



Ökologische Heutrocknung mit dem AGRIFRIGOR™-Verfahren (Entfeuchter)

von Ralph E. Kolb

www.frigortec.com



© FrigorTec GmbH

Ökologische Heutrocknung mit dem AGRIFRIGOR™-Verfahren (Entfeuchter).

Heu ist eines der wichtigsten Futtermittel für Tiere wie z.B. Rinder, Pferde, Schafe, Ziegen und Kamele. Für tausende von Milchbauern ist eine gute Milchqualität und -menge, die von der Futterqualität abhängen, von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Jährlich können viele Tonnen schlechtes Heu lediglich als Streueinlage verwendet werden, da es als Futter nicht mehr zu gebrauchen ist. In Zeiten, wo die die Kraftfutterpreise, insbesondere bei Eiweißkraftfutter, immer weiter steigen, wird die Heuqualität zum Wirtschaftsfaktor – auch bei der Pferdezucht.

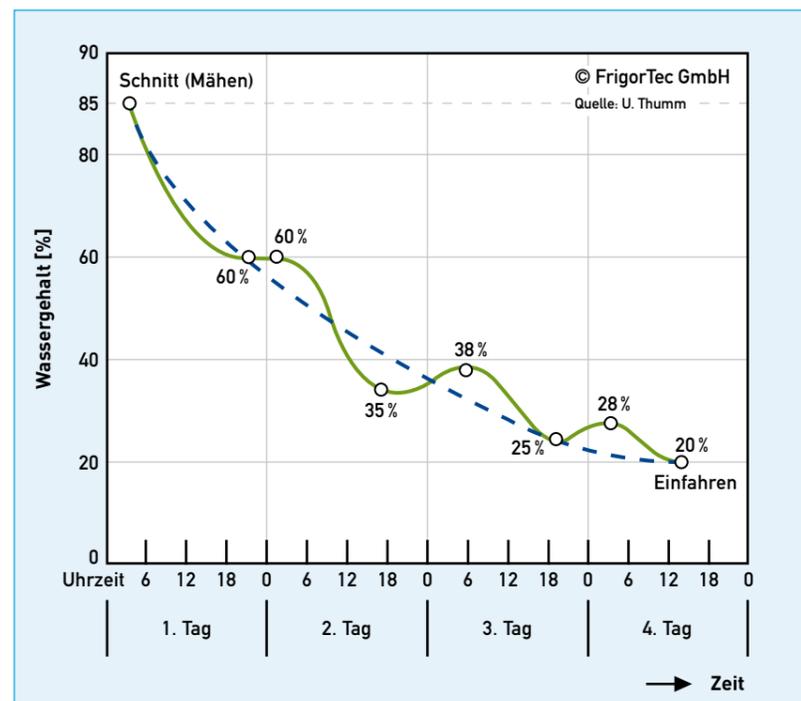
Mit AGRIFRIGOR™ zur besten Heuqualität

Das Wetter ist und bleibt bei der Erzeugung von Heu ein entscheidender Faktor. Doch Wetterwechsel treten tendenziell häufiger auf – deshalb ist eine technische Anlage zur Heutrocknung mit Entfeuchtung heutzutage unabdingbar. Sie gibt dem Landwirt Planungs- und Qualitätssicherheit. Mit dem AGRIFRIGOR™-Verfahren wird Heu unabhängig vom Wetter getrocknet und in bester Qualität erzeugt:

- kaum Bröckel- und Atmungsverluste.
 - mit vermindelter Pilz- und Bakterienvermehrung durch die schnelle Trocknung auf einen lagerstabilen Wert (4).
 - mit verminderter Brandgefahr, die wegen unzureichend getrockneten Heus entstehen kann.
- Die Tiere erhalten somit gutes, gesundes Futter und dies bewirkt bei Rindern eine hohe Milch- und Fleischqualität.

Weitere Faktoren für gute Heuqualität – die Heuwerbung

Eine gute Wiese mit Gräsern, Klee und Wiesenkräutern ist neben dem optimalen Schnitzeitpunkt die wichtigste Grundvoraussetzung für eine gute Heuqualität mit einem hohen Proteingehalt und einer hohen Energiedichte (2). Bei der Heuwerbung auf dem Feld müssen das Zetten und Schwaden optimal durchgeführt werden. Dies gilt



1 Feuchteverlauf bei Bodentrocknung von Heu

für den jeweiligen Zeitpunkt sowie für die Einstellungen der Geschwindigkeit bzw. Drehzahl. Auch sollte nicht zu tief geschnitten werden. Dadurch werden Futtermittelverschmutzungen und Verluste deutlich reduziert. Verfügt ein Betrieb über eine technische Trocknungsanlage mit Luftentfeuchter, kann bis zu 20 Tage (2) früher gemäht bzw. geerntet werden. Diese Betriebe sind schlagkräftig und können kurze Sonnenfenster zum Anwelken nutzen.

Futterpflanzenbestände

In Mitteleuropa kommen etwa 3.000 unterschiedliche höhere Wiesenpflanzen vor. Davon sind etwa 1.000 Pflanzenarten, die je nach Klima, Sonnenausrichtung und Höhenlage vorkommen, für die Fütterung von Bedeutung. Die Arten unterteilen sich in Gräser (Süßgräser und Sauergräser wie z.B. Knautgras, Goldhafer, Wiesen-schwengel, Wiesenfuchsschwanz,...) Leguminosen (Klee- und kleeartige Pflanzen wie z.B. Rotklee, Weißklee, Luzerne,...) und Kräuter. Diese unterteilen sich weiter in Kräuter, Beikräuter und Unkräuter. Einige Unkräuter sind giftig, beeinflussen den Milchgeschmack negativ (z.B. Sumpfschachtelhalm, Aderfarn, Feigwurz, Herbstzeitlose,...) und werden daher bekämpft.

Heuwerbung / Bröckelverluste [19]

Die Heuwerbung wird als Bodentrocknung, Gerüsttrocknung oder technische Trocknung ausgeführt. Eine Gerüsttrocknung ist arbeitsintensiv und wird heute kaum noch durchgeführt. Die traditionelle Bodentrocknung hat einige Nachteile (z.B. Bröckelverluste und/oder Pilze). Das Hauptproblem ist aber wechselndes bzw. feuchtes Wetter. Verlässliche Sonnentage im richtigen Zeitraum sind kaum gegeben. Mit einer technischen Trocknung mit Entfeuchter kann bestes Heu wirtschaftlich und witterungsunabhängig produziert werden.



2 Stall mit Heustadel in Vorarlberg (Österreich)

Nutzungsart	Netto-TM-Ertrag t/ha (im Mittel)
Einschnittflächen	3 – 4,5
Zweischchnittflächen	4,5 – 5,5
Dreischchnittflächen	7 – 8
Mehrschnittflächen	8,5 – 10,5

Tab. 1: Netto – Trockenmasseerträge, ermittelt im österreichischen Grünland [8]

Herausforderung

Brösel- bzw. Bröckelverluste

Bei der Bodentrocknung von Futterpflanzen, insbesondere bei Leguminosen (Luzerne, Klee), entstehen erhebliche Brösel- oder Bröckelverluste. Zum einen durch die maschinelle Bearbeitung (Abreißen von Pflanzenteilen), zum anderen durch den Trocknungsgrad. Die Bröckel fallen zu Boden zwischen die Stoppeln und können von den Maschinen wie Presse oder Ladewagen nicht mehr aufgenommen werden. Bei einer Rundballenpressung gibt es zusätzlich bis zu 2,6% Bröckelverluste. In den abgefallenen Bröckeln (Blätter, Knospen etc.) sind wichtige Nährstoffe enthalten. Die Futter-Qualität hängt entscheidend von dem Energie-, Mineral- und Wirkstoffgehalt ab. Ist der Wert hoch, besteht eine hohe Grundfutterqualität, was zu hohen Milchleistungen und zu guter Tiergesundheit führt. Bröckelverluste werden gering gehalten, wenn das Heu mit über 60% TM zu einer Trocknungsbox gebracht wird.

Heutrocknungsverfahren im Vergleich

Am Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft (LFZ) Raumberg-Gumpenstein/ Österreich wurde ein Projekt durchgeführt, bei dem drei unterschiedliche Heutrocknungsverfahren untersucht wurden:

- die traditionelle Bodentrocknung,
- die Kaltbelüftung (nur ein Ventilator),
- die Luftentfeuchtertrocknung kombiniert mit einer Dachabsaugung (Unterdachvorwärmung bzw. solaren Vorwärmung).

