

## 1. Aufgabenstellung

Entsprechend der vom VIII. Parteitag der SED verabschiedeten Direktive zum Fünfjahrplan besteht die Aufgabe der Landwirtschaft in der konsequenten Weiterführung der sozialistischen Intensivierung und Rationalisierung, um mehr, besser und billiger zu produzieren und die Bevölkerung planmäßig mit Nahrungsgütern zu versorgen. Zur Sicherung der vollen Planerfüllung bei tierischen Erzeugnissen müssen unter Nutzung aller noch vorhandenen Reserven hochwertige Futtermittel bereitgestellt werden, die mit geringsten Nährstoffverlusten den Tieren zuzuführen sind. Unter den zur Anwendung kommenden Konservierungsverfahren ist die Heißlufttrocknung von Grünfütter und Hackfrüchten als verlustärmtes, industriemäßiges Verfahren der Futtermittelherstellung von Bedeutung, mit dessen Hilfe konzentrierte Futtermittel erzeugt werden.

Zur Durchsetzung einer hohen Effektivität und Arbeitsproduktivität in allen Bereichen der Landwirtschaft wird die Rationalisierung vorhandener Anlagen dringend notwendig. Hierbei kommt der weiteren Entwicklung der Kooperationsbeziehungen zwischen den LPG und VEG besondere Bedeutung zu, um durch gemeinsame Nutzung der Grundmittel eine hohe Auslastung der Produktionsmittel zu gewährleisten. Für die Heißlufttrocknung gilt es, die weitere Erhöhung der Trockengutproduktion bei gleichzeitiger Senkung des spezifischen Energiebedarfs vor allem durch innerbetriebliche Rekonstruktionsmaßnahmen an vorhandenen Trocknungsanlagen zu erreichen.

Es ergab sich die Aufgabe, Untersuchungen zur Erhöhung der Trockenguterzeugung und Senkung des spezifischen Energiebedarfs landwirtschaftlicher Trocknungsanlagen durchzuführen und hieraus entsprechende Schlußfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis abzuleiten. Ferner waren die leistungsbegrenzenden Stellen des Trockners zu ermitteln und Vorschläge zu ihrer Beseitigung zu unterbreiten.

Zur Lösung dieser Aufgabe wurden in den Jahren 1968 bis 1970 an landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen Untersuchungen durchgeführt.

In Zusammenarbeit mit Mitarbeitern der Sektion Landtechnik der Universität Rostock wurde an der Trocknungsanlage Rhinow die Verarbeitung von Welkgut erprobt. Diese Untersuchungen dienen vor allem dem Ziel, den Einfluß des Vorwelkens auf die Erhöhung der Trockenguterzeugung und Senkung des spezifischen Wärmeaufwands zu klären.

Durch Auswertung der gemessenen wärme- und trocknungstechnischen Kennwerte wurden allgemeingültige Zusammenhänge zwischen den Betriebsparametern und den Leistungsdaten des Trockners ermittelt, die zur Aufstellung eines Bedienungsnomogramms führten.

## 2. Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen

### 2.1. Der Einfluß des Vorwelkens auf die Erhöhung der Trockenguterzeugung und Senkung des spezifischen Wärmeaufwands

Der Einfluß des Vorwelkens ist bereits aus folgenden Überlegungen überschaubar:

Der spezifische Wärmebedarf je kg Trockengut ist das Verhältnis aus der zur Verdampfung des Wassers erforderlichen Wärme und der Trockenguterzeugung. Wird nun der Anteil des im Gut enthaltenen Wassers durch Vorwelken reduziert, ergibt sich daraus zwangsläufig eine Reduzierung des spezifischen Wärmeaufwands.

Wird annähernd gleicher Durchsatz an Frischgut vorausgesetzt, erhöht sich bei Verminderung des Wasseranteils gleichzeitig die Trockenguterzeugung.

Die Nutzung dieses Sachverhalts führte unter den Bedingungen der Praxis zu den in Tafel 1 festgehaltenen Ergebnissen.

