

# Zu einigen Problemen der Ökonomie der Regelungstechnik bei landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen

Dr. W. Wohlleben, Universität Rostock, Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion

Ein neuer wichtiger Zweig der landwirtschaftlichen Produktion zur weiteren Intensivierung ist die Heißlufttrocknung. Nach Ewald /1/ „gewinnt die technische Trocknung als wichtiger Intensivierungsfaktor immer größere Bedeutung. Sie trägt wesentlich dazu bei, ständig steigende und stabile Nährstoffleistungen in der Pflanzenproduktion als Grundlage für eine höhere Produktivität in der Tierproduktion zu erreichen.“

Diese ihr gestellte Aufgabe kann die technische Trocknung nur voll erfüllen, wenn eine wissenschaftliche Organisation die volle Auslastung der Anlagen garantiert und die Prozeßführung im Trockner so gestaltet wird, daß Trockengut in einwandfreier Qualität hergestellt werden kann.

Wie der Erfahrungsaustausch am 23. März 1973 auf der „agra“ deutlich machte, können die Ergebnisse der Trockenwerke bei der Auslastung der Anlagen und der Qualität der Trockenprodukte nicht voll befriedigen. Um hier eine Veränderung herbeizuführen, muß eine komplexe Verbesserung der Organisation des Futterbaus, der Ernte und des Transports, die weitere Qualifizierung der Mitarbeiter und die umfassende Einführung und dementsprechende Nutzung der Regelungstechnik erreicht werden.

In den bisher erschienenen Veröffentlichungen über den Einsatz der Regelungstechnik sind ihre Auswirkungen auf die Ökonomie der Trockengutproduktion nicht genügend herausgearbeitet worden. Wie eigene Untersuchungen /2/ u. a. zeigen, ist die Ökonomie der Trocknung jedoch wesentlich vom Heizungsenergiebedarf und den verwertbaren Nährstoffen abhängig, auf die die Regelungstechnik unmittelbar Einfluß nimmt.

Aus diesem Grund sollen in den weiteren Ausführungen einige Probleme der möglichen Einwirkung der Regelungstechnik auf die Ökonomie der technischen Trocknung dargelegt werden. Dabei wird ausgegangen von den Ausführungen von Puttich /3/, der auf Probleme und Mängel beim Einsatz der Regelungstechnik in Trockenwerken hinweist. Es soll an einem Modellbeispiel nachgewiesen werden, welche ökonomischen Auswirkungen eine nicht optimal geregelte Trocknerführung haben kann bzw. welche ökonomischen Ergebnisse bei einer Rationalisierung bestehender Trockenwerke mit Hilfe einer effektiven Regelungstechnik erzielt werden können.

Die Regelungstechnik hat im Trocknungsbetrieb die Aufgabe, dem Bedienungspersonal wichtige Angaben über den Trock-

nungsverlauf und die Betriebsfähigkeit der Anlage zu liefern, sowie in neueren Trockenwerken den Gesamtprozeß der Trocknung selbstregelnd konstant optimal zu halten. Die Regelungstechnik muß die Verhältnisse im Ofen und in der Trommel so gestalten, daß bei höchster Durchsatz- und Verdampfungsleistung ein niedriger Energieverbrauch je kg verdampften Wassers, eine hohe Betriebssicherheit sowie eine hohe Qualität und ein geringer Arbeitskräfteaufwand erreicht werden. Sie muß die mit Erfahrung und Gefühl in Handsteuerung betriebene Feuerungs- und Trommelführung, die sehr viele Möglichkeiten der Fehlentscheidung in sich birgt, auch in alten Trockenwerken ablösen, denn diese möglichen Fehlentscheidungen führen neben anderen Auswirkungen zu:

- erhöhten Heizungsenergiekosten
- Qualitätsminderungen.

