

NOTWENDIGE LEISTUNG VON GRÜNFUTTERHEISSLUFTTROCKNERN
IN ABHÄNGIGKEIT WICHTIGER EINFLUSSGRÖSSEN

Vom ~~dem~~

Fachbereich ~~für~~ Landwirtschaft und Gartenbau
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Landwirtschaft (Dr. agr.)
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Diplom-Agraringenieur
Wolfgang Richter

1. Berichterstatter: Prof. Dr. H.-L. Wenner
2. Berichterstatter: Prof. Dr. G. Voigtländer

Tag der Einreichung der Arbeit: 24. 2. 1976
Tag der Annahme der Arbeit: 9. 6. 1976
Tag der Promotion: 15. 6. 1976

V o r w o r t

Die vorliegende Dissertation wurde in den Jahren 1972 bis 1975 am Institut für Landtechnik der TUM-Weihenstephan durchgeführt. Sie entstand im Rahmen eines Forschungsauftrages (Grünfütterheiluftttrocknung) des bayerischen Staatsministeriums für ELF unter Leitung von Herrn Dr. Strehler, dem an dieser Stelle für die Organisation des Forschungsauftrages und die Betreuung der Arbeit gedankt sei.

Besonderer Dank gilt meinem hochwertigen Lehrer, Herrn Prof. Dr. Wenner. Er gab bei der Zusammenstellung der Arbeit wertvolle Hinweise. Dem Berichterstatter Herrn Prof. Dr. Voigtländer sei für die interessanten Anregungen gedankt.

Nicht zuletzt möchte ich allen Mitarbeitern der Landtechnik Weihenstephan, die bei der Durchführung des Forschungsauftrages mitgeholfen haben, herzlich danken.

Dem bayerischen Staatsministerium für ELF gebührt der Dank für die finanzielle Unterstützung der Arbeit.

Freising, im März 1976

Wolfgang J. F. Richter

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. <u>Einleitung</u>	1
1.1 <u>Problemstellung</u>	1
1.2 <u>Zielsetzung</u>	2
2. <u>Entwicklung und Technik der Grünfütter- heißlufttrocknung</u>	3
2.1 <u>Geschichtliche Entwicklung</u>	3
2.2 <u>Derzeitiger Stand der Technik</u>	11
3. <u>Bestimmung der notwendigen Durchsatz- leistung</u>	28
3.1 <u>Methodik</u>	29
3.11 Definitionen und Zusammenhänge	29
3.111 Wärmeaufwand	29
3.112 Feuchteentzug	30
3.113 Heizleistung	33
3.114 Durchsatzleistung	33
3.115 Verdampfungsleistung	34
3.12 Statistische Verrechnung	36
3.13 Untersuchung an bayerischen Heißluft- trocknungsanlagen	37
3.14 Trocknungsversuche	37
3.15 Rechengang der Leistungsbestimmung	38
3.2 <u>Bestimmung wichtiger Einflugroen der notwendigen Durchsatzleistung</u>	39
3.21 Einzugsgebiet und Erntefläche	40
3.211 Begrenzungen	40
3.212 Ermittlung der Erntefläche	44

	Seite	
3.22	Grünlandertrag	51
3.221	Einfluß des Wachstumsverlaufes auf dem Grünland auf die notwendige Durchsatzleistung	51
3.222	Beeinflussung des Wachstumsverlaufes auf dem Grünland zur besseren Auslastung der Anlagen und zur Vermeidung von Überkapazität	54
3.223	Bestimmung des Schnittzeitpunktes	57
3.23	Trocknungszeitspanne	59
3.231	Trocknungszeit in der Praxis	59
3.232	Bestimmung der Trocknungszeitspanne	70
4.	<u>Berechnung der Verdampfungsleistung unter Berücksichtigung des mittleren Anfangsfeuchtegehaltes des Trocknungsgutes</u>	74
4.1	<u>Trocknungsversuche</u>	74
4.11	Versuchsdurchführung	75
4.12	Ergebnisse	76
4.121	Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes auf die Trocknungslufttemperatur	78
4.122	Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes auf den Wärmeaufwand	85
4.2	<u>Ermittlung des durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehaltes</u>	91
4.21	Einfluß der Niederschläge auf die Zahl der Trocknerstunden in der Praxis	92
4.22	Die potentielle Evapotranspiration als Wachstumsparameter	94
4.23	Ermittlung des durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehaltes in Abhängigkeit von den Niederschlägen	98
4.24	Abhängigkeit des Anfangsfeuchtegehaltes beim Vortrocknen auf dem Feld von physikalisch gegebenen Trocknungsbedingungen	101
4.25	Bestimmung des durchschnittlichen Feuchtegehaltes des Trocknungsgutes während der Trocknungszeitspanne	107

		Seite
4.3	<u>Zusammenfassende Ergebnisse</u>	110
5.	<u>Planungsbeispiel</u>	115
6.	<u>Zusammenfassung</u>	122
7.	<u>Literaturverzeichnis</u>	127
8.	<u>Anhang</u>	149

1. Einleitung

Der Dauergrünlandanteil liegt in Deutschland, bedingt durch unveränderliche Standortfaktoren, bei ca. 40 % (WIENEKE 1972 (127), ALBRECHT 1973 (6)). Das Dauergrünland liefert bis auf einen geringen Teil keine marktfähigen Produkte, was einen Zwang zur Veredelung mit sich bringt.

Vergleicht man die wirtschaftliche Lage der reinen Futterbaubetriebe mit Marktfruchtbetrieben oder außerlandwirtschaftlichen Betrieben (REINHARDT 1972 (93)), so ergibt sich neben der Einkommensdisparität zu den außerlandwirtschaftlichen Betrieben auch eine beträchtliche Differenz zu den Marktfruchtbetrieben. Wie groß der Unterschied ist, zeigt der Agrarbericht 1974 (3), der für den Marktfruchtbetrieb ein Betriebseinkommen von 22.880,-- DM/AK aufweist und für den Futterbaubetrieb nur 19.278,-- DM/AK, ein um etwa 16 % geringeres Betriebseinkommen.

Eine Verbesserung der Einkommensverhältnisse der Futterbaubetriebe ist durch eine Steigerung der Ertragslage des Grünlandes möglich, wenn diese Steigerung über die Milchviehhaltung genutzt wird und der Steigerung des Grünlandertrages eine Steigerung der Milchleistung folgt.

Hohe Milchleistungen stellen aber auch hohe Anforderungen an die Futterkonserve. Die höchsten Nährstoffgehalte im Futter werden durch die Grünfutterheißlufttrocknung möglich, da hier bei nur geringem Witterungseinflu zum optimalen Schnittzeitpunkt konserviert werden kann.

1.1 Problemstellung

Futter mit höchstem Nährstoffgehalt und bester Qualität ist nur dann sinnvoll im landwirtschaftlichen Betrieb einzusetzen, wenn der wirtschaftliche Einsatz gewährleistet ist. Dieser wird wesentlich durch die Auslastung der installierten Trocknerleistung bestimmt.

Die Leistung bestehender Grünfütterheiluftttrockner liegt im europäischen Ausland zwischen 2 bis 40 t Wasserverdampfung/h (NORDENSKJÖLD 1970 (78), NIELEBOCK 1968 (76), REVEILLE 1970 (96), GILLIO 1972 (39), DÖRFLER et al. 1971 (29)). In Bayern bewegen sich die Wasserverdampfungsleistungen zwischen 1,8 bis 15 t/h. Die Verdampfungsleistungen der stationären Trocknungsanlagen stiegen im Laufe der letzten Jahre bis zu 15 t/h Wasserverdampfung erheblich an. Der hohe Aufwand an Kapital, den diese höheren Verdampfungsleistungen erfordern, läßt sich nur durch eine hohe und ausgeglichene Auslastung in wirtschaftlichen Grenzen halten.

Die Auslastung der bisher erstellten Grnftterheilufttrocknungsanlagen war nicht immer zufriedenstellend, wie durch die Erhebung 1971 - 73 an den bayerischen Heißlufttrocknungsanlagen festgestellt wurde. Um einerseits eine hohe Auslastung, andererseits die notwendige Leistung während der Wachstumsspitze zu erzielen, ist es aber notwendig, bei der Planung der Trocknungsanlage die örtlichen Gegebenheiten, wie die Ertragslage, Ertragsverteilung auf dem Grünland und die Witterung zu berücksichtigen.

Für moderne Grnftterheilufttrocknungsanlagen sollen in dieser Arbeit Grundlagen der Heißlufttrocknung zusammengestellt und in ihrem Einfluß auf die Verdampfungsleistung dargestellt werden, um das Erstellen von Planungshilfen zu ermöglichen.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, Planungsgrundlagen zu erarbeiten, die es unter Berücksichtigung der örtlich relevanten Einflußgrößen ermöglichen, die notwendige Durchsatzleistung von Grünfütterheißlufttrocknern ohne großen Rechenaufwand zu bestimmen.

In den folgenden Arbeitsstufen wird vorgegangen:

1. Zu Beginn werden die geschichtliche Entwicklung und der derzeitige Stand der Technik in der Grünfütterheißlufttrocknung dargestellt (Kap. 2). Zum einen sollen dadurch Mängel aufgezeigt und zum anderen Ansatzpunkte für die Planungshilfen gegeben werden.
2. Anschließend wird die notwendige Durchsatzleistung unter Berücksichtigung der wichtigen Einflußgrößen Erntefläche (Kap. 3.2.1), Trocknungsgutmenge (Kap. 3.2.2) und Trocknungszeitspanne (Kap. 3.2.3) bestimmt.
3. Daran schließt sich die Berechnung der notwendigen Verdampfungsleistung unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehaltes an (Kap. 4).
4. Aus der ermittelten Gleichung (Kap. 4.3) für die Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung werden Planungsdaten abgeleitet und an Beispielen erläutert (Kap. 5).

2. Entwicklung und Technik der Grünfütterheißlufttrocknung

2.1 Geschichtliche Entwicklung

Eines der ältesten Verfahren zur Konservierung von landwirtschaftlichen Produkten ist die Trocknung, wobei schon sehr früh versucht wurde, Sonnenenergie durch technische Energiequellen zu ersetzen. So liegen die ältesten Mitteilungen landwirtschaftlicher Trocknungen über Darren aus dem Baltikum vor (WACKER 1957 (122)). PFLUGBEIL 1973 (86) berichtet über die ältesten landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen aus den Gebieten Estland, Livland und Kurland; die ersten Trockner wurden als Rauchstuben oder Riegen ausgeführt. In ihnen wurden Getreidegarben durch aus Torf erzeugte Feuerungsgase getrocknet, so zum Beispiel 1795 in einer Riege in Estland (chronologische

Reihenfolge bis 1929 in Anhangstabelle 1). Die Anfänge der Grünfütterheißlufttrocknung gehen nach PFLUGBEIL 1973 (86) auf englische und amerikanische Versuche aus den Jahren 1866 und 1870 zurück (KOENIGER 1931 (62), FALKE 1905 (33), HUNKELER 1968 (47), STRAUMANN 1929 (111)). Im wesentlichen ist die Grünfütterheißlufttrocknung auf die Trocknung von Diffusionsschnitzeln in den Zuckerfabriken zurückzuführen (HAMMER 1936 (41)). Die reine Grünfütterheißlufttrocknung spielte 1900 - 1936 eine untergeordnete Rolle und entwickelte sich nur sehr langsam (LÜKE 1957 (66), WACKER 1957 (122)). Auch nach der Währungsreform führten die Grünfütterheißlufttrocknung (hauptsächlich Rbenblatt) in zunehmendem Maße die Zuckerfabriken durch. Die Zahl der Trocknungsanlagen, die 1945 in Deutschland betrieben wurden, lag bei 52 (LÜKE 1957 (66), HADELER 1969 (47)).

Eine stärkere Verbreitung erfuhr die Grünfütterheißlufttrocknung nach KRETZSCHMAR 1969 (63) in Deutschland zu Beginn der fünfziger Jahre, begünstigt durch das ERP-Kreditprogramm 1951/52 (WACKER 1957 (122)) und die Knappheit der Eiweifttermittel (KRETZSCHMAR 1969 (63), LÜKE 1957 (66)). 1953 waren 136 Trocknungsanlagen in Betrieb, die 100 000 t/Jahr Trockengut erzeugten. Die Zahl der Trocknungsanlagen, über die einzelnen Bundesländer verteilt, und der Frischgutdurchsatz sind aus Tabelle 1 ersichtlich. Die meisten Trocknungsanlagen standen in Bremen und Niedersachsen; 70 Anlagen mit einer Frischgutdurchsatzleistung von 2614 dt/h, gefolgt von Nordrhein-Westfalen mit 37 Anlagen und 1069 dt Frischgut/h und Schleswig-Holstein mit 14 Anlagen und 370 dt Frischgut/h.

Tabelle 1: Anzahl der Trocknungsanlagen des Bundesgebietes im Jahr 1953 nach LÜKE 1957 (66)

Land	Trocknungsanlagen			Leistungs- fähigkeit Frischgut dt/h
	Anzahl	davon erstellt		
		vor 1945	nach 1945	
Schleswig-Holstein	14	2	12	370
Bremen	1	-	1	2614
Niedersachsen	69	33	36	-
Nordrhein-Westfalen	37	8	29	1069
Hessen	3	2	1	35
Rheinland-Pfalz	2	-	2	45
Bayern	7	2	5	128
Baden-Württemberg	3	-	3	75
Bundesgebiet	136	47	39	4336

Von den 136 Trocknungsanlagen, die 1953 liefen, waren 1955 nur noch 96 in Betrieb, die 67 100 t Trockengrüngut erzeugten, wobei nur 10 000 t auf den Markt kamen (WACKER (122), LÜKE 1957 (66)). Der Rest wurde in landwirtschaftlichen Betrieben verbraucht. Die Trocknungsanlagen, die 1956 bestanden, trockneten verstärkt Rübenblatt, daher zeigt Tabelle 2 einen hohen Anteil von Trocknungsanlagen in Hannover, Westfalen und Rheinland-Pfalz auf.

