

Energiesparende und qualitätssichernde Trocknung landwirtschaftlicher Produkte durch Einsatz entfeuchteter Luft

Dr. agr. H. Pohler/Dipl.-Ing. B. Stützer/Dipl.-Agr.-Ing. Kerstin Gacki
VEB Wissenschaftlich-Technisches Zentrum der Saatgutwirtschaft Quedlinburg

1. Einleitung

Für viele landwirtschaftliche Produkte ist die technische Trocknung nach der Ernte eine wichtige Maßnahme zur Vermeidung von Verlusten während der Lagerung. Besonders wichtig ist sie bei ungünstigen Witterungsbedingungen sowohl für die Heugewinnung als auch für die Ernte der Mähdruschfrüchte u. a. Kulturen. Die technische Trocknung ist also oftmals unumgänglich, gehört jedoch zu den energieintensivsten Verfahrensabschnitten in der Landwirtschaft. So muß z. B. bei der Trocknung von Mähdruschfrüchten in Abhängigkeit vom gewählten Verfahren mit folgendem durchschnittlichen Energiebedarf je kg Wasserentzug gerechnet werden:

- Belüftungstrocknung mit unbehandelter Außenluft, witterungsabhängig 1200 bis 2000 kJ
- Belüftungstrocknung mit erwärmter Außenluft 4000 bis 5000 kJ
- technische Trocknung (Anwendung hoher Temperaturen) in Abhängigkeit vom Wirkungsgrad des Heizsystems, aber ohne Elektroenergie für Antriebe und Lüfter, etwa 7000 kJ.

Auch auf dem Gebiet des landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungswesens fällt jährlich eine Vielzahl von Proben an, die kurzfristig ohne Qualitätsverluste getrocknet werden müssen. Die für die Trocknung von Proben eingesetzten technischen Einrichtungen beruhen bisher ausschließlich auf der direkten Verwendung von Elektroenergie zur Erwärmung der für die Trocknung benötigten Luft. Die an alle Zweige der Volkswirtschaft gestellte Forderung, energiesparende Verfahren zu entwickeln, trifft daher in vollem Umfang auch für den Bereich der Landwirtschaft zu. Mit dieser Zielstellung wurden vom VEB Wissenschaftlich-Technisches Zentrum der Saatgutwirtschaft Quedlinburg (vormals Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut) in enger Zusammenarbeit mit der Industrie, Betrieben der Landwirtschaft und Einrichtungen des landwirtschaftlichen Versuchswesens Untersuchungen zur Anwendung entfeuchteter Luft für Trocknungszwecke durchgeführt. Als Ergebnisse dieser Gemeinschaftsarbeit können der Landwirtschaft folgende Geräte angeboten werden:

- Saat- und Grüngutprobentrockner KWP-TS144 für eine Trocknungsmenge bis 0,28 t

- Luftentfeuchtungsgerät LEGK5 für Chargen bis 10 t
- Kältesatz KL-F70 für Chargengrößen bis 100 t.

2. Funktionsweise

Alle drei Geräte arbeiten nach dem Prinzip der Luftentfeuchtungswärmepumpe (Bild 1). Entscheidend für den nachfolgenden Trocknungsprozeß ist, daß die zur Verfügung stehende Luft im Verdampfer bis zur Taupunktüberschreitung abgekühlt und ihr dadurch Wasser entzogen wird. Die dabei freigesetzte Wärme wird mit Hilfe eines Wärmepumpenkreislaufs über den Kondensator wieder an die nun entfeuchtete Luft abgegeben. Im Gegensatz zu der bisher üblichen Trocknung mit erwärmter Luft wird also nicht nur die relative Feuchtigkeit der Luft gesenkt, sondern das Trocknungspotential der Luft wird durch die Reduzierung des absoluten Wassergehalts und der zusätzlichen Erwärmung wesentlich erhöht. Da bei hoher relativer Feuchte der vorhandenen Luft ein hoher Entfeuchtungseffekt erreicht wird, ist durch den Einsatz dieser Geräte ein weitestgehend witterungsunabhängiger Trocknungsverlauf möglich.