Beste Testergebnisse:

Luftentfeuchtertrocknung

Dabei wurde u.a. festgestellt, dass die Luftentfeuchtertrocknung durchschnittlich 5g mehr Rohprotein in der Trockenmasse gegenüber Bodenheu erbrachte. Weiter bringt die Luftentfeuchtertrocknung mehr Trockenmasse, mehr Nettoenergie-Laktation und eine bessere Verdaulichkeit der organischen Masse als die beiden Vergleichsverfahren.

Das AGRIFRIGOR™-Verfahren – Vorteile:

- Wetterunabhängigkeit
- geringe Bröckel- und Atmungsverluste
- niedrige Pilzzahlen
- Brandgefahr ist deutlich reduziert
- mehr Proteingehalt, mehr Trockenmasse, mehr Netto-Energie-Laktation, bessere Verdaulichkeit

Ein weiterer wichtiger Vorteil der Luftentfeuchtertrocknung sind die niedrigen Pilzzahlen. Im Rahmen der Untersuchungen der LFZ Raumberg-Gumpenstein wurden durch die Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Linz (Österreich), mikrobiologische Untersuchungen durchgeführt (2). Dabei wurde festgestellt, dass sich Pilze bei bodengetrocknetem Heu stärker vermehren als bei technisch getrocknetem Heu. Pilze wie *Aspergillus glaucus* und *Walleimia sebi* können Heu innerhalb kurzer Zeit zum Verderb führen. Sie zeigen sich durch Staubigkeit und muffigen Geruch.

Heu – überall anders!

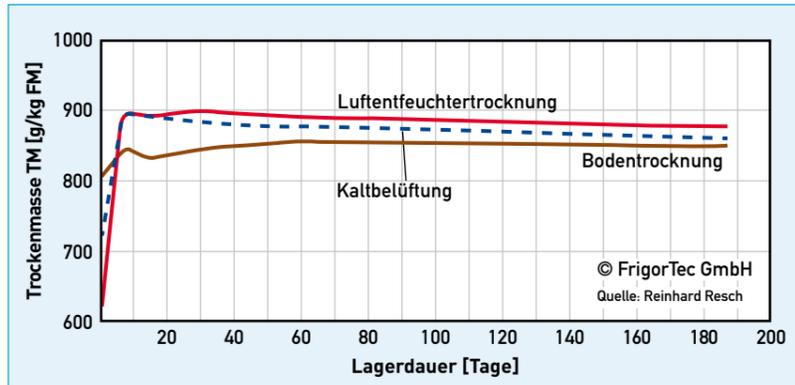
Als Heu wird gewöhnlich der erste Schnitt, die Heumahd bezeichnet. (Heumahd = mähen von Gras, das zu Heu getrocknet wird.) Der zweite Schnitt heißt Öhmd, Grummet, Emd oder Ettgrön. Alle weiteren Schnitte werden dritter, vierter Schnitt usw. bezeichnet. Nur regional gibt es für den dritten Schnitt Spezialbezeichnungen, z.B. im Salzburger Land "Woad", im Erzgebirge "Zweite Schur" und in Tirol "Pofel".

Bewertung der Heu-Qualität

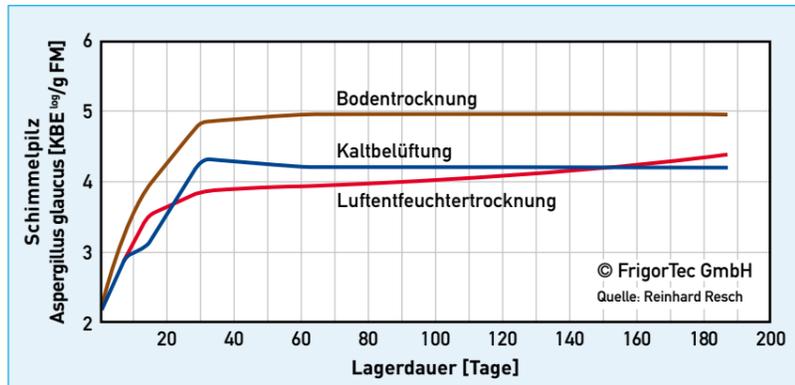
Bestes Heu hat nach den Definitionen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (16):

- eine olivgrüne Farbe (hellgrün bis dunkelgrün)
- riecht aromatisch (kein Brandgeruch, kein Fremdgeruch, nicht muffig)
- enthält Blattanteile (entsprechend dem Ausgangsmaterial)

Über eine sensorische Prüfung werden Geruch, Farbe und Gefüge des Heus beurteilt. Zur Beurteilung des Konservierungserfolges wird von bester Futterqualität des Grünschnitts ausgegangen und nach der folgenden Bewertung Abzüge gemacht.



3 Einfluss unterschiedlicher Trocknungsverfahren auf den Trockenmassegehalt TM (2)



4 Unterschied verschiedener Trocknungsverfahren auf die Entwicklung des Schimmelpilzes *Aspergillus glaucus* (2)

Der Mehrwert für den Landwirt bei technischer Trocknung:

- größere Planungs- und Qualitätssicherheit
- bessere Heuqualität
- bessere Tiergesundheit
- hohe Milch- und Fleischqualität
- Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Betriebes

Energiekonzentration des Grünfutters (16)

Nutzungsstadium 1. Aufwuchs	(MJ/kg TM) im Grünfutter	
	ME*	NEL*
Blattstadium	11,6	7,1
Schossen	11,2	6,8
Ähren-, Rispenschieben	10,65	6,4
Beginn Blüte	10,1	6,0
Ende Blüte	9,75	5,7
Folgeaufwuchs Alter		
Blattstadium < 4 Wochen	10,7	6,5
Schossen 4 – 5 Wochen	10,5	6,3
Ähren-, Rispenschieben 6 – 8 Wochen	10,1	6,0
Beginn Blüte > 8 Wochen	9,7	5,7

* bei hohen Anteilen von feinblättrigen / grobstängeligen Gräsern / Kräutern sind Zu- bzw. Abschläge von 5% vorzunehmen.



5 Gutes Heu

Abzug gibt es nach folgenden Bewertungen:	
Farbe (Prüfung auf Niederschlags- und Hitzewirkungen sowie Schimmel)	
Ausgeblichen oder schwach gebräunt	2
Stark ausgebleichen oder stark gebräunt	5
Sichtbarer Schimmel	7
Geruch (Prüfung auf Schimmelbefall oder Hitzeeinwirkung)	
Fad oder schwach brandig oder Fremdgeruch	2
Muffig, dumpf oder stärker brandig	5
Stark muffig oder stark brandig	7
Struktur (Prüfung auf unzureichende mechanische Behandlung)	
Blattarm (Blätter noch überwiegend vorhanden)	3
Sehr blattarm (Blätter noch teilweise vorhanden)	6
Fast nur Stängel, strohartig	9

Beurteilung der Trocknung				
Summe Punkte für			Wertminderung* gegenüber Grünfutter in MJ/kg TM	
Qualitätsabzug	Note	Urteil	ME	NEL
0	1	sehr gut	0,8	0,5
2 – 3	2	gut	1,0	0,6
4 – 5	3	verbesserungsbedürftig	1,2	0,7
6 – 8	4	schlecht	1,4	0,9
> 8	5	sehr schlecht	> 1,4	> 0,9

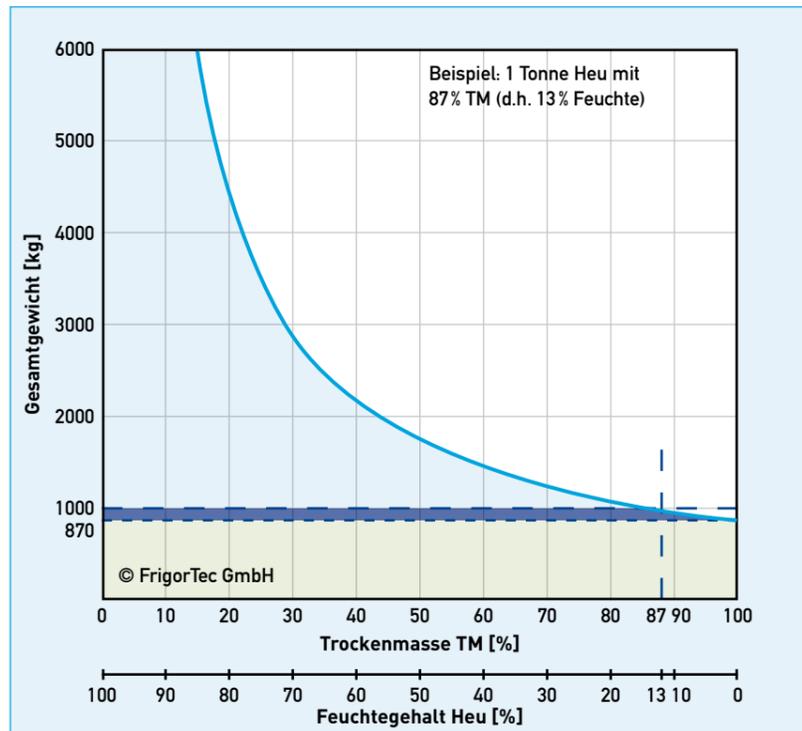
* Werte gelten für Bodenheu. Bei Belüftungsheu sind die Verluste um 0,2 bis 0,3 MJ NEL/kg TM niedriger

