

Die Grundzüge der landwirtschaftlichen Trocknung

Von Rewert Bussen, Norden/Ostfriesland

Das Wort „Trocknung“ hat schon viel Anlaß zu Irrtum gegeben. Trocknung ist die Wirkung, die Ursache ist das Wasseraustreiben. Daraus ergeben sich zwei Fragen: Wie treibt man Wasser aus und wieviel Wasser ist auszutreiben?

In den landwirtschaftlichen Trocknungsapparaten wird Wasser in der Regel dadurch ausgetrieben, daß das Wasser von der flüssigen in die gasförmige Phase umgewandelt und dann abtransportiert wird. Die Umwandlung des Wassers von der flüssigen in die gasförmige Phase erfordert sehr viel Wärme: 600 kcal je kg Wasser.

Diese Wärme muß dem Gut zugeführt werden, und der erzeugte Wasserdampf muß abgeführt werden. Dabei bietet sich als Transportmittel die Luft an. Wir gebrauchen die Worte Verdampfen und Verdunsten nebeneinander. Man hat sich darauf geeinigt, daß beim Verdampfen der entstehende Wasserdampf in reinen Wasserdampf hineindiffundiert, beim Verdunsten dagegen in ein Gemisch von Luft und Wasserdampf. In der landwirtschaftlichen Trocknung wird das Wasser also verdunstet.

Die Beziehungen zwischen Wasser, Wasserdampf, Wärme und Luft sind am übersichtlichsten im i - x -Diagramm nach Mollier [1] dargestellt. In **Bild 1** sehen wir auf der Abszisse den Wasserdampfgehalt x in Gramm je kg trockener Luft aufgetragen. Auf der Ordinate sehen wir den Wärmehalt i von 1 kg trockener Luft zuzüglich des Wärmehaltes des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes. Wir haben es bei diesem Diagramm mit einem schiefwinkligen Koordinatensystem zu tun. Die Linien gleichen Wärmehaltes i verlaufen nicht parallel zur Abszisse, sondern von links oben nach rechts unten. Im i - x -Diagramm sind die Temperaturen als Parameter eingezeichnet und die relative Feuchte φ ist in Form einer Kurvenschar dargestellt.

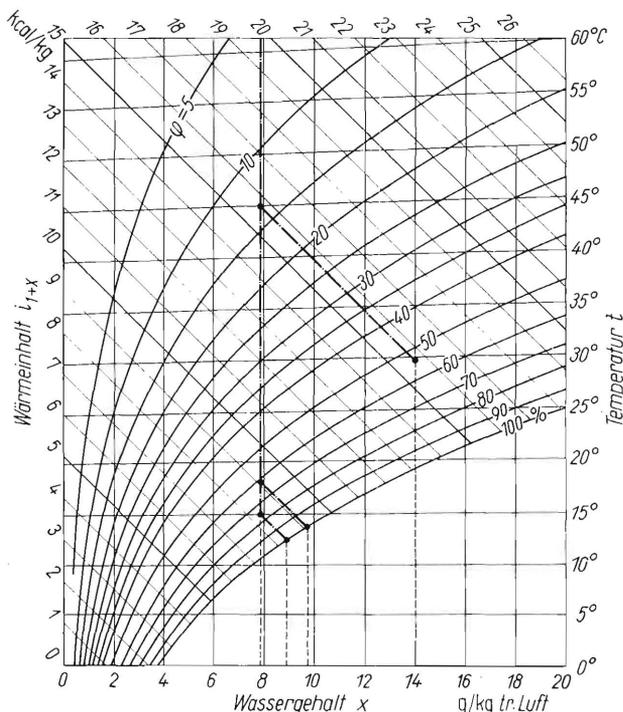


Bild 1. i - x -Diagramm für feuchte Luft nach Mollier.

Um mit dem Diagramm vertraut zu werden, wollen wir einige praktische Beispiele nehmen:

1. Der Wärmehalt von 1 kg trockener Luft sei 10 kcal. Nach dem Diagramm beträgt die Temperatur der trockenen Luft 41,5°C. Hat die Luft sich ganz mit Wasserdampf gesättigt, so sinkt die Temperatur auf etwa 15°C. Die durch die Temperatursenkung der Luft freigewordene Wärme wurde zur Verdunstung des Wassers verbraucht. Die Luft hat eine Wasserdampfmenge von 10,7 g/kg der trockenen Luft aufgenommen.

2. In unseren Breiten ist eine Temperatur von 15°C und eine Feuchte φ von 75% häufig anzutreffen. Dieser Punkt ist im Diagramm eingetragen. Diese Luft kann durch Abkühlung noch Wasserdampf aufnehmen, und zwar sinkt die Lufttemperatur auf 12,5°C, wobei die Wasserdampfmenge von 7,9 auf 8,9 g/kg, also um 1 g/kg trockener Luft zugenommen hat.

3. Die Heubelüftung ist ein besonders günstiger Fall der Trocknung. Das Heu unterstützt die Wasserdampfaufnahmefähigkeit der Luft durch Selbsterhitzung, so daß gerade die feuchtesten Stellen die höchste Selbsterhitzung erleiden und die Luft dort aufwärmen, wodurch mehr Wasser zur Verdunstung kommt als an anderen, trockeneren Stellen. Als Beispiel ist eine geringe Erwärmung um nur 3 grd auf 18°C eingetragen. Beim Durchströmen des ganzen Heustapels erwärmt sich die Luft und kühlt sich wieder unter Wasserdampfaufnahme ab, so daß sie mit voller Sättigung den Heustapel verläßt. Ohne Erwärmung wäre die Aufnahmefähigkeit 1 g/kg, bei der genannten Temperaturerhöhung ist die Aufnahmefähigkeit 1,8 g/kg, also 80% höher.

4. Haben wir es mit Trocknungsgütern zu tun, die eine niedere Endfeuchte haben sollen, wie Grünkrautfutter mit 10% oder Getreide mit 16% Gutsfeuchte, dann ist der Anfangszustand der Luft mit 75% Feuchte zu naß, die Luft muß vorgewärmt werden, um trocknen zu können. Als Beispiel nehmen wir eine Temperatur, wie sie im Getreidedurchlaufrockner und in Kleintrocknungsanlagen für Grünkrautfutter und Heilkräuter zu finden ist. Die Luft wird auf 45°C vorgewärmt und dann dem Gut zugeführt. Die Luft strömt durch das Gut, erwärmt dieses und gibt die Wärme zur Wasserverdunstung ab. Leider läßt sich die volle Sättigung nicht erreichen. Infolge der geforderten niederen Endfeuchte des Gutes erreicht die Luft eine Feuchte φ = etwa 55%; das entspricht nach dem Diagramm einer Wasserdampfaufnahme von 6 g/kg trockener Luft.