Tabelle 2: Anzahl der Trocknungsanlagen im Bundesgebiet 1956
nach WACKER 1957 (122)

Gebiet	Anzahl der Anlagen	Leistungsfähigkeit Frischgut dt/h
Schleswig-Holstein	11	803
Hannover	28	929
Weser-Ems und Bremen	13	253
Westfalen	20	253
Rheinland	20	604
Bayern	12	212
Hessen-Rheinland-Pfalz Baden-Württemberg	8	184

Ein Teil dieser in den fünfziger Jahren erstellten Trocknungsanlagen mußte wenige Jahre später wegen mangelnder Auslastung - 1953 31,9 dt Frischgut/h (errechneter Durchschnitt aus Tabelle 1), 1956 28,9 dt Frischgut/h (errechneter Durchschnitt aus Tabelle 2) - und dadurch bedingter finanzieller Schwierigkeiten wieder geschlossen werden. Das Sinken der Anlagenzahl hielt bis 1969 an; in diesem Jahr konnten mit 90 Trocknungsanlagen 29245 t Trockengrün erzeugt werden, wie in Tabelle 3 für die einzelnen Regionen des Bundesgebietes aufgeschlüsselt dargestellt wird. Es zeigt sich, daß - im Vergleich zu Tabelle 1 - die meisten Grünfütterertrocknungsanlagen in Bayern (39 Anlagen) in Betrieb sind.

Tabelle 3: Anzahl der Trocknungsanlagen, Wasserverdampfung und Trockengutproduktion im Bundesgebiet 1969 (n. Fachverband landwirtschaftlicher Trocknungswerke 1970 (31, 32))

Land	Anzahl	Wasserverdampfung t/h	Trockengrün t/Jahr
Schleswig-Holstein	7	19,3	2270
Niedersachsen	18	95,4	4066
Nordrhein-Westfalen	10	33,3	2944
Hessen Rheinland-Pfalz	4	12,5	1422
Baden-Württemberg	12	42,4	6725
Bayern	39	146,4	12818
Bundesgebiet	90	349,3	29245

Die Ursachen für die früheren unbefriedigenden Betriebsergebnisse sind in der zu geringen Auslastung der Trocknungsanlagen, der Erzeugung ungenügender Futterqualität und der dadurch nicht erreichten Wirtschaftlichkeit der Trocknungsanlagen zu sehen (DEURINGER (28)). Diese Mängel hatten zur Folge, daß die Eigenerzeugung sank und bei steigendem Verbrauch die Importe an Trockengrün zunehmen mußten (Anhangstabelle 2 1970 (32)). Die Importe kamen im wesentlichen aus west- und osteuropäischen Ländern, deren Entwicklung in der Grünfütteretrocknung hier nur kurz gestreift werden soll.

In den Ostblockländern konnte sich die Grünfütteretrocknung vor 1960 kaum durchsetzen (HADELER 1969 (47)), jedoch wurde sie ab 1962 durch die Einfuhr von Trocknungsanlagen mit einer

Wasserverdampfungsleistung von 10 bis 40 t/h intensiviert (SCHNEIDER 1970 (104), NORDENSKJÖLD 1970 (78), ZIVOTKO 1967 (133), DETRE 1965 (26)).

In den westeuropäischen Ländern verlief die Entwicklung unterschiedlich. Einige Länder wie Belgien, Italien und die Niederlande hatten ein Ansteigen der Grünfemhlproduktion bis 1967 zu verzeichnen, bedingt durch die Erweiterung der Trocknungskapazität (Anhangstabelle 4 1970 (32), FRANKENA 1963 (35), HADELER 1969 (47)). Seit 1968 ist die Grünfemhlproduktion in diesen Ländern rückläufig (Anhangstabelle 5 1970 (32)). Für den Rückgang der Grünfemhlproduktion werden von ROBERTS 1969 (99) folgende Gründe angegeben:

1. konkurrierende, billigere Futtermittel und
2. Abbau der staatlichen Zuschüsse.

Die Länder Dänemark und Frankreich wie auch die Schweiz (RINGWALD 1970 (98), DEURINGER 1971 (29), Fachverband landwirtschaftlicher Trocknungswerke 1970 (31)), konnten aber ihre Produktion bis heute ausweiten (Anhangstabelle 4, 5 1970 (32)); allerdings wurde hauptsächlich Luzernemehl produziert (HADELER 1969 (47)) und exportiert (Anhangstabelle 3, 4 1970 (32)). Die zunehmende Grünfemhlproduktion wurde nach BROŽA 1966 (15) durch folgende Gründe begünstigt:

1. Mangel an Kraftfutter;
2. intensive Hühnerhaltung und
3. Unterstützung der Regierungen durch entsprechende Kredite.

Ab 1970 wurde die Grünfütterheiluftttrocknung sehr stark belebt, was am Beispiel Bayerns in Abb. 1 gezeigt werden kann.

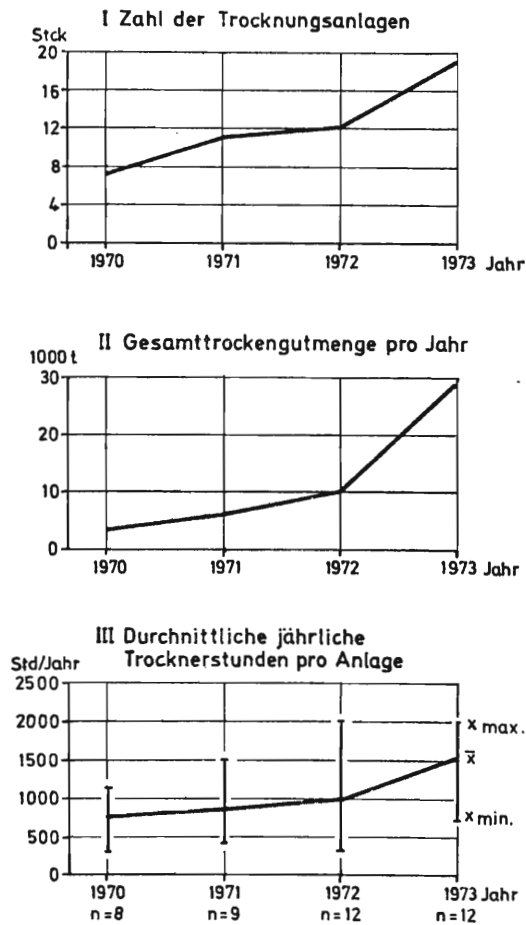


Abbildung 1: Entwicklung der Grnfttertrocksnungen in Bayern von 1970 - 1973

Es wurden hierbei nur die reinen Grnftterheiluftttrocknungsanlagen betrachtet, die durch die Erhebung an Grnftterheiluftttrocknern 1973 (113) erfaßt werden konnten. Seit 1970 wird ein Ansteigen der Zahl der Grnftterheiluftttrocknungsanlagen verzeichnet (1970 - 8; 1973 - 19). Dieser Anstieg ist vor allem durch die Zunahme der Trocknungsgenossenschaften zu erklären. Ein besonders starker

Anstieg zeigt sich von 1972 auf 1973 mit 7 Neuerrichtungen, bedingt durch staatliche Zuschüsse. In den Genuß der Zuschüsse kamen nur Anlagen mit 10 t/h installierter Wasserverdampfungsleistung. Dies hatte zur Folge, daß die 1973 neuerstellten Anlagen die vom Staat geforderte Wasserverdampfungsleistung aufwiesen, was sich deutlich durch den steilen Anstieg der Wasserverdampfungsleistung gegenüber dem Anstieg der Zahl der Trocknungsanlagen in Abbildung 1 (I+II) aufzeigen läßt. Weiterhin stieg auch die Trockengutproduktion der einzelnen Anlagen an, was zum einen auf die höhere Verdampfungsleistung, zum anderen auf eine höhere Auslastung der Trocknungsanlagen zurückzuführen ist, wie in Abbildung 1 (III) durch die durchschnittlichen Trocknerstunden je Anlage und Jahr gezeigt wird. So stieg die durchschnittliche Auslastung von 1970 - 1973 von 733 Std./Jahr 1970 (Anhangstabelle 26) auf 1507 Std./Jahr 1973, wobei besonders starke Schwankungen in der Auslastung der Trocknerkapazität bei den einzelnen Anlagen auftraten. Die älteren Anlagen hatten meist geringere Auslastungszahlen, die neuerstellten 10-t-Anlagen erreichten bis zu 2000 Std./Jahr.

Diese jüngste Entwicklung in der Grünfütterheißlufttrocknung wurde durch eine Reihe von Vorteilen, die heute zum Tragen kommen, eingeleitet und von WIENEKE 1974 (128) wie folgt zusammengestellt:

1. Wetterunabhängigkeit. Sie vergrößert sich um so mehr, je weniger vorgewelkt wird.
2. Verminderung der Verluste (ZIMMER 1974 (132)) auf 3 - 5 %. Sie hängt am stärksten von der ordnungsgemäßen Trocknerführung ab.
3. Erhaltung der Rauhfütterstruktur bei der Brikettierung. Sie ist die Voraussetzung für die Alleinfütterung von Preßlingen. Durch die erhöhte Futteraufnahme bei Brikettverfütterung gegenüber Heu und Silage, verbunden mit hohem Nährstoffgehalt (540 - 570 STE/kg) und hoher Verdaulichkeit

(71 - 78 %), wird eine Steigerung der Milchleistung ermöglicht, die letztlich eine Einsparung an Kraftfutter bedeutet.

4. Leichte Dosierbarkeit der Preßlinge und Möglichkeit der mechanischen Fütterung.
5. Einsparung an Berge- und Lagerraum.
6. Mögliche Arbeitsteilung durch die Lösung der Flächenbindung der Rinderhaltung (ZIMMER 1974 (132)).

Als letzter nicht zu vernachlässigender Vorteil sei noch die Verbesserung des Verfahrens der Grünfütterheißeblufttrocknung durch die sich aus langjährigen Erfahrungen ergebende ständige technische Weiterentwicklung angeführt.

2.2 Derzeitiger Stand der Technik

In den letzten Jahren verbesserte sich die Technik in der Grünfütterheißeblufttrocknung merklich, besonders durch die Einführung von Kollergangpressen in den bestehenden und neu erstellten stationären Trocknungsanlagen. Die seit 1973 auf den Markt gebrachten versetzbaren Grünfütterheißeblufttrockner, deren Arbeitsschemen dem Materialfluß entsprechend in Abb. 2 dargestellt sind, zeigen den Fortschritt in der Technik und dem Verfahren der Grünfütterheißeblufttrocknung besonders deutlich. Vor allem liegt die verbesserte Technik in der bei allen Anlagen vorhandenen Ausrüstung mit Strangpressen zur Briketterzeugung und in einem modernisierten Regelsystem der Trockner.

Nach Funktionsbereichen gegliedert soll der derzeitige Stand der Technik in der Grünfütterheißlufttrocknung dargestellt werden. Als erste Station ist die Anlieferung des Grüngutes (Trocknungsgut = das zu trocknende Gut) zu nennen. Hier zeigen sich generelle Unterschiede zwischen stationären und versetzbaren Trocknungsanlagen, die zur besseren Übersicht in Tabelle 4 herausgestellt werden.

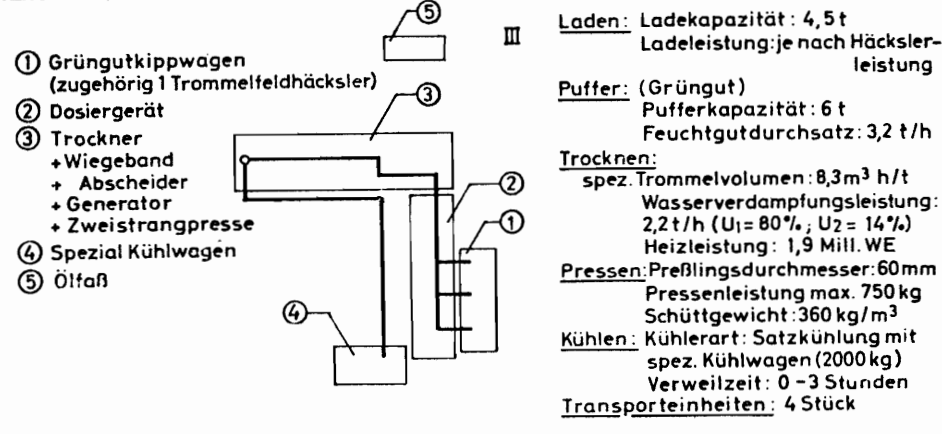
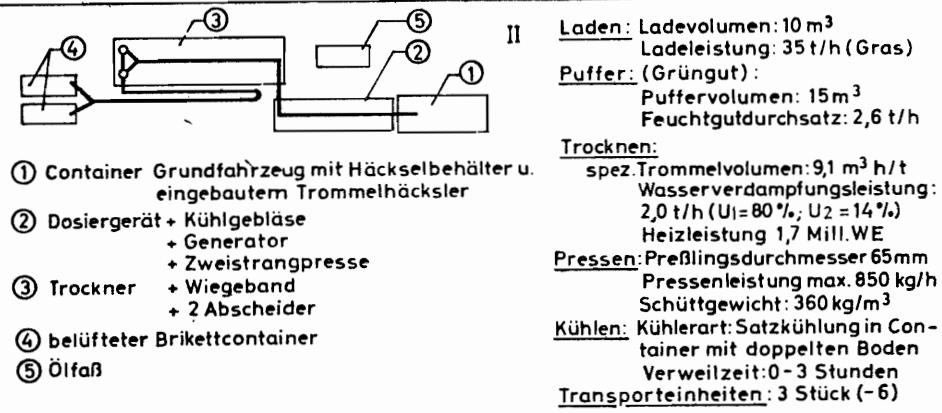
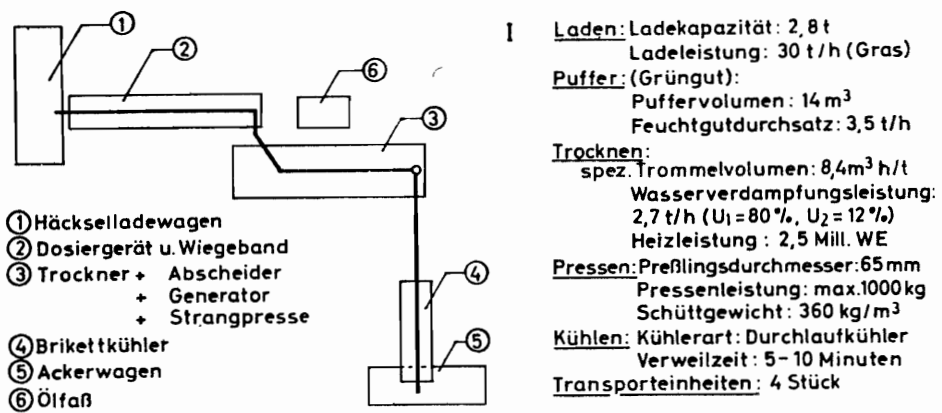


Abbildung 2: Versetzbare Grnftterheilufttrockner
Leistungszahlen - Schemen - Materialfluß

Tabelle 4: Merkmale verschiedener Systeme von Grünfütterheilufttrocknungsanlagen

Merkmale	Versetzbare Anlagen	Stationäre Anlagen
Angeliefertes Grüngut	Häckselgut	Langgut und Häckselgut
Grngutpuffer	nur Dosiergerät II	Zwischenlager, Dosiergerät I und Dosiergerät II
Steuerung	vollautomatisch	teilweise automatisiert
Verdampfungsleistung	2 - 3 t Wasserverdampfung/h	1,8 - 15 t (- 40 t) Wasserverdampfung/h
Verpackung	Briketts, Hcksel	Hcksel, Mehl, Pellets, Briketts, Cobs
Auslastung	1000 - 1500 h/Jahr	1500 - 3500 h/Jahr
Organisation	Genossenschaft, Lohnunter- nehmer und privat	Genossenschaft und privat
Anfuhr	Eigenanfuhr	genossenschaftliche Anfuhr oder Eigenanfuhr
Einzugsbereich	1 - 3 km	bis 30 km
feuerschutzpolizei- liche Maßnahmen	Aufstellung am Feldrand	feuerpolizeilich genehmigtes Gebäude notwendig

Bei den stationären Trocknungsanlagen in Bayern (Erhebung 1971-73) hat nur eine Anlage eine reine Häckselgutanlieferung. Bei den versetzbaren Anlagen wird nur Häckselgut angeliefert. Dadurch wird eine kompakte Bauart ermöglicht. Wird aber Langgut angeliefert, ist ein zusätzliches Antriebsaggregat für den Standhäcksler erforderlich.