ME = metabolische (umsetzbare) Energie
NEL = Netto-Energie-Laktation (Laktation = Milchabgabe)

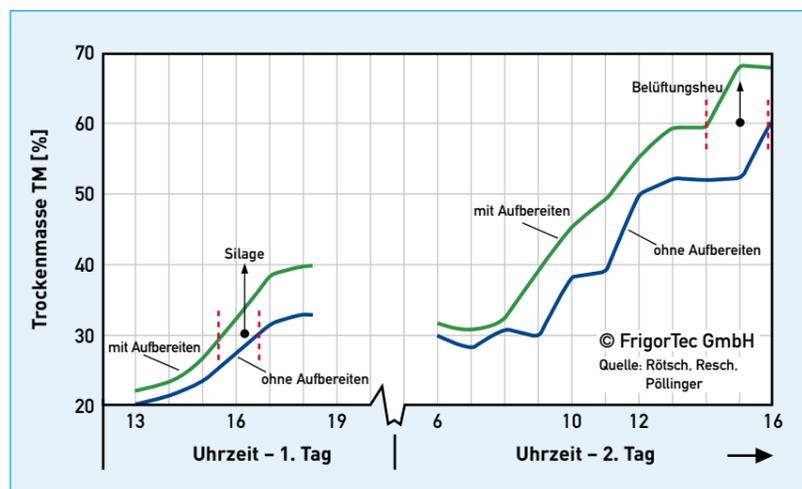
Zusätzlicher Qualitätsabzug durch Verschmutzung		
Heu über einer hellen Fläche kräftig schütteln und danach die Teilchen auf der Fläche beurteilen. Grüne Teilchen sind abgefallene Blatt- oder Halmteilchen, braune oder schwarze Teilchen sind Verunreinigungen durch Erde.		
	in MJ/kg TM	
	ME	NEL
Nur vereinzelt Schmutzteilchen oder Steinchen		
mehr grüne als braune Teilchen	0,3	0,2
regelmäßig verteilte Schmutzteilchen (Sandkörner, Erdteilchen) oder kleine Steinchen	0,7	0,4
Starke Verschmutzung, Fläche übersät oder Erdteilchen größer	1,0	0,6
Struktur (Prüfung auf unzureichende mechanische Behandlung)		
Gesamtbewertung Heu		
Energiegehalt ME bzw. NEL		
	in MJ/kg TM	
Im Grünfutter (siehe separater Tabelle)	
Qualitätsabzug durch Trocknung	
Zusätzlicher Qualitätsabzug durch Verschmutzung	
Energiegehalt von Heu	

Halmheu	Blattheu	Wassergehalt %
Frisch geschnitten	Frisch geschnitten	70 – 80
Blätter welken, Farbe blässl, Stängel noch prall und grün	Blätter welken, Farbe blässl, Stängel noch prall und grün	50 – 70
Blätter noch weich, Stängel welken und blassen	Blätter noch weich, Stängel welken und blassen, Blattstiele noch zäh, noch keine Bröckelgefahr	40 – 50
Blätter beginnen zu rascheln, Stängel noch zäh, Farbe bereits einheitlich, Bröckelverluste beginnen	Blätter beginnen zu rascheln, Stängel noch zäh, Farbe bereits einheitlich, Bröckelverluste beginnen	30 – 40
Blätter bereits trocken, bei Nagelprobe kein Saftaustritt aus Stängel, akute Bröckelverlustgefahr	Blätter bereits trocken, bei Nagelprobe kein Saftaustritt aus Stängel, akute Bröckelverlustgefahr sehr groß, Blattstiele sehr brüchig	25 – 30
Stängel noch weich, bei Nagelprobe kein Saftaustritt, Bröckelgefahr groß	Stängel noch weich, bei Nagelprobe kein Saftaustritt, Bröckelgefahr sehr groß, Blattstiele sehr brüchig	20 – 25
Stängel sperrig, Stängel bricht mit glattem Bruch, Bröckelverlustgefahr sehr groß	Stängel sperrig, Stängel bricht mit glattem Bruch, Bröckelverlustgefahr sehr groß, Blattstiele sehr brüchig	< 20

Tab. 2: Feuchtigkeitsbewertung für Heu (5)



6 Abzutrocknender Wasseranteil und Trockenmasse



7 Trocknungsverhalten von Wiesengräsern (9)

Vortrocknung (Anwelken) auf dem Feld ist wichtig (4)

Frisch geschnittenes Grünfutter enthält etwa 80% Wasser, hat also lediglich 20% Trockensubstanz TM (Trockenmasse). Nach einem Tag Sontentrocknung auf dem Feld beträgt der Wasseranteil noch etwa 40%, d.h. der Trockenmasseanteil beträgt etwa 60%. Mit einem Trockenmasseanteil von 60% bis 70% kann das angewelkte Gras in die Trocknungsbox bzw. Heubox eingetragen werden.

Trocknungsverhalten von Wiesengras

Unmittelbar nach dem Schnitt schließen sich die Spaltöffnungen (Stomata) an der Unterseite der Blätter und dadurch vermindert sich die Trocknungsgeschwindigkeit (8). Durch den Einsatz von Aufbereitern wird die Wachsschicht des Futters abgerieben und ein lockeres Schwad abgelegt. Dadurch erhöht sich die Trocknungsgeschwindigkeit. Ergänzend entfällt durch diesen Arbeitsschritt ein weiterer Durchgang mit einem Zettwender, was Bröckel- und Atmungsverluste reduziert.

Anwendungsbereiche für ökologische Heutrocknung mit AGRIFRIGOR™

Angesichts der Fülle von verschiedenen Agrarprodukten werden hier lediglich die wichtigsten Anwendungen kurz beschrieben.

Luzerne

Luzerne gehören zu den Leguminosen (Hülsenfrüchte) und sind wegen ihres hohen Mineralstoff- und Eiweißgehalts eine wichtige Futterpflanze speziell für Pferde.

Bei Luzernen besteht immer die Gefahr hoher Bröckelverluste, die mit dem AGRIFRIGOR™ minimiert werden können. Es dauert länger, um Luzerne zu trocknen, da die Stängel im Vergleich zu Grasstängeln sehr dick sind. Dies ist bei der Hoflogistik zu beachten.

Hopfen

Die richtige Luftgeschwindigkeit bei der Trocknung von Hopfen ist Voraussetzung für eine optimale Trocknungsleistung und eine hohe Energieeffizienz (11). Zu hohe Luftgeschwindigkeiten führen – aufgrund der unterschiedlichen Dichte des Hopfens – zu einer ungleichmäßigen Trocknung und erhöhen den Energieverbrauch, da die durchströmende Luft nicht ausreichend Zeit hat, Feuchtigkeit aufzunehmen. Zu niedrige Luftgeschwindigkeiten dagegen verlängern die Trocknungszeit und verringern die Trocknungsleistung.



8 Luzernefeld im Oldenburger Land

Kräuter und Teeblätter

Kräuter und Teeblätter müssen schonend getrocknet werden. Aufgrund der geringen Temperaturunterschiede zwischen der Trocknungsluft und den Kräutern ist eine Wärmepumpe dafür gut geeignet.

Milchkuhhaltung

Beste Heuqualität bringt eine gute Milchleistung und -qualität und trägt wesentlich zur Tiergesundheit bei (17):

- Heu regt Kühe zum Wiederkauen an.
- Heu bewirkt bei Kälbern ein gutes Fressverhalten mit großem Pansenvolumen.
- Heu beugt Stoffwechselerkrankungen vor.

- Gutes Heu braucht keinen Lockstoff wie zum Beispiel Melasse o.ä., dessen Zugabe in Hartkäseerzeugnissen verboten ist.