3. Technische Lösungen und Einsatzergebnisse

3.1. Saat- und Grüngutprobentrockner KWP-TS144

3.1.1. Technische Lösung

Die zur Probentrocknung entwickelte Anlage ist im Bild 2 schematisch dargestellt. Sie besteht aus dem vom VEB Maschinen- und Apparatebau Schkeuditz entwickelten Luftentfeuchtungsgerät KST 100/3-EF und dem Trockenschrank, der im Rationalisierungsmittelbau des VE Kombinat Pflanzenzüchtung und Saatgutwirtschaft hergestellt wird. Der Lüfter bläst die trockene und warme Abluft des Entfeuchtungsgeräts durch einen Luftkanal über die gesamte Länge und Breite in den Trockenschrank. Dort sind Probenkästen, die mit Gazeboden versehen sind, so gestapelt, daß die eingeblassene Luft zwangsläufig durch das zu trocknende Gut strömen muß. Im oberen Teil des Trockenschanks wird die nun feuchte Abluft über den Luftkanal wieder dem KST 100/3-EF zugeführt. Ein Zwischenboden erleichtert ein bedarfsweises

Umsetzen der Trocknungsproben. Die technischen Daten des Trockners sind in Tafel 1 zusammengestellt.

Tafel 2 enthält die wesentlichsten Trocknungsergebnisse der Versuche. Aus ihr geht hervor, daß bei der Probentrocknung mit entfeuchteter Luft (KST 100/3-EF) im Vergleich zum bisher üblichen Verfahren der Energiebedarf je kg Wasserentzug um rd. 83% gesenkt werden konnte. Die Senkung des Energieverbrauchs ist nicht nur auf den geringen Energiebedarf je Stunde zurückzuführen - er beträgt beim Heizlüfter L12 6 kW/h und beim Entfeuchtungsgerät KST 100/3-EF 1,9 kW/h -, sondern er beruht auch auf einer wesentlichen Verkürzung der Trocknungszeit. Wurde z. B. bei der Trocknung von gehäckseltem Luzerne-Grüngut bis-

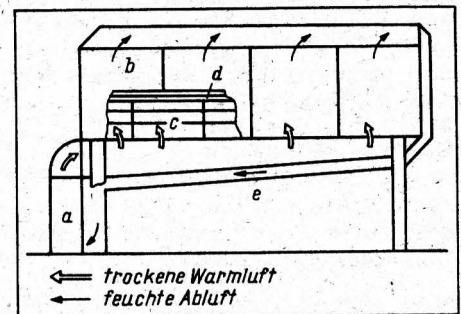


Bild 2. Schema des Luftdurchlaufs durch den Saat- und Grüngutprobentrockner KWP-TS144; a Luftentfeuchtungsgerät KST 100/3-EF, b Trockenschrank, c Probenkästen, d Zwischenboden, e Umlenkanal

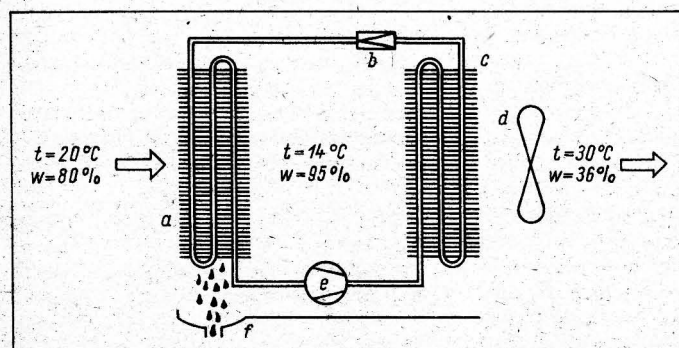
Tafel 1. Technische Daten des Saat- und Grüngutprobentrockners KWP-TS 144