Wir wollen hier folgenden Grundsatz festhalten. Ein Gut läßt sich um so wirtschaftlicher trocknen, je höher seine Endfeuchte sein darf. So läßt sich besonders günstig Weißtorf trocknen, der nur eine Endfeuchte von 35% haben soll, dann folgt die Heubelüftung mit einer Endfeuchte von 20%.

In **Bild 2** ist ein größerer Abschnitt des i - x -Diagrammes dargestellt. Eingezeichnet ist ein Beispiel, wie es bei den Band- und Schubwendetrocknern anzutreffen ist. Bei diesen sogenannten Querstromrocknern — die Trocknungsgase werden quer durch die wandernde Gutsmatratze geblasen — kann das Naßgut einer Anfangstemperatur von etwa 22,5°C ausgesetzt werden, ohne dabei Schaden zu nehmen.

Die Luft kühlt sich beim Durchgang auf eine Temperatur von ca. 7,5°C ab und erreicht eine Endfeuchte von φ = 25 bis 30%. Je kg trockener Luft werden 60 g Wasserdampf abgeführt. Bei den Gleichstromrocknern, bei denen das Naßgut mit den heißen Trocknungsgasen in Berührung kommt und beide gemeinsam in der gleichen Richtung durch den Trockner wandern, sind die Eintrittstemperaturen noch höher. Man kann ungefähr rechnen, daß je kg trockener Luft 100 g Wasserdampf aufgenommen werden.

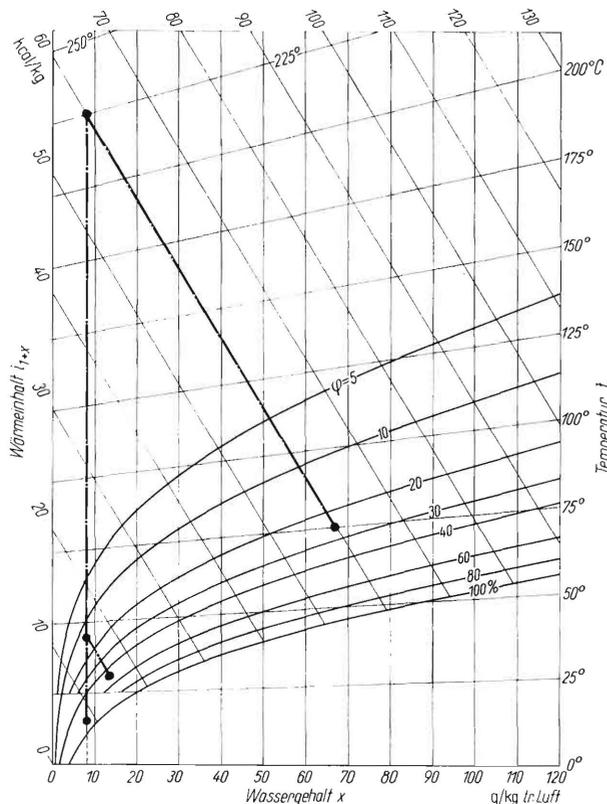


Bild 2. *i-x*-Diagramm für feuchte Luft nach Mollier.

Wir halten also folgende Verhältnisse fest:
Bei einfacher Belüftung müssen 1000 kg Luft zugeführt werden, um 1 kg Wasser zu verdunsten. Je höher die Luft erwärmt wird, desto weniger Luft muß zugeführt werden. Bei einer Anfangsfeuchte von 80% im Naßgut und hoher Luftvorwärmung kann man mit 10 kg Luft je kg Wasserdampf und weniger auskommen.

Aber dieses *i-x*-Diagramm, so schön es ist, hat seine Grenzen, wenn nämlich in der Praxis das Gut nicht gleichmäßig und allseitig umströmt ist. Wir wollen deshalb folgendes Kriterium für Trockner festhalten:

Der Trockner ist am besten, bei dem das Gut allseitig und gleichmäßig umströmt ist, so daß die Vorgänge, wie sie im *i-x*-Diagramm dargelegt sind, auch zur Entfaltung kommen können.

Wir kommen nun zu der Frage: Wieviel Wasser ist in den einzelnen landwirtschaftlichen Produkten enthalten? In Bild 3 sehen wir zwei Skalenleitern:

Die linke Skalenleiter zeigt die Wassermenge in Prozent der Naßgutmenge an; sie wird meistens angewandt, ist aber unzuweckmäßig. Die rechte Skalenleiter zeigt an, wieviel kg Wasser je kg Trockensubstanz in den einzelnen landwirtschaftlichen Produkten enthalten ist. So hat z. B. Molke 13 kg Wasser je kg Trockensubstanz, entsprechend 93% Wassergehalt, Kartoffeln 3,75 kg Wasser je kg Trockensubstanz, entsprechend 79% Wassergehalt. Wir sehen, daß Herbstzwischenfrucht etwa 8 kg Wasser, normales Grüngut aber nur 4,9 kg Wasser je Trockensubstanz enthält.

In Tafel 1 sind die Berechnungsformeln zusammengestellt und in Tafel 2 ist angegeben, wieviel Wasser in Abhängigkeit von der Anfangs- und Endfeuchte verdunstet werden muß. Grüngut hat eine Anfangsfeuchte von 80%, wenn es an die Trocknungsanlage kommt, und muß auf 10% Endfeuchte heruntergetrocknet werden. Es müssen je dz Fertiggutmengung 350 kg Wasser verdunstet werden. Diese Verdunstungsmenge nennen wir 100%, da dies bei den Angaben der Großtrocknungsanlagen gebräuchlich ist. Wir heben aus dieser Aufstellung besonders hervor: Vorgewelktes Grüngut hat eine Anfangsfeuchte von etwa 65% und eine Endfeuchte von 10%. Die zu verdunstende Wassermenge beträgt 157 kg, entsprechend nur 45% der Normalverdunstungsmenge. Vergleichsweise sei die Heubelüftung mit einer Anfangs-

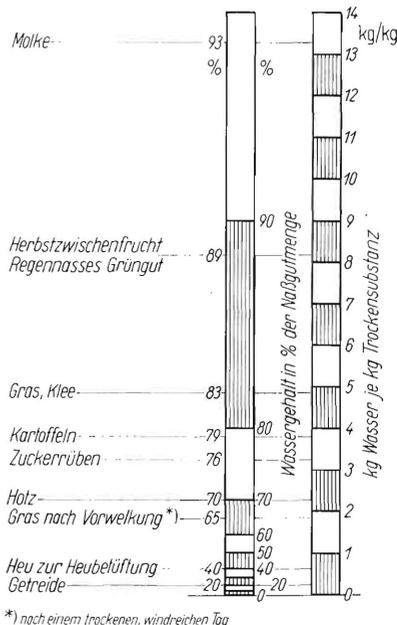


Bild 3. Der Wassergehalt einiger landwirtschaftlicher Produkte.

