sup> TS
Bänderpresse Ø 1,50 m	110	1,9	-	1,4
Bänderpresse Ø 1,20 m	195	-	1,0	-
Festkammerpresse Ø 1,20 m	209	1,2	-	1,2

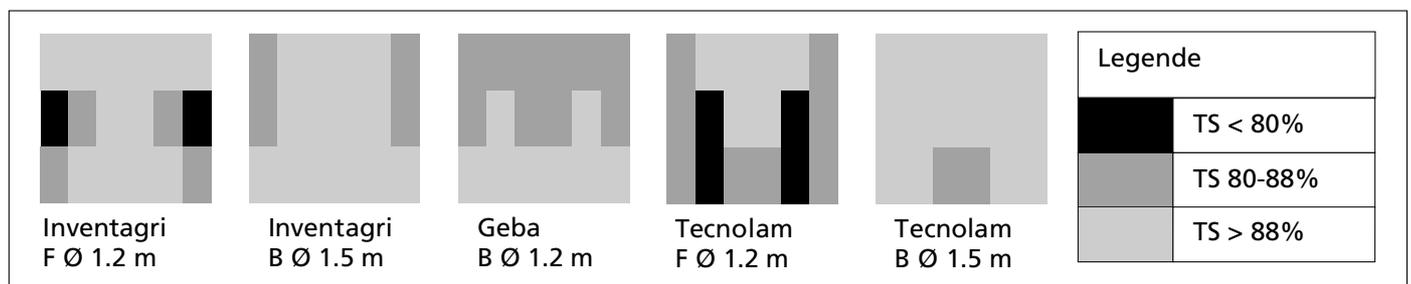


Abb. 8: Trocknungsmuster der Anlagen.

Tab. 2: Energieverbrauch der Anlagen

Energieverbrauch	Inventagri	Geba	Tecnomam
El. Energie kWh/h	-	4	15
El. Energie kWh/dt TS	-	8,4	14,1
Öl l/h	4,9	5,2	2,9
Öl l/dt TS	5,1	11,0	2,7
Öl kWh/dt TS	52,36	113,05	27,37
Summe kWh/dt TS	52,36 + Holz	121,45	41,47

Tab. 3: Fixe und variable Kosten der Anlagen

Wirtschaftlichkeit	Inventagri Holz	Inventagri Öl	Geba 4	Geba 8	Tecnomam
Trocknungsplätze	8	8	4	8	9
Investition Fr.	50 000	50 000	15 000	23 000	31 000
Fixe Kosten Fr./Jahr	6265	6265	2217	3222	3884
Fixe Kosten Fr./Jahr und. Platz	783	783	554	428	432
Strom Fr./dt TS	-	-	2,1	1,6	3,0
Heizöl Fr./dt TS	1,9	4,9	6,0	4,5	1,2
Var. Kosten Fr./dt TS	1,9	4,9	8,1	6,1	4,2
Annahmen:					
Festkosten: Abschreibung 15 Jahre entsprechend 6,67 %, Zins 2,66 %, Reparatur 3 %, Versicherung 0,2 %, zusätzliche Gebäudekosten für Unterbringung der Geba-Zumstein-Anlagen Fr. 22.50/m <sup>2</sup> . Lagerraum wurde nicht mit einbezogen					
Rundballen: Bänderpresse, Ø 1,50 m; Gewicht 2,3 dt					
Trocknungsdauer: Inventagri 16 h; Geba-Zumstein 24 h; Tecnomam 20 h bei Anfangs-TS 75 %. Energieverbrauch Rundballen s. Tabelle 2; Loseheu 7 kWh/dt TS					
Energiekosten: Strom 0,20 Fr./kWh; Heizöl 0,43 Fr./l.					