Qualitätserhöhung der Milch durch beste Grundfutter-Qualität

Die Futterqualität entscheidet wesentlich über die Fressleistung der Tiere. In etwa können mit jedem Kilogramm Heu etwa 0,75 kg Kraftfutter eingespart werden (3). Heu enthält keine Gärssäuren wie sie bei Silage vorhanden sind, enthält aber einen höheren Anteil an unabgebautem Protein (UDP). Ein Rind verwendet im Darm nutzbares Rohprotein (nXP), das sich aus dem UDP, welches im Pansen nicht abgebaut wird und aus dem im Pansen abgebauten NPN (Nicht-Protein-Stickstoff) bzw. Ammoniak zusammensetzt. Beide sind für das Tier im Dünndarm nutzbar.

Schafe

Schafe müssen genügend Eiweiß- und Energiegehalt im Futter vorfinden. Die technische Heutrocknung garantiert diese notwendige hohe Heuqualität für Tiergesundheit und -hygiene. Es sollte wenig Silage, täglich mit Eiweißergänzung und Heu angeboten werden. Ständig sollte frisches Wasser bereitgestellt werden.



9 Tettlinger Hopfgarten



10 Kälberbox

Ziegen

Ziegen sind Wiederkäuer, wählerisch, und suchen Kräuter und Blätter. Ziegen sollte ganzjährig Heu angeboten werden (16), zwei- bis dreimal täglich. Achtung: Bei schlechten Silagen besteht die Gefahr der Listerioseerkrankung.

Pferde

Heu ist, laut Prof. Ellen Kienzle von der Ludwig-Maximilians-Universität München, das wichtigste Nahrungsmittel für Pferde (14). Nach einer Faustregel benötigt ein 650 kg schwerer Warmblüter etwa 10 kg Heu täglich, gutes Heu! Das sind etwa 1,5 kg Heu je 100 kg Körpergewicht. Heu für Pferde soll mindestens 20 % Rohfaser beinhalten, dies fördert die Verdauung. Da es lange dauert, bis ein Pferd seine Heurration gefressen hat, ist dies für Pferde,

die in Boxen stehen, ein wichtiger Zeitvertreib. Gutes Heu hat wenig Staubanteile, was bezüglich Allergien oder für die allgemeine Tiergesundheit bei Tieren in Boxen von großer Wichtigkeit ist.

Bei einer üblichen Tagesration von Reitpferden, (die etwa 600 kg Körpergewicht haben), nimmt das Heu eine wichtige Stellung ein, sowohl was den Eiweißanteil als auch die Trockenmasse betrifft. Speziell bei Heu für Pferde ist der Schnitzeitpunkt sehr wichtig, denn mit der Länge eines Halms ändert sich auch dessen Rohfasergehalt. Bei zu langem Obergras ist meist Lignin eingelagert. Ein Pferd kann aber im Dickdarm dieses Lignin nicht abbauen. Dadurch könnte es zu gefährlichen Koliken kommen.

Tagesration für ein Reitpferd mit 600 kg Gewicht (15) (DLG-Tabelle)				
Futtermittel	Menge	Trockenmasse	verdaul. Eiweiß	Energie
	kg	kg	g	MJDE
Heu	5	4,3	270	40
Weizenstroh	1,5	1,3	14	7,1
Hafer	3	2,7	255	34,6
Gerste	1,5	1,3	131	19,3
Möhren	2	0,2	18	3,3
Gesamt		9,8	688	104

Anmerkung: MJDE Mega Joule Digesible Energie (leicht verdauliche Energie)

Technische Heutrocknung

Eine technische Heutrocknung durch das AGRIFRIGOR™-Verfahren bringt nachweislich hervorragende Heuqualität: Farbe, Geruch, Struktur, Verschmutzungsgrad und Energiekonzentration weisen hervorragende Werte auf.

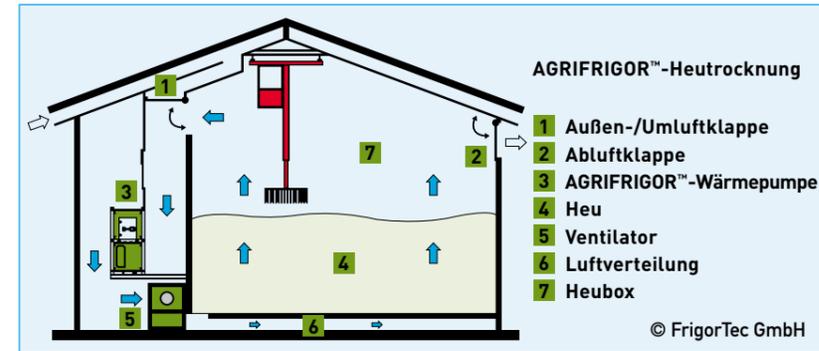
Und insbesondere dann, wenn das Wetter nicht mitspielt bzw. die günstigen Wetterbedingungen (Sommer) vorbei sind, können Betreiber mit dem AGRIFRIGOR™ die Qualität aufrecht erhalten.

Bei der Auslegung der Entfeuchtung wird gewöhnlich der „letzte Schnitt“, aber auch der erste Schnitt betrachtet. Doch spielen bei der Konzeption einer Heutrocknungsanlage alle individuellen Bedingungen des Betriebes / Hofes eine Rolle!

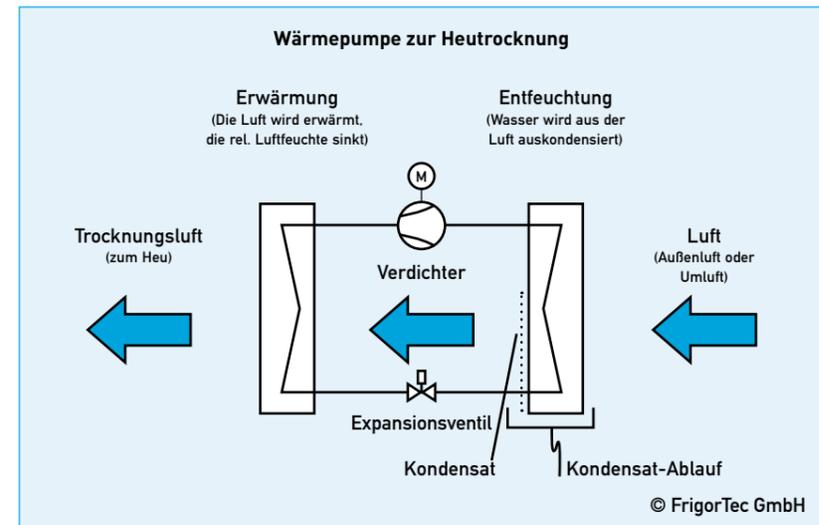
Wärmepumpe (Entfeuchten und Erwärmen)

Verfahrenstechnisch bewirkt eine Wärmepumpe bei der Heutrocknung gleich zwei Arbeitsschritte. Im sogenannten Verdampfer wird die Luft entfeuchtet. Wasser wird kondensiert und über einen Kondensatschlauch abgeführt. Anschließend wird die Luft erwärmt. Dadurch sinkt die relative Luftfeuchtigkeit um etwa 5% rel. Feuchte je Grad Celsius Erwärmung.

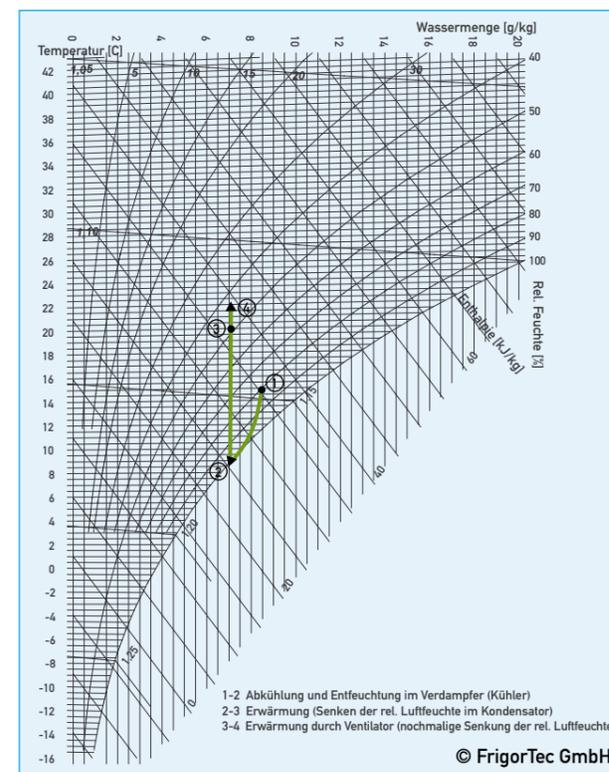
Eine Wärmepumpe, die entfeuchtet und erwärmt, ist sehr effektiv und erreicht eine hohe Leistungszahl, einen hohen Coefficient of Performance (COP). Der COP beschreibt die Effizienz einer Kältemaschine bzw. einer Wärmepumpe. Er drückt das Verhältnis von Wärmeleistung und Stromverbrauch unter bestimmten Bedingungen aus. Eine korrekte Bewertung einer Wärmepumpe ist lediglich mit den tatsächlichen Werten möglich. Theoretische Angaben, die maximal erreichbare Werte zeigen, werden in der Praxis nicht eintreffen und sind deshalb unbrauchbar.