		KST 100/3-EF	Trockner gesamt
Länge	mm	1605	2 980
Breite	mm	320	1 310
Höhe	mm	700	1 880
Luft-			
durchsatz	m ³ /s	0,35	
elektr.			
Anschluß-			
wert	kW	2	
Fassungs-			
vermögen		144 Proben	zu 1 bis 2 kg

Tafel 2. Ergebnisse eines dreijährigen Vergleichs der Probentrocknung mit Warmluft (L12) und mit entfeuchteter Luft (KST 100/3-EF)

Trockengut	Trocknungsmethode		
	L12 kJ/kg H ₂ O	KST 100/3-EF kJ/kg H ₂ O	rel. (L 12 = 100 %) %
Luzerne-Grüngut, gehäcksel	27 801	4 338	15,6
Luzerne-Grüngut, gehäcksel	21 801	3 229	14,8
Luzerne-Grüngut, gehäcksel	25 390	4 684	18,4
Maisstengel, gehäcksel	26 425	6 054	22,9
Luzerne-Saatgut, Rohware	85 258	15 226	17,9
Fenchel	50 783	6 786	13,4

Bild 1. Schema einer Luftentfeuchtungswärmepumpe; a Verdampfer, b Expansionsventil, c Kondensator, d Lüfter, e Verdichter, f Wasserabfluß



Tafel 3. Einfluß der Saatgut-trocknung mit Hilfe von entfeuchteter Luft auf die Keimfähigkeit

Fruchtart	Trocknungs-dauer h	Feuchtigkeits-gehalt		Keimfähigkeit	
		vor %	nach der Trocknung %	vor ¹⁾ %	nach der Trocknung %
Welsches	24	36	12	91	91
Weidelgras	60	42	13	89	91
(Lolium multi- florüm)	26,5	35,7	11,6	93	93
	23	31,8	13,2	94	93
	23	47,6	16,3	94	95,8
	23	47,6	8,9	94	95,2
Luzerne	18	35,6	6,6	88	90
(Medicago media)	41	21	8	90	88
	38	19,1	9,2	75	75
Lupine	38	31,7	13	94	93
(Lupinus albus)	21	20,7	12	93	95
Sojabohne	8	20,4	9,6	90	92
(Soja hispida)	21,5	24	11,5	86	89
Zwiebel (Dolden)	57	64	12,5	93	93
(Allium cepa)					

1) Keimfähigkeit vor der Trocknung Δ mit nicht vorherbehandelter Luft getrocknet

Tafel 4. Technische Daten des Luftentfeuchtungsgeräts LEGK 5

Länge	1 630 mm
Breite	975 mm
Höhe	1 570 mm
Luftdurchsatz	0,8 bis 1,1 m ³ /s
elektr. Anschlußwert	12,5 kW

her ein mittlerer Feuchteentzug von 0,83 kg/h erzielt, so konnte er mit Hilfe des KST 100/3-EF auf rd. 1,5 kg/h gesteigert werden. Das entspricht einer Reduzierung der Trocknungszeit um rd. 44 %.

3.1.2. Qualitätserhaltung

Aufgrund der Tatsache, daß vom Luftentfeuchtungsgerät KST 100/3-EF eine trockene (relative Luftfeuchte $\phi = 20 \dots 30\%$), aber mäßig warme (Temperatur $t = 25 \dots 40^\circ\text{C}$) Luft zur Verfügung gestellt wird, ist eine qualitätsschonende Trocknung gewährleistet. Einen Überblick über erzielte Ergebnisse bezüglich der Keimfähigkeit enthält Tafel 3. So wurden bei der Trocknung von Saatgut selbst bei einer hohen Anfangsfeuchte (41 bis 48 % bei Welschem Weidelgras) keine Beeinträchtigung der Keimfähigkeit festgestellt und bei Sonderkulturen, wie Fenchel und Pfefferminze, der Gehalt ätherischer Öle nicht ne-

gativ beeinflußt. Bei der Trocknung von Ackerbohnen, Buschbohnen und Erbsen sollte jedoch mit Mischluft gearbeitet werden, da diese Kulturen ein geringes Wasserabgabevermögen haben und bei raschem Wasserentzug Schalenrisse auftreten. Diese Aussagen zur Qualitätserhaltung sind auch für die nachfolgend vorgestellten Geräte LEGK5 und KL-F70 zutreffend.