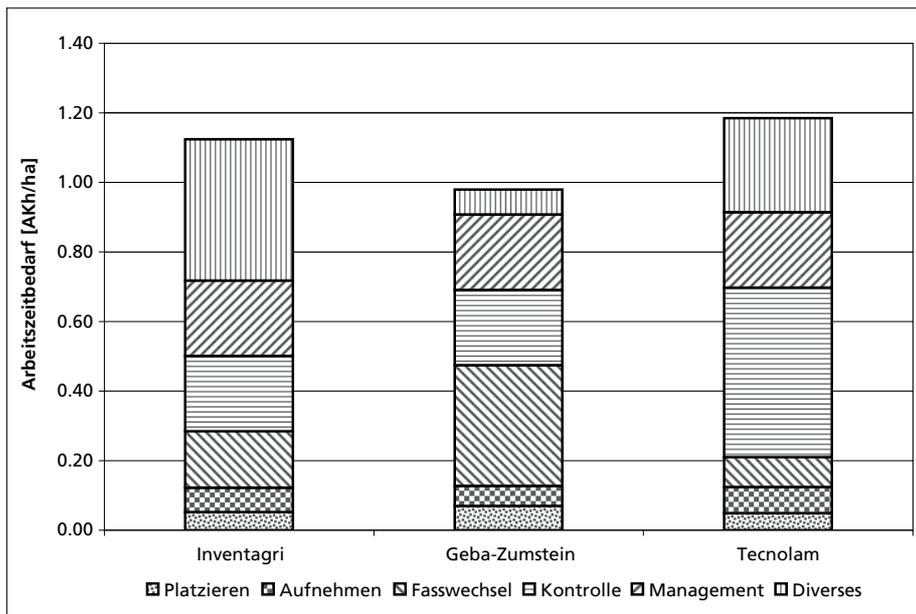


Abb. 9: Arbeitszeitbedarf Rundballentrocknung – Annahmen: 30 dt TS/ha; 2,25 dt TS/Ballen, 1,50 m; 13 Ballen.

und eine gleichmässige Abtrocknung bringen würde.

Der Trocknungsfortschritt lässt sich im praktischen Betrieb nur schlecht kontrollieren. Mit Feuchtesonden lassen sich zwar gezielt Bereiche beproben, die Werte sind aber teilweise unzuverlässig. Es bedarf einiger Trocknungserfahrung, um den Zustand der Ballen zu beurteilen.

### Energieverbrauch

Der Energieverbrauch setzt sich aus der elektrischen Arbeit und dem Heizöl zusammen. Eine Ausnahme bildet die Inventagri, die an eine Holzheizung angeschlossen ist. Das verbrauchte Holz wurde nicht mit einbezogen. Zum besseren Vergleich wird in der Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Inventagri zusätzlich eine Variante mit dem Heizölverbrauch der Geba-Zumstein mit acht Plätzen gerechnet.

Die Werte liegen insgesamt recht weit auseinander (Tab. 2). Einerseits lassen sich diese Differenzen bei der Tecnomam auf den gedämmten Antriebsblock und bei der Geba-Zumstein auf die geringe Anlagenkapazität zurückführen. Andererseits ist es aber auch Merkmal für die optimierte Dimensionierung und Abstimmung von Motor, Ventilator und Heizung aufeinander.

### Arbeitszeitbedarf

Der Arbeitszeitbedarf setzt sich zusammen aus dem Be- und Entladen sowie der Inbetriebnahme der Anlage, der Ballenkontrolle, dem Wechsel des Ölfasses und organisatorischen Aufgaben wie zum Beispiel der Disposition des Heizöls.

Durchschnittlich wurden 1,1 Arbeitskraftstunden benötigt, um die Ballen von einem Hektar Fläche zu trocknen (Abb. 9). Der Zeitbedarf ist recht unterschiedlich auf die einzelnen Arbeitsschritte verteilt, in der Summe sind sie nahe beieinander. Bei der Inventagri fällt die Bedienung der Holzheizung stark ins Gewicht, während bei der Geba-Zumstein der höhere Ölverbrauch zu kürzeren Wechselintervallen für das Ölfass führt. Bei der Tecnomam schlägt das Absenken und Anheben der Trockenhauben zu Buche.

### Wirtschaftlichkeit

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Anlagen miteinander wurde zusätzlich mit

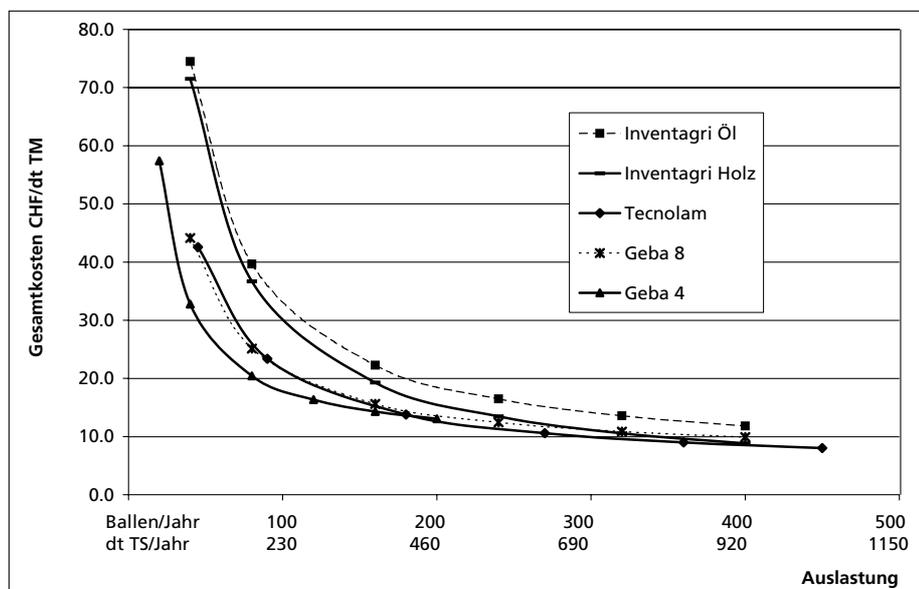


Abb. 10: Gesamtkosten/dt TS abhängig von der jährlichen Ballenanzahl.

