

Zeitschrift: Der Traktor und die Landmaschine : schweizerische landtechnische Zeitschrift

Herausgeber: Schweizerischer Verband für Landtechnik

Band: 28 (1966)

Heft: 4

Rubrik: IMA-Mitteilungen

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

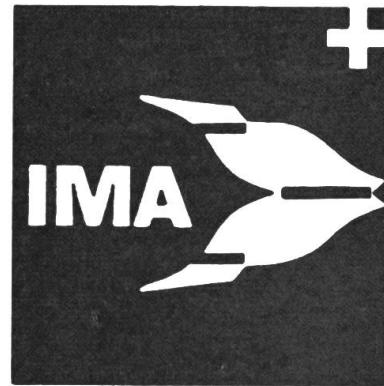
Download PDF: 10.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

11. Jahrgang März-April 1966

Herausgegeben vom Schweiz. Institut für Landmaschinen-
wesen und Landarbeitstechnik in Brugg Aargau

Verantwortliche Redaktion: J. Hefti und W. Siegfried



Beilage zu Nr. 4/66 von «DER TRAKTOR und die Landmaschine»

Inhalt: Das Trocknen von Erntegütern / Anleitung zum i-x Diagramm

Das Trocknen von Erntegütern

Franz Zihlmann, Ing. Agr.

Der regnerische Sommer weckte das Interesse für künstliche Trocknungsverfahren. Recht häufig wurde uns die Frage gestellt, ob es heute noch nicht möglich sei, frisch gemähtes Gras auf einer Belüftungsanlage zu trocknen. Dabei hatte sich jeweilen ergeben, dass in der Praxis sehr unklare Vorstellungen bestehen, was auf dem Gebiete der Belüftungstrocknung möglich ist und was nicht. Es sollen hier deshalb einige grundsätzliche Fragen behandelt werden.

1. Wieviel Wasser ist den Erntegütern zu entziehen, um ein lagerfähiges Produkt zu erhalten?

Der Feuchtigkeitsgehalt der diversen Erntegüter ist im Zeitpunkt der Ernte sehr unterschiedlich. Er beträgt für

Gras	80 — 90 %
Halbheu	35 — 45 %
Körnermais	30 — 40 %
Getreide	17 — 24 % und mehr

Für die Lagerung müssen die oben erwähnten Erntegüter auf 14 bis 15 % Feuchtigkeit getrocknet werden. Beim Heu genügt eine Vortrocknung auf ca. 20 % Feuchtigkeit. Auf dem Stock schwitzt es nachträglich noch Feuchtigkeit heraus.

Bei der Ermittlung des Wasserentzuges gibt es zwei Bezugsgrößen: das feuchte Ausgangsprodukt und das trockene Endprodukt. Man kann sich fragen, wieviel Trockengut ergeben 100 kg Feuchtgut oder wieviel Feuchtgut ist notwendig, um 100 kg Trockengut zu erhalten. Wenn wir Vergleiche anstellen, wird der Wasserentzug mit Vorteil auf das trockene Endprodukt bezogen. In Abbildung 1 ist der Wasserentzug je 100 kg Trockengut grafisch dargestellt. Nachfolgend sind einige Werte aus der Graphik tabellarisch zusammengestellt.

