

Dipl.-Ing. K. H. SIMON*

Zulässige Trocknungstemperaturen von Hülsenfrüchten und Möglichkeiten der zweckmäßigen Gestaltung des Trocknungsprozesses

1. Problemstellung

Eine wichtige Voraussetzung für die verbesserte Versorgung der Bevölkerung mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen ist die Erhöhung der Getreide- und Futtermittelproduktion. Durch den Einsatz des Mähdeschers bei der Hülsenfruchternte besteht die Möglichkeit, auch unter ungünstigen Bedingungen das Erntegut zu bergen, was einen erhöhten Anfall feuchter Körner zur Folge hat. Die Trocknung dieser Körner wird unbedingt erforderlich, da sie sonst nicht lagerfähig sind. Hülsenfrüchte zählen bedingt durch ihren biologischen Aufbau und ihre chemische Zusammensetzung zu den langsam trocknenden Körnerfrüchten, wobei außerdem zu beachten ist, daß es sich um lebende Organismen handelt, in denen sich Atmungs- und Wachstumsprozesse vollziehen. Bei der notwendig werdenden Trocknung hängt die Erhaltung der Eigenschaften dieser Früchte wesentlich von den verwendeten Trocknungstemperaturen ab. Der Trocknungsprozeß muß so gestaltet werden, daß eine möglichst schonende Behandlung der Körner erfolgt. Sowohl die biologischen Eigenschaften, wie Keimfähigkeit, Triebkraft, Nährstoffzusammensetzung, als auch die technologischen Eigenschaften müssen erhalten bleiben.

2. Ergebnisse der experimentellen Bestimmung zulässiger Trocknungstemperaturen und zulässiger Feuchteentzüge

2.1. Versuchsdurchführung und Methodik der Auswertung

Diesen Ausführungen liegen Ergebnisse zugrunde, die in /1/ ausführlich dargelegt worden sind.

In Laborversuchen wurden Werte der Keimfähigkeitsabnahme bei der Hülsenfruchttrocknung für unterschiedliche Trocknungstemperaturen und unterschiedlichen Feuchteentzug in Abhängigkeit von der Anfangsfeuchte bestimmt. Diese Werte stellen für die Praxis ein wichtiges und unmittelbar verwendbares Ergebnis dar, da eine Umrechnung der Werte auf praktische Anlagen nicht erforderlich wird. Die Versuche erfolgten an Erbsen, Ackerbohnen und Lupinen mit künstlich befeuchteten Proben. Die Keimfähigkeit der Körnerfrüchte war dabei das wichtigste und erhaltende Qualitätsmerkmal. Die Anzahl der gekeimten Samen des Ausgangsmaterials galt als Vergleichswert (= 100 Prozent), die Versuchsergebnisse wurden entsprechend umgerechnet. Auf diese Weise erhält man die bezogene Keimfähigkeit K' für die jeweiligen Versuchsbedingungen.

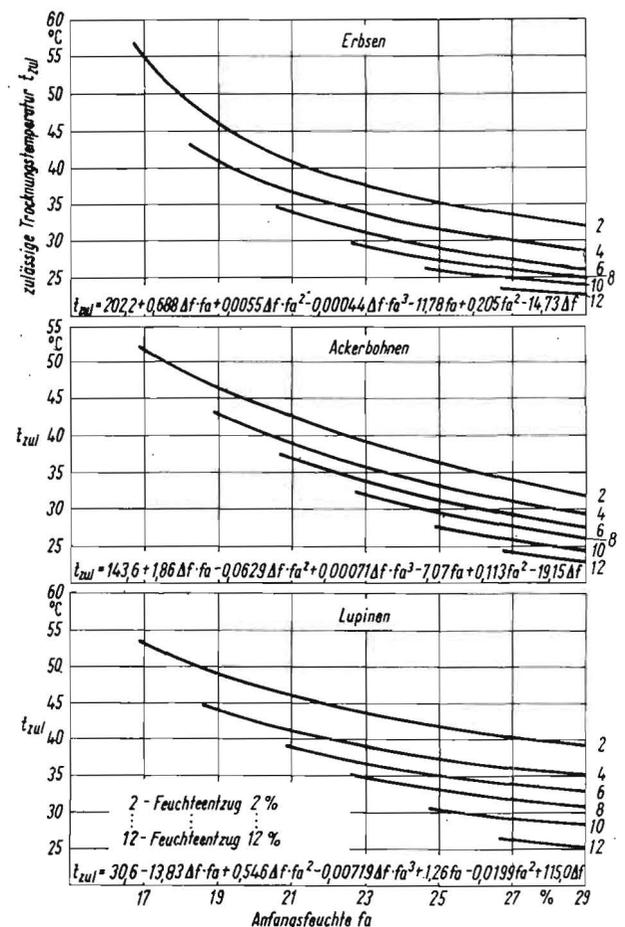
Die Auswertung der Versuchsergebnisse gestattet es, zulässige Trocknungstemperaturen bzw. zulässige Feuchteentzüge für die untersuchten Hülsenfrüchte anzugeben (Bilder 1 und 2, Tafel 1).