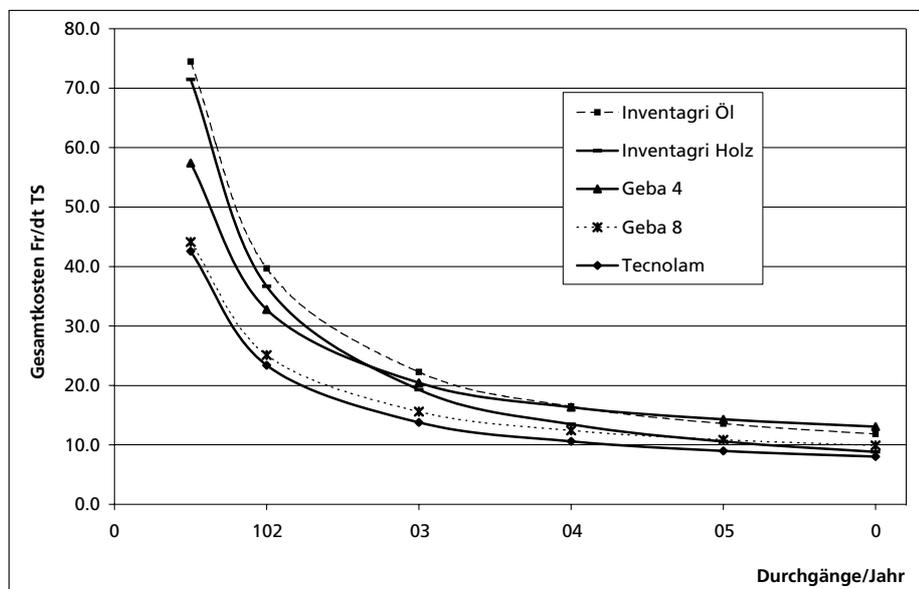


Abb. 11: Gesamtkosten/dt TS abhängig von der Anzahl an Durchgängen/Jahr.

einer Inventagri mit Ölheizung sowie einer Geba-Zumstein mit acht Trocknungsplätzen gerechnet (Tab. 3). Durch die aufwändige Konstruktion hat die Inventagri den grössten Investitionsbedarf pro Ballenplatz, Geba-Zumstein und Tecnomlam liegen auf niedrigerem Niveau identisch. Bei den Anlagen mit acht Plätzen und Ölheizung fallen variable Kosten zwischen 4,20 und 6,10 Fr./dt TS an. Ein hoher Ölverbrauch wirkt sich dabei wesentlich stärker als ein hoher Stromverbrauch aus. Die Gesamtkosten pro dt TS in Abhängigkeit der Auslastung sind in den Abbildungen 10 und 11 dargestellt. Die Kosten sinken mit einer steigenden Auslastung stark. Mit 80–180 Ballen bzw. 12–20 Durchgängen pro Jahr wird die

Schwelle von 20 Fr./dt TS unterschritten. Ab ungefähr 280 Ballen bzw. 35 Durchgängen können 10 Fr./dt TS erreicht werden. In diesem kostengünstigen Auslastungsbereich liegen die Anlagen Inventagri mit Holzheizung, Geba-Zumstein mit acht Plätzen und Tecnomlam relativ nahe beieinander. Die Tecnomlam ist aufgrund der niedrigen Anschaffungs- und Betriebskosten am günstigsten.

### Dimensionierung der Trocknungsanlagen

Der erste Schnitt wird in Tallagen häufig im frühen Mai, in Bergregionen bis Ende Mai geerntet. Abhängig von den Klima-

zonen stehen für Belüftungsheu durchschnittlich zwei bis vier Erntegelegenheiten zur Verfügung, in denen das Futter eingebracht werden muss.