3.1.3. Einsatzbereich

Der Probentrockner KWP-TS 144 ist für folgende Einsatzzwecke geeignet:

- kleine Mengen von Mähdruschfrüchten im Bereich der Forschung und Züchtung
- Grüngut- und Futtermittelproben
- Blumensamen u. a. Sonderkulturen
- Arznei- und Gewürzpflanzen
- hygroskopische Stoffe
- Entfeuchten von Räumen bei separatem Einsatz des KST 100/3-EF.

3.2. Luftentfeuchtungsgerät LEGK5

Das ebenfalls vom VEB Maschinen- und Apparatebau Schkeuditz produzierte Luftentfeuchtungsgerät LEGK5 kann erfolgreich zur Trocknung von Partien bis max. 10 t eingesetzt werden (Bild 3). Die technischen Daten des Geräts sind in Tafel 4 zusammengestellt.

Bei der Erprobung wurde das Gerät zur

Tafel 5. Vergleich der Belüftungstrocknung mit dem Luftentfeuchtungsgerät LEGK5 und mit Außenluft

Gutart	Menge dt	LEGK5	Außenluft	LEGK5	Außenluft
		Futtererbsen	Futtererbsen	Winterweizen	Winterweizen
Ausgangsfeuchte		41,20	42,80	48,4	43,7
Endfeuchte		16,7	14,9	18,5	18,2
Feuchteentzug insgesamt		13,1	13,7	14,2	16,0
Trocknungszeit	kg H ₂ O	171,0	59,5	242,6	114,5
Feuchteentzug je Stunde	h	14	14	43	144
spezifischer Energieverbrauch rel.	kg/h	12,2	4,25	5,64	1,0
	%	287	100	564	100
	%	80,1	100	27	100

Trocknung von Saatgut eingesetzt, das in belüftbaren Behältern gelagert war (Bild 4). Derartige Belüftungsanlagen sind in Saatuchtstationen der DDR verbreitet. Zu beachten ist, daß der Lüfter des Geräts lediglich die Aufgabe hat, die Luft durch das Gerät zu fördern. Zur Belüftung des Gutes ist ein separater Lüfter zu nutzen, der der Belüftungsanlage fest zugeordnet ist (Bild 4, Pos. b). Dadurch und aufgrund der Mobilität des LEGK 5 kann das Gerät nacheinander verschiedenen Belüftungseinheiten zugeordnet werden.

Wie aus Tafel 5 zu entnehmen ist, können durch den Einsatz des Geräts im Vergleich zur Belüftungstrocknung mit unbehandelter Luft folgende Ergebnisse erzielt werden:

- Erhöhung der Trocknungsgeschwindigkeit um das 2,8- bis 5,6fache
- Senkung des spezifischen Energieverbrauchs, d. h. des Energiebedarfs, der für den Entzug von 1 kg Wasser erforderlich ist, um 20 bis 70 %.

Die ausgewiesene Schwankungsbreite der Ergebnisse ist darauf zurückzuführen, daß bei der Versuchsdurchführung die Trocknung mit einem hohen Mischluftanteil erfolgte. Aufgrund bereits vorhandener lufttechnischer Bedingungen am Einsatzort wurde der entfeuchteten Luft in größerem Umfang unbehandelte Außenluft zugemischt, wodurch das Trocknungsergebnis von der Außenluft stark beeinflußt wurde. Entspricht dagegen der Luftbedarf dem zur Verfügung stehenden entfeuchteten Luftvo-