Nach ENGELMANN/HIEYDEL /2/ wird für Hülsenfrüchte eine Keimfähigkeit des Saatgutes von 95 Prozent gefordert, aber auch Keimfähigkeiten von 90 Prozent sind in bestimmten Fällen noch zugelassen. Aus diesem Grunde ist in den Bildern und der Tafel in 95 Prozent und 90 Prozent zulässige Keimfähigkeit unterschieden worden, weil gerade für den Fall, daß man 10 Prozent Minderung in Kauf nimmt, die Trocknung wesentlich günstiger gestaltet werden kann. Die günstigste Variante der anzuwendenden Trock-

nungstechnologie wird deshalb über eine Optimierungsberechnung zu ermitteln sein.

Die Ergebnisse sollten statistisch verrechnet werden. Deshalb wurden jeweils 5 Versuche für jede Parametereinstellung durchgeführt. Zur Erleichterung der Versuchsauswertung wurde eine Tabelle von MILES /3/ verwendet. Darin ist für eine bestimmte Anzahl von Samen in der Probe der statistisch gesicherte Mittelwert im Vertrauensintervall von 95 Prozent angegeben, so daß die vorliegenden Ergebnisse als einfach gesichert angesehen werden können. Die Ergebnisse wurden statistisch verrechnet, in jedem Falle lassen sich die vorhandenen Meßpunkte mathematisch sehr gut angleichen. Die Reststreuung ist sehr gering, das Bestimmtheitsmaß liegt sehr nahe an eins und ist durch den t -Test zur Korrelation hochsignifikant gesichert. Demzufolge haben nur die betrachteten Größen — Trocknungstemperatur und Feuchteentzug — Einfluß auf die Keimfähigkeit. Diese Feststellung ist insofern von großer Wichtig-

Bild 1. Zulässige Trocknungstemperaturen für Hülsenfrüchte bei zugelassener Keimfähigkeitsminderung von 5% gegenüber dem Ausgangsmaterial



* Sektion Landtechnik der Universität Rostock
(Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. Chr. EICHLER)

keit, als durch das Handsortierverfahren alle beschädigten, geplatzen, anomal entwickelten und nach äußerem Anschein durch Krankheiten befallenen Körner aussortiert worden sind.

Die Keimfähigkeitsminderung ist demnach mit großer Sicherheit durch die Trocknung und nicht durch unkontrollierbare andere Einflüsse eingetreten.

2.2. Auswertung der Ergebnisse

In Auswertung der vorliegenden Ergebnisse kann festgestellt werden, daß im Gegensatz zu bisher bekannten und empfohlenen Richtwerten, die einen Feuchteentzug von maximal 3 Prozent je Durchgang vorsahen, unter bestimmten Bedingungen höhere Werte zulässig sind. Die Höhe des möglichen Feuchteentzugs hängt entscheidend von der gewählten Trocknungslufttemperatur ab. Ein Vergleich der Bilder 1 und 2 zeigt, daß die Werte für zulässige Trocknungstemperaturen sich wesentlich günstiger gestalten lassen, wenn bei Konsumware eine Keimfähigkeitsminderung von 10 Prozent zugelassen wird. Es wurde die Möglichkeit geprüft, für alle untersuchten Fruchtarten gleiche Trocknungstemperaturen für gleiche Feuchteentzüge festzulegen. Für ein möglichst optimales Gestalten des Trocknungsprozesses ist diese Vereinfachung nicht anwendbar. Das schließt nicht aus, daß man ohne große Schwierigkeiten eine Kompromißlösung finden kann, nach der mit einer Trocknereinstellung alle drei Fruchtarten getrocknet werden können.