Tafel 1. Berechnungsformeln*).

Trockensubstanz	G_s	Fertiggutmengung	$G_a = G_s + G_{wa}$
Anfangswassermenge	G_{we}	Anfangsfeuchte	$Z_e = \frac{G_{we}}{G_s + G_{we}}$
Endwassermenge	G_{wa}	Endfeuchte	$Z_a = \frac{G_{wa}}{G_s + G_{wa}}$
Naßgutmenge	$G_e = G_s + G_{we}$		

Gegebene Größen	$G_e; Z_e; Z_a$	$G_a; Z_e; Z_a$
Gesuchte Größen		
Naßgutmenge G_e	—	$G_a \frac{1 - Z_a}{1 - Z_e}$
Fertiggutmengung G_a	$G_e \frac{1 - Z_e}{1 - Z_a}$	—
Verdunstete Wassermenge G_D	$G_e \frac{Z_e - Z_a}{1 - Z_a}$	$G_a \frac{Z_e - Z_a}{1 - Z_e}$

* Die Indizes e und a bedeuten in der Trocknungstechnik den Eingangs- und Austrittszustand bei einem Trocknungsvorgang. Der Verfasser verwendet dafür die Begriffe Anfangs- bzw. Endzustand, behält aber die allgemein üblichen Indizes bei.

Tafel 2. Wasserverdunstungsmenge verschiedener Trocknungsgüter.

Trocknungsgut	Anfangsfeuchte Z_e	Endfeuchte Z_a	verdunstete Wassermenge G_D	Wasserverdunstung (auf Grüngut bezogen)
	%	%	kg/100 kg Fertiggut	%
Grüngut	80	10	350	100
Kartoffeln	79	12	319	91
Zuckerrüben	76	12	267	77
Grüngut, vorgewelkt	65	10	157	45
Heu zur Heubelüftung	45	20	45	13
Getreide	20	16	4,7	1,3

feuchte von 45% und einer Endfeuchte von 20% erwähnt. Das entspricht einer Wasserverdunstung von 45 kg, entsprechend 13% gegenüber Grüngut von 100%. Bei Getreidetrocknung beträgt bei einem Wasserentzug von etwa 4% die zu verdunstende Wassermenge etwa 4,7 kg oder 1,3%. Die Streubreite zwischen 100% und 1,3% ist sehr groß, und es gibt nur wenige landwirtschaftliche Trockner, die Güter mit so unterschiedlichem Wasserentzug gleich gut trocknen können.

Da die Wasserverdunstung viel Geld kostet, wollen wir uns als Grundsatz merken, daß das Naßgut möglichst trocken zur Trocknungsanlage kommt, um die Trocknungskosten gering zu halten. Es wäre daher auch unvollständig, wenn wir in einem Bericht über die Grundzüge der landwirtschaftlichen Trocknung die Vortrocknung auf dem Felde (Vorwelken genannt) außer acht lassen würden. Sie ist das A und O der gesamten Trocknung.

Die Vortrocknung auf dem Felde gibt die Möglichkeit, wie wir bereits aus Tafel 2 entnehmen konnten, etwa 50% der Wassermenge und mehr schon auf dem Felde verdunsten zu lassen, ohne dabei Verluste an Rohprotein zu erleiden und die Karotinverluste in mäßigen Grenzen zu halten. Von der Wissenschaft und Forschung sind wertvolle Berichte und Untersuchungen über die Verbesserung der Trocknung auf dem Felde gemacht worden. Auch die Landmaschinenindustrie hat diese Erkenntnisse auszunutzen versucht. Infolge der ungeheuren Wichtigkeit der Vortrocknung nicht nur für die Grünkrafftuttererzeugung, sondern auch für Heugewinnung und insbesondere für die Heubelüftungsanlagen, möchte ich noch einige Punkte angeben, die berücksichtigt werden könnten:

1. Am Mähbalken sollte man doch gleich einen Zetter anschließen, der mit dem Mähbalken verbunden ist und den frischgeschnittenen Schwad locker und winddurchlässig auf die Stoppel verteilt, so daß die Luft gleichmäßig und allseitig durch das Gut hindurchwehen kann. Dadurch beginnt gleich nach dem Schnitt eine sehr intensive Trocknung, während man z. Z. noch die besten Trocknungsstunden des Tages — gleich nach dem Schnitt — unausgenutzt verstreichen läßt, weil das Naßgut zunächst im dichten Schwad liegen bleibt [2].

2. Beim Auflockern und Wenden beachte man, daß die Zeitspanne von einem Lockern zum anderen Lockern gleich nach dem Schnitt möglichst kurz gehalten werden soll. Je trockener das Gut wird, desto länger können diese Zeitabschnitte werden.

3. Bei unseren Arbeiten in der Praxis konnten wir feststellen, daß die einzelnen Heuwerkzeuge einen sehr unterschiedlichen Trocknungserfolg erzielen. Die Forschung sollte die einzelnen Heuwerkzeuge unter dem Gesichtswinkel der bestmöglichen Trocknungsarbeit in Reihenversuchen erproben und besonderen Wert auf gutes Lockern und Wenden von frisch geschnittenem Grüngut (Feuchte von etwa 80% bis 50%) legen. Schon eine kleine Verbesserung der Trocknung auf dem Felde bringt der Landwirtschaft große Mehrerträge, so daß die Gelder, die in diese Forschungsarbeit fließen, sich raschestens amortisieren. Die Wirkung der Vortrocknung auf dem Felde kann gar nicht überschätzt werden.

Wenden wir uns nun den Großtrocknungsanlagen zu. Wir definieren: Eine Großanlage hat eine Wasserverdunstungsleistung von 1000 kg/h und mehr und muß Gut mit einer Anfangsfeuchte von 60% und mehr verarbeiten können. Die Verweildauer des Gutes in der Trocknungsapparatur darf eine Stunde nicht übersteigen.

Bei dieser Schnell Trocknung spielt die Trocknungsgeschwindigkeit [3] bereits eine beachtliche Rolle. Die Forschung hat festgestellt, daß es drei verschiedene Stadien der Trocknungsgeschwindigkeit gibt. Stadium 1 währt so lange, wie noch Feuchtigkeit an der Oberfläche des Gutes vorhanden ist. In diesem Stadium spielt die Kühlgrenztemperatur eine entscheidende Rolle. Sie besagt, daß in diesem Stadium das Gut keine höhere Temperatur als die Kühlgrenztemperatur erreichen kann. Beträgt beispielsweise die Eintrittstemperatur der Trocknungsgase 1250°C, so liegt die Kühlgrenztemperatur bei ca. 80°C, d. h., das Gut kann nicht wärmer als 80°C werden. Diese große Temperaturdifferenz ermöglicht eine hohe Trocknungsgeschwindigkeit.