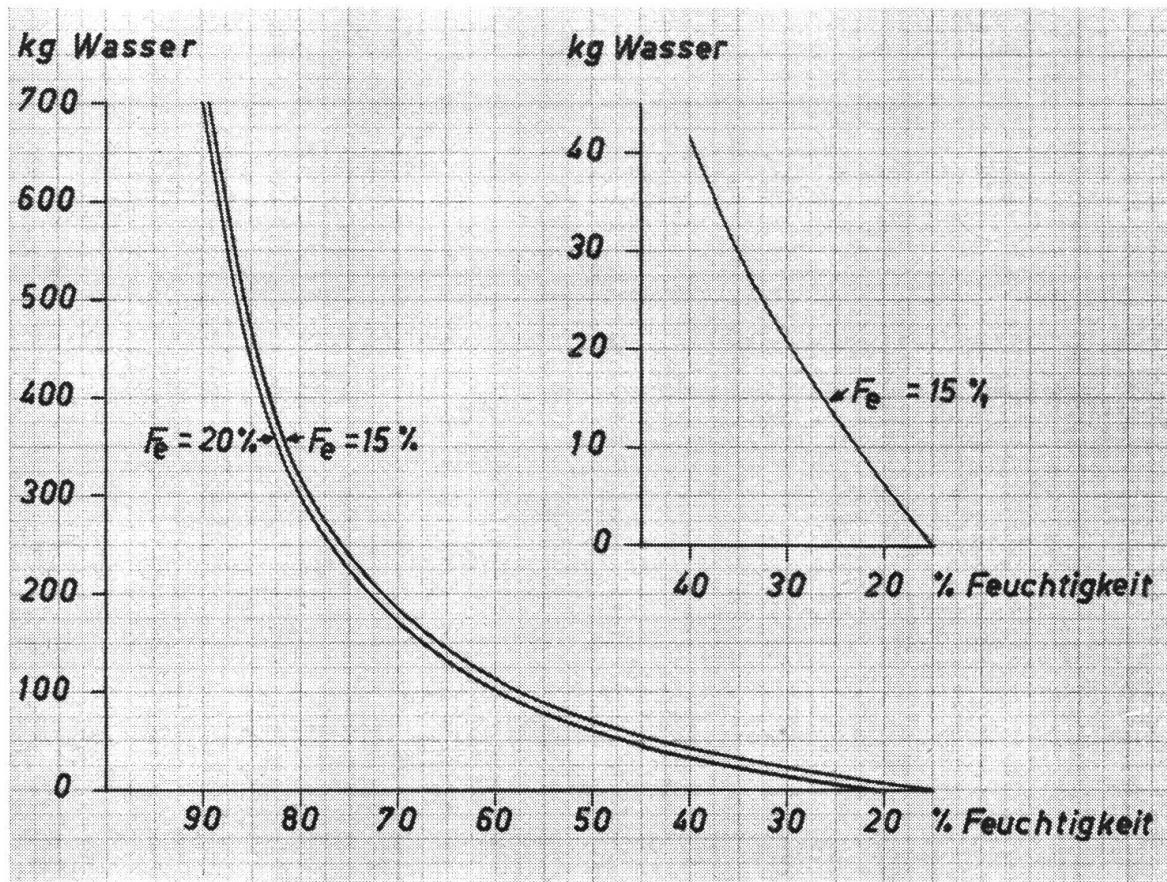


Abb. 1: Wasserentzug bei der Trocknung von Erntegütern auf 15 bzw. 20 % Feuchtigkeit um 100 kg Trockengut zu erhalten.

Auf der rechten Seite oben ist der Bereich von 40 bis 15 % Anfangsfeuchtigkeit in einem grösseren Maßstab gezeichnet.

Tabelle 1: Wasserentzug in kg bei der Trocknung auf 15 bzw. 20 % Endfeuchtigkeit bezogen auf 100 kg Trockengut

Endfeuchtigkeit	Wasserentzug in kg bei Anfangsfeuchtigkeiten von								%
	90	80	70	60	50	40	30	20	
15 %	750	325	184	113	70	41,7	21,4	6,3	
20 %	700	300	167	100	60	33,3	14,3	—	

Fussnote:

Die Ausgangsgleichung für die Berechnung des Wasserentzuges ist gleich:

$$G_a (100 - F_a) = G_e (100 - F_e) \quad (\text{Gl. 1})$$

G_a = Gewicht des Ausgangsproduktes

G_e = Gewicht des Endproduktes

F_a = Feuchtigkeitsgehalt des Ausgangsproduktes in %

F_e = Feuchtigkeitsgehalt des Endproduktes in %

Wenn wir nun berechnen wollen, wieviel Feuchtgut ergeben 100 kg Trockengut, ist Gleichung 1 wie folgt aufzulösen:

$$G_a = \frac{G_e (100 - F_e)}{100 - F_a} \quad \text{kg} \quad (\text{Gl. 2})$$

Da $G_e = 100$ kg angenommen wird, kann geschrieben werden:

$$G_a = \frac{100 (100 - F_e)}{100 - F_a} \quad \text{kg} \quad (\text{Gl. 3})$$

Der Wasserentzug (ΔG) ist gleich

$$\Delta G = G_a - G_e \quad \text{kg} \quad (\text{Gl. 4})$$

Wird das Gewicht des Ausgangsproduktes nach Gleichung 3 berechnet, so ist der Wasserentzug ΔG gleich

$$\Delta G = G_a - 100 \quad \text{kg} \quad (\text{Gl. 5})$$

Beispiel:

Gegeben $G_e = 100$ kg

$F_a = 40$ %

$F_e = 15$ %

Gesucht G_a und ΔG

$$G_a = \frac{G_e (100 - F_e)}{100 - F_a} = \frac{100 (100 - 15)}{100 - 40} = \frac{8500}{60} = \underline{\underline{141,66 \text{ kg Ausgangsprodukt}}}$$

$$\Delta G = G_a - G_e = 141,66 - 100 = \underline{\underline{41,7 \text{ kg Wasserentzug}}}$$

Wie der Wasserentzug berechnet wird, ist in der Fussnote näher umschrieben (Seite 2). Uns interessieren hier nur das Ergebnis und die praktischen Schlussfolgerungen, welche aus obigen Werten gezogen werden können.

a) Die Trocknung von Gras: Aus frisch geschnittenem Gras müssen 400 bis 700 kg Wasser entzogen werden, um 100 kg lagerfähiges Heu zu erhalten. Bei einem leichten Vorwelken auf 70 % Feuchtigkeit werden davon schon 250 bis 550 kg Wasser verdampft. Diese grosse Trocknungsleistung vollbringen Luft und Sonne in 2 bis 3 Stunden mehr oder weniger kostenlos. Gleichgültig, ob das Futter später in einer Grastrocknungsanlage oder mit Warmluft- oder Kaltluftbelüftung weitergetrocknet wird, bleibt das Anwelken die billigste Vortrocknungsmethode. Für die künstliche Grastrocknung ist das Anwelken nicht unbedingt notwendig, hilft jedoch die Energiekosten erheblich senken.

b) Die Belüftungstrocknung von Halbheu: Bei der Unterdachetrocknung – sei es mit Warmluft oder mit Kaltluft – muss das Futter mindestens auf ca. 40 % Feuchtigkeitsgehalt vorgetrocknet werden. Da bei der Warmbelüftung das Heu eher etwas zu stark getrocknet wird, beträgt der Wasserentzug für 40 %-iges Halbheu 40–50 kg je 100 kg Trockengut, während derselbe bei Kaltbelüftung in der Größenordnung von 35–40 kg liegt. Wird feuchteres Futter eingefahren, setzt die Verderbnis des Futters früher ein, als der Heustock genügend angetrocknet zu werden vermag. Für die Warmbelüftung darf somit nicht feuchteres Futter eingefahren werden. Der Unterschied zur Kaltbelüftung besteht lediglich darin, dass das Futter in kürzerer Zeit getrocknet werden kann, und dass man somit eine Anlage nach kürzerer Zeit wieder mit einer neuen Charge beschicken kann. Zu beachten ist, dass der erforderliche Wasserentzug bei höheren Feuchtigkeiten sehr rasch ansteigt. Es ist möglich, dass bei zwei Posten Halbheu, bei welchen wir mit unserer Sinnenprobe kaum einen wesentlichen Unterschied feststellen, der erforderliche Wasserentzug beim feuchteren Posten doppelt so hoch sein kann.

c) Die Belüftungstrocknung von Körnermais: Der mit dem Mähdrescher geerntete Körnermais weist in unseren Klimazonen 35 bis 40 % Feuchtigkeit auf. Da er sehr rasch warm wird und verdirbt, muss er innerhalb von 24 Stunden getrocknet werden. Die Belüftungstrocknung mit Kaltluft oder mit um 5° C angewärmter Luft ist nicht möglich.