11 AGRIFRIGOR™-Verfahren zur Heutrocknung mittels Wärmepumpe bzw. Entfeuchter



12 Verfahren der Wärmepumpe zur Luftentfeuchtung



13 Prozess der Wärmepumpe im Mollier-h-x-Diagramm



14 Wärmepumpe (Entfeuchter), Werksbild FrigorTec

Hydraulisch wird im Kältekreis ein Bypass eingebunden, der bei drohender Vereisung die Temperatur im Kältekreis (Verdampfer) kurz anhebt. Eine Vereisung wird automatisch beim AGRIFRIGOR™ verhindert, damit die Anlage nicht permanent kontrolliert werden oder gar über längere Zeit abgetaut werden muss.

Seitens der Luftführung kann die AGRIFRIGOR™-Wärmepumpe (Entfeuchter) immer mit dem gesamten Luftstrom (Hauptstrom) beaufschlagt werden. Wird lediglich ein Teilstrom (Nebenstrom) über die Wärmepumpe geführt, kann ein zusätzlicher Ventilator (Hilfsventilator) erforderlich sein.

Betrieb (Umluftbetrieb / Außenluftbetrieb)

Bei der Ausführung der Anlage ist vorzusehen, dass ein Außenluftbetrieb und ein Umluftbetrieb möglich sind. Auch ein Mischbetrieb ist möglich, der sich bei undichten Gebäuden ohnehin von selbst einstellt. Das Umschalten der dafür erforderlichen Klappen kann manuell oder automatisch mit Antrieben erfolgen. Bei feuchter Witterung bzw. bei niedrigen Außentemperaturen werden die Klappen auf Umluftbetrieb gestellt. In allen anderen Fällen wird

auf Außenluftbetrieb umgestellt. Ein Umluftbetrieb ist nur dann möglich, wenn ein Entfeuchter vorhanden ist. Der Ventilator sollte nach dem Erreichen lagerstabiler Verhältnisse (etwa 87% TM) noch für einige Tage stundenweise in Betrieb sein (bei trockenem Wetter -> rel. Feuchte < 55%), um den Austrag eventueller Restfeuchte sicherzustellen.



15 Abluftklappe



16 Umluftklappe



17 Endlagenschalter Luftklappe

Parameter bei der Auslegung einer Heutrocknungsanlage:

- Wie viel Hektar (ha) Wiesenfläche stehen zur Verfügung?
- Wieviel Schnitte sind möglich? Beispielsweise werden im Bodenseeraum bis zu 7 Schnitte geerntet, in Südtirol auf 1.500 m Höhe über N.N. sind lediglich 2 maximal 3 Schnitte per anno möglich.
- Wieviel Personal und welche Bergetechnik (Ladewagen) stehen zur Verfügung?
- Wieviel Großvieheinheiten (GV) müssen versorgt werden?
- Sind Biokriterien einzuhalten?
- Welche Höhenlage hat der Standort und welche klimatischen Verhältnisse herrschen vor?
- Dient die gewünschte Heumilch zur Käseherstellung?

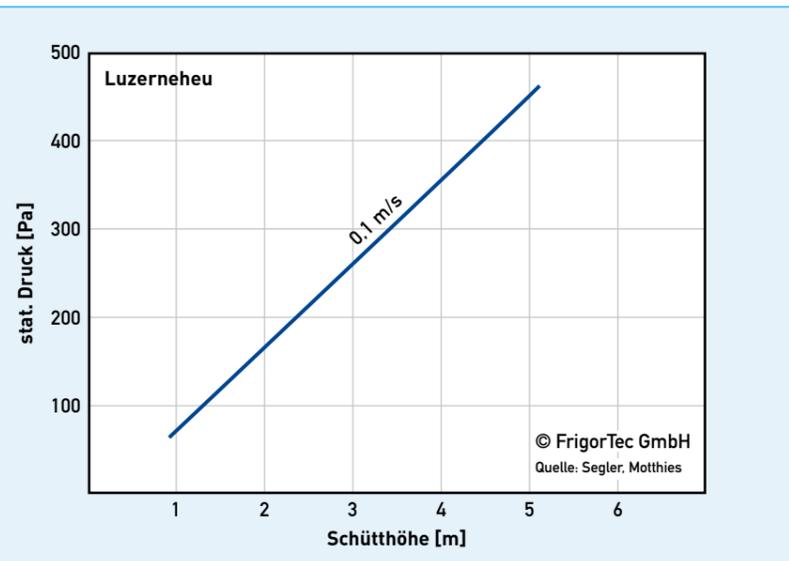
Die Steuerung

Eine Heutrocknungsanlage kann mit einer einfachen Steuerung und Handklappen betrieben werden. Es ist aber auch möglich, zur Unterstützung Feuchte- und Temperaturfühler in der Anlage zu installieren und alle Klappen mit Antrieben auszustatten. Zum Einsatz kommen Zahngestänge, Seilzüge, hydraulische Zylinder oder Elektromotoren.

Optional ist auch eine komfortable Steuerung erhältlich: Die AGRIMAT Siemens S7 übernimmt alle Schaltvorgänge und ein Bildschirm zeigt den aktuellen Anlagenzustand an. Dies ist dann besonders sinnvoll, wenn mehrere Trocknungsboxen vorhanden sind. So bewahrt der Betreiber immer den Überblick. Auch eine Datenfernübertragung via Modem ist realisierbar.

Ventilator

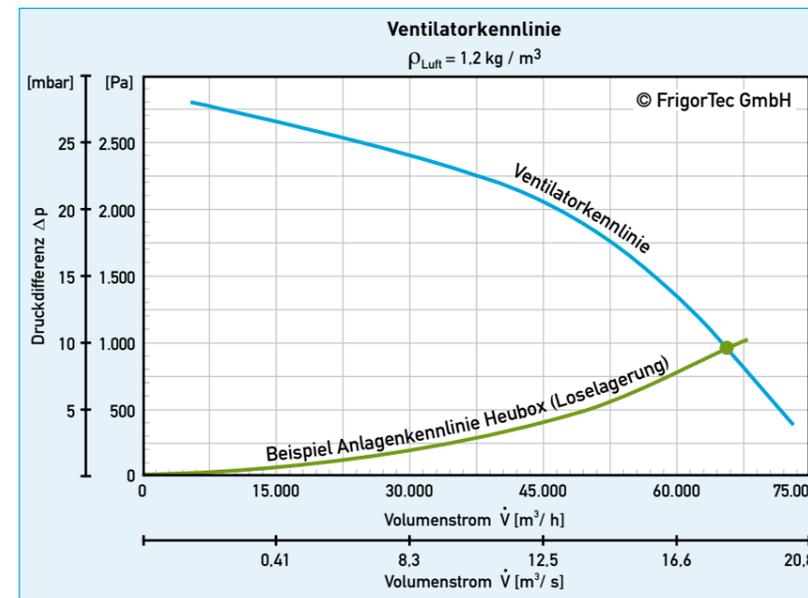
Um einen entsprechenden Druck aufzubringen, ist ein Radialventilator zwingend. Der Druck sollte etwa 1.200 Pa (12 mbar) bei einem ausreichenden Volumenstrom betragen. Bringt der Ventilator bei vermindertem Luftvolumenstrom eine hohen Druck auf, kann angewelktes Gras gut durchströmt werden. Bei der Luftgeschwindigkeit durch die Heubox werden 0,11 m/s angestrebt. Dadurch wird eine gute Schlagkraft gewährleistet. Zu hohe Luftgeschwindigkeiten fördern Kaminwirkungen und damit Luftverluste, insbesondere bei geringen Beschickungshöhen. Wenn ein Ventilator mit einer Frequenzregelung ausgestattet ist, lässt sich das System optimal regeln.