Stadien 2 und 3 betreffen das Verdunsten des Wassers aus dem Inneren des Gutes; hierbei spielt die Diffusionsgeschwindigkeit eine große Rolle. Im dritten Stadium wird diese noch verkleinert durch das Zusammenschrumpfen der Kapillaren im Gut. Aus diesen Hinweisen ist erkennbar, daß die Größe der Gutsteilchen die Trocknungsgeschwindigkeit beeinflusst.

In **Bild 4** ist die Oberfläche von Gutsteilchen in Abhängigkeit von der Kantenlänge dargestellt. Bei den Großtrocknungsanlagen haben die Teilchen etwa die Größe, wie sie auf der rechten Seite im schraffierten Feld angegeben ist. Bei den ausgesprochenen Schnelltrocknern (Gleichstromtrocknern) müssen wir dahin streben, auf die linke Seite des Kurvenastes zu kommen. Dort ist der Durchmesser der Gutsteilchen nur noch etwa $\frac{1}{10}$, aber die spezifische Oberfläche das Zehnfache. Die Trocknungsdauer nimmt mit dem Quadrat des Teilchendurchmessers zu. Eine Vervielfachung der heutigen Leistung bei gleichem Materialaufwand wäre möglich, wenn das Gut feiner zerkleinert wäre. Technisch ist diese Frage leider noch nicht gelöst.

Die Trocknungswerke haben in den letzten zehn Jahren eine große Umstellung durchmachen müssen, deren Ursache in der arbeitswirtschaftlichen Umstellung der Bauernbetriebe liegt. Früher fuhr der Bauer sein Naßgut zur Trocknung, wartete so lange, bis es getrocknet war, und nahm sein Trockengut wieder mit zurück. Denn er war überzeugt, daß die Qualität seines Gutes die beste war. Heute hat der Bauer weder die Zeit zu mähen, noch das Geld, die Trocknung zu bezahlen.

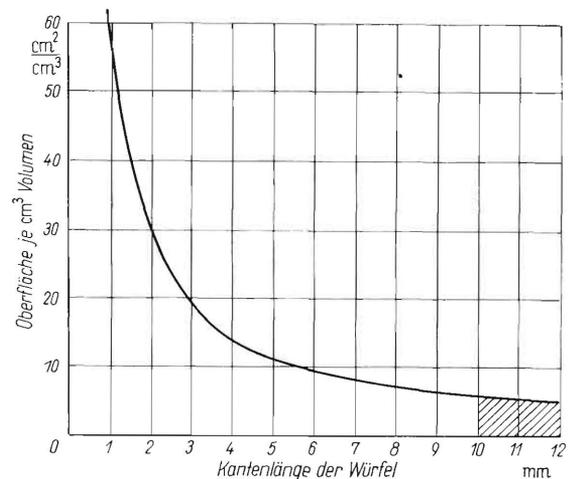


Bild 4. Die spezifische Oberfläche von Würfeln in Abhängigkeit von der Kantenlänge.

Das Trocknungswerk steht somit vor der Aufgabe, das Naßgut selbst zu mähen, zu werben, heranzufahren und zusätzlich vor der viel größeren Aufgabe, die anfallenden Grünkrafftuttermengen, die das Trocknungswerk zur Deckung seiner Unkosten vom Bauern einbehält, zu verkaufen. Denn der Bauer erhält etwa 50% der Trockengutmenge, die von seiner Fläche gewonnen wurde, zurück. An dem Problem, das Grünkrafftutter preiswert zu verkaufen, sind manche Großtrocknungsanlagen zugrunde gegangen. Mit der Zeit hat es sich herauskristallisiert, daß eine Verbindung eines Trocknungswerkes mit einem Mischfutterwerk die optimale Lösung ist. Viele große Bezugs- und Absatzgenossenschaften stellen selbst Mischfutter her. Eine Verbindung solcher Genossenschaften mit einem Trocknungswerk bringt die Möglichkeit, das Grünkrafftutter preisgünstig zu verwerten.

Wir kommen nun zur Ausrüstung einer Großtrocknungsanlage [4]. Auf der Naßgutseite müssen vorhanden sein: der Maschinenpark und der Fuhrpark für die Werbung und den Transport der Naßgutmengen, die Frischhaltefläche für Naßgut vor der Trocknungsanlage, die Verwiegemöglichkeit, die Fördereinrichtungen für das Naßgut, die Zerkleinerungseinrichtungen, die heute meist noch Häcksler sind. Werden auch Knollenfrüchte, Rübenblatt und -kopf getrocknet, so müssen Waschanlagen vorhanden sein; besonders zu beachten ist in diesem Falle die Abwässerreinigung, die sehr kostspielig wird. Das Grüngut kommt über den Häcksler in die Trocknung, die Knollenfrüchte kommen nach der Wäsche über die Schnitzler und Rübenblatt und -kopf nach der Wäsche über Abpreß- und Reißwolf in die Trocknung.

Die eigentliche Trocknungsanlage, bestehend aus Feuerung und Trocknungsapparatur, umfaßt nur etwa 20% des Kapitalaufwandes des gesamten Trocknungswerkes. Hinsichtlich der

Feuerung zeigt **Tafel 3** den Preis der Geal der einzelnen Energiearten. Die elektrische Energie ist viel zu teuer. Am ansprechendsten für Neuanlagen ist die Schwerölfeuerung, die keine zusätzliche Bedienung erfordert. Schweröl bietet den Vorteil des raschen An- und Abstellens, ferner sind die Verbrennungseinrichtungen für Schweröl billiger als der Wanderrost für die Verfeuerung von Steinkohlen.

Tafel 3. Wärmepreis bei Feuergastrocknung
(Stand 1. 1. 1961)

		Grundpreis	Preis frei Anlage DM/Geal
Elektrische Energie		0,10 DM/kWh	116,—
Koks (Bedienung: 6% des Grundpreises)		11,— DM/dz	17,—
Steinkohle (Fett Nuß III, Raum Hannover Süd)		9,30 DM/dz	12,—
Leichtöl		0,12 DM/l	14,50
Schweröl	Entfernung von der Raffinerie	20 km	8,— DM/dz
		200 km	10,80 DM/dz
			8,60*)
			11,50*)

*) Preis einschl. Schwerölvorwärmung

Jede ausgeführte Großtrocknungsanlage hat eine kritische Nahtstelle: Die Einschleusung des Naßgutes in die Apparatur. Die verschiedensten Typen haben meistens einen Wärmeverbrauch von 900 kcal/kg Wasserverdunstung. **Bild 5** zeigt den Schubwendetrockner nach v. Sybel. Er ist aus der Darre, wohl der ältesten Trocknungsvorrichtung der Menschheit, entwickelt worden und ist wohl der universalste Großtrockner, den es gibt. Man kann mit ihm tatsächlich alle landwirtschaftlichen Produkte gleich gut trocknen, vom Rübenblatt bis zum Getreide hin. Er gehört zur Klasse der Querstromtrockner: von unten kommen die Trocknungsgase und gehen quer durch die Grünfuttermatratze hindurch. Rechts oben fällt aus einer Aufgabevorrichtung das Gut auf eine Darrenbahn, auf der es mittels des Schubwenders in regelbaren Abständen gelockert und weiter geschoben wird, bis es am Ende der Bahn in trockenem Zustand herunterfällt. Die Verweildauer des Grüngutes beträgt etwa 30 min.