d) Die Belüftungstrocknung von Getreide: Im Vergleich zu den übrigen Erntegütern ist die Anfangsfeuchtigkeit für Getreide verhältnismässig tief. Dennoch sind die Unterschiede im Wasserentzug bei verschiedenen Anfangsfeuchtigkeiten recht erheblich. So sind z. B. aus Getreide mit 18 % Feuchtigkeit 3,65 kg Wasser und aus solchem mit 24 % Feuchtigkeit 11,84 kg Wasser zu entziehen; das Wasserentzugsverhältnis beträgt somit 1 : 3,2. Bei der Belüftungstrocknung muss das Getreide innerhalb von 8 bis 10 Tagen getrocknet werden. Die Grenze für die Kaltbelüftung liegt bei 18 % Feuchtigkeit, wobei die örtlichen Klimaverhältnisse immer eine wichtige Rolle spielen. Mit dem Anwärmen der Luft kann das Trocknungsvermögen der Luft erhöht werden. Für das obige Beispiel müsste die Luft soweit angewärmt werden, dass sie theoretisch ein 3,2-faches Trocknungsvermögen aufweist. Da aber das Getreide umso rascher verdirbt, je feuchter es ist, muss feuchteres Getreide in kürzerer Zeit getrocknet werden. Die Zunahme des Trocknungsvermögens der Luft durch Anwärmen wird im nächsten Kapitel besprochen. Es sei hier jedoch vorweggenommen, dass bei der Anwärmung der Luft um 5° C die Grenze für die Belüftungstrocknung bei ca. 22 % Feuchtigkeit liegt.

2. Wie gross ist das Wasseraufnahmevermögen der Luft bei der Belüftungstrocknung?

Zur Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens der Luft dient das i , x -Diagramm nach Molier. Um dieses Diagramm anwenden zu können, müssen wir die Feuchtigkeit der Eintritts- und der Austrittsluft kennen. Die Eintrittsfeuchtigkeit bei der Kaltbelüftung ist vom örtlichen Klima abhängig und kann selbst innerhalb eines Tages zwischen 40 und 90 % schwanken.

Wenn wir feuchte Luft durch ein feuchtes Gut, wie Heu oder Getreide, schicken, stellt sich mit der Zeit ein sogenanntes Feuchtigkeitsgleichgewicht ein. In diesem Gleichgewichtszustand nimmt die Luft vom durchströmten Gut weder Feuchtigkeit auf noch gibt sie Wasser ab. Je nach Art des zu trocknenden Gutes verläuft die Kurve anders. In Abbildung 2 ist eine solche Kurve für Heu nach Zink und in Abbildung 3 eine solche für Getreide nach verschiedenen Forschern wiedergegeben.