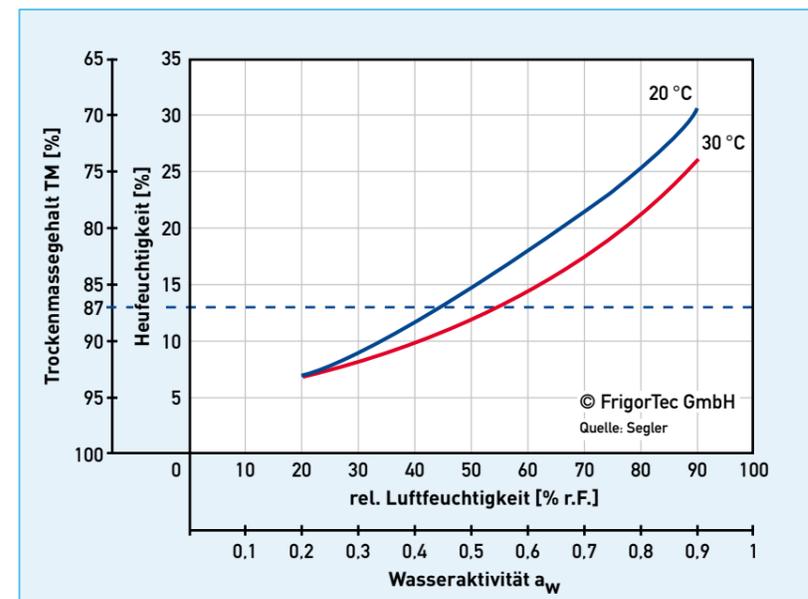
18 Druckverlust bei Luzerneheu (6)



19 Ventilator an einer Heubox (Werkbild Gerätebau Birk)



20 Kennlinie eines AGRIFRIGOR™-Ventilators



21 Sorptionsisotherme von Heu

Vorsicht bei Belüften mit Außenluft – ohne Entfeuchtung

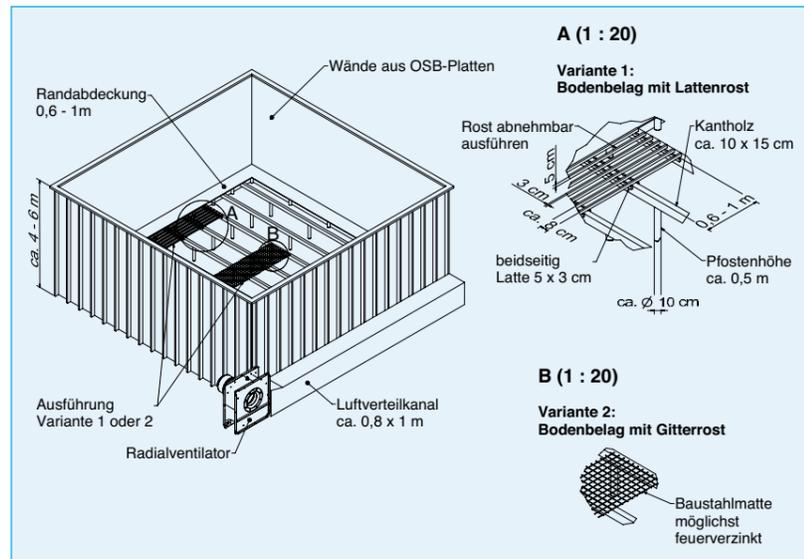
Eine Trocknung ist nur dann möglich, wenn der Partialdruck des Heus den Partialdruck der Luft übersteigt. Durch Entfeuchten und/oder Erwärmen steigt der Dampfdruck der Luft an und damit die Trocknungsmöglichkeit. In einer Sorptionsisotherme wird die Gleichgewichtsfeuchte eines Substrates (Heu) bei einer bestimmten Temperatur dargestellt. Im Gleichgewichtszustand wechselt kein Wasser von Heu zur Luft und umgekehrt (keine Wasseraufnahme/ keine Wasserabgabe). Vorsicht: Feuchte Luft würde Heu wieder anfeuchten, was dann zwangsläufig zu Schädigungen wie Pilz- und Bakterienentwicklung führen würde.

Merke: Niemals feuchte Luft auf trockenes Heu führen!

Die Wasseraktivität (a_w) ist ein Maß für frei verfügbares Wasser im Heu (oder in einem sonstigen Produkt). Der a_w -Wert ist ein wichtiges Maß bezüglich der Haltbarkeit von Lebensmitteln, da Mikroorganismen für den Stoffwechsel freies Wasser benötigen. Bei Mangel an freiem Wasser wird der Wachstumsprozess von Mikroorganismen verlangsamt. Der a_w -Wert ist das Verhältnis zwischen dem Wasserdampfdruck einer Substanz und dem Sättigungsdampfdruck von reinem Wasser bei gleicher Temperatur. Reines Wasser hat einen a_w -Wert von 1. Eine absolut trockene Substanz hat einen a_w -Wert von 0. Unter einem a_w -Wert von 0,6 findet keine Bakterien- und Schimmelpilzentwicklung statt. Bei steigendem a_w -Wert steigt auch die Reaktionsgeschwindigkeit von Vitaminen, was zum Abbau der Vitamine führt. Auch deshalb ist es also wichtig, den a_w -Wert niedrig zu halten. So muss die relative Luftfeuchtigkeit der zugeführten Luft bei einem Heu mit 85% Trockenmasse TM und einer Temperatur von 20 °C unter 50% sein. Beträgt die Temperatur des Heus lediglich etwa 10 °C darf die relative Luftfeuchtigkeit der zugeführten Luft maximal 43% betragen.

Solare Unterdachvorwärmung

Bei den meisten Gebäuden ist es möglich, die Energie der Sonneneinstrahlung durch eine geeignete Luftführung (unter dem Dach) auszunutzen. Dies wird als „solare Vorwärmung“ oder „Unterdachvorwärmung“ bezeichnet. Dadurch können etwa 300 W/m²-Dachfläche (1) Energie gewonnen werden, wodurch das AGRIFRIGOR™-System noch effektiver wird. Bei der Strömungsführung sind First- oder Traufrichtung oder sogar eine Querströmung zur Mitte möglich. Eine Unterdachvorwärmung ist immer sinnvoll und senkt Energiekosten.



22 Ausführungszeichnung Heubox mit Rost

Heubox

Grundsätzlich sollte eine Heubox zur Trocknung nicht zu groß bemessen sein. Vorteilhaft ist es, mehrere kleine Boxen zu erstellen anstatt einer großen Box. Dadurch bleibt die Erntelogistik flexibel. Bei Wiesengras sollte je ha Schnitt min. 10 m² Grundfläche, bzw. min. 30 m³ Boxenraum zur Verfügung stehen. Die Höhe einer frisch eingebrachten Schicht, sollte nicht mehr als 3 m betragen.

Ideal ist es, wenn der Betreiber mit dem Heukran das werdende Heu einige Male „aufschüttelt“. Dadurch werden „Kissenbildungen“ weitgehend verhindert. Auch für die Durchströmung der Luft ist dies eine Verbesserung.