Folgende Systeme der Häckselgutanlieferung werden bei den versetzbaren Anlagen praktiziert (Abb. 2):

1. Der Häckselladewagen mit der Möglichkeit des Mähladens (Abb. 2, Beispiel I). Die Ladekapazität entspricht hier der Trocknerkapazität von einer Stunde. Das Abladen geschieht mit Hilfe eines Kratzbodens, drei Dosierwalzen und eines seitlich auswerfenden Querförderbandes, wobei das Grüngut mit einem am Dosiergerät befestigten Schleuderband weiterbefördert wird.
2. Das Containergrundfahrzeug mit eingebautem Trommelhäcksler (Abb. 2, Beispiel II). Die Ladekapazität ist hier geringer als bei 1. Der maximal mögliche Radius der Grüngutbeschaffung ist kleiner als bei 1., da häufiger gefahren werden muß. Das Abladen erfolgt mittels Hochkipper.
3. Der Häckselwagen mit Feldhäcksler (Abb. 2, Beispiel III). Hier ist die Ladekapazität eines Wagens auf die Trocknerleistung einer Stunde abgestimmt. Das Abladen erfolgt am Dosiergerät des Trockners durch seitliches Abkippen des Häckselwagens.

Die stationären Anlagen werden hauptsächlich genossenschaftlich betrieben. Beim Transport ist deshalb zwischen der Eigenanfuhr der Mitglieder und der Abholung durch die Trocknungsgenossenschaft zu unterscheiden (SEIDEL 1954 (106)). Von 14 Trocknungsgenossenschaften in Bayern hatten 1973 nur 4 Anlagen eine reine Eigenanfuhr der Landwirte, 3 Anlagen noch einen Anteil der Eigenanfuhr von 20 - 45 %; 7 Anlagen verzichteten gänzlich auf die Eigenanfuhr des Grüngutes durch die Landwirte (genauer in Anhangstabelle 8). Die reine Eigenanfuhr des Grüngutes durch die Landwirte ist nur noch in älteren Trocknungsanlagen üblich und ist nach WENNER 1973 (125) aus Kostengründen nicht mehr zu empfehlen.

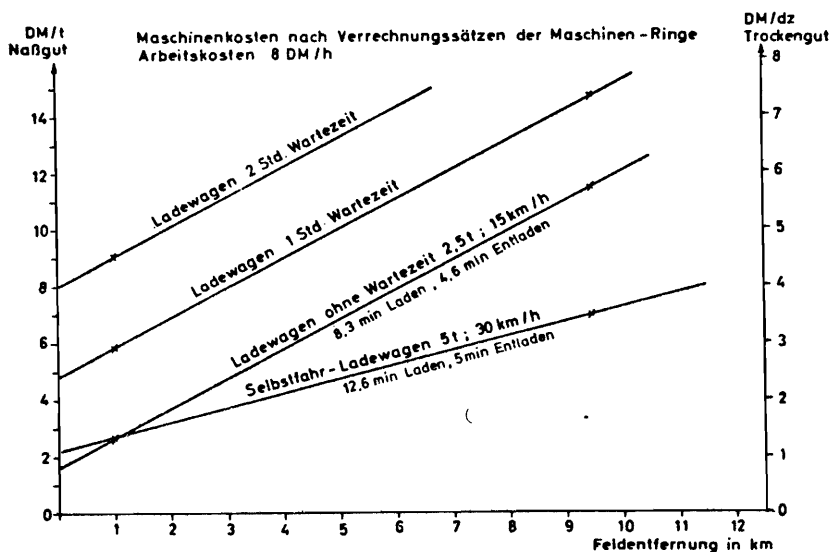


Abbildung 3: Kosten der Grüngutanlieferung

Abbildung 3 nach WENNER 1973 (125) zeigt, daß nur bei kürzester Entfernung, bei normaler Abladezeit und ohne Wartezeit eine Eigenanfuhr der Landwirte mit Ladewagen sinnvoll ist. Da die Trocknungsgenossenschaften aber den Selbstfahrladewagen einsetzen, können sie das Grüngut bei Entfernungen über 1 km günstiger herbeischaffen als die Mitglieder. Abgesehen davon ist die leistungsgerechte Abholung durch die Genossenschaft besser zu organisieren als die Eigenanfuhr der Mitglieder.

Je nach Notwendigkeit müssen die Trocknungsanlagen auch im Nachtbetrieb gefahren werden. Es ist deshalb ein zusätzliches Zwischenlager für Langgut oder Häckselgut notwendig, wenn die Bergung in erster Linie bei Tag erfolgen soll.

Dieses Zwischenlager besteht bei den Anlagen mit 10 - 15 t Wasserverdampfung/h aus einer betonierten oder geteerten planen Fläche mit 1000 - 3000 m², auf der bis zum Ende der Bergezeit eines Tages nahezu 30 Selbstfahrladewagenfüllungen gelagert werden müssen, damit der Trockner über Nacht arbeiten kann.

Da es aber bei der Zwischenlagerung zu einer Erwärmung des Grüngutes kommt (134), und dies zu Nährstoffverlusten führt, ist eine längere, verlustärmere Zwischenlagerung von Grüngut nur durch Belüften der Grünguthaufen möglich. Die Grüngutbelüftung auf dem Zwischenlager ermöglicht es aber auch, den Vorteil der Schnellentleerung der eingesetzten Selbstfahrladewagen oder Ladewagen zu nutzen. Die Wartezeit an den Anlagen wird dadurch sehr stark gesenkt. Es muß allerdings ein zusätzliches Arbeitsgerät eingesetzt werden, damit die Dosiergeräte mit dem Grüngut des Zwischenlagers beschickt werden können. Hierzu werden Frontlader oder Radlader eingesetzt, wobei der Radlader dem Frontlader vorzuziehen ist, da beim Radlader eine größere Ladekapazität, mehr Wendigkeit und ein weniger anfälliges Getriebe gegeben sind. Die Beschaffung von gebrauchten Radladern aus dem Baugewerbe ist üblich und zu empfehlen. Als Neuanschaffung sind für die Trocknungsanlagen Radlader zu teuer.

Die Vorteile der Grüngutbelüftung können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Grüngutpufferung über einen längeren Zeitraum bei Vermeidung von Lagerungsverlust durch Erwärmung des Grüngutes;
2. Ausnutzen von Schönwettertagen durch Vorwelken in größerem Umfang;
3. Schaffung einheitlicher Trocknungsbedingungen durch Bergung einheitlichen Grüngutes (gleichmäßige Feuchte) und dadurch geringere Regelungsschwierigkeiten am Trockner.

Das Zwischenlager hat gerade bei den stationären Anlagen eine wichtige Pufferfunktion, die vornehmlich die Aufgabe hat, eine kontinuierliche Beschickung des Trockners mit Grüngut zu gewährleisten. Als Voraussetzung ist eine gute Langgutdosierung in den Häcksler sicherzustellen. In Bayern wurden nachfolgende Möglichkeiten genutzt:

1. Bei älteren Anlagen wurden bisher die in landwirtschaftlichen Betrieben verwendeten Dosiergeräte eingesetzt, die meist bei der hohen Beanspruchung (wesentlich stärkere Auslastung) nicht mehr voll befriedigten (Anstieg der Reparaturkosten).

2. Bei den neueren Anlagen ist dieses Problem gelöst. Die Trocknerfirmen bieten in ihren Programmen Langgutdosierer an, die auf die Bedürfnisse der Trocknungsanlage abgestimmt sind. Hierzu gehört auch, außer der robusten Bauart, ein Fassungsvermögen von mindestens 9 t Grüngut, welches bei einer Durchsatzleistung von 12,9 t Frischgut/h (10 t Wasserverdampfung/h bei $U_1 = 80 \%$ und $U_2 = 12 \%$) eine Pufferzeit von 42 Minuten ergibt (Daten der bayerischen Anlagen in Anhangstabelle 9a und 9b).

Die Langgutdosierer moderner Bauart benötigen eine installierte elektrische Leistung von 2,4 kW/t · h Wasserverdampfung, dies entspricht 5,7 % des Gesamtleistungsbedarfes der Anlage, wie in Tabelle 5 gezeigt werden kann. Tabelle 5 gibt Aufschluß, in welchen Funktionsbereichen der Trocknungsanlage der Großteil der installierten elektrischen Leistung gebraucht wird.

Tabelle 5: Bedarf an elektrisch installierter Leistung

Funktionsbereich	installierte elektrische Motorleistung	
	kW/t · h Wasserverdampfung	Anteil an der Gesamtleistung in %
Langgutdosierer	2,4	5,7
Häcksler	3,5	8,4
Kurzgutdosierer	1,0	2,4
Trommelantrieb	1,1	2,6
Brenner	2,0	4,8
Lüfter	13,7	32,8
Presse	16,5	39,5
Kühler	1,6	3,8

Die elektrische installierte Motorleistung wird hauptsächlich von der Dosiervorrichtung verbraucht, bedingt durch die hohen Losreißkräfte an einem Langguthaufen.

Die Dosiervorrichtung ist so angeordnet, daß das Grüngut auf den Kettenförderer des massiven Standhäckslers fällt, der beim Großteil der Trocknungsanlagen (genaue Daten in Anhangstabelle 10) als Scheibenradhäcksler ausgeführt ist; die durchschnittliche Schnittlänge beträgt 2,8 cm. Der Messerwechsel muß je nach Verschmutzungsgrad, Fremdkörperbesatz des Grüngutes und Auslastung der Trocknungsanlage 2- bis 3mal je Saison durchgeführt werden; 1- bis 2mal täglich wurden die Messer geschliffen. Die zu installierende elektrische Leistung liegt bei 8,4 % der Gesamtleistung der Anlage (Tabelle 5).

Der Häcksler wird durch den Langgutdosierer gleichmäßig beschickt. Der Schutz vor Überlastung der Abkämmtrommel und des Kettenförderers erfolgt über Lichtschranken. Die Lichtschranke ist in einer bestimmten Höhe, die im Einzelfall festzulegen ist, angebracht und bewirkt bei Unterbrechung ein Abschalten des waagerechten Kettenförderers. Erst wenn die Füllhöhe auf dem Schrägförderer die Lichtschranke unterschreitet, wird der waagerechte Kettenförderer eingeschaltet. Eine besondere Fremdkörpersicherung ist an den Standhäckslern nicht vorhanden; lediglich der zu jedem Antriebsmotor gehörende Schutzschalter soll vor größerem Schaden bewahren.

Vom Standhäcksler wird das Grüngut mit einer Schnecke in den Kurzgutdosierer gebracht (Einzeldata in Anhangstabelle 11). Wird Häckselgut angeliefert, so wird es direkt in den Kurzgutdosierer abgeladen oder auf ein Zwischenlager abgekippt und später mit einem Radlader in den Kurzgutdosierer gebracht. Im Kurzgutdosierer wird das Häckselgut mit einem Kettenschrägförderer in die Einspeisschnecke des Trockners transportiert, wobei über eine gegenläufige Haspel oder Trommel als Abstreifvorrichtung eine Volumendosierung vorgenommen wird.

Durch eine Lichtschranke wird auch hier eine Überfüllung unterbunden, insbesondere bei Langgutanolieferung. Wird ein durch die Höhe der Lichtschranke festgelegter Füllungsgrad durch den Häcksler überschritten, wird der Langgutdosierer abgeschaltet, um die Gutszufuhr zum Häcksler zu unterbrechen. Vom Kurzgutdosierer wird das Häckselgut mittels Kettenschrägförderer zur Aufgabeschnecke gebracht. Die Geschwindigkeit des Kettenschrägförderers dieses Dosiergerätes kann von Hand stufenlos - als Vorwahl - verstellt werden. Je nach Regelung bleibt diese Einstellung konstant oder sie wird über die Temperatur der Abluft (v_{LA}^p) automatisch geändert. Der Leistungsbedarf ist hier mit 1,0 kW/t·h Wasserverdampfung geringer als bei der Langgutdosierung.

Die Abstreifvorrichtung kann in der Höhe zum Kettenschrägförderer verstellt werden und ermöglicht die Voreinstellung der Volumendosierung. Die Aufgabeschnecke ist auf Maximalleistung eingestellt und arbeitet meistens störungsfrei. Nur in Einzelfällen gab es Probleme bei stark vorgewelktem Gut. Über die Aufgabeschnecke wird das Häckselgut in die Trocknertrommel eingespeist.

Die Trocknertrommel ist ein auf Rollen gelagertes, mehr oder weniger geneigtes, isoliertes Rohr, das mit 1 - 15 Umdrehungen pro Minute um seine Längsachse rotiert. Beim Trommeltrockner handelt es sich um reine Konvektionstrocknung im Gleichstromprinzip, bei der das Trocknungsgut unmittelbar von dem Rauchgas-Luftgemisch berührt wird (KNEULE 1968 (59)). Die heute verwendeten Trommeln haben, je nach Trommelsystem und Trocknerleistung, eine Länge von 6-15 m und einen Durchmesser von 1,6 - 4 m. Die Trommellänge steht zum Trommeldurchmesser nach MALTRY 1966 (68) in einem bestimmten Verhältnis, das abhängig ist von Gutsart, Durchsatzleistung und Trocknungslufttemperatur.