## Einfluß der Regelungstechnik auf die Heizungsenergiekosten

Ein wichtiger Kostenbestandteil der Trocknungskosten sind die Heizungsenergiekosten. Nach eigenen Untersuchungen /2/ betragen sie bis zu 30 Prozent der Gesamtkosten. Es ergibt sich die Frage, inwieweit kann die Regelungstechnik eine Kosteneinsparung in diesem Bereich bewirken. Alleiniger Maßstab kann nur der Energie- oder Kostenaufwand je kg oder t verdampften Wassers sein, denn dafür liegen exakte Messungsergebnisse vor, die uns gestatten, diese Seite auch ökonomisch zu erfassen.

Die Wärmemenge, die notwendig ist, um in einer Trocknungsanlage 1 kg Wasser zu verdampfen, beträgt theoretisch 650 kcal, wenn man die Erwärmung der Trockenmasse in den notwendigen Energieverbrauch mit einbezieht. Die objektiven Verlustquellen am Trockner lassen den Ausnutzungsgrad der Wärmeenergie je nach Trocknerführung sehr stark schwanken.

In der Feuerungsanlage liegt der wärmetechnische Wirkungsgrad bei Brikettfeuerung zwischen 0,75 und 0,97, bei Ölfeuerung zwischen 0,96 und 0,99 /4/.

Fürll /5/ fand bei seinen Untersuchungen am Trommel-trockner mit Brikettfeuerung, daß der wärmetechnische Wirkungsgrad in der Trommel bei einer Restfeuchte von etwa 14 Prozent im Trockengut 0,78 beträgt. Bei einem Absinken der Restfeuchte auf 8 Prozent fiel der Wirkungsgrad auf

Heizungsart	Wirkungsgrad		spez. Wärmeverbrauch kcal/kg H <sub>2</sub> O	Hu kcal/kg	Preis des Heizungsmaterials M/t	Kosten M/t H <sub>2</sub> O
	Ofen	Trommel				
Brikett	0,75	0,78	1111	4500	40,—	9,88
		0,63	1375	4500	40,—	12,24
		0,58	1494	4500	40,—	12,76
	0,85	0,78	980	4500	40,—	8,72
		0,63	1214	4500	40,—	10,80
		0,58	1318	4500	40,—	11,72
	0,90	0,78	925	4500	40,—	8,24
		0,63	1146	4500	40,—	10,20
		0,58	1245	4500	40,—	11,08
	0,97	0,78	859	4500	40,—	7,64
		0,63	1063	4500	40,—	9,46
		0,58	1155	4500	40,—	10,27
Öl	0,96	0,78	868	9500	175,—	15,93
		0,63	1074	9500	175,—	19,78
		0,58	1167	9500	175,—	21,53
	0,99	0,78	842	9500	175,—	15,58
		0,63	1042	9500	175,—	19,25
		0,58	1131	9500	175,—	20,83

Tafel 1  
Entwicklung der Heizungskosten je t verdampften Wassers bei unterschiedlichem wärmetechnischem Wirkungsgrad von Ofen und Trommel

Tafel 2  
Entwicklung der Heizungskosten eines Trockners bei unterschiedlichem Energieaufwand je kg verdampften Wassers: Unterstellung: Verarbeitung von 20 000 t Grüngut zu 4 480 t Trockengrünut. 20 Prozent Trockensubstanz im Ausgangsmaterial. 12 Prozent Restfeuchte im Trockengut

Heizungs- material	spez. Energie- aufwand kcal/kg H <sub>2</sub> O	zu ver- dampfende H <sub>2</sub> O-Menge t	Hu des Heiz- materials kcal	Heiz- material t	Kosten M t	Kosten insge- samt M
Braunkohlen- brikett	1000	15 520	4 500	3 449	40,—	137 956,—
	1 100	15 520	4 500	3 793	40,—	151 720,—
	1 200	15 520	4 500	4 139	40,—	165 547,—
	1 300	15 520	4 500	4 484	40,—	179 342,—
Heizöl D	800	15 520	9 500	1 307	175,—	228 716,—
	900	15 520	9 500	1 470	175,—	257 250,—
	1 000	15 520	9 500	1 634	175,—	285 875,—
	1 100	15 520	9 500	1 797	175,—	314 475,—

0,63. Diese Werte sind statistisch bei der Trocknung unterschiedlicher Gutarten ermittelt worden.