23 Heuboxen mit Abluftklappe



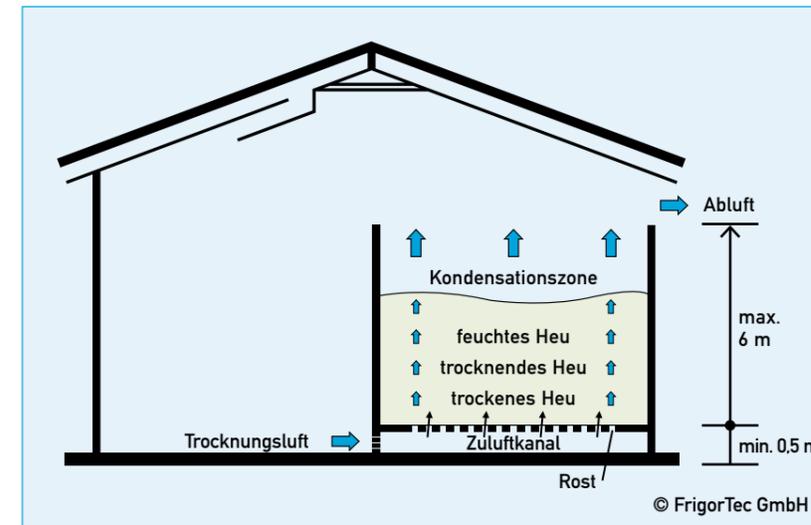
24 Zuluftkanal

Der Trocknungsverlauf

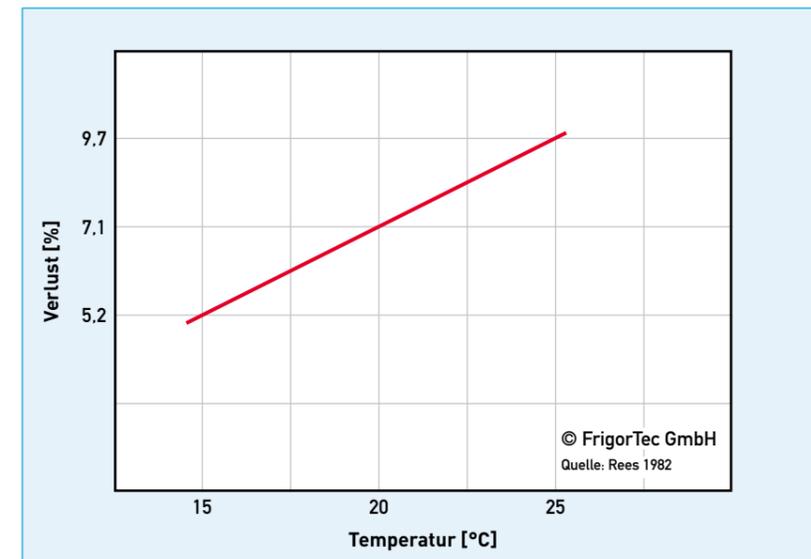
Heu trocknet schichtweise. Die bis zum Gleichgewichtszustand getrocknete Heuschicht bewegt sich kolbenartig in Strömungsrichtung durch den Heustapel. Wichtig ist, dass der Trocknungsvorgang nicht zu früh abgestellt wird. Die oberste Lage muss durchgetrocknet sein, bevor der Luftstrom abgestellt wird. Dadurch ist sichergestellt, dass das anfällige Kondensat der obersten Lage abgeführt wurde.

Eine Trocknung von Heu vollzieht sich in drei Schritten. Zuerst gelangt bei gleicher

Trocknungsgeschwindigkeit und -temperatur durch kapillare und osmotische Kräfte die Feuchte an die Oberfläche, an der das Wasser verdampft. Im zweiten Schritt fällt die Trocknungsgeschwindigkeit und die Temperatur steigt, der Verdunstungspunkt verlagert sich in das Halm-/ Blattinnere. Danach ist die maximale hygroskopische Feuchte überall unterschritten. Bei weiterer Trocknung nehmen alle Stellen des Heus an der Feuchteabgabe teil.



25 Trocknungsverlauf einer Heubox



26 Atmungsverluste bei Bodentrocknung

Futterart	Lagerungsdichte bzw. Raumgewichte kg/m ³
Wiesenheu	30 – 70
Heu, gehäckselt	100
Luzerneheu	50 – 70
Luzerneheu, 50 mm gehäckselt	830 – 120
Heu, Quaderballen	240
Heu, Rundballen	140
Wiesengras, Klee	350
Anweilksilage	650

Tab. 3: Lagerungsdichte Heu, Luzerneheu, Grünfütter (7), (18)

Erwärmung im Heustock

Enthält Heu noch Restfeuchte, z.B. in den Stängeln, führt dies zwangsläufig zur Erwärmung im Heustock. Erreicht die Temperatur über 35 °C kommt es zu empfindlichen Einbußen der Inhalts-

stoffe. Schimmelpilze und Bakterien beteiligen sich am Futterabbau. Die Blätter und Stängel verfärben sich silbrig bzw. weißlich. Wird das Heu braun, ist die Karamellisierung des Zuckers dafür

verantwortlich. Solches Heu wird zwar oftmals gerne von Kühen gefressen, bringt aber wenig Milchleistung (12). Wird Futter warm, hat das negative Auswirkungen zur Folge. Eine olivgrüne Heufarbe zeigt eine gute Qualität des Futters, es hat keine unerwünschte Fermentation stattgefunden. Über 80 °C würde sich im Heu poröse Kohle bilden und die Erwärmung würde fortschreiten. Erreicht das Heu 225 °C droht die Selbstentzündung.

Luftverteilung

Wesentlich bei der technischen Trocknung von Heu ist eine gute Luftverteilung. Dabei sind strömungstechnische Details und die baulichen Gegebenheiten zu vereinen.

Wichtig ist auch, dass genügend Abluftöffnungen vorhanden sind, über die die feuchte Abluft abgeführt werden kann. Dies ist auch für den Schutz des Gebäudematerials wichtig, insbesondere da die meisten Heulager in Holz ausgeführt sind. Kondensatansammlungen in der Bausubstanz müssen vermieden werden!

Der Zuluftkanal muss groß genug bemessen werden, damit nicht bereits vor dem Lufteintritt in das Heu zu viel Druck „verbraucht“ wird. Der Rost, auf dem das Heu liegt, sollte quer zur Strömungsrichtung verlegt werden, um die Luftverteilung zu verbessern.



27 Belüftungsboden einer Heubox

Zu beachten ist auch, dass blattreiches Wiesenheu höhere Druckverluste aufweist (13). Auch regionale Unterschiede sind unbedingt zu beachten. Heu und Öhmd aus dem Allgäu weisen andere Werte auf als in Norddeutschland oder in Süd-Tirol.

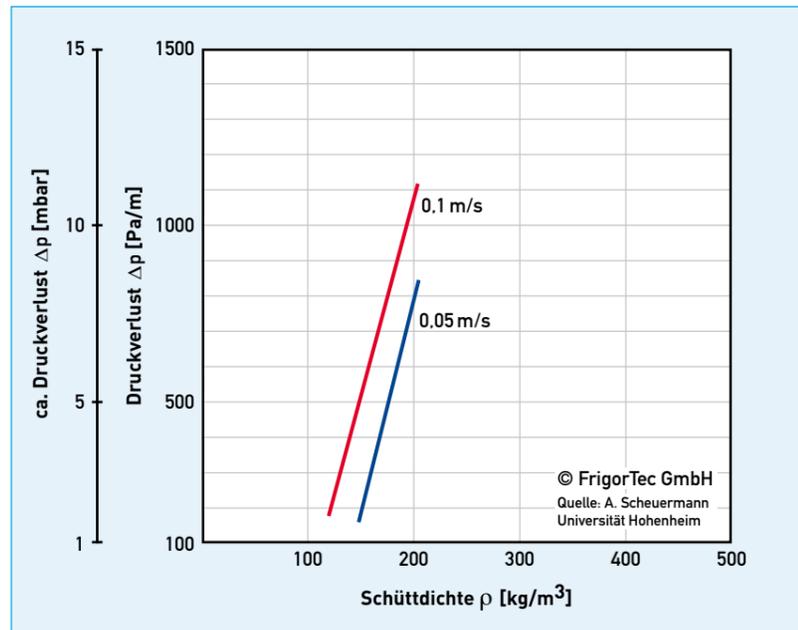
Verbrauchs- und Instandhaltungskosten

Bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung müssen neben den Investitionskosten die Verbrauchs- und die Instandhaltungskosten bewertet werden.

Bei einem durch die Sonne vorgewelkten Heu wird der Ventilator pro Charge etwa 2,5 bis 3 Tage in Betrieb sein. Der Entfeuchter (Wärmepumpe) je nach relativer Feuchte der Außenluft im Mittel etwa 1 bis 2 Tage pro Charge. Durch einen zusätzlichen inneren Wärmeübertrager hat der AGRIFRIGOR™-Entfeuchter einen relativ geringen Stromverbrauch. Für die jährliche Wartung des Entfeuchters sind etwa 1 % – 1,5 % der Anschaffungskosten erforderlich.

Rundballentrocknung / Ballentrocknung

Es ist grundsätzlich schwieriger, Rundballen zu trocknen als loses Heu. Das Vorwelken auf dem Feld sollte 70 % TM



28 Druckverlust von blattreichem Wiesenheu (13)

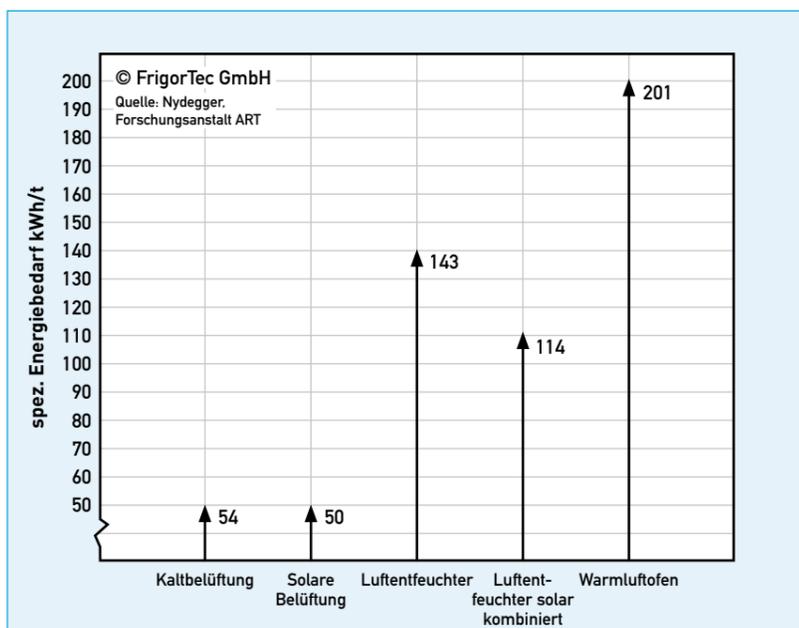
erreichen. Die Ventilatoren müssen einen höheren Druck bringen als bei losem Heu. Dies bewirkt einen höheren Energieverbrauch. Das Hauptproblem sind die ungleichen Gegendruckbedingungen innerhalb eines Ballens („Kissen“). Insgesamt können mit einer Rundballentrocknung die guten Heuqualitäten einer Losetrocknung nicht erreicht werden. Weiter sind einige zusätzliche Anlagen- und Transportkomponenten erforderlich.