Nach MALTRY 1966 (68) und KNEULE 1968 (59) arbeiten die Trommeltrockner mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 22 - 35 m/min, wobei die Trommelneigung bei 0 - 0,08 m je Meter Länge liegt

und die Rauchgasdurchschnittsgeschwindigkeit 3 - 5 m/sec beträgt. Für die Grünfütterheißlufttrocknung kristallisierte sich vor allem die Einwegtrommel mit Einbauten heraus (in Abb. 4 oben für eine Anlage mit 10 t Wasserverdampfung dargestellt).

In den bayerischen stationären Grünfüttertrocknungsanlagen sind 14 von 19 Anlagen mit der Einwegtrommel versehen. Auch die in Deutschland verwendeten versetzbaren Heißlufttrockner sind mit der Einwegtrommel mit Einbauten (Abb. 4 unten) ausgerüstet. Hierbei haben die Einbauten die Aufgabe, das Gut über den Trommelquerschnitt gleichmäßiger zu verteilen, um eine optimale Ausnutzung des Trommelvolumens zu erreichen.

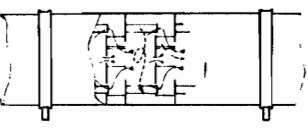
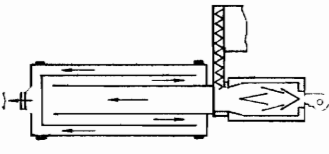
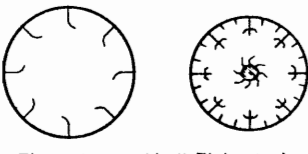
<p>Bei 10t Wasserverdampfung/h <u>Trommellänge:</u> 13,00m <u>Trommeldurchmesser:</u> 2,80m <u>Antrieb:</u> Zentralantrieb mit Laufbndern auf 4 Laufrollen <u>Antriebsmotor:</u> 11 KW</p>	 <p>Häufigste Einwegtrommel mit Heberzellen</p>
<p>Bei 10t Wasserverdampfung/h <u>Trommellänge:</u> 10 m <u>Trommeldurchmesser:</u> 4,00m <u>Antrieb:</u> Laufbänder auf 4 Laufrollen mit Einzelantrieb <u>Antriebsmotor:</u> 16,5 KW</p>	 <p>Mehrwegtrommel</p>
<p>Bei 2-3t Wasserverdampfung/h <u>Trommellänge:</u> 6-7 m <u>Trommel-</u> <u>durchmesser:</u> 1,60-2,20m <u>Trommelantrieb:</u> Zentral <u>Einbauten:</u> Heber o. Schaufeln</p>	 <p>Einwegtrommel (mit Einbauten) versetzbarer Anlagen</p>

Abbildung 4: Zusammenstellung der gebräuchlichsten Trommeltypen

Neben der Einwegtrommel mit Einbauten, die weniger verstopfungsanfällig ist, wird noch die Mehrwegtrommel (5 von 19 bayerischen GrünfütterheiBlufttrocknern) verwendet. Hierbei handelt es sich um drei Trommelzylinder mit gestaffeltem Durchmesser, die ineinander sitzen. Zur Charakterisierung beider Trommelsysteme dienen das spezifische Trommelvolumen und die spezifische Verdampfungsleistung. Das spezifische Trommelvolumen (TV_{spez}) errechnet sich aus dem Gesamtvolumen der Trommel, dividiert durch die von den Herstellern garantierte Verdampfungsleistung in t/h. Die spezifische Verdampfungsleistung (WV_{spez}) errechnet sich, indem die Verdampfungsleistung in kg/h durch das Gesamtvolumen der Trommel dividiert wird; sie ist ein Maß für die Leistungsfähigkeit des Trocknungsraumes der Trommel.

Für die bayerischen GrünfütterheiBlufttrocknungsanlagen sind diese Kenndaten in der folgenden Tabelle 6 aus Herstellerangaben zusammengestellt.

Tabelle 6: Statistische Kennzahlen des spezifischen Trommelvolumens (TV_{spez}) in $\text{m}^3\text{h}/\text{t}$ und der spezifischen Verdampfungsleistung (WV_{spez}) in $\text{kg}/\text{m}^3\text{h}$ bei verschiedenen Trommelsystemen

Trommelsystem	Mittelwert (\bar{x})		Streuung (S)		Variationskoeffizient (VK %)		Anzahl (n)
	TV_{spez} $\text{m}^3\text{h}/\text{h}$	WV_{spez} $\text{kg}/\text{m}^3\text{h}$	TV_{spez} $\text{m}^3\text{h}/\text{t}$	WV_{spez} $\text{kg}/\text{m}^3\text{h}$	TV_{spez} $\text{m}^3\text{h}/\text{t}$	WV_{spez} $\text{kg}/\text{m}^3\text{h}$	
Mehrwegtrommel	11,88	86	2,8	20	12,7	23,0	5
Einwegtrommel	10,10	101	2,4	27	24,1	26,4	14
Einwegtrommel der 3 auf dem Markt befindlichen versetzbaren Anlagen	8,6	116	0,4	6	5,1	5,1	3

Es wurden ein Anfangsfeuchtegehalt von 80 % und ein Endfeuchtegehalt von 12 % unterstellt. Die Tabelle 6 zeigt, daß bei den stationären Anlagen im spezifischen Trommelvolumen Einweg- und Mehrwegtrommeln nur gering voneinander abweichen. Der Unterschied wird erst durch die spezifische Verdampfungsleistung deutlich, die bei Einwegtrommeln wesentlich höher ist als bei Mehrwegtrommeln. Hinzu kommt eine größere Verstopfungsanfälligkeit. Der Trocknungsvorgang kann anhand der Abbildung 5 beschrieben werden.

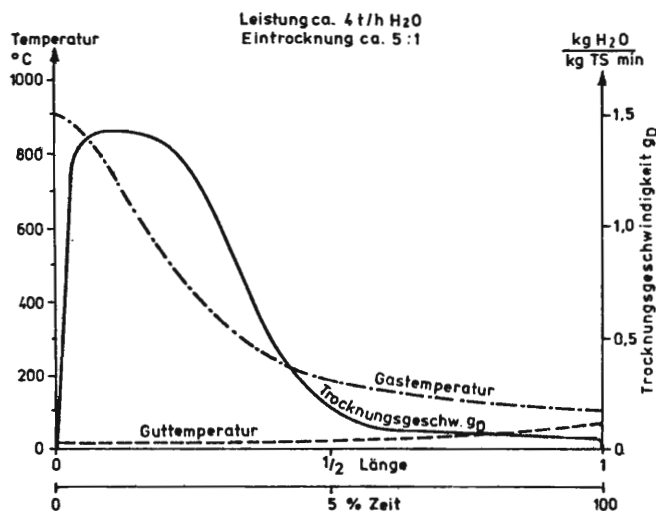


Abbildung 5: Trocknungsgeschwindigkeit g_D und Trocknungstemperaturverlauf über der Trommellänge und der Trocknungszeit
nach NORDENSKJÖLD 1970 (78) und 1971 (79)

Bei den Gleichstromtrommeltrocknern trifft das Trocknungsmedium Luft mit der hohen Eintrittstemperatur auf das Trocknungsgut mit maximalem Feuchtegehalt. Nach KRÖLL 1959 (64) steigt der Dampfteildruck am Gutsteil an, bedingt durch den großen Temperaturunterschied zwischen Trocknungsgut und Trocknungsluft. Dadurch stellt sich ein großer Teildruckunterschied zur Umgebung ein; verbunden mit der hohen Trocknungslufttemperatur ergibt sich eine große Trocknungsgeschwindigkeit in der ersten Trocknungsphase, wie Abbildung 5 zeigt. Mit der hohen Trocknungsgeschwindigkeit im ersten Teil der Trommel ist eine hohe Wasserdampfaufnahme der Luft verbunden, die ein Absinken der Trocknungslufttemperatur bewirkt; somit sinkt die Trocknungsgeschwindigkeit von Trommelanfang bis Trommelende stark ab. Die Trocknungslufttemperatur sinkt nach WIENEKE 1974 (128) von $800 - 1000^{\circ}\text{C}$ auf $180 - 110^{\circ}\text{C}$ ab, wobei die Gutstemperatur von $10 - 20^{\circ}\text{C}$ auf $40 - 80^{\circ}\text{C}$ ansteigt.

Weiterhin zeigt die Abbildung 5, daß in 5 % der Trocknungszeit die Hälfte der Trommellänge vom Trocknungsgut durchlaufen ist und sich die Gutstemperatur kaum erhöht. Für eine Resttrocknung werden noch 95 % der Trocknungszeit benötigt.

Die in Bayern betriebenen stationären Heißlufttrockner wurden nach Angaben der Trocknerführer, die anlässlich einer Umfrage für 1971 (1973 (113)) gemacht wurden, mit einer Trocknungslufttemperatur von $600^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$ und einer Ablufttemperatur von $100 - 120^{\circ}\text{C}$ bei der Grünfütterertrocknung gefahren. In der Praxis können meist nicht maximale Temperaturen gefahren werden, da bei dem oft recht unterschiedlichen Anfangsfeuchtegehalt des angelieferten Gutes zu große Qualitätseinbußen hingenommen werden müßten.

Von besonderer Bedeutung für die Grünfüttererheißlufttrocknung ist die Führung des Trocknungsvorganges. Neben hoher Durchsatzleistung muß eine hervorragende Qualität des Endproduktes erreicht werden. Bei nur geringen Verlusten - nach HENK 1967 (42) 4,8 % Roh Nährstoff, nach ACHILLES 1973 (1) 4 - 7 % TS-Verluste und nach WERMKE 1973 (126) 1,25 - 4,80 % TS - ist besonderes Augenmerk auf die Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe zu richten.

Die größten Verdaulichkeitsminderungen können hier bei dem Rohprotein auftreten. HENK 1967 (42) konnte in einem Verdauungsversuch an Schafen 7,7 % Minderung an Verdaulichkeitseinheiten bei einem Endfeuchtegehalt über 7,5 % feststellen. Die Verdaulichkeitsminderung des Rohproteins ist aber bei Übertrocknen, d. h. bei einem Endfeuchtegehalt von unter 7,5 %, besonders hoch, nach HENK 1967 (42) 18,9 % Verdaulichkeitspunkte. Bildet die Verdaulichkeitsverminderung die untere Grenze des Endfeuchtegehaltes, so markiert die Lagerfähigkeit des Trockengutes die obere Grenze des bei der Trocknung zu erzielenden Endfeuchtegehaltes, der nach STREHLER 1974 (112) und HADELER 1960 (47) bei 14 % liegt.

Die Regelung des Trocknungsvorganges müßte demnach auf den notwendigen Endfeuchtegehalt hin ausgerichtet sein. Dem steht aber entgegen, daß die Feuchtebestimmung mit Hilfe des Trockenschrankes die Ergebnisse zu spät liefert. Kontinuierliche Feuchtemesser (Schnellbestimmung) können sich nach PUTTICH 1973 (90) in der Praxis kaum durchsetzen, da sie noch zu ungenau oder mit starken Meßwertschwankungen belastet sind. Es wird deshalb (bis auf eine Ausnahme) bei den Grünfütterheißlufttrocknern der Endfeuchtegehalt als Regelgröße nicht eingesetzt.

Da aber eine Abhängigkeit zwischen Endfeuchtegehalt und Ablufttemperatur (WIENEKE 1974 (128)) besteht, wird die Ablufttemperatur als Regelgröße zur Erreichung des gewünschten Endfeuchtegehaltes (Lagerfähigkeit des Gutes) in allen Trommelgleichstromtrocknern als Regelgröße verwendet. Hinzu kommt, daß die Verlustzeit (technisch als Todzeit definiert) bei der Verwendung der Ablufttemperatur als Regelgröße wesentlich geringer ist, als es bei der Regelgröße Endfeuchtegehalt möglich wäre. Bedingt ist dies durch die Verweilzeit des Gutes im Trockner, die ZAPELTITZ 1973 (130) für den zu eigenen Versuchen vorwiegend verwendeten versetzbaren Trockner mit 6 - 15 Minuten angibt, wogegen das Gas in 2 - 4 sec durch den Trockner strömt.

Für die Regelung des Endfeuchtegehaltes nach der Ablufttemperatur wird je nach Trocknerfabrikat eine der folgenden drei Regelungsarten verwendet:

1. Es werden manuell die Führungsgrößen Öldurchsatz und Feuchtgutdurchsatz und die Sollgröße Ablufttemperatur vorgewählt. Über die Regelabweichung der Regelgröße Ablufttemperatur wird die Stellgröße Ölmenge verändert, wobei diese bei den meisten Anlagen stufenlos, bei den anderen Anlagen in 2 Stufen verstellbar ist.
2. Wie oben, mit dem Unterschied, daß der Feuchtgutdurchsatz (Volumendosierung) die Stellgröße ist und der Öldurchsatz von Hand vorgewählt wird.
3. Die Verbundregelung - hier bestehen zwei Regelkreise. Im ersten Regelkreis ist der Feuchtgutdurchsatz die Stellgröße. Die Stellgröße des 1. Regelkreises ist zugleich die Regelgröße des 2. Regelkreises.

In der Praxis der Grünfütterheißlufttrocknung wird die Führungsgröße Ablufttemperatur nach dem Schätzergebnis des Endfeuchtegehaltes eingestellt. In den Trocknungsanlagen wird in erster Linie leichtes Heizöl als Brennstoff verwendet. Nur in einer nordbayerischen Trocknungsanlage wird Erdgas verbrannt. Die in den Trocknungsanlagen installierten Brenner sind meist so konstruiert, daß nicht nur leichtes, sondern auch schweres Heizöl verwendet werden kann, falls dies aus Wirtschaftlichkeitsgründen notwendig wird. Bei der Verarbeitung von schweren Heizölen ist aber zusätzlich ein Vorheizaggregat nötig. Die benötigte installierte elektrische Leistung kann für die in Bayern verwendeten Einwegtrommelsysteme mit 2 kW je t · h Wasserverdampfung angegeben werden (Tabelle 5). Der ldurchsatz kann bei den Trcknungsanlagen von 5 t/h Wasserverdampfungsleistung von 140 - 150 kg leichtem Heizöl auf 400 bis 420 kg gesteigert werden. Bei den Trocknungsanlagen mit 10 t/h Wasserverdampfung von 258 - 300 kg auf 774 - 800 kg leichtes Heizöl je Stunde. Die hierbei auftretenden Spannweiten können auf die unterschiedlichen Hersteller zurückgeführt werden.