Bei Eintrittsfeuchten des Guts unter 70 Prozent wurde die Trockenguterzeugung von den Hammermühlen begrenzt (Aufreten von Verstopfungen). Die weitere Erhöhung der Trockenguterzeugung (Tafel 1, Spalte 4 und 5) war nur

Tafel 1. Ergebnisse der Leistungsmessungen an der Trocknungsanlage Rhinow (UT 66-D), geheizt mit Kohle 1, 2, bei Einsatz von Gut unterschiedlicher Eintrittsfeuchte

Gutart		Gras frisch	Gras frisch	Gras frisch	Gras ange-welkt	Gras ange-welkt
Eintrittsfeuchte	%	81,2	74,5	70,2	60,7	56,2
Austrittsfeuchte	%	15,0	12,5	10,2	10,7	8,1
Naßgutdurchsatz	kg/h	4790	4050	4300	4080	4430
Wasserverdampfung	kg/h	3730	2870	2870	2290	2350
Trockengutausstoß	kg/h	1060	1180	1430	1790	2080
spez. Wärmebedarf je kg Trockengut	kcal/kg	3170	2310	2010	1400	1210

durch Stilllegung der Mühlen möglich, wobei das Trockengut dann ungemahlen abgegeben wurde. Die mit Gras erzielten Ergebnisse lassen sich analog auf andere Grünfütterarten übertragen.

### 2.2. Nomogramm zur Ermittlung optimaler Betriebsparameter für den Trocknertyp UT 66

Die Grundlage des Nomogramms (Bild 1) bilden die umfangreichen Meßergebnisse der Jahre 1968 bis 1970, die theoretisch analysiert und allgemeingültigen Zusammenhängen zugeordnet wurden. Die im Nomogramm dargestellten Abhängigkeiten lassen sich wie folgt begründen:

#### 2.2.1. Feuchteanteil des eintretenden Guts — Trocknungsgastemperatur (Bild 1, unten Mitte)

Die Meßwerte für die Trocknungsgastemperatur in Abhängigkeit von der Feuchte der jeweiligen Gutart ergaben eine Punktwolke von relativ starker Streuung [1]. Die Grenze dieser Punktwolke wurde nach unten durch Meßwerte gebildet, die sich bei sehr vorsichtiger Fahrweise der Trocknungsanlage ergaben. Die im oberen Bereich liegenden Werte entsprachen einem Betriebszustand, bei dem die für die jeweilige Gutart maximal zulässige Trocknungsgastemperatur überschritten wurde (Verstopfungen der trockengutseitigen Fördereinrichtungen und Anzeichen für das Entstehen von Trommelbränden).

Die im Nomogramm dargestellten Kurven, die empirisch zwischen den oberen und unteren Grenzen der Punktwolken eingetragen wurden, entsprechen einem optimalen Betriebszustand (höchstmögliche Trocknungsgastemperatur und damit maximale Wasserverdampfung bei gegebenem Feuchtegehalt des Trockneraufbeguts; störungsfreier Betrieb).

Bei gleichem Feuchtegehalt des Trockneraufbeguts lassen Hackfrüchte von allen Gutarten die höchsten Trocknungsgastemperaturen zu. Zwischen den Hackfrüchten und Gras, das am temperaturempfindlichsten ist, liegen die übrigen Grünfütterarten.

Der zunehmende Anstieg der Kurven ergibt sich aus dem geradlinigen Zusammenhang zwischen der zulässigen Trocknungsgastemperatur und dem Feuchtegehalt des Guts (Quo-

\* Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim (Direktor: Obering. O. Bostelmann)