Die Auslegung der Anlage – eine Sache von Experten

Bei der Auslegung einer Heutrocknung müssen viele Parameter individuell beachtet werden. Die Grünlandfläche (Größe und Qualität), der Viehbestand, das Klima (Höhenlage, Wetterdaten etc.), das Angebot der Gebäude, die Hoflogistik, der Stromanschluss, verfügbare Energie beispielsweise aus einer Biogasanlage und die Personalkapazitäten sind wichtige Faktoren für die Auslegung einer Heutrocknungsanlage. Mit diesen Daten wird dann aus dem Baukastensystem der AGRIFRIGOR™-Baureihe (Entfeuchter, Ventilator, Heubox, Unterdachvorwärmung, Steuerung, Nachwärmung) eine passende Anlage ausgelegt. Nur wenn alles zusammen passt, erhält der Landwirt das gewünschte Ergebnis.

Zusammenfassung

Das AGRIFRIGOR™-Verfahren bietet zahlreiche Vorteile, die die Heutrocknung für den Betreiber sicherer, qualitätsvoller und wirtschaftlicher machen.



29 Spezifischer Energiebedarf verschiedener Heutrocknungsverfahren (17)

Regeln für eine ökologische Heubelüftung (modifiziert nach 12)

- Belüftete Fläche (Heuboxfläche) etwa 25 bis 30 m² / ha bei < 1,5 m Schichthöhe
- Belüftungsbox locker und gleichmäßig befüllen
- Bereits beim Eintrag den Ventilator anschalten und in den ersten 24 Stunden durchgängig betreiben, insbesondere wenn die Heutemperatur über 35 °C beträgt
- Luftentfeuchter bei relativen Luftfeuchten der Zuluft unter 50 % abschalten
- Anlage auf eine Trocknungszeit von 60 bis 75 Stunden auslegen
- Luftgeschwindigkeit sollte je m² Heuboxgrundfläche im Mittel 0,11 m³/s betragen
- Ventilator auf 100 bis 240 Pa je m Heustockhöhe auslegen
- Heustockhöhe nicht über 6 m ausführen
- Große Abluftöffnungen vorsehen
- Auf 87 % Trockenmasse trocknen
- Auf unter 70 % Trockenmasse vortrocknen, um Bröckelverluste zu verhindern

Die Vorteile von gutem Heu (3):

- Höhere Futtermilchaufnahme (denn Milchsäure bremst die Fresslust)
- Höhere Eiweißstabilität (mehr pansenstabiles Eiweiß)
- Geringerer Eiweißabbau zu NPN bzw. Ammoniak
- Mehr Energie (Zucker bleibt erhalten)
- Kein Silogeruch (Nachbarschaft / Fremdenverkehr)
- Geringere Futtermittelverschmutzung
- Kaum Clostridien (bessere Käsetauglichkeit)
- Keine Nacherwärmung
- Weniger Gewicht bei der Futtermittelmanipulation
- Positives Image von Heu
- Hohe Milch- und Fleischqualität durch gesundes Futter

Die umfassenden Vorteile des AGRIFRIGOR™-Verfahrens

- ökologisch
- sichere und homogene Heutrocknung
- Wetterunabhängigkeit
- Einbau in vorhandene Gebäude / Scheune gut möglich
- Bröckelverluste werden weitgehend verhindert
- Brandgefahr ist deutlich reduziert
- Schimmelpilze werden wirksam verhindert
- einfach bedienbar
- wirtschaftlich

Literaturverzeichnis

- 1 Kittl M. und Wirleitner G. (2014) Mit System zum perfekten Heu. Allgäuer Bauernblatt 27/2014
- 2 Resch R. (2014), Top-Heu dank Belüftungstrocknung. Allgäuer Bauernblatt 27/2014
- 3 Galler J. (2014) Landwirtschaftskammer Salzburg. Allgäuer Bauernblatt 14/2014
- 4 Wirleitner G. und Aschauer C., Jackschitz-Wild S., Kittl M., Neuhofer K., Nydegger F., Osterreich J., Pöllinger A., Resch R., Thurner S. (2014) Richtlinien für die Belüftungstrocknung von Heu, Der Fortschrittliche Landwirt, Heft 10/2014
- 5 Schulze-Lammers, Maltry, W., Pötk E. (1961) Wirtschaftliche Heuwerbung durch Belüftungstrocknung. VEB Verlag Technik
- 6 Segler G., Matthies H.J., Birk J. (1952) Entwicklung und Erprobung von Heubelüftungsanlagen. Schriftenreihe des AID, Heft 53
- 7 Maltry W., Pötk E., Schneider B. (1963) Landwirtschaftliche Trocknungstechnik. VEB Verlag Technik Berlin, 2. Auflage
- 8 Buchgraber K., Gindl G. (2009) Zeitgemäße Grünland-Bewirtschaftung, 2. Auflage, Leopold Stocker Verlag / Graz-Stuttgart
- 9 Pötsch E.M., Resch R., modifiziert durch Pöllinger A. (2002) Einfluss von Futteraufbereitung und Erntetechnik, Gumpenstein, Zeitgemäße Futterkonservierung
- 10 Nydegger F. (2013) Weiterbildungskurs für Baufachleute, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon / CH
- 11 <http://www.lfl.bayern.de/ipz/hopfen/019605/>
- 12 Nydegger F., Wirleitner G., Galler J., Pöllinger A., Van Caenegem L., Weingartmann H., Wittmann H. (2013) Qualitätshu durch effektive und kostengünstige Belüftung
- 13 Scheuermann A. (1966) Der Strömungswiderstand bei der Belüftungstrocknung von blattreichem, dicht gelagertem Heu, Grundl. Landtechnik Bd. 16 Nr. 4
- 14 (2014) <http://www.cavallo.de/know-how-rund-ums-pferd/pferdefutter-richtig-rationieren-wie-viel-futter-brauchen-pferde-taeglich.631930.233219.htm>
- 15 Sommer Dr. W. (2014) www.landwirtschaftskammer.de/.../pferdehaltung/...energie-futter...
- 16 Gruber Tabelle (2014, 37. Auflage) Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihenstephan
- 17 Steinwider Dr. A., Wurm K. (2014) Heu – ein unverzichtbarer Bestandteil in der Rinderfütterung. www.landwirt.com
- 18 (2014) www.kaiser-vrees.de/downloads/Ra40gew5chte.pdf
- 19 Bohne B. (2014), Universität Kassel Fachgebiet Agrartechnik, Naturland Nachrichten 03/2014

Baureihe AGRIFRIGOR™: Heutrocknungs-Wärmepumpe (Entfeuchter)



HT 50

HT 60

HT 75



HT 100



HT 125



HT 150



HT 200



HT 250



HT 300



HT 400



HT 500

© FrigorTec GmbH

SERVICE (24/7)



Unser Service hält die Geräte in Stand und sichert die Ersatzteilversorgung – weltweit.
service@frigortec.de

Getreidekühlgeräte
GRANIFRIGOR™

Kranklimageräte
CRANEFRIGOR™

Standardkühlgeräte
STANDARDFRIGOR

Sonderlösungen
SHELTERFRIGOR

Wärmeentwesung
DEBUGGER

Heutrocknung
AGRIFRIGOR™

Vertriebspartner:

FRIGOR TEC
Cooling to the point

FrigorTec GmbH • Hummelau 1
88279 Amtzell / Germany
Tel.: +497520 / 91482-0
service@frigortec.de
info@frigortec.de
www.frigortec.com