Wassergehalt
des Heues in %

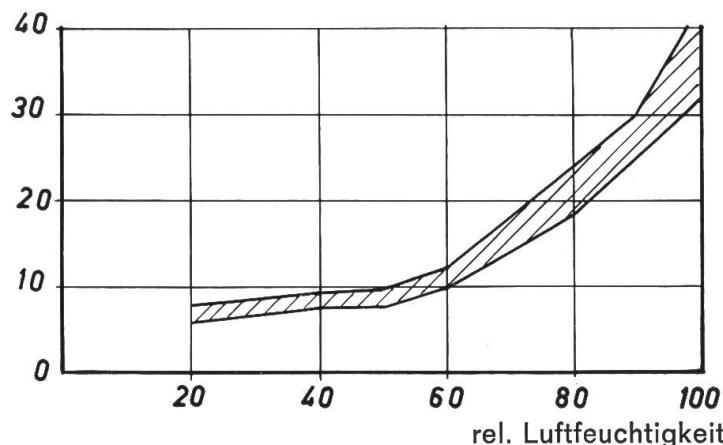
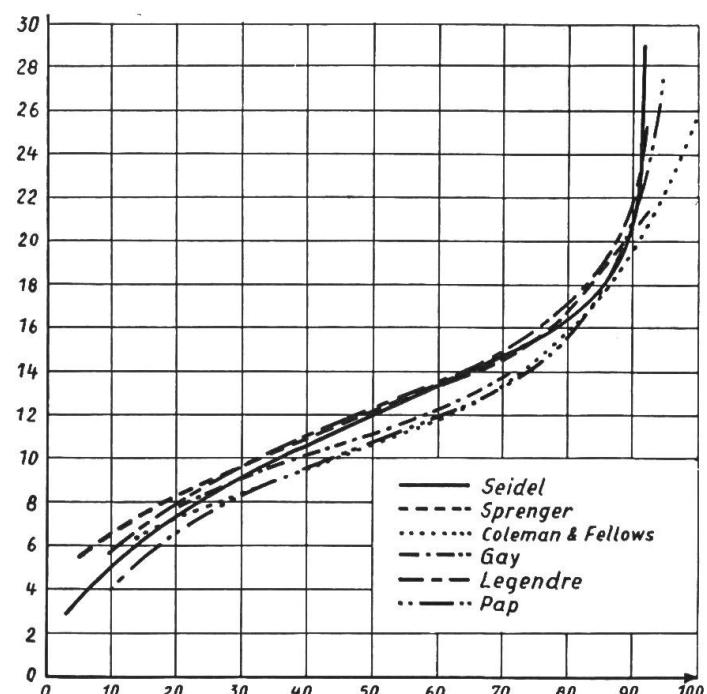


Abb. 2:
Feuchtigkeitsgleichgewicht
zwischen Luft und Heu nach Zink.

Abb. 3:
Feuchtigkeitsgleichgewicht
zwischen Luft und Getreide
nach verschiedenen Forschern.



Um einen spürbaren Trocknungseffekt zu erzielen, muss die Luft um ca. 5 % trockener sein als im Zustande des Feuchtigkeitsgleichgewichtes. Das heisst mit anderen Worten, dass man Luft von 70 % Feuchtigkeitsgehalt benötigt, um Heu auf 20 % Wassergehalt und Getreide auf 15 % Wassergehalt zu trocknen, wenn man die Belüftungsdauer nicht beliebig lang ausdehnen will.

Aus dem Diagramm nach Zink kann entnommen werden, dass der Feuchtigkeitsgehalt der Austrittsluft am Anfang der Belüftungsperiode 80 bis 85 % oder mehr beträgt und später auf ca. 70 % fällt. Im Durchschnitt der ganzen Belüftungsperiode kann mit einer Austrittsfeuchtigkeit von ca. 80 % gerechnet werden. Weiter sagt die Kurve aus, dass frisch eingeführtes Halbheu mit 30 bis 40 % Feuchtigkeit zur Frischhaltung auch mit Luft über 90 % Feuchtigkeit belüftet werden kann, ohne dass sie Wasser an den Heustock abgibt. Nur bei Regen und Nebel soll der Ventilator unbedingt abgestellt werden.

In Tabelle 2 ist das Wasseraufnahmevermögen der Luft für die Kaltluftbelüftung und in Tabelle 3 für die Warmluftbelüftung zusammengestellt.

Tabelle 2: Wasserentzug in g je kg Luft bei der Temperatur der Aussenluft von 20° C

Eintrittsfeuchtigkeit	Austrittsfeuchtigkeit in %					
	70	75	80	85	90	95
60 %	0,6	0,85	1,1	1,35	1,55	1,8
65 %	0,25	0,55	0,8	1,0	1,2	1,5
70 %		0,3	0,55	0,8	1,0	1,2
75 %			0,25	0,5	0,8	0,95
80 %				0,25	0,5	0,7
85 %					0,2	0,4
90 %						0,2

Tabelle 3: Wasserentzug in g je kg Luft bei 20° C Aussenlufttemperatur und 5° C Lufterwärmung