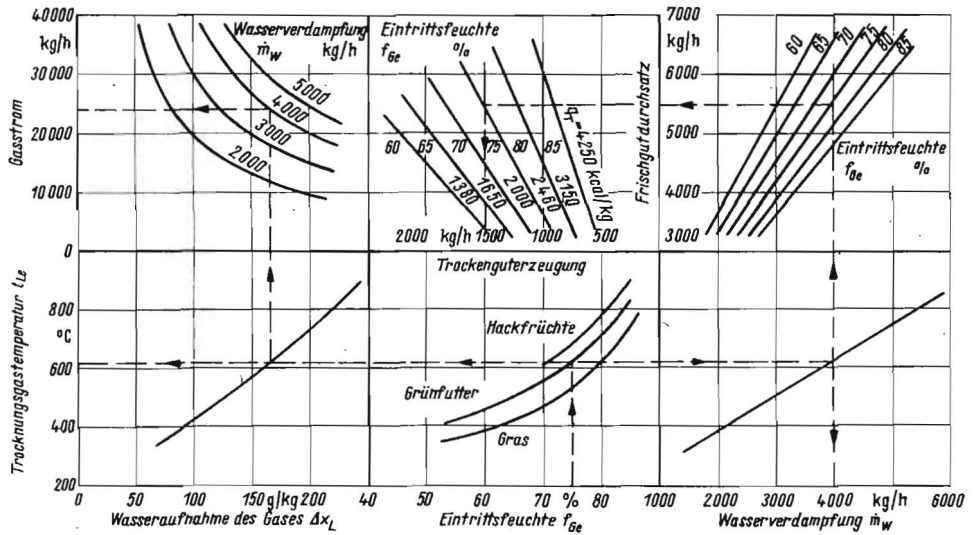


Bild 1  
Nomogramm zur Ermittlung  
optimaler Betriebsparameter für  
den Trocknertyp UT 66;  
Feuchteanteil Trockengut  
 $f_{Ga} = 10\%$ ,  
 $q_T$  spezif. Wärmebedarf je kg  
Trockengut

Gutart $f_{Ge}$ in %	Grünfutter 70 80	Gras 70 80	Hackfrüchte
Trommeldrehzahl U/min	6 5	7 6	5

tient aus Masse der Flüssigkeit und Masse des Trockenstoffs in kg/kg).

Die Regelgröße Abgastemperatur läßt sich bei steigender Trocknungsgastemperatur durch Verstellen des Frischgutdurchsatzes konstant halten.

Untersuchungsergebnisse über das Verhalten der Regelstrecke „Trommeltrockner“ liegen vor /3/.

### 2.2.2. Trocknungsgastemperatur — Wasserverdampfung (Bild 1, unten rechts)

Zwischen der Wasserverdampfung und der Trocknungsgastemperatur besteht mit guter Näherung ein linearer Zusammenhang /1/. Die Gerade im Nomogramm entspricht der aus den Versuchswerten errechneten Regressionsgeraden.

### 2.2.3. Wasserverdampfung, Feuchteanteil des ein- und austretenden Guts und Frischgutdurchsatz (Bild 1, oben rechts)

Der Frischgutdurchsatz in Abhängigkeit von der Wasserverdampfung und der Feuchte des ein- und austretenden Guts ergibt sich aus folgendem Zusammenhang:

$$\dot{m}_F = \dot{m}_W \cdot \frac{100\% - f_{Ga}}{f_{Ge} - f_{Ga}} \quad (1)$$

Es bedeuten:

$\dot{m}_F$  Frischgutdurchsatz in kg/h

$\dot{m}_W$  Wasserverdampfung in kg/h

$f_{Ge}, f_{Ga}$  Feuchteanteil des ein- und austretenden Guts in Prozent

### 2.2.4. Frischgutdurchsatz, Feuchteanteil des ein- und austretenden Guts, spezifischer Wärmebedarf je kg Trockengut und Trockenguterzeugung (Bild 1, oben Mitte)

Die Trockenguterzeugung ergibt sich aus:

$$\dot{m}_T = \dot{m}_F \cdot \frac{100\% - f_{Ge}}{100\% - f_{Ga}} \quad (2)$$

Entsprechend dem Zusammenhang

$$q_T = q_W \cdot \frac{f_{Ge} - f_{Ga}}{100\% - f_{Ge}} \quad (3)$$

sind die Linien gleicher Eintrittsfeuchte gleichzeitig Linien konstanten spezifischen Wärmebedarfs je kg Trockengut, wenn man je kg Wasser jeweils konstanten Wasserbedarf  $q_W$  annimmt.