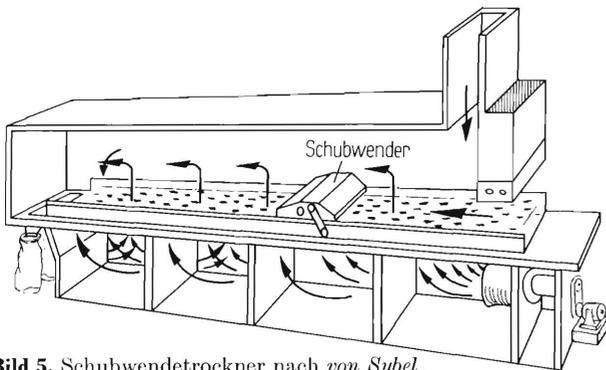


Bild 5. Schubwendetrockner nach von Sybel.

Bild 6 zeigt einen Schnitt durch eine Trocknungstrommel. Die einfache Trommel neigt zur Zopfbildung. In geschickter Weise ist die Trocknungstrommel mit kreuzartigen Einbauten versehen. Dadurch wird das aufgegebenes Gut unterteilt und fällt in kleineren Partien von einem Kreuzarm auf den anderen. Die Auflockerung des Gutes ist verhältnismäßig günstig. Die Trommel ist für viele landwirtschaftliche Güter zu gebrauchen. Nicht ganz zweckmäßig ist sie für Leichtgut wie Gras, Klee und Luzerne. Die Verweildauer in der Trommel beträgt etwa 15 Minuten.

Bei dem Siccaplant-Diffusorentrockner, **Bild 7**, erfolgt die Trocknung in zwei hintereinandergeschalteten Diffusoren. In dem ersten Diffusor wird das Naßgut über eine automatische Zuteilung in den Strom des Trocknungsgases eingeschleust. Die Trocknungsgase, die im engen Querschnitt eine hohe Geschwindigkeit haben, heben das Naßgut hoch. Die Steiggeschwindigkeit fällt

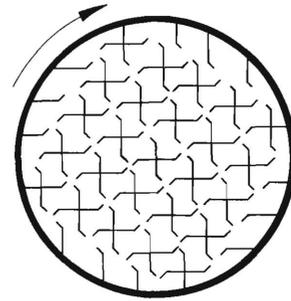


Bild 6. Trocknungstrommel mit Kreuzeinbauten.

mit der Erweiterung des Diffusors. Das Naßgut verweilt so lange im Diffusor, bis es etwa 35% Feuchte hat, wozu eine Zeitdauer von etwa 3 s erforderlich ist. Dann ist es so leicht geworden, daß die Trocknungsgase es aus dem Diffusor mitnehmen. Im zweiten Diffusor wird es zu Ende getrocknet. Die gesamte Verweildauer beträgt etwa 3 min. Über Zyklon und Siebtrommel wandert das Trockengut ab. Durch die allseitige Umspülung des Gutes im Trocknungsgasstrom wird eine besonders gleichmäßige Trocknung mit bester Wärmeausnutzung erzielt. Die automatische Zuteilung der Naßgutmenge, die sich selbständig nach der zu-

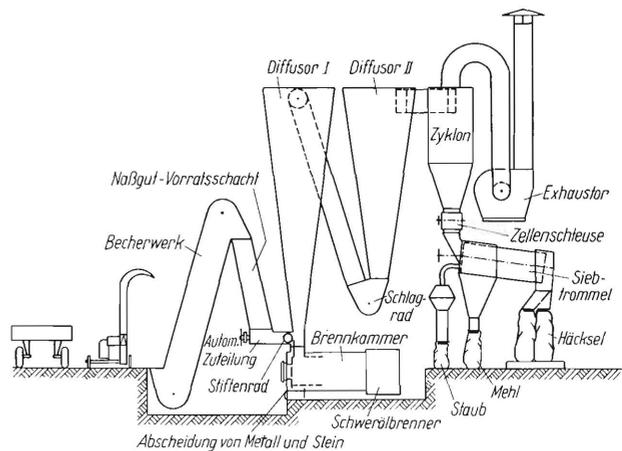


Bild 7. Diffusorentrockner der Siccaplant GmbH., Düsseldorf.

geführten Wärmemenge einstellt und gerade so viel Naßgut zuteilt, wie zur optimalen Ausnutzung der zugeführten Wärme erforderlich ist, gewährleistet eine gleichbleibend gute Qualität des Trockengutes. Die Anlage ist nur für Leichtgut, also Gras, Klee und Luzerne geeignet. In Gebieten, in denen kein Zuckerrübenanbau ist, wird fast nur Leichtgut getrocknet.

Bild 8 zeigt den in Deutschland am meisten vertretenen Großtrockner, den Büttnerschen Schnellumlaufetrockner, der Schwer- und Leichtgut gleich gut trocknet. Er setzt sich aus zwei Teilen zusammen, der Trocknungstrommel und dem pneumatischen Sichttrockner. Die Verweildauer beträgt etwa 10 min.

Bei der Errichtung von Trocknungsanlagen muß beachtet werden, daß die abziehenden Brüden Wasserdampf, Staub und Geruchstoffe enthalten. Eine Großanlage sollte daher möglichst nicht in der Nähe von Wohnhäusern errichtet werden.

An die eigentliche Trocknungsapparatur schließt sich die Weiterverarbeitung des Trockengutes an. Während man vor Jahren das Trockengut in gehäckseltem Zustand beließ, wird es heute in schweren Pressen zu Würfeln gepreßt. Das Pressen hat den Vorteil, daß es etwaige Funken im Trockengut beim Preßvorgang erstickt und daß das Gut mit etwas höherer Feuchtigkeit die Trocknung verlassen kann, da zum Aneinanderbacken eine gewisse Feuchtigkeit erforderlich ist. Diese Feuchtigkeit wird durch Wiedererwärmung infolge des gewaltigen Preßdruckes nachträglich verdunstet, und für den Bauern ergibt sich ein wesentlich kleinerer Lagerraum für das gepreßte Gut gegenüber dem gehäckselten Gut. Eine durchschlagende Verbesserung für die Konservierung des leichtflüchtigen Karotins wird damit jedoch nicht erreicht. Die Preßkosten betragen etwa 2,— DM/dz Trockengut.