Die Trocknungsanlage muss für die Erntemenge dieses Zeitraums ausgelegt sein. In Abbildung 12 ist die Trocknungsleistung einer Anlage mit acht Plätzen dargestellt: Auf einer Fläche von 5 ha fallen 65 Ballen à 2,3 dt an. Im Optimalfall sind die Wetterbedingungen gut, das Futter ist nur leicht feucht und kann in acht Durchgängen auf einer leistungsstarken Anlage innerhalb von je acht Stunden getrocknet werden. Die Bergeleistung beträgt durchschnittlich 1,7 ha/Tag, insgesamt werden drei Tage benötigt. Unter schlechteren Wetterbedingungen ist das Futter feuchter und braucht zur Trocknung 24 h. Die Bergeleistung sinkt auf 0,6 ha/Tag, insgesamt werden acht Tage benötigt. Soviel Zeit steht aber nicht zur Verfügung. Mehr Ballen einzufahren, als Trocknungsplätze vorhanden sind, ist risikoreich, da Vergärung und Verderb schnell einsetzen.

Eine für dieselbe Fläche dimensionierte Loseheubelüftung mit 100 m<sup>2</sup> hat dagegen eine Trocknungskapazität von 3 ha/Tag – dies entspricht einer Rundballentrocknung mit 16–24 Plätzen.

Ursache dieser grossen Unterschiede ist das absätzigere Trockungsverfahren bei den Rundballen. Bei der Loseheubelüftung wird Lage um Lage eingebracht und kontinuierlich über einen Zeitraum von mehreren Tagen bis zwei Wochen getrocknet. Dabei kann Futter auch bei technisch einfacheren Anlagen mit Sonnenkollektor ab zirka 50 % TS zeitlich flexibel in variierenden Mengen eingebracht werden. Feuchteres Futter aus Schlechtwetterperioden braucht zwar auch länger zum Trocknen, blockiert aber nicht die folgende Erntetätigkeit. Bei der Rundballenbelüftung hingegen kann erst wieder Belüftungsheu gepresst werden, wenn der letzte Trocknungsvorgang abgeschlossen ist. Mit den maximal möglichen 65–70 % TS muss die Periode der Feldtrocknung wesentlich länger sein als beim Loseheu, zudem benötigt die Verkürzung des Trocknungsvorgangs erheblich mehr Heizenergie.

### Vergleich der Ernteverfahren Rundballen / Loseheu

Die Ernteverfahren Rundballen und Loseheu wurden vom Mähen bis zum Trock-

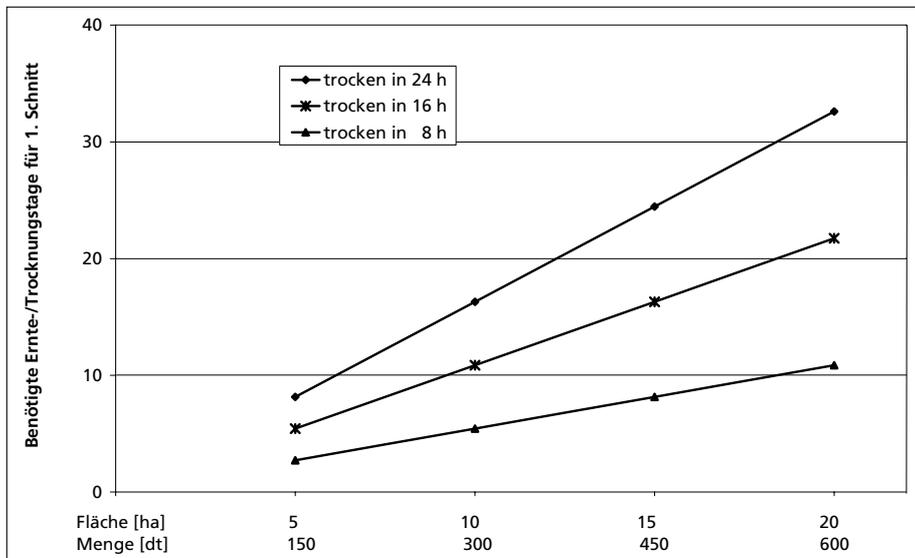


Abb. 12: Benötigte Ernte- und Trocknungstage im 1. Schnitt abhängig von der Schnittfläche – Annahme: Anlagenkapazität 8 Ballen; Ertrag 1. Schnitt 30 dt/ha.