Es bedeuten:

$q_T$  spezif. Wärmebedarf je kg Trockengut in kcal/kg

$q_W$  spez. Wärmebedarf je kg Wasserverdampfung in kcal/kg

Bei der Berechnung wurde der spezifische Wärmebedarf je kg Wasserverdampfung mit abnehmendem Feuchteanteil des Frischguts zwischen 900 und 1100 kcal/kg gestaffelt.

### 2.2.5. Trocknungsgastemperatur und Wasseraufnahme des Gases (Bild 1, unten links)

Der Kurvenzug entspricht dem für die jeweilige Trocknungsgastemperatur optimalen spezifischen Wärmebedarf je kg Wasserverdampfung /3/. Für eine gegebene Trocknungsgastemperatur ergibt sich hieraus zwangsläufig die Wasseraufnahme des Gases.

### 2.2.6. Wasseraufnahme des Gases, Wasserverdampfung und Gasstrom (Bild 1, oben links)

Der Gasstrom ergibt sich exakt als Quotient aus der Wasserverdampfung und der Wasseraufnahme des Gases.

### 2.2.7. Der Gebrauch des Nomogramms wird an einem Beispiel erläutert:

Es soll Grünfutter mit einem Feuchteanteil von 75 Prozent getrocknet werden. Die zulässige Trocknungsgastemperatur ergibt sich zu  $t_{Le} = 620^\circ\text{C}$  (Bild 1, unten Mitte).

Für eine Wasserverdampfung von 4000 kg/h (Bild 1, unten rechts) und einen Feuchteanteil des Frischguts von 75 Prozent beträgt der Frischgutdurchsatz 5500 kg/h. Für die Trockenguterzeugung werden 1500 kg/h abgelesen; der spezifische Wärmebedarf je kg Trockengut ergibt sich zu 2460 kcal/kg (Bild 1, oben rechts und Mitte). Für eine Trocknungsgastemperatur von 620 °C läßt sich der Gasstrom zu 23000 kg/h bestimmen (Bild 1, links unten und oben).

Der Einfluß des Vorwelkens auf die Senkung des spezifischen Wärmebedarfs und die Erhöhung der Trockenguterzeugung ist sofort erkennbar.

Wird der Eintrittsfeuchteanteil des Grünfutters durch Vorwelken auf dem Feld z. B. auf 65 Prozent reduziert, ändern sich die Betriebsdaten des Trockners wie folgt:

Trocknungsgastemperatur	500 °C	anstelle 620 °C
Wasserverdampfung	3000 kg/h	anstelle 4000 kg/h
Frischgutdurchsatz	4900 kg/h	anstelle 5500 kg/h
Trockenguterzeugung	1900 kg/h	anstelle 1500 kg/h
spez. Wärmebedarf je kg Trockengut	1650 kcal/kg	anstelle 2460 kcal/kg

Aus diesen Zahlen ist der große energiewirtschaftliche Vorteil des Vorwelkens deutlich erkennbar!

### 3. Schlußfolgerungen und Empfehlungen

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen ergeben sich folgende Schlußfolgerungen und Empfehlungen für die Betreiber landwirtschaftlicher Trocknungsanlagen:

- Das Vorwelken des Grünfutters als äußerst wirkungsvolle Methode zur Erhöhung der Trockenguterzeugung und Senkung des spezifischen Energiebedarfs ist konsequent anzuwenden.

Bei Reduzieren des Feuchteanteils des Trockneraufgabeguts durch Vorwelken z. B. von 80 Prozent auf 70 Prozent ist eine Steigerung der Trockenguterzeugung und eine Senkung des spezifischen Wärmebedarfs je kg Trockengut um rd. 35 Prozent erreichbar.