Da neuerdings das Grünkrafftutter verkauft werden muß, muß es schon in gemahlenem Zustand ausgeliefert werden, weil der Handel nur gemahlene Qualitäten gut bezahlt. Für das Mahlen rechnet man 1,— DM/dz Trockengut. Deshalb werden die Anlagen in zunehmendem Maße mit Mühlen ausgerüstet. An diese Mühlen mit ihren Entstaubungsanlagen schließen sich Mischtrommeln, Vorratsbunker, Förder-, Absack- und Wiegeeinrichtungen sowie Lagerräume an.

Nun noch ein Wort zu den Trocknungskosten. Wie eingangs erwähnt, ist Trocknung Wasserverdunstung, und die Wasserverdunstung kostet Geld. So ist es nicht verwunderlich, daß der Preis für die reine Trocknung nahezu linear proportional der Wassermenge ist, die zu verdunsten ist. **Bild 9** zeigt einen

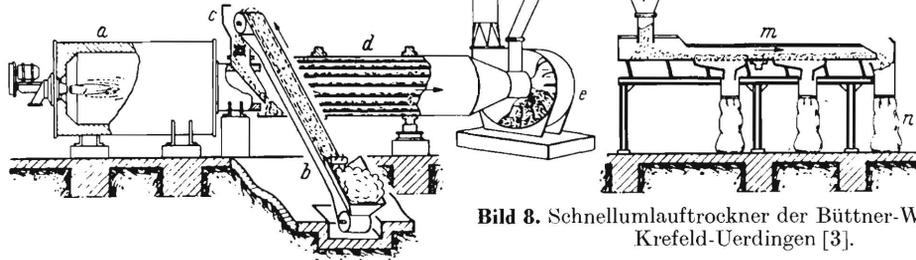


Bild 8. Schnellumlauftrockner der Büttner-Werke, Krefeld-Uerdingen [3].

- a Feuerung
- b Naßgutförderer
- c Aufgabevorrichtung
- d Trommel als Vortrockner
- e Schleuderventilator
- f Trocknerrohr
- g Umlenkhaube
- h Sichtvorrichtung
- i Rücklauf
- k Materialabscheider
- l Abluftrohr
- m Schüttelkühlsieb
- n Absackung

Einblick in die Zusammenhänge. Auf der linken Seite sehen wir den Wassergehalt verschiedener Güter in Prozent der Naßgutmenge bzw. des Verdunstungswassers in kg je dz Fertiggut mit 10% Endfeuchte. Auf der rechten Seite finden wir den Preis in DM/dz Fertiggut. Als Richtpreis für die reine Trocknung ohne Anfuhr und ohne Verarbeitung des Trockengutes zu Mehl ist auch im Jahre 1960 14,— DM/dz Fertiggutmenge (10% Endfeuchte) anzusetzen, wenn die Anfangsfeuchte des Grüngutes 80% ist. Dabei sind 2000 Betriebsstunden je Jahr zugrunde gelegt. Ist das Grünfutter auf 65% vorgewelkt, so beläuft sich der tatsächliche Trocknungspreis auf nur 6,50 DM/dz. Muß dagegen regennasses Grüngut oder Herbstzwischenfrucht getrocknet werden, so beträgt der effektive Trocknungspreis 28,— DM/dz Trockengut, wenn die Anfangsfeuchte 89% ist. Ganz rechts in diesem Bild sehen wir, wie der Trocknungspreis sich zusammensetzt. Man beachte den hohen Anteil der festen Kosten, die bis zu 50% und mehr betragen können. Wir halten fest, daß Herbstzwischenfrucht und regennasses Grüngut viel zu hohe Trocknungskosten verursachen und daß der wahre Preis der Trocknung linear proportional der zu verdunstenden Wassermenge ist.

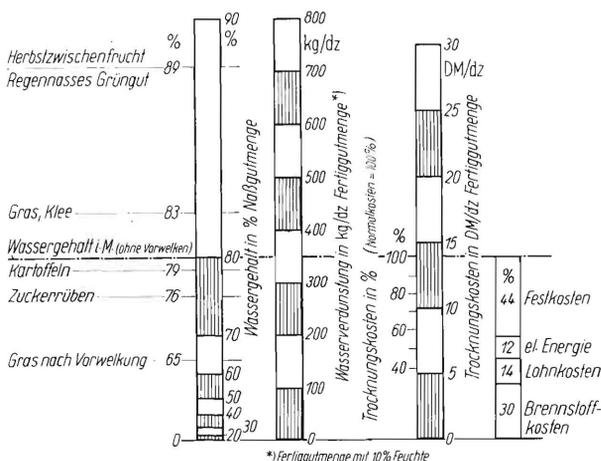


Bild 9. Trocknungskosten in Abhängigkeit vom Wassergehalt des Naßgutes bei Großtrocknungsanlagen (ohne Anfuhr und Weiterverarbeitung des Trocknungsgutes) unter Zugrundelegung der Trocknungskosten für ein Naßgut mit einem mittleren Wassergehalt von 80%.

Wir kommen jetzt zu den Kleinanlagen, wobei zunächst die Frage der Erwärmung der Luft zu klären ist. Zur Trocknung braucht man Wärme; selbst bei der Heubelüftung erweist sich eine leichte Erwärmung der Luft als zweckmäßig, da durch die

schnellere Trocknung wertvolle Nährstoffe erhalten bleiben. Eine kleine Erhöhung der Lufttemperatur um etwas mehr als 3 grad verdoppelt bei der Heubelüftung bereits die Trocknungsleistung und macht es möglich, auch des Nachts zu trocknen, so daß eine Heizvorrichtung einer Heubelüftungsanlage gleich die vierfache Leistung gibt.

Bei den Kleinanlagen wird vorzugsweise mit Warmluft statt mit direkten Feuergasen getrocknet. **Tafel 4** zeigt den Wärmepreis je Gcal. Trotzdem die elektrische Energie fünfmal teurer ist als andere Energien, ist bei kleinen Wärmeleistungen die elektrische Energie vorzuziehen. Bei größeren Wärmemengen empfiehlt sich Leichtöl, da die Leichtölanlage völlig automatisch arbeitet. Zudem sind in einigen Ölheizgeräten Ölbrenner installiert, die im Winter vor eventuell vorhandene Zentralheizungen gesetzt werden können. Mittelöl, eine Mischung von Leicht- und Schweröl, sollte man nicht für Anlagen mit langandauernden Betriebsunterbrechungen, wie sie in Trocknungsanlagen vorkommen, verwenden, da das Mittelöl sich bei langen Betriebspausen entmischt und dadurch eine Verfeuerung unmöglich macht.