In Tafel 1 sind die Werte bei unterschiedlichem wärmetechnischen Wirkungsgrad in ihrer Auswirkung auf die Kosten je 1 t verdampften Wassers dargestellt. Dabei ist unterstellt, daß der wärmetechnische Wirkungsgrad bei Übertrocknung auf 0,58 fällt. Es ist ersichtlich, daß die Kosten bei Brikettfeuerung von 7,64 M bis 12,76 M und bei Ölfeuerung von 15,58 M bis 21,53 M je 1 t verdampften Wassers schwanken. Diese mögliche Differenz in den Kosten von 5,— M je t verdampften Wassers ist zurückzuführen auf die nicht optimale Gestaltung der im Trockner ablaufenden Prozesse, die sich durch eine effektive Regelungstechnik zumindest verringern lassen.

Um die sehr vielgestaltige Problematik besser sichtbar zu machen, soll der Sachverhalt etwas vereinfacht in einer Modellrechnung dargestellt werden.

Es wird eine Trockenanlage unterstellt, die 20 000 t Grüngut mit einem Trockenmassegehalt von 20 Prozent verarbeitet. Die Restfeuchte im Trockengrünut beträgt im Durchschnitt 12 Prozent.

Tafel 2 zeigt die unterschiedliche Entwicklung der Heizungskosten des Trockenwerks in Abhängigkeit vom unterschiedlich notwendigen Energieaufwand je kg verdampften Wassers.

Durch schlechte Heizungs- und Trocknerführung erhöht sich der Energieaufwand z. B. von 1 100 kcal je kg Wasser auf 1 200 kcal. Das hat zur Folge, daß sich die Heizungsenergiekosten bei Brikettfeuerung um etwa 14 000 M erhöhen. Bei Ölfeuerung bewirkt eine Erhöhung des Verbrauchs von 900 kcal auf 1 000 kcal eine Verteuerung um etwa 28 000 M. Bei weiterer Erhöhung des Energieaufwands je kg verdampften Wassers steigen die Kosten weiter an.

Diese Zahlen sagen aus, daß durch richtige Regelung des Trocknungsprozesses erhebliche Einsparungen an Heizungsenergie möglich sind, wenn es gelingt, mit Hilfe der Regelungstechnik die untere Grenze des spezifischen Wärmeverbrauchs einzuhalten.

Bei der Verarbeitung von Welkgut besteht je nach Trocknerführung die gleiche relative Kostenentwicklung, jedoch liegen die absoluten Kosten je t Trockengrünut um 20 bis 30 Prozent niedriger.

#### Einfluß der Regelungstechnik auf die Qualität

Das zweite Problem, das durch die Regelungstechnik gelöst werden muß, ist die Erhaltung der Qualität. Mit Hilfe der Regelungstechnik muß eine konstante Trockengutproduktion mit einer Restfeuchte von 10 bis 12 Prozent erreicht werden, nur dann ist gewährleistet, daß die Verdaulichkeit der Nährstoffe nicht vermindert und voll lagerfähiges Trockengut produziert wird. Untersuchungen von Henk /6/ sagen aus, daß der Grad der Verdaulichkeit aller Nährstoffe, besonders jedoch des Rohproteins, entscheidend von der Trocknerführung abhängig ist. Die Verdaulichkeit des Rohproteins fällt bei einem Trockenmassegehalt von über 92 Prozent stark ab, der Futterwert wird dadurch erheblich gemindert.

Die Ergebnisse der Praxis zeigen, daß immer noch ein bestimmter Prozentsatz des Trockengutes übertrocknet und dadurch in der Verdaulichkeit der Nährstoffe gemindert wird.