Gegenüber der Brennerleistung ist die Lüfterleistung konstant (DRÄGER et al. 1973 (30)). Es werden in den stationären Anlagen in Bayern ausschließlich Radialgebläse eingesetzt, wobei je nach Trocknerhersteller die installierte elektrische Antriebsleistung bei 13,7 kW/t Wasserverdampfung und Stunde (Einwegtrommel) oder bei 9 kW/t Wasserverdampfung und Stunde liegt (Anhangstabelle 13). Bei den versetzbaren Trocknungsanlagen mit geringer Leistung kommen auch Axiallüfter zum Einsatz.

Im Zyklon wird das aus der Trommel kommende Luft-Gas-Gutgemisch getrennt. Die mit Wasserdampf angereicherte Luft und die Rauchgase werden durch den Kamin abgeleitet; das Trockengut wird über eine Zellenradschleuse und über Schnecken der Kollergang- oder Strangpresse zugeführt. Die in den bayerischen Grünfüttertrocknungsanlagen eingesetzten Kollergangpressen und deren elektrische Anschlußwerte sind in der Anhangstabelle 14 im einzelnen aufgeführt. Für Anlagen mit 10 t Wasserverdampfung werden Pressen mit 165-kW-Motoren eingesetzt, die 32 - 48 dt/h Trockengut verpressen können. Die Pressen sind so ausgelegt, daß der Leistungsgengpaß erst bei einem Vorwelkgrad von unter 75 % Feuchtegehalt eintritt. Während des Preßvorganges steigt die Gutstemperatur nochmals beträchtlich an (eigene Messungen bestätigen dies).

Um eine Feuchteaufnahme des Gutes und eine Eiweißschädigung zu vermeiden, wird das Trockengut nach dem Preßvorgang gekühlt. Bei den stationären Trocknungsanlagen erfolgt die Kühlung kontinuierlich entweder in Bandkühlern oder in Turmkühlern; letztere werden allerdings nur noch bei Grünmehlbereitung verwendet. Bei versetzbaren Trocknungsanlagen werden hauptsächlich diskontinuierliche Kühler eingesetzt. Nur bei einem einzigen Fabrikat wird ein Bandkühler verwendet. Die in den bayerischen Grünfüttertrocknungsanlagen (mit 10 t/h Wasserverdampfungsleistung) eingebauten Kühler haben eine Kühlfläche von 12 m²; dabei sind durchschnittlich 16 kW elektrische Leistung installiert worden, die hauptsächlich vom Kühlgebläse beansprucht werden. Weit weniger Leistungsbedarf weisen der Bandantrieb und die Zellenradschleuse am Zyklon des Kühlgebläses auf. Genaueres über die Kühlerbauarten der bayerischen Anlagen wird in Anhangstabelle 15 berichtet.

Vom Kühler wird das Trockengut bei stationären Anlagen über Bandwaage und Förderbänder in Zwischenlagerbehälter gebracht, die als Hochbunker mit Untenentleerung ausgeführt sind. Zur Entleerung dient ein Schieber, der mit Hilfe einer Zahnstange betätigt wird. In den bayerischen Grünfüttertrochnungsanlagen mit 10 t/h Wasserverdampfung werden durchschnittlich 9 Hochbehälter zur Zwischenlagerung batterieförmig nebeneinander aufgestellt. Die Befüllung erfolgt über ein Querförderband. Das durchschnittliche Fassungsvermögen an Grascobs liegt bei 3,9 t pro Behälter, was bei einer Trockengutdurchsatzleistung von 3 t/h 78 Minuten Pufferzeit ergibt. Um die Größe des gesamten Zwischenlagers auszunutzen, muß pro Tag zweimal entleert werden, wenn 24 Stunden pro Tag getrocknet werden sollte.

Durch den bisher beschriebenen Stand der Technik der Grünfüttertrochnung wird deutlich, daß bis auf wenige Funktionen, insbesondere der Regelungstechnik, ein ausgereiftes, hochtechnisiertes Verfahren der Grüngutkonservierung angeboten wird. Dieses Verfahren kann aber nur ökonomisch sinnvoll genutzt werden, wenn die Trochnungsanlagen in ihrer Leistung richtig auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmt werden. Ermöglicht wird dies durch die Berücksichtigung der Ertragslage, der Ertragsverteilung, der Vegetationszeit, der zur Verfügung stehenden Trochnungszeitpanne und der Witterung. Fehlplanungen führen bei Überdimensionierung zu überhöhten Geamtkosten oder bei zu geringer Leistung zu mangelhaften Futterqualitäten, weil der Schnittzeitpunkt zu weit von dem optimalen Futterzustand abbrückt.

3. Bestimmung der notwendigen Durchsatzleistung

Die Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten wird durch die notwendige Durchsatzleistung ausgedrückt. In diese gehen alle wichtigen Einflußgrößen ein, die ein Gebiet kennzeichnen, in dem eine Trochnungsanlage errichtet werden soll. Die für die Bestimmung der notwendigen Durchsatzleistung wichtigen methodischen Schritte werden nachfolgend behandelt.

3.1 Methodik

Um die einzelnen Schritte der Bestimmung der notwendigen Durchsatzleistung, daraus resultierend die notwendige Verdampfungsleistung, verständlicher zu machen, sollen die verwendeten trocknungstechnischen Definitionen und die darin beinhalteten Zusammenhänge gesondert dargestellt werden.

3.11 Definitionen und Zusammenhänge

Bedeutsam, insbesondere für die in dieser Arbeit nicht angesprochenen Trocknungskosten, ist die Beschreibung des Wärmeaufwandes.

3.111 Wärmeaufwand

Zur Wasserverdampfung ist Wärme zuzuführen. Die zugeführte Wärmemenge - Wärmeaufwand - kann sowohl auf das erzeugte Trockengut als auch auf das verdampfte Wasser bezogen werden. Der Wärmeaufwand bezogen auf das erzeugte Trockengut ist der spezifische Wärmeaufwand (Q_1) je kg Trockengut mit der Dimension Kilo-Joule (kJ; 1 kJ = 0,239 kcal). Er ist sehr stark vom Anfangsfeuchtegehalt (U_1) des angelieferten Trocknungsgutes abhängig. Der Wärmeaufwand, bezogen auf das verdampfte Wasser, ergibt den spezifischen Wärmeaufwand (Q_2) je kg Wasser, wobei die gleiche Dimension wie bei Q_1 gebraucht wird; er zeigt aber neben der Abhängigkeit von dem Anfangsfeuchtegehalt (U_1) des angelieferten Trocknungsgutes eine starke Abhängigkeit von der Trocknungslufttemperatur.

Der spezifische Wärmeaufwand errechnet sich folgendermaßen:

$$Q_1 = \frac{m_{\text{öl}} \cdot H_u}{m_{\text{TG}}} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (\text{I})$$

$$Q_2 = \frac{m_{\text{öl}} \cdot H_u}{m_{\text{W}}} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (\text{II})$$

Q_1 = spezifischer Wärmeaufwand in kJ je kg erzeugtes Trockengut

Q_2 = spezifischer Wärmeaufwand in kJ je kg verdampftes Wasser

$m_{\text{öl}}$ = verbrauchte Menge an leichtem Heizöl in Liter (l)

H_u = unterer Heizwert von leichtem Heizöl

m_{TG} = erzeugte Masse an Trockengut in kg

m_{W} = Masse verdampften Wassers in kg.

3.112 Feuchteentzug

Die Bestimmung des Feuchteentzuges basiert auf folgenden Grunddaten (VDMA 1963 (117)):

1. Der Feuchtegrad (X):

$$X = \frac{m_{\text{W}}}{m_{\text{S}}} \quad (\text{kg/kg}) \quad (\text{III})$$

m_{W} = Feuchtemasse des Gutes in kg

m_{S} = Trockenmasse des Gutes in kg

Der Feuchtegrad (X) errechnet sich aus dem Quotienten Feuchtemasse (m_{W}) zu Trockenmasse (m_{S}) und hat die Dimension kg/kg.

2. Der Feuchtegehalt (U):

$$U = \frac{m_w}{m_w + m_s} \cdot 100 \quad (\%) \quad (\text{IV})$$

Der Feuchtegehalt (U) stellt das Verhältnis der Feuchtemasse des Gutes (m_w) in kg zur Gesamtmasse des Gutes ($m_w + m_s$) in kg dar; mit 100 multipliziert ergibt den Feuchtegehalt U in Prozent (%). Um die Umrechnung der einzelnen Größen zu erleichtern, ist der Feuchtegehalt noch wie folgt darstellbar:

$$U = \frac{X}{1 + X} \cdot 100 \quad (\%) \quad (\text{V})$$

3. Der Trockensubstanzgehalt (Z):

$$Z = \frac{m_s}{m_w + m_s} \cdot 100 \quad (\%) \quad (\text{VI})$$

Der Trockensubstanzgehalt stellt das Verhältnis von Trockenmasse eines Gutes zur Gesamtmasse dar. Die Beziehung zum Feuchtegrad ergibt sich wie folgt:

$$Z = \frac{1}{X + 1} \cdot 100 \quad (\%) \quad (\text{VII})$$

Verdeutlicht wird der Zusammenhang zwischen diesen drei genannten Größen in Abbildung 6.

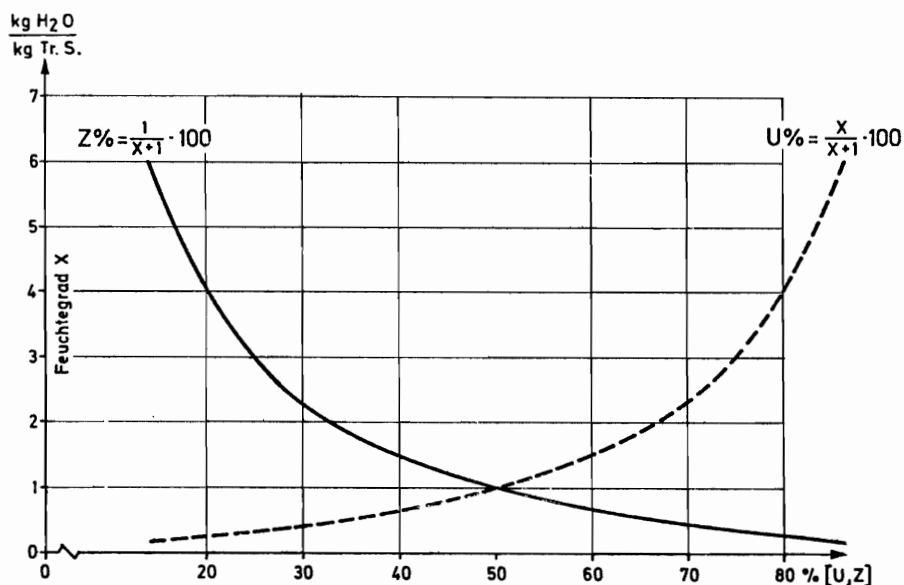


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Feuchtegrad X (kg/kg) Trockensubstanzgehalt Z (%) und Feuchtegehalt U (%)

Zur Bestimmung der Leistungsgrößen der Grünfütterheißlufttrocknung ist es wichtig, den notwendigen Wasserentzug zu kennen. Der notwendige Wasserentzug bezieht sich auf 1 dt Trockengut (y_1) oder auf 1 dt Feuchtgut (y_2). Er wird nach STREHLER 1974 (112) wie folgt berechnet:

$$y_1 = \frac{100 (U_1 - U_2)}{100 - U_1} \quad (\text{kg/dt}) \quad (\text{VIII})$$

$$y_2 = \frac{100 (U_1 - U_2)}{100 - U_2} \quad (\text{kg/dt}) \quad (\text{IX})$$

y_1 = notwendiger Wasserentzug bezogen auf 1 dt Trockengut

y_2 = notwendiger Wasserentzug je 1 dt Feuchtgut

U_1 = Anfangsfeuchtegehalt in %

U_2 = Endfeuchtegehalt in %

3.113 Die Heizleistung (Q_o):

Die Heizleistung (Q_o) bezeichnet die maximale Wärmeabgabe des Ofens. Diese begrenzt die Verdampfungsleistung und die Trocknungslufttemperatur (\sqrt{LW}).

Der mathematische Zusammenhang zwischen der Heizleistung (Q_o), der Wasserverdampfungsleistung (WV) und der Trockengutdurchsatzleistung (TG_D) läßt sich über den spezifischen Wärmeaufwand wie folgt darstellen:

$$Q_o = WV \cdot Q_2 \quad (\text{kJ/h}) \quad (\text{X})$$

$$Q_o = TG_D \cdot Q_1 \quad (\text{kJ/h}) \quad (\text{XI})$$

Q_o = Heizleistung in kJ/h

TG_D = Trockengutdurchsatz in kg/h

Q_2 = spezifischer Wärmeaufwand in kJ/kg Wasser

Q_1 = spezifischer Wärmeaufwand in kJ/kg Trockengut

3.114 Die Durchsatzleistung

Die Trockengutdurchsatzleistung (TG_D) ist die Masse an Trockengut, die der Trockner während der Bezugszeit erbringt (117). Die notwendige Trockengutdurchsatzleistung ergibt sich aus dem zu trocknenden Grünland-ertrag, der für die Heißlufttrocknung bereitgestellten Grünlandfläche und der zur Verfügung stehenden Trocknungszeitspanne. Die Bestimmung des notwendigen Trockengutdurchsatzes dient direkt der Dimensionierung von Presse, Kühler, Verwiegungsanlage und Zwischenlagerbehälter. Über den Anfangsfeuchtegehalt läßt sich aus dem notwendigen Trockengutdurchsatz die nötige Verdampfungsleistung und daraus die Heizleistung der Anlage bestimmen.