Für eine landwirtschaftliche Trocknungsanlage von der Leistungsgröße des Typs UT 66 bedeutet das mit den Zahlenwerten aus Tafel 1 und einer jährlichen Betriebszeit des Trockners für den Einsatz vorgewelkten Guts von 1150 h eine jährliche Einsparung von rd. 120 t Briketts bzw. 60 t Heizöl. Die jährliche Mehrproduktion an Trockengut beträgt etwa 430 t.

Wesentliche Qualitätsminderungen gegenüber der Trocknung frischen Guts sind nach Untersuchungen der Universität Rostock /5/ bei einer Weldaue von 1 bis 2 Tagen nicht zu erwarten.

- Zur Erhöhung der Durchlaßkapazität der trockengutseitigen Aufbereitungs- und Fördereinrichtungen sind technische Veränderungen an diesen Aggregaten vorzunehmen: Verzicht auf den Einsatz der Hammermühlen als wesentlichste Stör- und Lärmquelle sowie Anwendung des Pelletierverfahrens. Ein weiterer Vorteil dieser Maßnahme liegt in der Verminderung des Nährstoff- und Karotinabbaus des Trockenguts und in einer Senkung der Umschlag- und Lagerungsverluste; für Rinder soll darüber hinaus die Struktur des Futters so grob wie möglich sein; Einbau einer größeren Frischgut-Zumeßschnecke und Trockengut-Auszichschnecke in den Trocknertypen mit Kreuzeinbauten; Installation einer Einrichtung zum Absaugen des Trockenguts nach der Auszichschnecke (zur Verhinderung von Verstopfungen und zum Abscheiden von Fremdkörpern); über Einrichtungen dieser Art verfügen u. a. die Trocknungsbetriebe Rhinow und Woltersdorf.

- Das erarbeitete Nomogramm zur Ermittlung optimaler Betriebsparameter für den Trocknertyp UT 66 ist als Bedienungsanleitung für landwirtschaftliche Trocknungsanlagen dieses Typs zu verwenden. Die Bedeutung und der wirtschaftliche Wert des Nomogramms lassen sich wie folgt begründen:

Maximale Auslastung des Trockners und damit Erhöhung der Trockenguterzeugung durch Einstellen der sich aus dem Nomogramm bei Gewährleistung eines störungsfreien Betriebsablaufs ergebenden optimalen Trocknungsgastemperatur;

in Abhängigkeit von der Eintrittsfeuchte des Frischguts liest der Trocknungsmeister die für die jeweilige Gutart bei optimaler Auslastung der Anlage erforderliche Trocknungsgastemperatur ab.

- Erhöhung der Betriebssicherheit der Trocknungsanlage durch Einhalten der sich ergebenden Trocknungsgastemperatur. Die Gefahr von Verstopfungen und Trommelbränden, die insbesondere bei der Wahl zu hoher Trocknungsgastemperaturen besteht, vermindert sich dadurch.
- Eine zuverlässige Bedienung des Trockners nach dem Nomogramm erfordert genaue Betriebsmeßgeräte, vor allem für die Messung der Temperatur des Gases und der Feuchte des Guts. Die in den Trocknungsanlagen installierten Temperaturmeßeinrichtungen sind daher auf ihre Funktionstüchtigkeit zu überprüfen und gegebenenfalls auszuwechseln. Zur Bestimmung der Gutfeuchte eignet sich für den Einsatz in Trockenwerken der Schnellbestimmer der Fa. Dr.-Ing. G. Müller, KG, Chemisch-physikalische Werkstätten Heiligenstadt.

- Zur Verhinderung von Verstopfungen an den frischgutseitigen Fördereinrichtungen und in der Trommel, insbesondere bei der Verarbeitung von vorgewelktem Gras, ist auf eine einwandfreie Häckselqualität zu achten (Häcksel-länge 10 bis 30 mm, glatter Schnitt). Die Messer der Standhäcksler sind daher in kurzen Abständen zu wechseln.