Bei Zulassen von 10 Prozent Keimfähigkeitsminderung läßt sich der mögliche Feuchteentzug je Durchgang in der Regel verdoppeln gegenüber zugelassenen 5 Prozent Minderung. Selbst bei Saatgut ist es möglich, die Grenze von 3 Prozent Feuchteentzug zu überschreiten. Abhängig von der Anfangsfeuchte ist die Anwendung von 5 bis 10 °C höheren Trocknungstemperaturen möglich, wodurch wesentlich günstigere Werte für die Trocknungszeiten und -geschwindigkeiten erreichbar sind. Es empfiehlt sich in jedem Fall eine ökonomische Durchrechnung, ob es zweckmäßig ist, mit höheren Temperaturen und mehrmaliger Zwischenlagerung oder mit geringeren Temperaturen und wenig Zwischenlagerungsperioden zu arbeiten.

2.3. Einschätzung des Einflusses höherer relativer Luftfeuchte auf die Keimfähigkeit von Hülsenfrüchten

Außer von der Lufttemperatur ist die Keimfähigkeitsabnahme, die ein Maß für das schonende Trocknen der Körnerfrüchte ist, auch von der relativen Feuchte der Trocknungsluft abhängig. Bild 3 zeigt die Möglichkeit der Anwendung höherer Trocknungstemperaturen an einem Beispiel mit $i-x$ -Diagramm. Nach der Lufterwärmung steht für den Trocknungsprozeß ein ganz bestimmtes Wasseraufnahmevermögen der Luft zur Verfügung ($x_2 - x_1$). Wird aber vor der Erwärmung erst die relative Luftfeuchte erhöht (Punkt 3), so erkennt man, daß bei Erwärmung bis zur gleichen Temperatur die relative Luftfeuchte nicht so stark absinkt, was sich entscheidend auf die Qualitätserhaltung bei den Früchten auswirken kann. Steigert man dagegen die Temperatur bis zur zum Punkt 1 gehörenden Linie $\varphi = \text{konstant}$, so erhöht sich das verfügbare Feuchtigkeitsaufnahmevermögen der Luft ($x_2 - x_A$) $<$ ($x_3 - x_A$). Es lassen sich auf diese Weise bedeutend höhere Lufttemperaturen anwenden, was eine erhebliche Steigerung der Trocknungsgeschwindigkeit zur Folge hat.

Für die Eintrittsfeuchte des Gutes $f_e = 23$ Prozent wurden diese Verhältnisse an den drei Fruchtarten untersucht, statt relativer Luftfeuchten von im Mittel $\varphi < 0,30$ wurden Versuche mit $\varphi < 0,70$ durchgeführt und ein Vergleich zwischen diesen beiden Versuchsserien angestellt. Das Ergebnis zeigt Tafel 2. Aus dieser Darstellung lassen sich folgende Schlußfolgerungen ableiten:

a) Für Erbsen: Durch Anwendung von Trocknungsluft mit höherer relativer Luftfeuchte ist bei Erbsen in jedem Fall