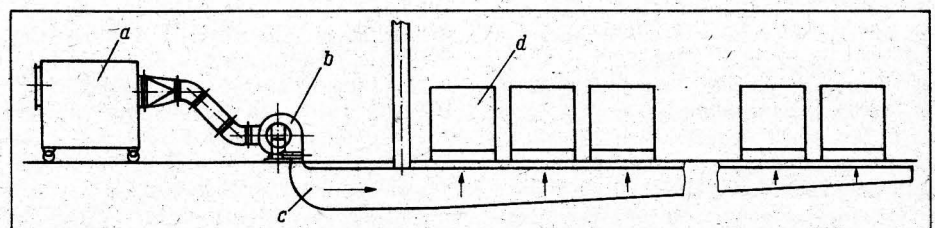
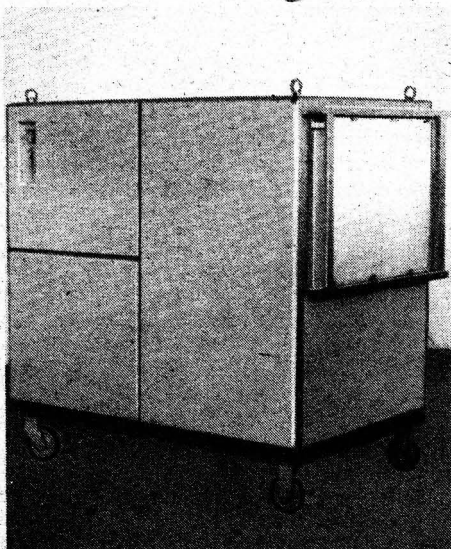


Bild 4. Behälterbelüftungsanlage in Saatuchtstationen; a Luftentfeuchtungsgerät LEGK 5, b Lüfter, c Kanal mit entfeuchteter Luft, d Behälter.

Bild 3. Luftentfeuchtungsgerät LEGK5

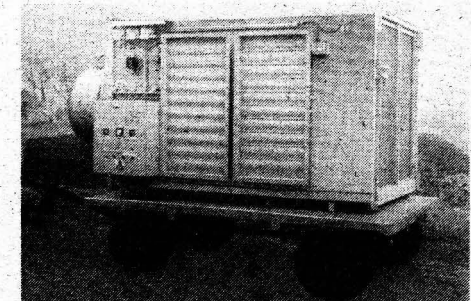


Bild 5. Mobiler Kältesatz KL-F70

Tafel 6. Technische Daten und Leistungsparameter des Kältesatzes KL-F70

Hauptabmessungen (einschließlich Niederplattformwagen)	
Länge	4 650 mm
Breite	2 000 mm
Höhe	2 450 mm
Masse	2 200 kg
Betriebsweise „Luftentfeuchtung“	
Luftmenge	bis 8 m ³ /s
Lufterwärmung	8 bis 14 K
Entfeuchtungsleistung	30 bis 100 l/h
Verdichterleistung	25 kW
Betriebsweise „Kühlung“	
Luftdurchsatz	bis 7 m ³ /s
Kälteleistung	70 kW
Betriebsweise „Heizung“	
Luftdurchsatz	bis 7 m ³ /s
Heizleistung	rd. 100 kW
elektr. Anschlußwert	rd. 30 kW

lumen, so ergibt sich ein weitestgehend witterungsunabhängiger Trocknungsverlauf.

3.3. Kältesatz KL-F70

3.3.1. Technische Angaben

Für die Trocknung großer Partien wurde im Jahr 1982 in Abstimmung mit dem damaligen Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut und unter Einflußnahme der Technischen Universität Dresden, Sektion Energieumwandlung, vom VEB Industriekühlung Zwickau der Kältesatz KL-F70 (Bild 5) entwickelt. Das mobile Gerät kann wahlweise zur Luftentfeuchtung, zur Kühlung und zur Heizung eingesetzt werden. In Tafel 6 sind die wichtigsten technischen Daten und Leistungskennzahlen zusammengefaßt.