- Zur Erhöhung der Betriebssicherheit der Trocknungsanlage (bei Welkgut treten größere Schwankungen im Wassergehalt des Trockneraufgabeguts auf) und zur Verminderung des Bedienungsaufwands sind geeignete Automatisierungseinrichtungen einzusetzen. Für Anlagen mit Kohlefeuerung eignet sich vor allem die vom IML /4/ vorgeschlagene Regeleinrichtung, die es mit einfachen Mitteln und preiswerten Geräten ermöglicht, eine nachträgliche Teilautomatisierung von Trocknungsanlagen des Typs UT 66-1 vorzunehmen. Nach den Betriebserfahrungen in den Trocknungsanlagen waren nach dem Einbau der Automatik deutlich folgende Verbesserungen zu verzeichnen:

einwandfreie Verarbeitung vorgewelkten Guts; höhere Qualitätseinstufung durch Einhalten des Trockensubstanzgehalts zwischen 86 und 92 Prozent; keine Mühlenverstopfungen mehr, falls gemahlen wurde; gleichmäßiger Betrieb auch bei Schichtwechsel; gefahrloses An- und Ausfahren der Trommel.

- Eine wesentliche Voraussetzung zur Erhöhung der Trockenguterzeugung ist die kontinuierliche Beschickung der Trocknungsanlagen, die durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen ist. Dieses Problem läßt sich vor allem durch das kooperative Nutzen einer Trocknungsanlage als Gemeinschaftseinrichtung lösen, wobei feste Kooperationsbeziehungen zwischen den beteiligten Landwirtschaftsbetrieben anzustreben sind. Unabhängig von Rechtsträgerschaft und Eigentumsform sind die Kooperationsbeziehungen bei der Heißlufttrocknung auf folgende Schwerpunkte zu konzentrieren /6/:  
Bildung komplexer Ernte- und Transporteinrichtungen zum rationellen Gestalten des Guttransports;  
Konzentration und Spezialisierung des Futterbaus in unmittelbarer Nähe der Trocknungsanlagen;  
Vertikale Kooperation mit den Kraftfuttermischwerken als Finalproduzenten für die Mischfutterproduktion.

### 4. Zusammenfassung

Aus den Ergebnissen durchgeführter Untersuchungen wurden Schlußfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis zur Erhöhung der Trockenguterzeugung und Senkung des spezifischen Wärmebedarfs landwirtschaftlicher Trocknungsanlagen abgeleitet.

Der Einsatz von Welkgut ermöglicht eine Reduzierung des spezifischen Wärmebedarfs je kg Trockengut und eine Steigerung der Trockengutproduktion um 30 bis 40 Prozent. Zur Erhöhung der Durchlaßkapazität der trockengutseitigen Aufbereitungs- und Fördereinrichtungen wurden entsprechende Hinweise und Empfehlungen gegeben.

Für den Trocknertyp UT 66 wurde ein Nomogramm zur Ermittlung optimaler Betriebsparameter erarbeitet.

### Literatur

- 1/ Dräger, J.: Trocknungs- und Belüftungstechnik, 2. Teilthema: Naturwiss.-techn. Grundlagen der Heißlufttrocknung. IML Potsdam-Bornim 1971
- 2/ Dräger, J.: Trocknung in der Landwirtschaft, Teil: Heißlufttrocknung. Abschlußbericht des IML Potsdam-Bornim 1969
- 3/ Maltry, W.: Technische Trocknung und Automatisierung. Zwischenbericht. IML Potsdam-Bornim 1968
- 4/ Maltry, W.: Teilautomatisierung der Heißlufttrocknungsanlage UT 66-1 mit einfachen Mitteln. Deutsche Agrartechnik 20 (1970) II, 2, S. 95
- 5/ Tack, F.: Vorwelken zur Heißlufttrocknung. Teilabschlußbericht der Sektion Landtechnik der Universität Rostock 1970
- 6/ Schneider, B.: Heißlufttrocknung von Grünfutter und Hackfrüchten. Berlin: VEB Verlag Technik 1970 A 8743