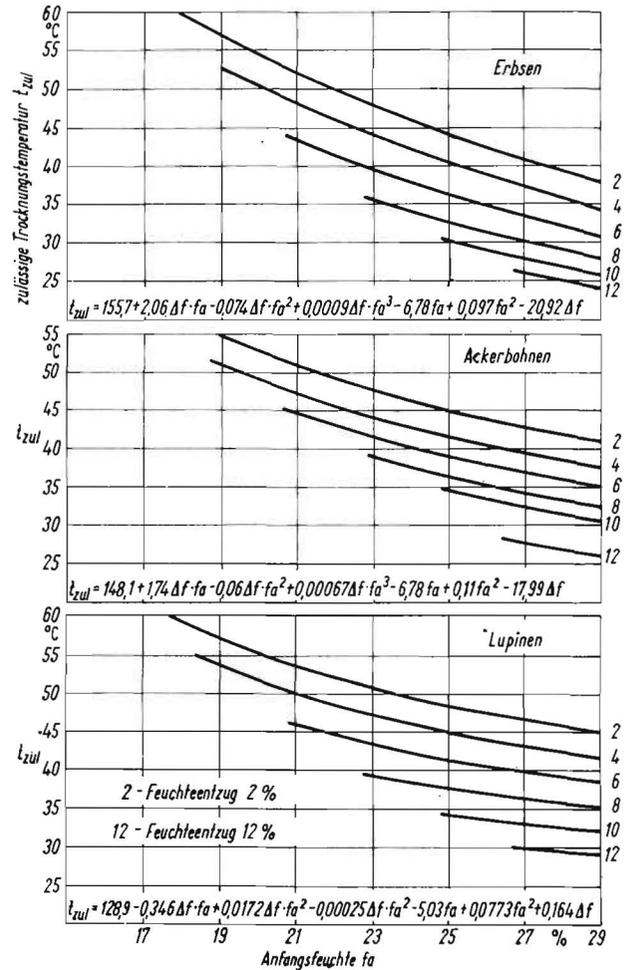


Bild 2. Zulässige Trocknungstemperaturen für Hülsenfrüchte bei zugelassener Keimfähigkeitsminderung von 10 % gegenüber dem Ausgangsmaterial

Tafel 1. Maximal möglicher Feuchteentzug bei der Hülsenfruchttrocknung (95 % — zulässige Keimfähigkeitsabnahme 5 %, E-Feuchteentzug bis Endfeuchte 15 % möglich)

Trocknungs- tempera- turen °C	max. möglicher Feuchteentzug in % bei Anfangsfeuchte											
	29		27		25		23		21		19	
95	90	95	90	95	90	95	90	95	90	95	90	
Erbsen												
30	2,8	8,0	2,8	7,5	3,3	8,7	5,9	E	E	F	E	E
35	1,8	4,0	2,3	4,3	2,3	5,0	3,0	E	4,0	E	E	E
40	0,9	2,0	1,3	2,8	1,4	3,3	1,7	4,4	2,5	E	E	E
45	—	—	—	—	—	—	0,9	2,2	1,4	5,0	E	F
50	—	—	—	—	—	—	—	—	0,9	3,3	2,0	E
55	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	2,3	0,8	2,7
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	1,6
Ackerbohnen												
30	5,7	9,9	6,9	9,6	7,5	E	4,6	E	E	F	E	F
35	0,9	6,4	1,5	6,8	2,6	8,0	2,7	E	E	E	F	F
40	—	2,7	0,4	3,3	1,3	4,2	1,9	5,0	4,0	E	F	F
45	—	—	—	1,6	0,8	2,0	1,0	2,5	2,0	F	2,7	F
50	—	—	—	—	0,4	1,3	0,5	1,5	1,8	3,1	1,3	E
55	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	1,1	—	1,6
Lupinen												
30	8,0	12,0	7,8	E	7,8	E	E	F	E	E	E	F
35	4,3	8,2	4,3	8,4	6,0	8,5	E	E	E	E	E	E
40	3,0	5,6	3,0	5,4	3,2	5,4	2,0	6,4	E	E	E	E
45	—	2,6	1,1	2,8	1,2	2,8	1,0	3,0	2,8	E	3,7	E
50	—	—	—	—	—	1,2	0,5	1,5	1,6	4,0	1,6	3,0
55	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	2,0	0,8	2,0
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0