3.3.2. Einsatzergebnisse

Trocknung

Ergebnisse von Großversuchen zur Belüftungstrocknung unter Praxisbedingungen sind in Tafel 7 zusammengestellt. Aus ihr ist ersichtlich, daß durch Trocknung mit entfeuchteter Luft der spezifische Energiebedarf um 12,5% gesenkt und die Trocknungsleistung um rd. 200% erhöht werden konnte. Dieses Ergebnis ist um so bemerkenswerter, da es unter Bedingungen (vorherrschend warmes und trockenes Wetter) erzielt wurde, bei denen bereits durch die Belüftungstrocknung mit unbehandelter Luft ein hoher Effekt möglich war. Voraussetzung für die Energieeinsparung ist, daß der KL-F70 nur dann eingesetzt wird, wenn eine hohe Luftentfeuchtung realisierbar ist, d. h. bei einer relativen Luftfeuchte von $\geq 60\%$. Die ausgewiesene mittlere Trocknungsleistung (Wasserentzug) von 2227 kg/d bedeutet, daß, bezogen auf 100 t Mähdruschfrüchte, ein täglicher Feuchteentzug von 2% erzielt wird. Die große Bedeutung des Geräts für die Praxis besteht darin, daß mit seinem Einsatz der Verlauf der üblichen Belüftungstrocknung weitestgehend witterungsunabhängig ist und somit eine hohe Sicherheit in der Qualitätserhaltung erreicht wird. Ausgehend von dieser Erkenntnis fand der KL-F70 eine rasche Verbreitung in der Praxis. Im Bereich des Saatgutwesens der DDR gehört er bereits zum festen Bestandteil der Maschinen zur Erntenaufbereitung von Mähdruschfrüchten. Der Kältesatz wurde auch erfolgreich zur Gewinnung von Qualitätshen eingesetzt.

Kombination Solartechnik – KL-F70

Neueste Untersuchungen des VEB WTZ der Saatgutwirtschaft Quedlinburg zur Nutzung solarerwärmter Luft für die Trocknung landwirtschaftlicher Produkte zeigen, daß unter den klimatischen Bedingungen Mitteleuropas der Kombination Solartechnik – KL-F70 eine entscheidende Bedeutung zukommt. Während bei alleiniger Anwendung solarerwärmter Luft der Trocknungsverlauf stark witterungsabhängig und auch innerhalb des Tagesablaufs (Tag – Nacht) größeren Schwankungen unterworfen ist, wird in Kombination mit dem KL-F70 ein kontinuierlicher und witterungsunabhängiger Trocknungsverlauf erzielt. Erste Versuchsergebnisse zeigen, daß durch diese Kombination im Vergleich zu den in Tafel 7 ausgewiesenen Ergebnissen bei Steigerung der Trocknungsleistung der spezifische Energieverbrauch weiter gesenkt werden kann. Die bisherigen Ergebnisse lassen die Schlußfolgerung zu, daß bei Weiterentwicklung des Verfahrens eine echte Alternative zur technischen Trocknung, d. h. zur Trocknung mit hohen Temperaturen, geschaffen werden kann. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß bei der technischen Trocknung mit indirekter Beheizung eine Heizenergie von rd. 7000 kJ/kg H₂O benötigt wird, bei der Kombination KL-F70 – Solartechnik jedoch ein Energiebedarf < 1000 kJ/kg H₂O zu erwarten ist, wird die volkswirtschaftliche Bedeutung dieses Verfahrens deutlich.