Der mathematische Zusammenhang zwischen Trockengutdurchsatz, Wasserverdampfung und Heizleistung läßt sich über den spezifischen Wärmeaufwand und den notwendigen Wasserentzug wie folgt darstellen:

$$TG_D = \frac{WV}{y_1} \cdot 100 \text{ (kg/h)} \quad (\text{XII})$$

y_1 = notwendiger Wasserentzug (kg/dt)

$$TG_D = \frac{Q_0}{Q_1} \text{ (kg/h)} \quad (\text{XIII})$$

Die Feuchtgutdurchsatzleistung (FG_D) ist die Masse an Naßgut, die der Trockner während der Bezugszeit trocknet (117). Die praktische Bedeutung dieser Leistungsgröße liegt in der Dimensionierung der Maschinen für die Werbung, den Transport, die Zwischenlagerflächen und die Leistung von Dosiergerät und Häcksler. Der Feuchtgutdurchsatz ist als Leistungsgröße nur in Verbindung mit dem Anfangsfeuchtegehalt für die Leistungsbestimmung brauchbar. In der Praxis wird diese Bezugsgröße über den Trockengutdurchsatz und das entsprechende Eintrocknungsverhältnis bestimmt. Die mathematische Beziehung der Feuchtgutdurchsatzleistung zu den vorhergehenden Größen lautet:

$$FG_D = \frac{WV}{y_2} \cdot 100 \text{ (kg/h)} \quad (\text{XIV})$$

y_2 = notwendiger Wasserentzug in kg/dt, bezogen auf das Feuchtgut

$$FG_D = WV + TG_D \text{ (kg/h)} \quad (\text{XV})$$

3.115 Die Wasserverdampfungsleistung (WV)

Die Wasserverdampfungsleistung (WV) ist die Feuchtemasse, die während der Bezugszeit (117) verdampft wird. Sie wird von folgenden Einflüssen bestimmt:

- a) Die Verdampfungsleistung steht in direktem Zusammenhang mit dem Feuchtegehalt des Grüngutes. Mit steigendem Anfangsfeuchtegehalt steigt auch die Wasserverdampfungsleistung. Die Herstellerangaben beziehen sich deshalb immer auf einen bestimmten Anfangsfeuchtegehalt.
- b) Die Verdampfungsleistung steht aber auch im Zusammenhang mit der Trocknungslufttemperatur. In der Praxis erfolgt der Anstieg der Trocknungslufttemperatur (ν_{LW}^f) durch eine Erhöhung des Öldurchsatzes. Die steigende Trocknungslufttemperatur ergibt dann auch eine ansteigende Verdampfungsleistung, die je nach Anfangsfeuchtegehalt entweder durch die Heizleistung, die Verpressungsaggregate oder die Gutsqualität begrenzt wird.
- c) Eine weitere Beeinflussung der Verdampfungsleistung ergibt sich durch die Höhe der Abluftsättigung in Verbindung mit der Ablufttemperatur (ν_{LA}^f).
- d) Auch die Beeinflussung der Verdampfungsleistung durch die Wasserabgabegeschwindigkeit des Gutes ist zu berücksichtigen; kurzgehäckselt, blattreiches Gut trocknet schneller als lange, dicke Stengel.

Der mathematische Zusammenhang zwischen Wasserverdampfungsleistung (WV) und Heizleistung (Q_0) läßt sich über den spezifischen Wärmeaufwand (Q_2) wie folgt darstellen:

$$WV = \frac{Q_0}{Q_2} \quad (\text{kg/h}) \quad (\text{XVI})$$

$$WV = TG_D \cdot y_1 \quad (\text{kg/h}) \quad (\text{XVII})$$

$$y_1 = \frac{U_1 - U_2}{100 - U_1} \quad (\text{kg/kg}) \quad (\text{Gegenüber Formel VIII wurde die Dimension kg/kg gewählt})$$

3.12 Statistische Verrechnung

Das Datenmaterial aus den Trocknungsversuchen, der Erhebung an Heißlufttrocknern in Bayern und aus der Literatur erforderte eine mathematisch-statistische Auswertung. Das Datenmaterial wurde entweder auf Kleinrechnern verarbeitet oder auf Lochkarten übernommen und auf den Großrechnern Telefunken TR 440 (Münchner Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften) oder IBM 360 (Plasmaphysik Garching) oder IBM 370/153 (Bayerisches Staatsministerium für ELF) verrechnet.

In dieser Arbeit wurden folgende statistischen Kenngrößen verwendet:

$$\text{Mittelwert: } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\text{Streuung: } s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$\text{Variationskoeffizient: } VK = \frac{s}{\bar{x}}$$

$$\text{relative Häufigkeit: } h(a) = \frac{k}{n} \cdot 100 \text{ (\%)}$$

n = Stichprobenumfang

k = absolute Häufigkeit von a.

Zur Kennzeichnung der Verteilungsschwerpunkte der untersuchten Merkmale wurde der Mittelwert (\bar{x}) verwendet; zur Beurteilung der Streubereiche wurden das absolute Streuungsmaß Standardabweichung (s) und das relative Streuungsmaß Variationskoeffizient verwendet.

Zur Aufbereitung des Datenmaterials, das auf Lochkarten übertragen wurde und mit Hilfe der Großrechner verrechnet wurde, dienten die Rechenprogramme der Programm-bibliothek der Landtechnik Weihenstephan (87).

3.13 Untersuchung der Grünfütterheißlufttrocknung in Bayern

Im Rahmen des Forschungsauftrages "Grünfütteretrocknung" des Bayerischen Staatsministeriums für ELF wurde 1971 eine Erhebung an den bayerischen Heißlufttrocknungsanlagen durchgeführt. Diese Erhebung wurde 1973 an den reinen Grünfütterheilufttrocknungsanlagen wiederholt. Sie ist für die Darstellung des Standes der Technik in der Heißlufttrocknung ebenso notwendig wie für die Ermittlung eines Auslastungsdiagrammes einer Gruppe von bayerischen Anlagen über mehrere Jahre. Aus dem Auslastungsdiagramm läßt sich der Engpaß in der Heilufttrocknungskampagne ableiten, der für die Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung wichtig ist. Die bei der Erhebung gewonnenen Daten bilden hierbei die Grundlage für die Beurteilung der Verhältnisse in der Praxis und dienen sowohl dem Vergleich mit theoretisch ermittelten Werten als auch der Erstellung von Planungsbeispielen.

3.14 Trocknungsversuche

Trocknungsversuche waren vor allem unter Praxisbedingungen erforderlich. Neben den Untersuchungen der möglichen technischen Verbesserungen sollte die Abhängigkeit des Wärmeaufwandes und der Trocknungslufttemperatur von dem Anfangsfeuchtegehalt geklärt werden, um die notwendige Verdampfungsleistung unter Berücksichtigung der örtlichen Klimaverhältnisse differenziert angeben zu können. Die Beschreibung der Versuchsanstellung und die Ergebnisse der Trocknungsversuche folgen in späteren Kapiteln.

3.15 Rechengang der Leistungsbestimmung

Nicht alle für die Leistungsbestimmung wichtigen Einflußgrößen lassen sich empirisch quantifizieren. Der Rechengang der Leistungsbestimmung ist deshalb aufzuzeigen. Vor allem der Zusammenhang zwischen den wichtigen Einflußgrößen und der notwendigen Verdampfungsleistung läßt sich nur rechnerisch darstellen, wobei die Erhebung an den bayerischen Grünfütterheißlufttrocknern die notwendigen Kennwerte hinsichtlich des Auslastungsdiagrammes liefert. Zuerst wird die Fläche für das Konservierungsverfahren Heißlufttrocknung in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren bestimmt und in einer primären mathematischen Gleichung zur Durchsatzleistung in Bezug gesetzt. Anschließend zeigt eine Literaturlauswertung die Problematik des Wachstumsverlaufes auf dem Grünland für die Leistungsbestimmung auf.

Für die Bestimmung der notwendigen Durchsatzleistung wird von einem fiktiven Ertrag ausgegangen, von dem entsprechende Verluste abgezogen werden. Durch die mathematische Beziehung können sowohl der Ertrag als auch die Verluste variabel gehalten und den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten angepaßt werden. Aus der Konservierungsfläche und dem anfallenden Grünlandertrag läßt sich die Trocknungsgutmenge bestimmen. Die Menge an Trocknungsgut, dividiert durch die zur Verfügung stehende Zeit, ergibt die notwendige Durchsatzleistung.

Die zur Verfügung stehende Trocknungszeit errechnet sich aus den je Trocknungszeitspanne zur Verfügung stehenden Trocknungstagen und den je Trocknungstag vorhandenen Trocknerstunden. Über die Trocknungstage läßt sich der überragende Einfluß der Trocknungszeitspanne auf die Durchsatzleistung aufzeigen. Mit zunehmender Trocknungszeitspanne nimmt die notwendige Durchsatzleistung, vor allem bei sehr kurzen Zeitspannen, stark ab.

Die Bestimmung der Trocknungszeitspanne erfolgt in dieser Arbeit aus phänologischen Beobachtungswerten des Deutschen Wetterdienstes.

Um die Anlagengröße (Heizleistung, Verdampfungsleistung) zu bestimmen, ist es notwendig, aus der Durchsatzleistung unter Berücksichtigung des Anfangsfeuchtegehaltes und dem Wirkungsgrad der Anlage die notwendige Wasserverdampfungsleistung zu errechnen. Die Errechnung der Verdampfungsleistung erfolgt über den spezifischen Wärmeaufwand (Q_1) je kg Trockengut und die Heizleistung (Q_0), bezogen auf 1 t/h Wasserverdampfungsleistung. Die Abhängigkeit des spezifischen Wärmeaufwandes (Q_1) und der Heizleistung (Q_0) wird über Regressionsgleichungen erfaßt und kann somit bei der Berechnung der Verdampfungsleistung berücksichtigt werden.

Aus der Gleichung für die Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung lassen sich unter Berücksichtigung von Daten aus der Untersuchung an Grünfütterheißlufttrocknern und aus der Literatur für verschiedene Planungsfragen Beispiele erstellen.

3.2 Bestimmung wichtiger Einflußgrößen der notwendigen Durchsatzleistung

Die Berechnung der notwendigen Durchsatzleistung läßt sich mit der nachfolgenden Gleichung durchführen.

$$L_D = \frac{F_{HT} \cdot m_G}{t_2} \cdot 100 \text{ (kg/h)} \quad (\text{XVIII})$$

L_D = notwendige Durchsatzleistung an Trockengut in kg/h
 F_{HT} = Grünlandfläche, die für die Heißlufttrocknung zur Verfügung steht (ha)

m_G = Masse Trocknungsgut in dt Trockengut je Hektar
 t_2 = Summe der Trocknerstunden in der Trocknungszeit-
spanne

Die Bestimmung der Einflußgrößen (F_{HT} , m_G und t_2) erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln und ist notwendig, um die Durchsatzleistung in Abhängigkeit von verschiedenen Ausgangsdaten berechnen zu können.

3.21 Einzugsgebiet und Erntefläche

Die Größe des Einzugsgebietes einer GrünfütterheiBluft-trocknungsanlage und daraus resultierend die Größe der Erntefläche, die das Trocknungsgut liefert, ist zu bestimmen, wenn die Planung der Anlage auf ein bestimmtes Gebiet zugeschnitten erfolgen soll. Die natürlichen Verhältnisse können hierbei besser berücksichtigt werden. Wird dagegen zuerst eine Genossenschaft gegründet, wie es bisher üblich war, dann ist die Erntefläche gleich der Fläche, die durch die gezeichneten Anteile repräsentiert wird und der nachfolgende Planungsschritt kann vereinfacht oder weggelassen werden. Um aber das Grünlandpotential eines Gebietes, das für die HeiBluft-trocknung bereitgestellt werden kann, voll zu nutzen, ist es notwendig, die Größe des Einzugsgebietes zu bestimmen. Ausgehend von der Tatsache, daß ein Einzugsgebiet nicht beliebig groß sein kann, soll nachfolgend die wichtigste Begrenzung behandelt werden.

3.211 Begrenzung des Einzugsgebietes

Mit zunehmender Entfernung der Feldstücke von der Anlage, die für die HeiBlufttrocknung zur Verfügung stehen, steigen die Kosten für die Grüngutanlieferung an (WENNER 1973 (125)). Die Höhe der Kosten für die Grüngutanfuhr

bestimmt die Entfernung des weitestgelegenen Anlieferers zur Anlage. Hierbei entscheidet der Anlieferer, welche Kosten er noch zu tragen bereit ist. Das Einzugsgebiet einer Trocknungsanlage wird deshalb von der Entfernung des weitestgelegenen Anlieferers begrenzt. Diese Entfernung ist aber nicht ohne Kostenoptimierung festzulegen. Die Kostenoptimierung würde aber den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Um eine Aussage über die Entfernung der Feldstücke von der Trocknungsanlage in der Praxis zu ermöglichen, wurden die entsprechenden verfügbaren Daten aus der Erhebung 1971 - 73 von vier Anlagen (Wasserverdampfungsleistung 3, 5, 10 und 15 t/h) herangezogen. Es wurden die Entfernungen der Anteilzeichner der Trocknungsgenossenschaften zur Anlage als mittlere Entfernung der Feldstücke der Anteilszeichner angenommen. Wird jedem Anteil die Trockengutmenge zugeordnet, die er durch sein Lieferrecht repräsentiert, so kann mit der Zahl der Anteile je Anteilzeichner multipliziert, die Trockengutmenge in der jeweiligen Entfernung zur Anlage angegeben werden, die je Jahr zur Trocknung ansteht.

In Abbildung 7 wurden diese aus der Zahl der Anteile errechneten Trockengutmengen auf eine Wasserverdampfungsleistung von 1 t/h bezogen über der Entfernung zur Trocknungsanlage aufgetragen.

Mit Hilfe der polynomen Regression konnte der in Abbildung 7 gezeigte Kurvenverlauf ermittelt werden. Der Kurvenverlauf läßt sich durch eine Gleichung 2. Grades erklären und ist mit eine r^2 von 0,975 abgesichert; d. h. 97,5 % der Varianzursachen können mit diesem Kurvenverlauf erklärt werden.

In Abbildung 7 zeigt der Kurvenverlauf, daß mit zunehmender Entfernung bis 6,6 km die Masse an Trocknungsgut ansteigt, die angeliefert wird, um dann wieder stark abzusinken. Dies bedeutet, daß in der Praxis der Großteil der Flächen, die der Heißlufttrocknung dienen, in einer Entfernung von 4 - 8 km von der Trocknungsanlage liegen. Es bedeutet aber auch, daß

es nur für wenige Mitglieder interessant erscheint, bei einer Entfernung von über 12 km (Luftlinie) zur Trocknungsanlage dieses Verfahren zu nutzen.