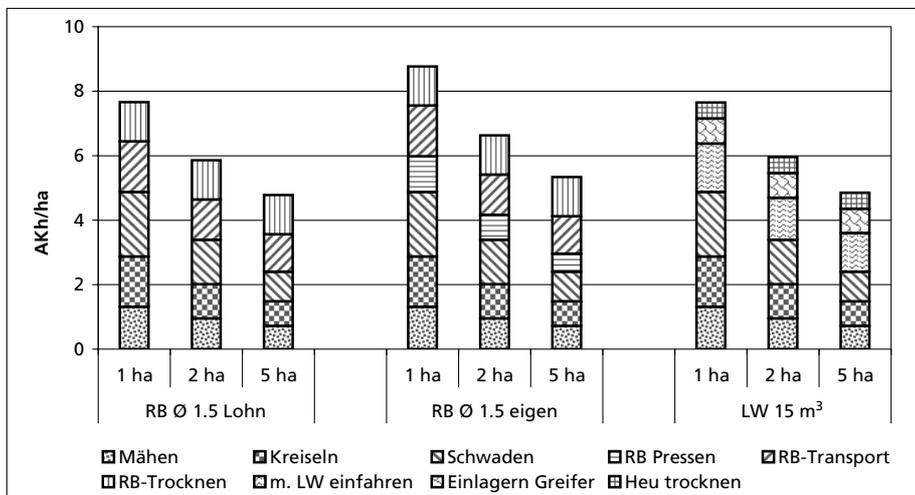


Abb. 13: Arbeitszeitbedarf für die Ernteverfahren Rundballen im Lohn, eigene Presse und Ladewagen.

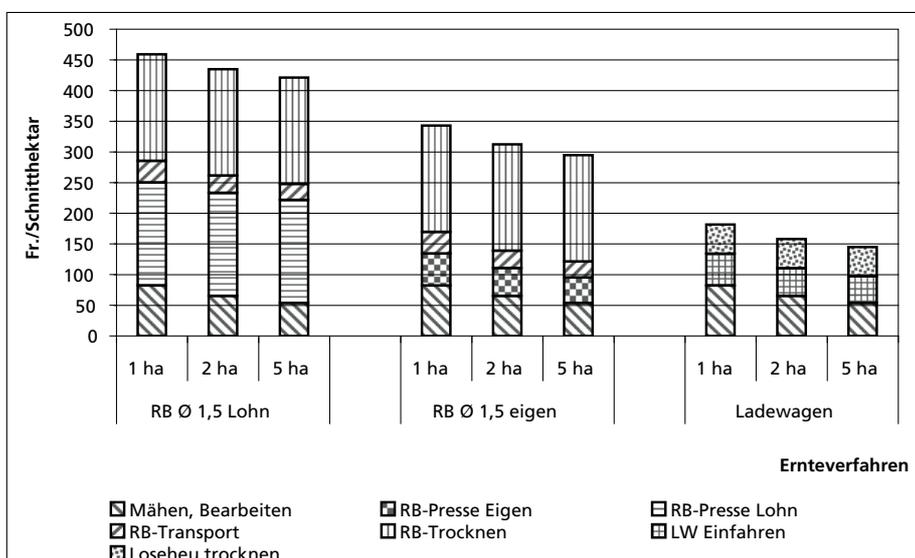


Abb. 14: Variable Kosten/Schnitthektar für die Ernteverfahren Rundballen im Lohn, eigene Presse und Ladewagen.

nen/Einlagern in die einzelnen Arbeitsphasen gegliedert.

Annahmen: Die Schlaggröße variiert mit 1, 2 und 5 ha, die Hof-Feld-Entfernung beträgt 1 km. Die Ballen haben einen Durchmesser von 1,50 m und eine Dichte von 100 kg/m<sup>3</sup> TS. Das Ballenhandling erfolgt per Frontlader mit Klemmzange, der Transport mit einem Zweiachsanhänger mit einer Kapazität von 10 Ballen. Das Loseheu wird mit einem Ladewagen mit einem Volumen von 15 m<sup>3</sup> eingefahren. Die Einlagerung in den Stock erfolgt mit einem Greifer.

Bei einer kleinen Erntefläche haben die Rüstzeiten einen hohen Anteil an der Gesamtarbeitszeit, bei steigender Fläche sinkt der Arbeitszeitbedarf stark (Abb. 13). Das Verfahren mit dem Ladewagen ist immer schlagkräftiger. Dafür gibt es zwei Ursachen: Einerseits fallen durch die lockere Pressung mehr Ballen als zum Beispiel bei Bodenheu an. Andererseits ist der Arbeitszeitbedarf beim Trocknen der Rundballen wesentlich höher als bei der Loseheubelüftung. Wird im Lohn gepresst, entfällt der Zeitbedarf für das Pressen, und die Verfahren schneiden ungefähr gleich ab.

Die entscheidende Folgerung ergibt sich aus der Abnahme der Arbeitszeit bei zunehmender Fläche: Allein durch die Ernte grösserer Flächeneinheiten spart man mehr als ein Drittel Zeit ein. Mit einer klein dimensionierten Anlage lässt sich dieser Effekt nicht ausnutzen.