Tafel 4. Wärmepreis bei Warmlufttrocknung (Stand 1. 1. 1961)

	Grundpreis	Preis frei Anlage DM/Gcal
Elektrische Energie	0,10 DM/kWh	116,—
Koks (Bedienung: 6% des Grundpreises)	11,— DM/dz	22,70
Leichtöl	0,12 DM/l	18,—
Schweröl	Entfernung von 20 km der Raffinerie 200 km	8,00 DM/dz 10,75*)
		10,80 DM/dz 14,30*)

*) Preis einschl. Schwerölvorwärmung

Bei den Kleinanlagen unterscheiden wir Einzweck- und Mehrzweckanlagen. Die Einzweckanlagen, wie Getreidetrockner und Heubelüfter, müssen möglichst billig gehalten werden, um bei der niederen jährlichen Betriebsstundenzahl den Festkostenanteil nicht zu hoch werden zu lassen. Die Mehrzweckanlagen haben die Aufgabe, alle Wünsche des bäuerlichen Betriebes, die an die Trocknung, Heizung, Belüftung und zum Teil auch an die Frischhaltung gestellt werden, zu erfüllen.

Die Trocknungswünsche beziehen sich auf die Trocknung von Grünkrafftutter, Heilkräuter, Holz und Getreide und für die Hauswirtschaft, selbst auf Wäsche und nasse Kleidungsstücke.

Um diese vielseitigen Wünsche zu befriedigen, ist am besten ein Fußboden mit sogenanntem Spaltplattenbelag geeignet, wie er in **Bild 10** zu sehen ist. Er ist mit Schlepper und Anhänger befahrbar. Unter dem Fußboden liegen ein Hauptkanal und entsprechende Nebenkanäle, durch die warme Luft fließt. Die Kanäle sind mit Platten abgedeckt, zwischen denen in gleichmäßigen Abständen Spalte mit genau einzustellender Größe sind, durch die die Luft austritt. Diese Spalte drosseln die austretende Luftmenge und sind die Ursache, daß eine einigermaßen gleichmäßige Luftverteilung dann noch vorhanden ist, wenn diese Fläche unterschiedlich hoch mit Trocknungsgut belegt ist. Auf diese sogenannte Intensivfläche wird vom Wagen aus vorgewelktes Grüngut gleichmäßig verteilt. Gegen Ende der Trocknung wird das Grüngut ein paarmal gewendet und kann dann von Hand oder mit dem Pferderechen abgeräumt werden. Bei Getreide deckt man eine Sackleinenebene über diese Fläche und schüttet das Getreide lose auf 40 cm oder höher darauf; nach der Trocknung wird eine Spiratormulde, die im Hauptkanal liegt, geöffnet, das Getreide wird in diese Mulde geschoben und von hier mittels einer Getreideförderschnecke oder eines Becherwerks hochgefördert.

Diese Intensivfläche kann auch zur Kühlung dienen. Müssen Pflückerbsen oder -bohnen, Spinat oder anderes Gemüse frischgehalten werden, so werden diese in Säcken auf die Intensivfläche gelegt und kühle Luft durchgeblasen. Diese Anlagen bedienen sich der sogenannten „Mondscheinkühlung“. Eine Thermostatenautomatik mit Frostsicherung schaltet das Gebläse ein, wenn bei Nacht im Freien die Lufttemperatur gefallen ist. Das Gebläse bläst kühle Nachtluft durch. Wenn im Laufe des Morgens die Lufttemperatur wieder ansteigt, schaltet sich das Gebläse wieder ab.

Die im Zusammenhang mit der Trocknung geäußerten Heizungswünsche beziehen sich auf die zentrale Heizung der Wohn- und Wirtschaftsräume, auf die Beheizung von Kükenanzuchtställen und Hühnerställen und die Belüftung dieser Ställe im Sommer sowie auf die Beheizung von Gewächshäusern und Warmbeeten im Winter. Alle diese Heizungswünsche kann man am besten mittels einer Warmluftanlage befriedigen. In einem Heizraum wird mittels eines Warmluftofens Luft erwärmt und mittels eines Ventilators durch ein Kanalsystem gefördert.

Die Warmluftheizung ist in Europa weniger bekannt, während sie in den USA allgemein gebräuchlich ist. Sie hat den Vorteil, daß ein Zimmer schnell erwärmt ist, sobald die Warmluftheizung in ihm geöffnet wird. Die einströmende Warmluft erzeugt einen leichten Überdruck im Zimmer, so daß nahezu alle Zugscheinungen verschwinden. Wird die Luft aus dem Freien angesaugt, so ist sie rein, gesund und trocken, die Wände bleiben trocken und der Wärmedämmwert der Wände bleibt hoch. Die eingetretene Luft entweicht durch die Undichtigkeiten der Wände und insbesondere der Türen und Fenster. Eine Warmluftheizung hat gegenüber der Warmwasserheizung den Vorteil, daß sie nicht durch Einfrieren zerstört werden kann. Nachteilig ist, daß bei reiner Frischluftheizung der Wärmebedarf größer ist als bei der Warmwasserheizung. Daher wird bei größeren Anlagen ein Teil der Luft meist aus dem Flur und Treppenhaus wieder abgesaugt, in einem Filter gereinigt und als Umluft wieder zugeführt, wodurch der Wärmebedarf sinkt.

An das Warmluftkanalnetz sind über Regelorgane die Intensivfläche, die Wohn- und Wirtschaftsräume, die Kükenanzucht- und Hühnerställe, die Heubelüftung, die Warmbeete und Gewächshäuser angeschlossen. **Bild 11** zeigt ein Beispiel einer solchen in einem ostfriesischen Bauernhaus eingebauten Anlage. Die Intensivfläche dient hier zur Trocknung von Grünkrafftutter, Getreide und Saatgut, im Frühjahr zum Vorkeimen von Kartoffeln. An das Kanalnetz sind die Heubelüftung, zwei Zentralrohrsilos und die Wohn- und Wirtschaftsräume angeschlossen. Zu den einzelnen Zimmern führt ein Warmluftkanal. Die Kanäle liegen unter Flur, nur an den Ausblaskstellen treten sie durch den Fußboden. Aus den Wohnräumen kehrt die Umluft zurück zum Heizraum, wo sie, mit Frischluft gemischt, über ein Filter den Räumen wieder zufließt. Eine Abzweigung vom Kanalnetz ermöglicht eine gelegentliche Kühlung von Rübensamenstecklingen im Winter.

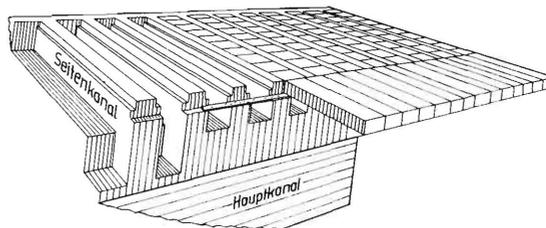


Bild 10. Fußboden mit Spaltplattenbelag (Bauart Siccaplant).