Tafel 3. Masseverlust an Trockengut bei unterschiedlicher Restfeuchte Produktion 4 480 t, normale Restfeuchte 12 Prozent

Restfeuchte %	Anteil an der Gesamtproduktion %	Verlust t
12	35	1 568
10 ... 11	10	448
9 ... 10	20	896
8 ... 9	10	448
7 ... 8	10	448
7	15	672
	100	4 480
		116,1

Tafel 4. Finanzielle Auswirkung der Übertrocknung beim Verkauf des Trockengutes

Masseverlust	116 t Kl II	450 M/t =	52 200 M
Mengenabzug <sup>1</sup>	33 t Kl II	450 M/t =	15 120 M
Abstufung <sup>2</sup>	1 120 t	50 M/t =	56 000 M
			123 320 M

<sup>1</sup> Partien unter 7 Prozent Restfeuchte, Abzug von 5 Prozent

<sup>2</sup> Partien unter 8 Prozent Restfeuchte, Abstufung um 1 Klasse

Das ist volks- und betriebswirtschaftlich nicht länger zu vertreten, da unter den gegenwärtigen Bedingungen gerade die Produktion und Konservierung von hochwertigem Eiweißstoffen für unsere Tierhaltung von wesentlicher Bedeutung ist. Die ökonomischen Auswirkungen der Übertrocknung beim Verkauf des Trockengutes zeigen, an einem extremen Beispiel dargestellt, die Tafeln 3 und 4. Unterstellt wird die Produktion von 4 480 t Trockengut (20 000 t Grüngut) und die in Tafel 3 ausgewiesene Restfeuchteverteilung. Es ergibt sich gegenüber einer konstanten Restfeuchte von 12 Prozent ein Masseverlust an Trockengut von 116 t. Außerdem sind alle Partien mit weniger als 7,5 Prozent Restfeuchte übertrocknet und die Verdaulichkeit der Nährstoffe bis zu 30 Prozent gemindert. Wie sich das ökonomisch auswirkt, zeigt Tafel 4.

Durch unsachgemäße Führung des Trocknungsprozesses entsteht in unserem Beispiel beim Trockengutverkauf ein finanzieller Verlust von 123 320 M.

Schwieriger ist es, den finanziellen Ausfall nachzuweisen, wenn der direkte Wiedereinsatz des Trockengutes unterstellt wird. Hier werden Masseverlust, Mengenabzug und Abstufung nicht direkt wirksam, sondern indirekt die effektive Verminderung der Verdaulichkeit der Nährstoffe. Da Trockengut nie allein gefüttert wird, sind diese Verluste bei der praktischen Fütterung nicht einfach nachweisbar. Andere Futtermittel überlagern die Auswirkungen, und es ist kaum zu erfassen, welche Komponente des Gesamtfutters eine Fehlwirkung verursacht. Hier kann nur eine vereinfachte Rechnung die Problematik deutlich machen. Henk /6/ stellte bei seinen Untersuchungen fest, daß eine Trocknung unter 7,5 Prozent Restfeuchte zu einem starken Rückgang der Verdaulichkeit bei Rohprotein und Stärkewert führt. Er weist in seinen Versuchen nach, daß bei Übertrocknung die Verluste an verdaulichen Nährstoffen bei Eiweiß um 12 Prozent und bei Stärkewerten um 10 Prozent höher liegen als bei normaler Trocknung. Unterstellt man, daß die Futtermittel im Durchschnitt 130 g verdauliches Rohprotein und 440 kEfr in 1 000 g Futtermittel enthalten, so heißt das, bei

Über Trocknung haben wir je t Trockengut 15,60 kg verdauliches Rohprotein und 44 kEfr Verlust. In unserem Beispiel sind 896 t mit einer Restfeuchte unter 7,5 Prozent angefallen. Das bedeutet einen Verlust von 13 977 kg verdaulichem Rohprotein und 39 424 kEfr. Durch die Über Trocknung sind Nährstoffe zerstört worden, mit denen bei verdaulichem Rohprotein etwa 232 950 kg und bei Stärkewerten etwa 134 821 kg Milch hätten produziert werden können.