In Abbildung 14 sind auf Basis der arbeitswirtschaftlichen Werte die variablen Kosten für die Varianten Pressen im Lohn, Pressen mit eigener Presse sowie eigener Ladewagen abgebildet. Neben dem erwarteten hohen Kostenblock für das Pressen im Lohn (locker gepresst = viele Ballen) fallen vor allem die Energiekosten der Rundballentrocknung ins Gewicht. Die Loseheubelüftung schneidet durch den Einsatz von Sonnenkollektoren wesentlich besser ab.

Ein umgekehrtes Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Festkosten von Anlagen ähnlicher Leistung bei Neuanschaffung (s. Abb. 15). Bei vorhandener Bauhülle wird für die Rundballentrocknung lediglich die Anlage benötigt. Das Handling der Ballen ist über den vorhandenen Frontlader abgedeckt. Bei einem Heustock kommen zum vorhandenen Gebäude noch Einwandung, Gebläse, Regelung und Sonnenkollektoren hinzu. Eine Greiferanlage ermöglicht ein den Rundballen im Hinblick auf Arbeitskomfort und Arbeitszeit ähnliches Ein- und Auslagern. Der Investitionsbedarf für die Lose-

**Schlussfolgerungen**

heubelüftung ist damit zwar höher, es kann aber früher eingefahren sowie schneller und mit weniger Energieeinsatz getrocknet werden.

Gesamthaft sind die Gesamtkosten pro Schnitthektar beim Ernteverfahren Lose-

heu niedriger als bei Rundballen (Abb. 16). Wie bei der Arbeitszeit fällt auch hier die Kostendegression durch die Bearbeitung grösserer Flächeneinheiten auf. Nur mit einem leistungsfähigen Belüftungsverfahren können entsprechende Flächen geerntet werden.

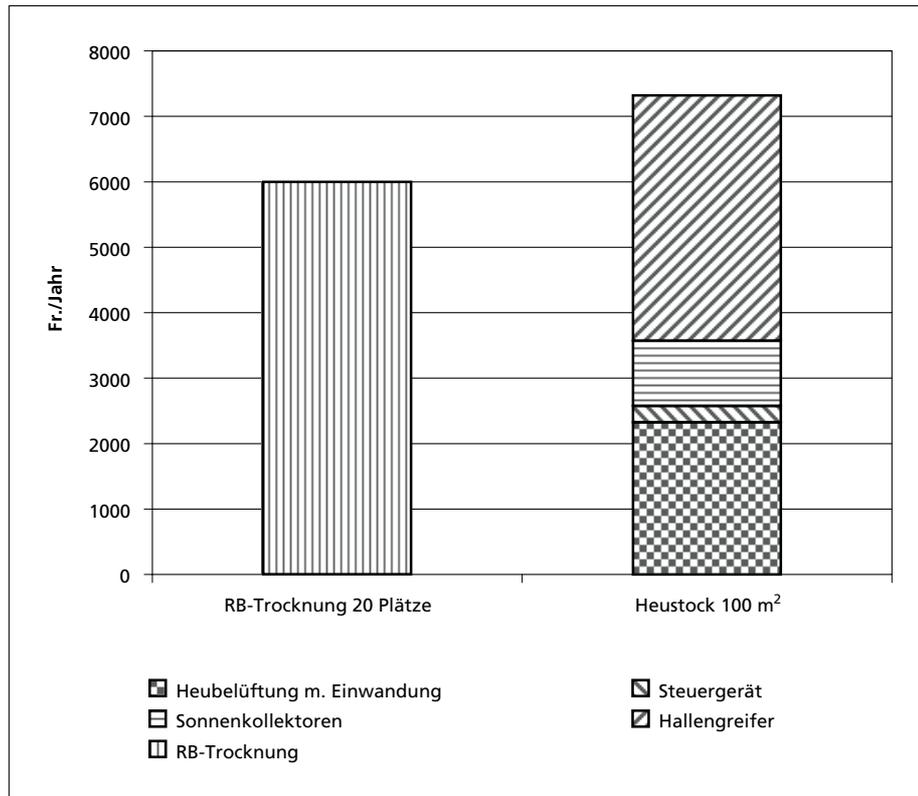


Abb. 15: Fixe Kosten/Jahr für Trocknung von Rundballen und Loseheu – Annahmen: Bauhülle/Lagerraum steht zur Verfügung. Bei Rundballentrocknung nur Anlagenkosten, Ein- und Auslagern mit vorhandenem Frontlader mit Ballenzange → in variablen Kosten enthalten.