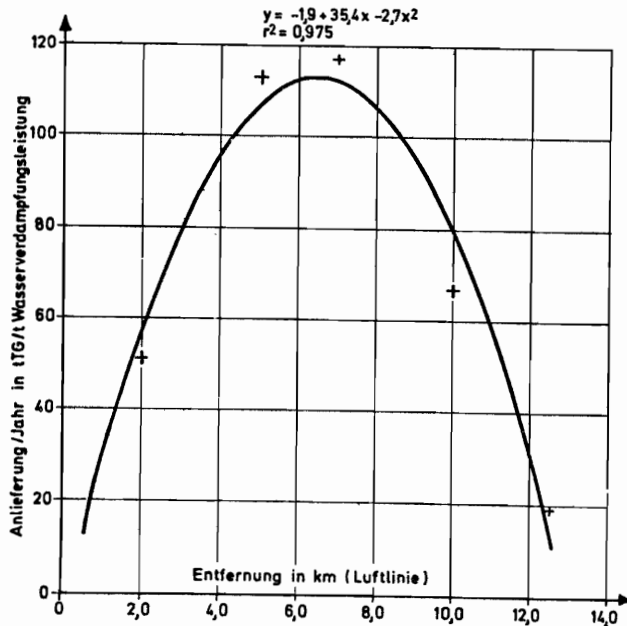


Abbildung 7: Grüngutanlieferung (Lieferrecht) pro Jahr (bezogen auf 1 t/h Wasserverdampfungsleistung) in Abhängigkeit von der Entfernung zur Trocknungsanlage

Um aber eine gute Auslastung der Trocknungsanlagen zu gewährleisten, kommen die Trocknungsgenossenschaften ihren entfernteren Mitgliedern durch unter den Kosten liegende Grüngutanfuhrpreise entgegen. Dies verdeutlicht die Abbildung 8, in der unterschiedliche Möglichkeiten der Transportpreise für die Grüngutanfuhr mit den Kosten nach WENNER 1973 (125) verglichen wurden.

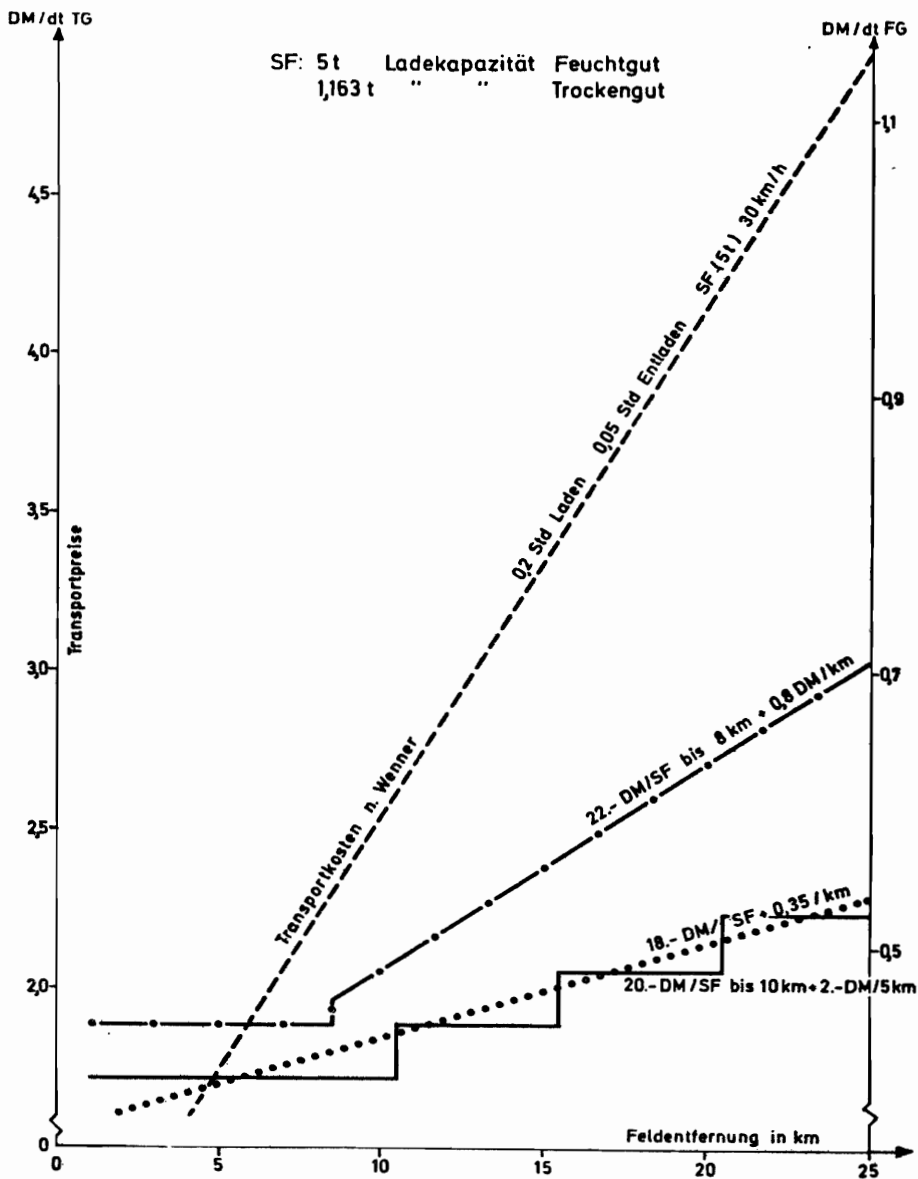


Abbildung 8: Transportkosten und -preise in Abhängigkeit von der Feldentfernung

Die Differenz zwischen den Kosten der Anfahrt und den verlangten Preisen ist um so größer, je stärker die Feldentfernung (Transportstrecke) von 5 km abweicht. Für die Mit-

glieder einer Trocknungsgenossenschaft ergeben sich daraus in unmittelbarer Nähe der Trocknungsanlage überhöhte und für die entfernteren Mitglieder weit unter den Transportkosten liegende Transportpreise. Den Mitgliedern mit längeren Anfahrwegen soll dadurch ein Anreiz zum stärkeren Ausschöpfen ihrer Kontingente gegeben werden, um eine größere Spreizung der Trocknungszeitspanne aufgrund möglicher Vegetationsunterschiede zu erreichen; eine damit verbundene höhere Trocknerauslastung führt zur Senkung der Kapitalkosten. Das Optimum der Anlagengröße ergibt sich aus einem Gesamtkostenminimum, das aus steigenden Transportkosten und sinkenden Kapitalkosten durch steigende Trocknerauslastung entsteht. Die Begrenzung des Einzugsgebietes ist somit abhängig von den Kosten der Grüngutanfuhr, die der weitestgelegene Anlieferer noch trägt. Die Entfernung des weitestgelegenen Anlieferers kann aber nicht festgelegt werden und ist deshalb als Variable in die Ermittlung der Erntefläche aufzunehmen.

3.212 Ermittlung der Größe der Erntefläche

Eine Ermittlung von Ernteflächen für bestimmte Gebiete läßt sich aufgrund der unterschiedlichen Einflüsse nicht durchführen. Es wird deshalb in dieser Arbeit ein Weg aufgezeigt, wie aus der Größe des Einzugsgebietes die Größe der Erntefläche bestimmt werden kann.

Hierbei wird unterstellt, die ideale Form des Einzugsgebietes wäre die Kreisform, d. h. die Fläche für die Heißlufttrocknung wäre anteilmäßig kreisförmig um die Trocknungsanlage gelegen. Die Entfernung des weitestgelegenen Anlieferers stellt hierbei den Radius (r) des Umkreises des Einzugsgebietes dar. Weicht die Form des Einzugsgebietes von der Kreisform ab, zum Beispiel bei Tälern oder Begrenzungen durch angrenzende größere

Waldgebiete, ist die Kreisfläche, errechnet aus der Entfernung des weitestgelegenen Anlieferers, zu korrigieren. Der Korrekturfaktor (f_1) errechnet sich aus dem Verhältnis Fläche des Einzugsgebietes zu der Kreisfläche, gebildet aus der Entfernung (r) des weitestgelegenen Anlieferers.

Die Fläche des Einzugsgebietes (F_E) ist mit dem Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche (f_2) zu multiplizieren. Er liegt im Bundesgebiet 1973 bei 0,542. Die LN multipliziert mit dem Anteil des Grünlandes (f_3) ergibt die Futterfläche im Einzugsgebiet der Anlage. Die bis hierher notwendigen Daten können aus den Landes- und Kreisstatistiken entnommen werden.

Die Futterfläche des Einzugsgebietes ist nun noch mit dem Anteil des Winterfutters (f_4) zu multiplizieren, um die Konservierungsfläche zu erhalten, aus der die Erntefläche (F_{HT}) durch Multiplikation mit dem Anteil des Konservierungsverfahrens Heißlufttrocknung (f_5) errechnet werden kann.

Die Erntefläche läßt sich durch nachfolgende Gleichung aus der Fläche des Einzugsgebietes errechnen:

$$F_{HT} = r^2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \quad (\text{ha}); \quad (\text{XIX})$$

F_{HT} = Grünlandfläche, die für die Heißlufttrocknung zur Verfügung steht

r = Entfernung des weitestgelegenen Anlieferers

π = Ludolfsche Zahl zur mathematischen Bestimmung der Kreisfläche

100 = Umrechnungsfaktor von km^2 in ha

f_1 = Korrekturfaktor (Form des Einzugsgebietes)

f_2 = Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) an der Fläche des Einzugsgebietes

f_3 = Anteil des Grünlandes an der LN

f_4 = Anteil der Fläche für die Winterfüttererzeugung an der Grünlandfläche

f_5 = Anteil der Fläche der Konservierungsmethode Heißlufttrocknung an der Fläche für die Winterfüttererzeugung (F_{WF})

Für die Praxis läßt sich der Faktor f_5 über die gewünschte Futterration ableiten. Ausgehend von der Futterration für eine Kuh mit Nachzucht läßt sich der Faktor f_5 über den Futteraufwand je Tag bestimmen.

Tabelle 7: Zusammensetzung des Rindviehbestandes (n. KTBL)

	Kuh	Jungvieh		Kälber
		1-2 Jahre	unter 1 Jahr	
Ergänzungsbetrieb	1	0,2	0,2	0,3
Aufzuchtbetrieb	1	0,5	0,8	0,3

Der Futteraufwand je Tag errechnet sich aus der Ration für die Milchkuh und den Rationen für das Jungvieh. Die in Tabelle 7 auf eine Kuh bezogene Nachzucht dient der Bestimmung des Rationsanteils für Jungvieh an der Gesamtration.

Beispiele an Futterrationen (für Milchvieh und Jungvieh) werden in Anlehnung an die Literatur nachfolgend gegeben:

<u>Ration I</u>	(Milchkuh)	<u>Ration II</u>
10 kg Gras-Briketts		5 kg Gras-Briketts
2 kg Wiesenheu		5 kg Wiesenheu
1. Schnitt		1. Schnitt
Beginn-Mitte		Beginn-Mitte
der Blüte		der Blüte
6 kg Gras-Silage		15 kg Gras-Silage
Beginn-Mitte		Beginn-Mitte
der Blüte		der Blüte
stark angewelkt		stark angewelkt
+ Ausgleichsfutter		

Die Rationen I und II gelten für eine Milchkuh mit 560 kg Lebendgewicht und 20 kg Tagesmilchleistung. In der Ration I wurde die von BURGSTALLER 1974 (20) aufgestellte Forderung eingehalten, in der 2/3 der Grundfutter-TS aus Briketts und 1/3 der Grundfutter-TS aus Rauhfutter oder Silage bestehen soll.

In der Ration II wurde der Brikettanteil vermindert, um den Einfluß des Brikettanteils in der Futterration auf die Erntefläche zeigen zu können.

<u>Ration III</u>	(Jungvieh)	<u>Ration IV</u>
2,5 kg Wiesenheu		4 kg Wiesenheu
1. Schnitt		1. Schnitt
Beginn-Mitte		Ende der Blüte
der Blüte		
5,0 kg Gras-Silage		12 kg Gras-Silage
Beginn-Mitte		Beginn-Mitte
der Blüte		der Blüte
angewelkt		angewelkt
+ Ausgleichsfutter		+ Ausgleichsfutter

Die Rationen III und IV sind Jungviehrationen, die von KIRCH-
GESSNER 1970 (56 a) für reine Grünlandgebiete zusammengestellt
worden sind (Grundfüttertyp I). In diesem Zusammenhang in-
teressieren nur die Rauhfutterkomponenten.

Ration V (Jungvieh unter einem Jahr)

2 kg Gras-Briketts

2 kg Wiesenheu

1. Schnitt

Beginn-Mitte der Blüte

+ Ausgleichsfutter

Der Briketteinsatz (Ration V) für Jungvieh ist vor allem für
Tiere unter einem Jahr interessant, da hier noch größere Tages-
zunahmen erwartet werden als bei Tieren von 1 - 2 Jahren. Für
Kälber bis zu 5 Monaten wurde 1 kg bestes Heu veranschlagt.

Die Inhaltsstoffe der in der Futterration verwendeten Futter-
mittel sind der Futterwerttabelle für Wiederkäuer der DLG ent-
nommen. Die Rationsanteile der Futtermittel wurden auf Trocken-
substanz umgerechnet und, um die jeweiligen Konservierungsver-
luste korrigiert, in Tabelle 8 dargestellt.

Bei den Konservierungsverlusten wurden mittlere Werte aus der
Literatur angenommen; für das Verfahren Heißlufttrocknung 5 %
(ACHILLES 1973 (1) und WERMKE 1973 (126)), für die Verfahren
Bodenheu 25 % und Anwelksilage 20 % (HOGLUND 1973 (45)).

Die Verluste müssen mit einbezogen werden, da sich bei den ver-
schiedenen Verfahren durch die unterschiedlichen Verluste an-
dere Flächenansprüche ergeben. In Tabelle 8 wird der relative
Anteil (f_5) der Fläche, der für die Heißlufttrocknung zur Ver-
fügung steht, aus der Grundfütterration bestimmt, und zwar

$$\text{Sp. 8 } (f_5) = \frac{\text{Sp. 4 (Brikett)}}{\text{Sp. 4 (Brikett)} + \text{Sp. 5 (Heu)} + \text{Sp. 6 (Silage)}}$$

Tabelle 8: Anteil der Fläche der Konservierungsmethode Heißlufttrocknung an der Fläche für die Winterfuttermittelgewinnung bei unterschiedlichen Futterrationen

Betriebsart	Gesamtration		Brikettanteil Erntegut kg TS	Rauhfutteranteil			Anteil aufgewachsene TS über Preßlinge an TS Rauh- futter f ₅
	Zusammensetzung der Gesamtration	Nr.	Brikett + 5 % Verluste	Heu +25 % Ver- luste	Silage +20 % Ver- luste	Heu + Silage	
Spalte 1	2	3	4	5	6	7	8
Ergän- zungs- betrieb	Ration I + III + IV	1	9,4	3,7	4,6	8,3	0,53
	Ration I + V + IV	2	9,8	3,6	4,3	7,9	0,55
	Ration II + III + IV	3	4,6	7,2	9,6	16,8	0,21
	Ration II + V + IV	4	5,1	7,1	9,3	16,4	0,24
Aufzucht- betrieb	Ration I + III + IV	5	9,4	7,1	7,1	14,2	0,40
	Ration I + V + IV	6	10,8	6,5	5,6	12,1	0,47
	Ration II + III + IV	7	4,6	10,5	12,1	22,6	0,17
	Ration II + V + IV	8	6,1	10,0	10,6	20,6	0,23

Die tatsächliche Auswirkung des Brikettanteils und der Gesamtration auf den relativen Anteil der F_{HT} an der F_{WF} wird in Abbildung 9 veranschaulicht, wobei die oben erwähnten Rationen herangezogen wurden.