Diese einfachen, keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebenden Rechnungen zeigen, daß durch unsachgemäße Trocknerführung ein erheblicher Schaden auftreten kann. Ein geringer Teil des Schadens trifft den Trocknungsbetrieb durch die verbrauchte Heizungsenergie. Der weitaus größere Verlust liegt in der Verdaulichkeitsminderung. Diese führt einerseits zu Preisminderung und Mengenabzug und zum anderen verursacht sie eine Leistungsminderung der Tierbestände.

#### Möglichkeiten zur Finanzierung der Regelungstechnik bei Rationalisierung

Die durch die Regelungstechnik entstehenden Kosten müssen, um das Produkt nicht zu verteuern, von Kostensenkungen und Verlustminderungen ausgeglichen werden, die durch den Einsatz der Regelungstechnik erreicht werden. Aus der unterschiedlichen Stellung der Trocknungsbetriebe im Produktionsprozeß ergeben sich Probleme der Finanzierung. Ist der Trocknungsbetrieb Bestandteil eines Produktionsbetriebes, LPG, VEG oder ihrer KAP, so ist die Errechnung der Effektivität der Regelungstechnik unproblematisch. Der durch die Regelungstechnik entstehende Gesamtnutzen, die Heizungsenergieeinsparung und die Verbesserung des Futterwertes erhöhen die Einnahmen des Produktionsbetriebes. Er wird in der Lage sein, auch höhere Regelungskosten ohne Verlust zu tragen.

Komplizierter ist die Finanzierung der Regelungstechnik bei Trockenwerken als Dienstleistungsbetrieb oder zwischenbetrieblicher Einrichtung. Die Kostensenkungen, die durch den Einsatz der Regelungstechnik erreicht werden können und die die Finanzierung der Investition ermöglichen sollen, sind für den Trocknungsbetrieb gering. Es ergibt sich die Frage, wie hoch die Kosten der Regelungstechnik im Trockenwerk sein können, wenn die auftretenden Kosten innerhalb des Trocknungsbetriebes ausgeglichen werden müssen. Die Tafeln 1 und 2 zeigen, daß die Finanzierung um so schwieriger ist, je besser der Trocknungsmeister es verstanden hat, den Trocknungsprozeß von Hand zu steuern.

Um die mögliche Höhe der Investitionen für die Regelungstechnik ungefähr zu fassen, kann man die voraussichtlich jährlich anfallenden Kosten in Prozent der Investitionssumme ermitteln und den möglichen Einsparungen gegenüberstellen. Dadurch läßt sich erfassen, ob die entstehenden Unkosten durch die Einsparung abzudecken sind.

Unterstellt man eine Finanzierung aus Eigenmitteln, eine 12jährige Grenznutzungsdauer und einen jährlichen Instandhaltungsanfall in Höhe von 5 Prozent der Investitionssumme, so ergeben sich jährlich Kosten in Höhe von

- 8 Prozent für Amortisationen
- 5 Prozent für Instandhaltung

13 Prozent der Investitionssumme.

Die Investitionskosten können also in diesem Fall etwa das 7,5fache der eingesparten Mittel betragen, ohne eine Kosten-erhöhung zu verursachen.

Anders ist die Situation bei Investitionen, die aus Krediten getätigt werden müssen. Hier erhöht sich der prozentuale Kostenanteil an der Investitionssumme um die notwendige Rückzahlungssumme und die Zinsen. Unterstellen wir eine Rücklaufdauer von 10 Jahren und einen Zinssatz von 2 Prozent, so betragen die jährlichen Kosten 13 Prozent plus 12 Prozent = 25 Prozent der Investsumme. Die Investkosten dürfen bei diesem Beispiel nur das 4fache der einge-

sparten Summe betragen, wenn die Trocknungskosten konstant bleiben sollen.