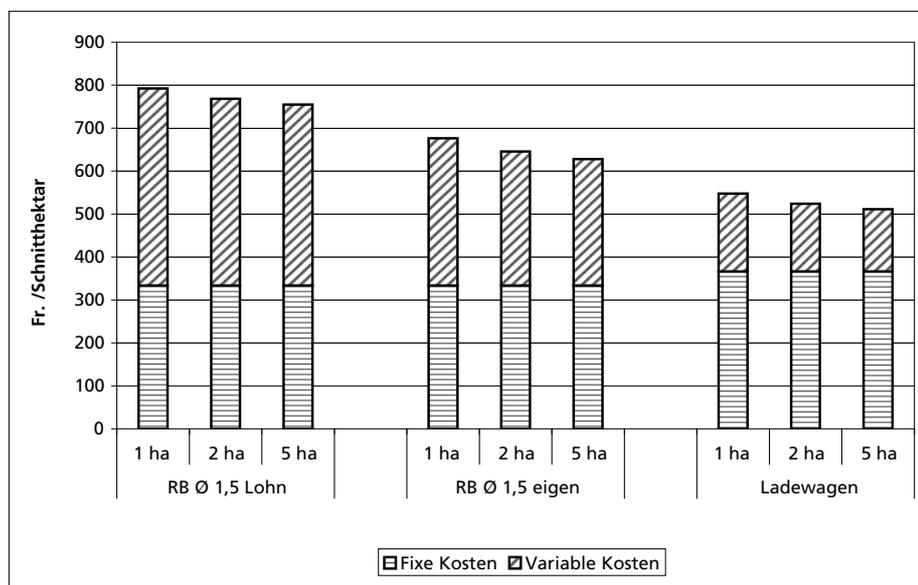


Abb. 16: Gesamtkosten/Schnitthektar für die Ernteverfahren Rundballen im Lohn, eigene Presse und Ladewagen – Annahme: Fixe Kosten auf Schnittfläche von 20 ha verteilt.

Bei der Anschaffung einer Rundballenbelüftung sind die Einschränkungen hinsichtlich maximaler Feuchte des Ernteguts, Trocknungsgeschwindigkeit und ungleichmässiger Abtrocknung zu beachten. Aufgrund des absätzigen Verfahrens entsprechen die täglichen Erntemengen der Trocknungsleistung der Anlage. Die Futterernte läuft bei kleineren Anlagen kontinuierlich mit kleineren Mengen über einen längeren Zeitraum hinweg. Die Ballen müssen sorgfältig gepresst, umgeschlagen und belüftet werden, um eine hohe Heuqualität zu erreichen. Die getesteten Anlagen eignen sich mit ihrem Leistungsvermögen eher für kleinere Betriebe. Bei geforderten höheren Flächenleistungen sollte eine Kapazität von 16 und mehr Trocknungsplätzen vorhanden sein.

Wo bisher erfolgreich Loseheu mit dem Ladewagen auf einen mit Entnahmetechnik ausgestatteten Heustock eingefahren wurde und die Lagerkapazitäten ausreichen, kann dies beibehalten werden. Solange für die vorhandene Technik keine Ersatzbeschaffungen nötig sind, sprechen weder arbeits- noch betriebswirtschaftliche Aspekte für einen Wechsel. Die Ernte mit dem Ladewagen wie auch die Trocknung mit der Loseheubelüftung sind schlagkräftig und die Kosten niedrig. Falls zum Beispiel im Strohbereich mit Rundballen gearbeitet werden soll, bietet sich das Pressen durch einen Lohnunternehmer, die Anschaffung eines Frontladers und allenfalls eines Ballenverteilers an.

Wo der Lagerraum zum Beispiel wegen einer Bestandserweiterung nicht mehr ausreicht, kann auf eine Kombination von Loselagerung und Rundballen gesetzt werden. In Schönwetterperioden wird das Heu bodengetrocknet und gepresst, auf die Belüftung kommt nur noch feuchtes Futter.

Bestehende bauliche Einrichtungen und das Potential vorhandener Maschinen und Geräte können so besser genutzt werden. Ein die Verfahrensleistung mindernder, die Arbeitszeit und Wirtschaftlichkeit negativ beeinflussender Engpass durch eine ungenügende Trocknungskapazität wird vermieden.

## Literatur

Ammann H., (2003): Maschinenkosten 2004, FAT-Bericht 603.

Baumgartner J., (1996): Ballentrocknen um jeden Preis, Agroscope FAT Tänikon.

Baumgartner J., (1991): Die Heubelüftung von A bis Z, FAT-Bericht 406.

GVL, (1995): Brandverhütung in der Landwirtschaft. Gebäudeversicherung des Kantons Luzern, Weisungsblatt 8/1.

Gindl G., (2002): Zeitgemässe Heubereitung und Heuqualität in der Praxis. BAL Gumpenstein, 8. Alpenländisches Expertenforum 9.-10.04.2002.