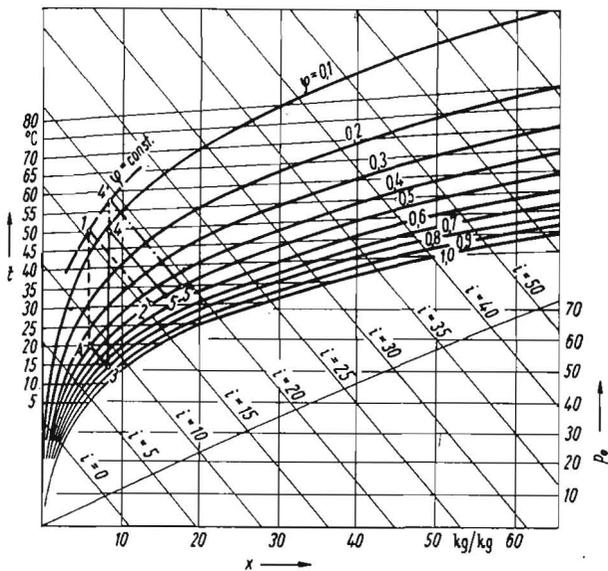


Bild 3. Möglichkeiten zur Steigerung des Trocknungseffektes durch Erhöhung der relativen Luftfeuchte mit anschließender Erwärmung der Trocknungsluft

Tafel 2. Vergleich der maximalen Trocknungsgeschwindigkeiten bei „normalen“ und „höheren“ relativen Luftfeuchtigkeiten, bei zugelassener Keimfähigkeitsminderung von 5 und 10 %

Fruchtart	f %	Zul. Temp. bei $\psi < 0,30$		g_v [kg/m ³ h] bei t_{zul}		Zul. Temp. bei $\psi < 0,70$		g_v [kg/m ³ h] bei t_{zul}	
		95	90	95	90	95	90	95	90
Erbsen	2	36,5	45	100	125	56,5	70	167	350
	4	33	40,5	67	115	52	64	105	192
	6	32	39	37	55	48	59	63	110
	8	28,5	36	28	40	44	52,5	30	55
Ackerbohnen	2	39,5	48,5	93	140	44,5	55	72	117
	4	32	40	48	75	42	50	32	64
	6	30,5	38	32	48	38	45	17	30
	8	29	36,5	25	35	35	41	8	15
Lupinen	2	41	49	128	181	55	68	178	315
	4	36	43	85	108	48,5	59	110	176
	6	32	38	62	75	38	45,5	32	65
	8	29	36	23	35	35	42	17	32

eine Steigerung der Trocknungsgeschwindigkeit erreichbar. Im gewählten Beispiel $f_e = 23$ Prozent wäre

- für Saatgut eine Steigerung auf 160 bis 170 Prozent bei Feuchteentzügen von 2 bis 6 Prozent möglich, für 8 Prozent Feuchteentzug dagegen nur noch auf 107 Prozent,
- für Konsumware eine Steigerung auf 170 bis 280 Prozent, bei 8 Prozent Feuchteentzug noch auf 138 Prozent möglich.

b) Für Lupinen: Nur für Feuchteentzüge von 2 Prozent und 4 Prozent ist eine Steigerung der Trocknungsgeschwindigkeit und damit verbunden eine Senkung der Trocknungszeit zu erzielen. Im gewählten Beispiel $f_e = 23$ Prozent sind

- für Saatgut Steigerungsraten von 140 bzw. 130 Prozent erreichbar,
- für Konsumware solche von 174 bzw. 163 Prozent.

Für Feuchteentzug von 6 und 8 Prozent reicht infolge der nur wenig höheren möglichen Trocknungstemperatur die Steigerung der Trocknungsgeschwindigkeit nicht aus, um die Werte bei „normaler“ relativer Luftfeuchte zu erreichen. Der Grund für diese Erscheinung liegt darin, daß dem Feuchtetransport zur Kornoberfläche bei Lupinen größerer innerer Widerstand entgegengesetzt wird.

c) Für Ackerbohnen: Bei Ackerbohnen umschließt eine harte, wenig wasserdurchlässige Schale den Eiweißkern. Dieser Aufbau ist der Grund dafür, daß über die Anwendung relativer Luftfeuchten über 70 Prozent keine Steigerung der Trocknungsgeschwindigkeit, auch nicht für Feuchteentzüge von 2 Prozent, erreichbar ist. Die Vergleichswerte in Tafel 2 weisen aus, daß die Trocknungsgeschwindigkeiten bei höheren relativen Luftfeuchten nur 45 bis 75 Prozent der Werte unter „normalen“ Trocknungsbedingungen erreichen, so daß diese Methode für Ackerbohnen nicht anwendbar ist. Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Anwendung von Trocknungsluft mit relativen Anfangsfeuchten über 70 Prozent für Erbsen und Lupinen Vorteile mit sich bringt, die die Ökonomie des Trocknungsprozesses erheblich beeinflussen können.