Durch die Mehrzweckanlage kommt der bäuerliche Betrieb auf eine höhere Stufe, auf der gewinnbringendere Kulturen betrieben werden können. Er wird freier in seinen Anbaumöglichkeiten. Der Einbau einer solchen Mehrzweckanlage sollte bei der Erstellung neuer landwirtschaftlicher Höfe stets erwogen werden. Wie vor vierzig Jahren der Schlepper eine große Umstellung in der Landwirtschaft einleitete, so wird in den nächsten Jahrzehnten die Mehrzweckanlage, sich immer weiter vervollkommend, eine große Umwälzung in der Anbaustruktur des Bauernhofes nach sich ziehen.

Zusammenfassung

Trocknen heißt Wasseraustreiben; dieses erfolgt durch Umwandlung des Wassers von der flüssigen in die gasförmige Phase. Ist bei dem Vorgang Luft zugegen, spricht man von „Verdunstung“ statt von „Verdampfung“. Die Beziehungen zwischen Wasserverdunstung, Wärmebedarf und Luftmenge werden durch Beispiele am *i-x*-Diagramm erläutert.

Eine Hauptforderung an den Trockner ist, daß die Trocknungsgase gleichmäßig und allseitig das Gut umströmen. Da Wasser-

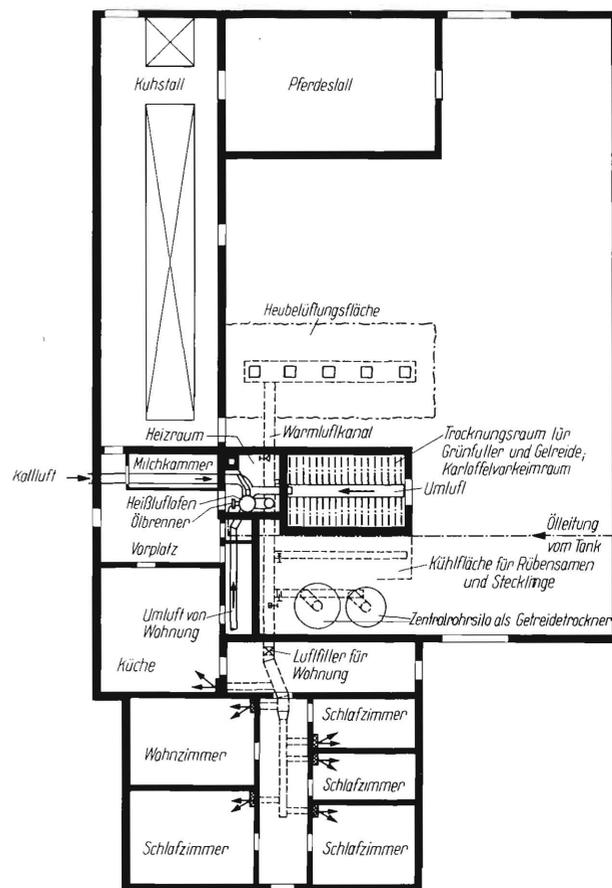


Bild 11. Mehrzweckanlage in einem Bauernhaus. Einbaubeispiel einer Universalanlage < 50 000 kcal/h (Bauart Siccaplant): Grünfutter-, Getreide- und Sämereientrocknung, daran durch Luftkanal angeschlossen: Wohnraumheizung, Heubelüftung und Stecklingskühlanlage.

verdunsten Geld kostet, ist das Naßgut möglichst trocken zur Trocknung zu bringen. Andererseits gilt: je höher die Endfeuchte im Trockengut, desto billiger ist die Trocknung. Weißtorf mit einer Endfeuchte von 35% ist besonders günstig, dann kommt Heu mit 20%. Das Vorwelken auf dem Felde wird damit zu dem nahezu wichtigsten Teil der Trocknung; z. B. hat Grüngut, wenn es normal gemäht und zur Trocknung gebracht wird, einen Anfangswassergehalt von 80%, und es müssen 350 kg Wasser je dz Trockengut verdunstet werden. Bei auf 65% vorgewelktem Grüngut sind nur noch 157 kg Wasser je dz Trockengut zu verdunsten. Die Trocknungskosten sind nahezu linear abhängig von der Wassermenge des Naßgutes, die verdunstet werden muß. Beträgt der Preis je dz Fertiggut bei 80% Anfangsfeuchte 14,— DM, so fällt er bei 65% auf 6,50 DM und steigt bei 89% auf 28,— DM.

Es wird empfohlen, die einzelnen Typen der Heuwerkungsgeräte speziell auf die Güte ihrer Trocknungsarbeit hin zu überprüfen, da sie in der Praxis einen sehr unterschiedlichen Trocknungserfolg zeigen.

Bei den Großanlagen spielt die Trocknungsgeschwindigkeit eine um so größere Rolle, je kürzer die Verweildauer des Gutes in der Trocknung ist. Die Verweildauer ist von der Teilchengröße des Gutes abhängig. Der Wirkungsgrad der Gleichstromtrockner ließe sich am nachhaltigsten durch feinere Zerkleinerung des Gutes verbessern.

Die wirtschaftliche Entwicklung zwingt die Trocknungswerke, vom Mähen des Grüngutes bis zum Verkauf des Grünkrafftutters alles in die Hand zu nehmen. Die Ausrüstung der Trocknungswerke und einige Bauarten werden besprochen.

Bei den Kleinanlagen unterscheidet man Einzweck- und Mehrzweckanlagen. Einzweckanlagen wie Getreide- und Heutrockner müssen möglichst billig gehalten werden. Mehrzweckanlagen müssen alle landwirtschaftlichen Güter trocknen können, die Wohn- und Wirtschaftsräume heizen, Hühner- und Kükenaufzuchtställe sowie Gewächshäuser beheizen. Die Mehrzweckanlage führt zu einer Umwandlung des Bauernhofes und ermöglicht gewinnbringendere Kulturen.

Schrifttum

- [1] *Mollier, R.*: Ein neues Diagramm für Dampf-Luft-Gemische. Z. VDI **67** (1923) S. 869/72.
- [2] *Vormfelde, Karl*: Landmaschinen. Verlag Parey, Berlin 1930. S. 148, Abb. 149: Graszetter am Grasmäher von Epple & Buxbaum, Augsburg [s. auch Deutsche Patente 422676 (1924), 453903 (1926) und 678567 (1936)].
- [3] *Krischer, O.*, und *K. Kröll*: Trocknungstechnik Bd. 1 und 2. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1956 bzw. 1959.
- [4] *Wacker, H.*, und *B. v. d. Mosel*: Die künstliche Grünfuttertrocknung. DLG-Verlags-GmbH Frankfurt/Main 1957.