Luder W., (1996): Wetterrisiko und verfügbare Feldarbeitstage in der Schweiz, FAT-Bericht 490.

Luder W., (2002): Betriebswachstum im Berggebiet: Heuernte neu organisieren. Agrarforschung 9(10).

Mouchet P. A., (1998) : Trocknung von Rundballen. FAT-Weiterbildungskurs für Baufachleute 26./27.11.1998.

Nydegger F., (2001): Heutrocknung – Fünf Verfahren im Vergleich. Agroscope FAT Tänikon.

Schick M. et al. (2002): Arbeitswirtschaftliche Kennzahlen zur Raufutterernte, FAT-Bericht 588.



Anfragen über das behandelte Thema und über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführten Berater für Landtechnik zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei der FAT (CH-8356 Tänikon) angefordert werden. (Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90).

E-Mail: [doku@fat.admin.ch](mailto:doku@fat.admin.ch), Internet: <http://www.fat.ch>

- ZH** Merk Konrad, Strickhof,  
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 11  
Blum Walter, Strickhof,  
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 11
- BE** Jutzeler Martin, Inforama Berner Oberland,  
3702 Hondrich, Telefon 033 654 95 45  
Marti Fritz, Inforama Rütli und Waldhof,  
3052 Zollikofen, Telefon 031 910 52 10  
Hofmann Hans Ueli, Inforama Schwand,  
3110 Münsingen, Telefon 031 720 11 21
- LU** Moser Anton, LBBZ Schüpfheim,  
6170 Schüpfheim, Telefon 041 485 88 00  
Hodel René, LMS,  
6276 Hohenrain, Telefon 041 914 30 05  
Widmer Norbert, LMS,  
6276 Hohenrain, Telefon 041 914 30 77
- UR** Landw. Beratungsdienst, Aprostr. 44,  
6462 Seedorf, Telefon 041 871 05 66
- SZ** Landolt Hugo, Landw. Schule Pfäffikon,  
8808 Pfäffikon, Telefon 055 415 79 22
- OW** Müller Erwin, BWZ Obwalden,  
6074 Giswil, Telefon 041 675 16 16  
Landwirtschaftsamt, St. Antonistr. 4,  
6061 Sarnen, Telefon 041 666 63 58
- NW** Wolf Franz, Landwirtschaftsamt,  
Kreuzstr. 2, 6371 Stans,  
Telefon 041 618 40 07
- GL** Amt für Landwirtschaft, Postgasse 29,  
8750 Glarus, Telefon 055 646 67 00
- ZG** Gut Willy, LBBZ Schluechthof,  
6330 Cham, Telefon 041 784 50 50  
Furrer Jules, LBBZ Schluechthof,  
6330 Cham, Telefon 041 784 50 50
- FR** Kilchherr Hansruedi, Landw. Schule Grangeneuve  
1725 Posieux, Telefon 026 305 58 50
- SO** Wyss Stefan, Landw. Bildungszentrum Wallierhof,  
4533 Riedholz, Telefon 032 627 09 62
- BL** Ziörjen Fritz, Landw. Zentrum Ebenrain,  
4450 Sissach, Telefon 061 976 21 21
- SH** Landw. Beratungszentrum Charlottenfels,  
8212 Neuhausen, Telefon 052 674 05 20
- AI** Inauen Bruno, Gaiserstrasse 8,  
9050 Appenzell, Telefon 071 788 95 76
- AR** Vuilleumier Marc, Landwirtschaftsamt AR,  
9102 Herisau, Telefon 071 353 67 56
- SG** Lehmann Ueli, LBBZ Rheinhof,  
9465 Salez, Telefon 081 758 13 19  
Steiner Gallus, Landw. Schule Flawil,  
9230 Flawil, Telefon 071 394 53 53
- GR** Föhn Josef, Landw. Schule Plantahof,  
7302 Landquart, Telefon 081 307 45 25
- AG** Müri Paul, Berufsbildung, Weiterbildung  
und Beratung Liebegg,  
5722 Gränichen, Telefon 062 855 86 27
- TG** Baumgartner Christof, Fachstelle  
Beratung und Landtechnik, Amriswilerstr. 50,  
8570 Weinfelden, Telefon 071 622 10 23
- TI** Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola,  
6501 Bellinzona, Telefon 091 814 35 53

Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Abt. Landtechnik, 8315 Lindau, Telefon 052 354 97 58

Die FAT-Berichte erscheinen in zirka 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 50.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: FAT, CH-8356 Tänikon. Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90.

E-Mail: [doku@fat.admin.ch](mailto:doku@fat.admin.ch) – Internet: <http://www.fat.ch> – Die FAT-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports FAT» erhältlich. – ISSN 1018-502X.