3. Schlußfolgerungen aus den vorliegenden Ergebnissen für die Technologie der Trocknung

Die vorliegenden Versuchsergebnisse lassen eindeutig die Schlußfolgerung zu, daß die Trocknung langsam trocknender Körnerfrüchte in einem Durchgang bis zur Lagerfeuchte ökonomisch gesehen nicht sinnvoll ist. Der Trocknungsprozeß sollte so gestaltet werden, daß Zwischenlagerungsperioden möglich sind. Die Anwendung von Zwischenlagerungsperioden in der Trocknungstechnik ist immer dann vorzusehen, wenn es darum geht, bei empfindlichen Früchten die Qualitätseigenschaften zu erhalten. Sie führen in vielen Fällen zu besseren technologischen Kennziffern der Trocknungsanlagen, weil in diesen Perioden ein Ausgleich der Feuchte über das gesamte Korn stattfindet, was eine Verbesserung des Feuchteabgabevermögens bewirkt. Technologisch sind langfristige Zwischenlagerungen von optimal 24 h oder kurzfristige Zwischenlagerungen von nur wenigen Minuten des Kornes im erwärmten Zustand möglich /4/ /5/ /6/. Die letzte Methode wirkt sich sehr günstig auf die Vermeidung von Rißbildung aus. Beide Verfahren sind erprobt und anwendbar. Für Hülsenfrüchte sollte aber in jedem Falle bei der Trocknung das Gegenstromprinzip angewendet werden, weil damit eine „weichere“ Wärmebehandlung des Gutes erreicht wird.

Literatur

- /1/ SIMON, K. H.: Untersuchungen über den Einfluß der Trocknungstemperatur, der Kornfeuchte und des Feuchteentzuges auf das Trocknungsverhalten von Hülsenfrüchten, Dissertation, Sektion Landtechnik der Universität Rostock 1971
- /2/ ENGELMANN / HEYDEL: Grundlagen und Praxis der Saatgutuntersuchungen. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin 1962
- /3/ MILES, S. R.: Handbook of tolerands and of measures for Seed Testing. Internat. Seed Testing Ass. Vol. 28 (1963) 3
- /4/ MIZKUNAITIS, W. P.: Untersuchungen des Prozesses und der Technologie der Trocknung von grobkörnigen Leguminosensamen. Autorenreferat einer Dissertationsarbeit, Kaunas 1967
- /5/ PTIZYN, S. D.: Körnertrockner, Maschinostroenie. Moskau 1966
- /6/ FEDOSSEJGEW, P. N.: Zur Frage der Technologie der Trocknung von Futterbohnen Saatgut. Wiss. Arbeiten der Sib. Filiale des VIM, Ausgabe I. Novosibirsk 1963 A 8269

Heißlufttrocknung von Grünfütter und Hackfrüchten

Von Dipl.-Landw. B. SCHNEIDER u. a. Berlin: VEB Verlag Technik 1970. 352 Seiten, 125 Bilder, 103 Tafeln, Format 14,7 cm × 21,5 cm, Halbleinen, 19,- M

Ein nützlicher Leitfaden für alle an der industriemäßigen Futterproduktion interessierten LPG, VEG und Kooperationsgemeinschaften, in dem sämtliche Fragen zur Planung, Organisation, technischen Betriebsweise und Kostengestaltung von Trocknungsanlagen ausführlich behandelt sind. Das Buch enthält aufgrund langjähriger Erfahrungen des Autorenkollektivs aus Burgwerben wertvolle Empfehlungen zu Transport- und Kostenproblemen, zu den Formen der notwendigen Kooperationsbeziehungen und zur Verwertung des Trockengutes. AB 8352