Die Einsparungen durch die Regelungstechnik können, wie aus dem Vorhergesagten hervorgeht, sehr unterschiedlich sein. Aus diesem Grund kann die volle Finanzierung der Investition aus den Einsparungen bei zwischenbetrieblichen Einrichtungen nicht die einzig mögliche sein. Die mögliche Schadenshöhe im angeführten Beispiel zeigt, daß der Einsatz und ordnungsgemäße Betrieb der Regelungstechnik im Trocknungsprozeß im Interesse aller am Trockenwerk beteiligten Betriebe weiter verbessert werden muß.

Als Finanzierungsmöglichkeiten bei Rationalisierungsvorhaben werden vorgeschlagen:

- Finanzierung aus Mitteln, die durch die Regelungstechnik eingespart werden
- In ZBE Finanzierung aus Mitteln der Mitgliedsbetriebe
- Die Trocknung wird nach gestaffelten Verrechnungspreisen vergütet, die so gestaltet sein müssen, daß sie als ökonomische Hebel auf die Qualitätsverbesserung wirken.

#### Zusammenfassung

- Durch unsachgemäße Trocknerführung können große ökonomische Verluste auftreten. Sie sind so hoch, daß sie größere finanzielle Aufwendungen für den Einsatz und den effektiven Betrieb der Regelungstechnik rechtfertigen.
- In älteren Anlagen sollte auf dem Wege der Rationalisierung verstärkt die Regelungstechnik zum Einsatz gebracht werden.
- Es ist erforderlich, in zunehmendem Maß nach Möglichkeiten der vollautomatischen Regelung der konstanten Produktion von Trockengut mit 10 bis 12 Prozent Restfeuchte zu forschen. Nur dadurch ist eine gleichbleibende Qualität zu garantieren.
- Die Finanzierung der Regelungstechnik muß, soweit wie möglich, ohne Kostenerhöhung aus den Kostensenkungen und der Produktionssteigerung erfolgen, die die Regelungstechnik bewirkt.

Als Kostensenkung sind einmal die möglichen Brennstoffeinsparungen, zum anderen die mögliche Qualitätsverbesserung anzusehen (Senkung der Kosten je Nährstoffeinheit). Das bedeutet, je nach Einordnung des Trocknungsbetriebes muß der Gesamtbetrieb bzw. müssen die Nutzungsbetriebe an den Investitionskosten für den Einbau der Regelungstechnik beteiligt werden.

Produktionssteigerungen sind durch die optimale Trocknerführung bzw. durch die bessere Möglichkeit der Trocknung von Welkgut zu erwarten.

#### Literatur

- 1/ Ewakt, G.: Referat auf dem Erfahrungsaustausch zu Problemen der technischen Trocknung in Leipzig-Markkleeberg am 23. März 1973.
- 2/ Rümcker, P. / W. Wobleben: Ökonomisch-mathematische Untersuchungen zur Eingliederung der Heißlufttrocknung in die Organisation der Pflanzenproduktion sozialistischer Landwirtschaftsbetriebe und ihrer kooperativen Einrichtungen. Dissertation Universität Rostock 1972.
- 3/ Puttich, W.: Die Bedeutung des Meßwesens in der Landwirtschaft am Beispiel der technischen Trocknung von Grünfütter. agrartechnik 23 (1973) H. 6, S. 276—278.
- 4/ Dubbels Taschenbuch Maschinenbau. Bd. II. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer Verlag 1955.
- 5/ Pöhls, E. / Chr. Füll / M. Türk: Wärmetechnische Untersuchungen einer Trommeltrockner-Standardanlage. Dt. Agrartechnik 17 (1967) H. 11, S. 531—533.
- 6/ Henk, G. / W. Laube: Untersuchungen zur Heißlufttrocknung von Grünfütter, 1.—3. Mitteilung. Archiv für Tierernährung 18 (1969) H. 4, S. 289. A 9445