Eintrittsfeuchtigkeit Aussenluft	erwärmte Luft	Austrittsfeuchtigkeit in %					
		70	75	80	85	90	95
60 %	44 %	1,8	2,1	2,4	2,6	2,8	3,1
65 %	47 %	1,55	1,8	2,1	2,4	2,6	2,8
70 %	51 %	1,3	1,6	1,9	2,1	2,4	2,6
75 %	54 %	1,0	1,3	1,6	1,9	2,1	2,3
80 %	58 %	0,75	1,1	1,4	1,6	1,85	2,05
85 %	62 %	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	1,8
90 %	66 %	0,25	0,55	0,9	1,1	1,4	1,6
95 %	70 %	—	0,3	0,6	0,9	1,15	1,4
100 %	73 %	—	0,1	0,4	0,75	1,0	1,2

Der ermittelte Wasserentzug in Tabelle 2 und 3 gilt sowohl für die Heu- als auch die Getreidebelüftung. Obwohl im Einzelfall recht erhebliche Unterschiede bestehen können, darf bei der Kaltluftbelüftung angenommen werden, dass die mittlere Eintrittsfeuchtigkeit der Luft 70 % und die Austrittsfeuchtigkeit 80 % beträgt. Dabei erhalten wir einen Wasserentzug von 0,55 g pro kg Luft. Zu ähnlichen Werten kommen wir, wenn wir auf Grund des Energieverbrauches für eine ganze Trocknungsperiode den mittleren Wasserentzug je kg Luft berechnen. Wird die Luft um 5° C erwärmt, so erhöht sich der Wasserentzug um das Zweie- bis Dreifache. Analog liegen die Verhältnisse bei der Getreidebelüftung. Der Trocknungseffekt je kg Luft ist bei Getreide etwas geringer, weil dort die Wasserabgabe der Körner etwas langsamer erfolgt als bei Heu. Als praktische Faustzahlen für den Wasserentzug der Luft gelten:

bei der Heubelüftung

mit Kaltluft	0,4 bis 0,7 g je kg Luft
mit angewärmer Luft	0,8 bis 1,4 g je kg Luft

bei der Getreidebelüftung

mit Kaltluft	0,3 bis 0,5 g je kg Luft
mit angewärmer Luft	0,6 bis 0,8 g je kg Luft

Bei einem mittleren Atmosphärendruck von 730 mmHg beträgt das spez. Gewicht der Luft 1,15. Wird das Wasseraufnahmevermögen der Luft pro m³ angegeben, so sind obige Werte pro kg Luft mit dem Faktor 1,15 zu multiplizieren.

Wenn wir bei einer Belüftungsanlage die Temperatur und Feuchtigkeit der Eintritts- und Austrittsluft messen, können wir hin und wieder feststellen, dass die Abluft wärmer ist als nach dem i, x-Diagramm nach Molier zu erwarten ist. Dies deutet darauf hin, dass das Heu durch Selbsterwärmung Wärme an die Luft abgegeben hat. Es stellt sich nun die Frage, ob es zweckmäßig sei, den Heustock in Gärung kommen zu lassen, um die erzeugte Wärme als Trocknungswärme auszunützen.

Nach der Veratmungsgleichung der Biologie liefert 1 kg organische Substanz (Zucker) 3750 kcal und 600 g Wasser. Die Verdampfungswärme des Wassers beträgt rund 600 kcal (genau 597 kcal). Wenn nun die 600 g Wasser mit der selbsterzeugten Wärme verdampft werden, bleiben noch 3750 – 0,6 x 600 kcal = 3390 Netto-kcal. Wird nun zum Vergleich für 1 kg Öl mit 10 000 kcal Heizwert ein Preis von 15 Rp. eingesetzt, so stellt die Wärme- produktion von 3390 kcal einen Wert von rund 5 Rp. dar. Dem gegenüber beträgt der Wert von 1 kg organischer Substanz im Heu rund 20 Rp. Es ist daher unwirtschaftlich, den Futterstock während der Belüftungsdauer sich selbst erwärmen zu lassen, um diese Wärme für die Trocknung zu benutzen.

(Fortsetzung folgt)