Kühlung

Der Einsatz des KL-F70 als Kühlgerät stand nicht im Mittelpunkt der Untersuchungen. Mit Sicherheit ist der Kältesatz aber zur Getreide-, Obst- und Gemüsekühlung einsetzbar. Wie der Tafel 8 zu entnehmen ist, verliefen Tastuntersuchungen zur Kühlung von Kartoffeln positiv. Unter gleichen Ausgangsbedingungen wurde bei Kühlung mit normaler Außenluft die angestrebte Lagertemperatur erst nach einer um 91% längeren Belüftungszeit und einem um 13,4% höheren Energieaufwand als bei Kühlung mit dem Kältesatz KL-F70 erreicht. Durch die kürzere Kühlzeit ist eine höhere Sicherheit in der Qualitätserhaltung möglich. Dieses Ergebnis wird natürlich von den Temperaturen der Außenluft beeinflusst, die in diesem Zeitraum zwischen 5 und 12°C lagen. Weitere Schlußfolgerungen:

- Wie bei der bisher üblichen Kühlung sind die Temperaturen der Außenluft, im Gutstapel und der vom Gerät abgegebenen Luft zu beachten. So mußte z. B. bei einer Außenlufttemperatur von 15°C eine Belüftung unterbleiben, da die abgegebene gekühlte Luft bei 10°C und somit über der vorhandenen Stapeltemperatur lag.
- Nach Erreichen der geforderten Stapeltemperatur ist das Gerät für 4 bis 5 h abzuschalten. In dieser Zeit vollzieht sich im Gutstapel ein Temperatenausgleich. Anschließend ist eine Nachkühlung von rd. 3 h zur Stabilisierung der Stapeltemperatur erforderlich.

Bei der Beurteilung der Werte ist zu beachten, daß hier Ergebnisse erster Tastversuche vorliegen, die noch bestätigt werden müssen.

Der Einsatz des KL-F70 als Heizgerät wurde im Versuchszeitraum nicht untersucht.

Tafel 7. Energiebedarf und Trocknungsleistung bei der Belüftungstrocknung von Grassamenrohware

	Belüftungstrocknung mit	
	unbehandelter Luft	entfeuchteter Luft (KL-F70)
spezifischer Energiebedarf in kJ/kg H ₂ O	1 228 (100%)	1 074 (87,5%)
mittlere Trocknungsleistung in kg H ₂ O/d	746 (100%)	2 227 (299,5%)

Tafel 8. Kühlung von Kartoffeln in einkanaligen Großmieten

	ohne KL-F70	mit KL-F70	
		Versuch 1	Versuch 2
Einlagerungsmenge t	300	300	326
Einlagerungstemperatur °C	9...10	10...12	8...11
Endtemperatur °C	6...8	6...7	5...7,5
Betriebsstunden elektr.	199	17	19
Anschlußwert kW	3,5	33,5	33,5
Elektroenergieverbrauch kWh	696,5	569,5	636,5

4. Zusammenfassung

Die Trocknung von Mähdruschfrüchten und anderen Produkten gehört zu den energieintensivsten Verfahrensabschnitten in der Landwirtschaft. Sie ist jedoch oft Voraussetzung für die Qualitätserhaltung. Anhand von Versuchsergebnissen wird nachgewiesen, daß durch die Verwendung entfeuchteter Luft im Vergleich zu bisher üblichen Trocknungsverfahren eine qualitätsschonende und energiesparende Trocknung erreicht wird. Im Bereich des Saatgutwesens der DDR sind die Geräte KST 100/3-EF, LEGK5 und KL-F70 im Einsatz, die von Betrieben des VEB Kombinat Luft- und Kältetechnik Dresden produziert werden.

Diese Luftentfeuchtungsgeräte werden in der Funktion „Trocknung“ überall dort genutzt, wo eine schonende Trocknung im niederen Temperaturbereich (bis 40°C) erforderlich ist. Im Bereich der Landwirtschaft betrifft das die Trocknung von Mähdruschfrüchten, vor allem Feinsaat, wie Grassamen, Klee, Luzerne und Gemüsesämereien, aber auch Getreide und großkörnige Leguminosen. Weitere Einsatzbereiche sind die Trocknung von Arznei- und Gewürzpflanzen, Hopfen, Tabak, Zwiebeln oder bei der Heugewinnung. Außerhalb der Landwirtschaft sind die Trocknung von Holz und hygroskopischen Erzeugnissen der Industrie sowie die Entfeuchtung von Räumen zu nennen.

A 5229