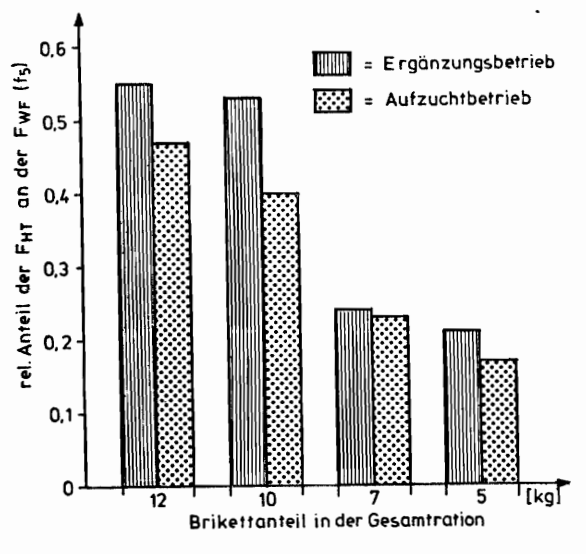


Abbildung 9: Einfluß der Höhe des Brikettanteils in der Futterration auf den relativen Anteil der F_{HT} an der F_{WF}

Für den Ergänzungsbetrieb sinkt beispielsweise der Faktor f_5 von 0,55 auf 0,24, wenn von 12 kg Briketts auf 7 kg Briketts in der Gesamtration zurückgegangen wird und an die Nachzucht Briketts verfüttert werden; beim Aufzuchtbetrieb verändert sich der Faktor bei gleichen Bedingungen von 0,47 auf 0,23. Im Ergänzungsbetrieb wird weniger Nachzucht je Kuh gehalten als im Nachzuchtbetrieb. Der Einsatz der Briketts in der Kuhration des Ergänzungsbetriebes wirkt sich deshalb stärker auf den Faktor f_5 aus als bei dem Einsatz der Briketts in der Kuhration des Aufzuchtbetriebes.

Die Bestimmung des Faktors f_5 ermöglicht bei der Berechnung der Erntefläche (F_{HT}) nach Formel XIX die örtlichen Verhältnisse stärker zu berücksichtigen.

Die Berechnung der notwendigen Durchsatzleistung (Formel XVIII) erfordert neben der Kenntnis der Erntefläche (F_{HT}) auch die Kenntnis der zum Trocknen anstehenden Erntemenge je Flächeneinheit - den Grünland-ertrag.

3.22 Grünlandertrag

Nach Festlegung der für die Grünfütterheißlufttrocknung zur Verfügung stehenden Fläche wird die notwendige Durchsatzleistung durch den Futteraufwuchs des Grünlandes bestimmt. Die Masse des Futteraufwuchses je Flächeneinheit wird von verschiedenen Standortfaktoren des Grünlandes bestimmt (MANSAT 1969 (71), NÖSBERGER 1970 (77), KLAPP 1971 (57)). In der Literatur ist dieser Themenkreis umfangreich behandelt, es genügt deshalb, die für diese Arbeit wichtigen Schwerpunkte zu umreißen.

3.221 Einfluß des Wachstumsverlaufes auf dem Grünland auf die notwendige Durchsatzleistung

Der Wachstumsverlauf des Grases läßt sich am besten durch die tägliche Zuwachsrate an Trockensubstanz pro Hektar über die Vegetationszeit hinweg charakterisieren. Die Zuwachsrate wird im wesentlichen von der Temperatur, der Bodenfeuchte und der Globalstrahlung beeinflt (HESSE 1968 (43), PAHL 1968 (83), BÜHRING 1968 (16), MYHR et al. 1969 (75)). Hinzu kommt nach FOSS 1968 (34) die geographische Breite und davon abhängig die Tageslänge. Diese beiden Größen und die Temperatur gehen auch in die Berechnung der Evapotranspiration von THORNTHWAITE 1957 (116) ein, die einen geeigneten Wachstumsparameter darstellt. So konnte PUECH et al. 1968 (89) bei einer Evapotranspiration von 5 bis 6 mm pro Tag eine

Zuwachsrates von 90 kg Trockensubstanz pro Hektar und Tag feststellen. Allgemein kann aber gesagt werden, daß der Tageszuwachs von den jahreszeitlichen Witterungsschwankungen abhängig ist (BROUGHAM 1969 (14), VOIGTLÄNDER 1971 (121)). Dies zeigt sich deutlich im Frühjahr, wenn der Tageszuwachs am größten ist (VOIGTLÄNDER 1971 (121), CAPUTA et al. 1970 (23), LAMPETER et al. 1970 (65), RÖTSCHKE et al. 1970 (100), ONO 1968 (82)). BURNHAM et al. 1970 (21) konnte 46 % des Jahresertrages bis Ende Juli und nur noch 10 % ab September bestimmen. COLLINS et al. 1969 (24) stellte sogar 65 - 75 % des Jahresertrages bis Ende Juli fest. Auch PAHL et al. 1969 (84), ALBERDA 1968 (4) und JAQUARD 1970 (51) konnten die deutlich höheren Zuwachsraten im Frühjahr gegenüber den Sommer- und Herbstzuwachsraten feststellen. Voraussetzung hierfür sind aber Perioden mit Mindestdurchschnittstemperaturen von 8 - 10°C und Minimaltemperaturen von über 0°C. Wird der relative Zuwachs an Trockenmasse je Tag und Hektar über der Vegetationszeit aufgetragen, so ergibt sich der typische, in Abb. 10 dargestellte Kurvenverlauf (KLAPP 1971 (57), der auch als Wachstumskurve bezeichnet wird.

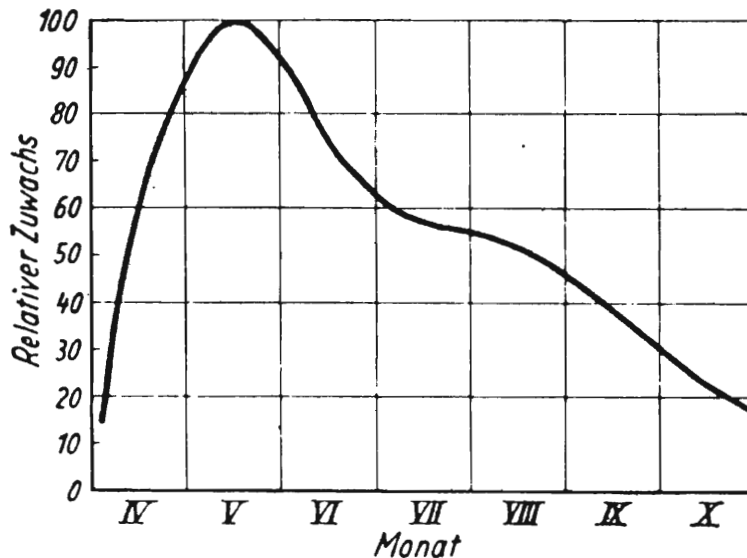


Abbildung 10: Durchschnittlicher Graszuwachs (relativ) nach KLAPP 1971 (57)

In Abb. 10 werden zwei Merkmale des Wachstumsverlaufes deutlich: maximale Aufwuchsraten im Frühjahr und Abnahme der Aufwuchsraten über den Sommer bis in den Herbst hinein.

Über das Aufwuchsminimum im Sommer (Abb. 10 VII. Monat) und ein zweites Maximum im Spätsommer gehen die Meinungen auseinander. Von RAPPE 1951 (91), MAAF-ROUDPICHI 1969 (67) und HILBERT 1970 (44) wurde dieses Zuwachsminimum festgestellt, von KALTOFEN et al. 1967 (52) dagegen nicht. Sicher tritt es nicht auf jedem Standort und nicht in jedem Jahr auf. Es muß aber vor allem in Verbindung mit dem Wachstumsrhythmus der Grünlandpflanzen gesehen werden (VOIGTLÄNDER 1971 (121)), wobei allerdings regelmäßig geringere Niederschläge um diese Zeit mit hereinspielen dürften.

Aus dem Wachstumsverlauf auf dem Grünland ergeben sich für die Bestimmung der notwendigen Durchsatzleistung nachfolgend beschriebene Konsequenzen:

Das Verfahren der Grünfütterheißeblufttrocknung kann nur dann seiner Aufgabe gerecht werden, wenn die notwendige Durchsatzleistung so groß ist, daß das Maximum des Futteraufwuchses in der verfügbaren Zeit und bei guter Qualität bewältigt werden kann. Die Wachstumskurve hat ihr Maximum im Frühjahr; die Planung der Durchsatzleistung muß deshalb auf den ersten Schnitt ausgerichtet sein. Dies insbesondere deshalb, weil der frühe Schnittzeitpunkt der Bestände für die Konservierung durch die Heißeblufttrocknung hohe Rohproteingehalte und niedere Rohfasergehalte im Futter mit sich bringt. Nachteile ergeben sich durch die Wetterbedingungen im Frühjahr, die einen schnellen Trocknungsverlauf im Freiland nicht in jedem Fall zulassen, da die Nächte noch zu lang sind und zu sehr abkühlen. Die Bodenheuerung ist deshalb mit hohem Risiko oder vermehrten Verlusten verbunden, ganz abgesehen davon, daß die folgenden Aufwüchse durch eine Bearbeitungsdauer des Futters von über drei Tagen (BECKHOFF 1974 (11)) beeinträchtigt werden. Der Trocknungsverlauf wird aber auch durch den geringeren Trockensubstanzgehalt jüngerer Aufwüchse gegenüber älteren Aufwüchsen verzögert.

Bei der Anwelksilagebereitung von weidereifen Beständen des 1. Schnittes wird, bedingt durch die ungünstigeren Vorwelkbedingungen, der notwendige TS-Gehalt ($> 30\%$) an einem Tag kaum erreicht werden, wodurch eine Verschlechterung der Silagequalität nicht auszuschließen ist. Besonders bei einem TS-Gehalt von unter 30% treten verstärkt Fehlgärungen auf (WEISE et al. 1975 (124)). Ein Vorwelken über längere Zeit bringt den Nachteil, daß das Rohprotein-Kohlenhydratverhältnis durch Atmungsverluste während der Nacht noch enger wird und die Bedingungen des Gärverlaufes verschlechtert werden.

Die Konservierungsverfahren Heuwerbung und Silagebereitung können deshalb nur dann als Ergänzung der Heißlufttrocknung angesehen werden, wenn die entsprechenden Schnittzeitpunkte gewählt werden.

Um aber eine Überdimensionierung der Trocknungsanlage zur Erlangung einer hohen Auslastung zu vermeiden, ist es notwendig, den Wachstumsverlauf auf dem Grünland, insbesondere im Frühjahr, so zu beeinflussen, daß eine möglichst weite Trocknungszeitspanne erreicht werden kann. Dazu ist es zweckmäßig, die Möglichkeiten der Beeinflussung der Ertragsverteilung aufzuzeigen. Diese Möglichkeiten sind vor allem durch intensive Düngung in Verbindung mit vermehrter Nutzung gegeben.

3.222 Beeinflussung des Wachstumsverlaufes auf dem Grünland zur besseren Auslastung der Anlagen und zur Vermeidung von Überkapazität

Bei einer dem Ertragsniveau angepaßten Grunddüngung hat die Stickstoffdüngung den größten Einfluß sowohl auf den Gesamtertrag als auch auf die Ertragsverteilung. Der Einfluß auf den Gesamtertrag liegt in einer ertragssteigernden Wirkung (BURNS et al. 1970 (22), KIN et al. 1970 (55), STÄHLIN et al. 1971 (109), RYLE 1970 (101), SAMOILA et al. 1968 (103), NOWAK 1968 (80)), die auch bei höheren Gaben

(bis 400 kg N/ha) noch feststellbar ist (BURNS et al. 1970 (22), VOIGTLÄNDER 1970 (119)). Diese Wirkung beruht auf einer erhöhten Wachstumsrate (RYLE 1970 (101)), einer geförderten Bestockung (KOBLET et al. 1969 (61)) und einer erhöhten Blattbildung (HUNT 1970 (48)).

Der Ertragssteigerung durch Düngung sind aber Grenzen gesetzt. Die Grenzen ergeben sich hauptsächlich durch die Menge der Assimilate, die unter dem Einfluß der Witterung und der Wachstumszeit gebildet werden können (VOIGTLÄNDER 1970 (119), BROCKMANN 1969 (12), et al. 1971 (13)).

Für die Heißlufttrocknung ist die Zweischnittwiese nach ZIMMER 1974 (132) ungeeignet, da einmal die Futterqualität und zum anderen die Ausnutzung der Stickstoffdüngung den Anforderungen nicht entsprechen.

Eine Ertragssteigerung durch Steigerung der Stickstoffdüngung läßt sich am besten durch eine höhere Schnitzzahl erreichen. Die Ausnutzung der Stickstoffdüngung ist hierbei je nach dem Stand der Vegetation verschieden (VOIGTLÄNDER 1970 (119), LAMPETER et al. 1970 (65), VETTER 1968 (118)). Sie ist besonders stark im 2. und 3. Aufwuchs oder Ende Mai bis Ende Juni. Je nach Standort ist sie in trockenen (JAKIMOWA et al. 1968 (50)) oder in feuchten Jahren (VETTER 1968 (118)) besser; die Bodenart zeigt hier je nach Stickstoffnachlieferung des Bodens einen unterschiedlich starken Einfluß (WAYDBRINK 1969 (123), BROCKMANN et al. 1971 (13)). Je nach Kleeanteil hat auch der Pflanzenbestand einen Einfluß auf die Ausnutzung der Stickstoffdüngung (THÖNI 1969 (115)), insbesondere bei der Umstellung einer Zweischnittwiese auf Vielschnittnutzung.

Für die Bestimmung der notwendigen Durchsatzleistung ist die Beeinflussung der Ertragsverteilung, insbesondere im Frühjahr, durch die Stickstoffdüngung von ausschlaggebender Bedeutung. Die Ansatzpunkte der Stickstoffdüngung während der Vegetationszeit, die für die Heißlufttrocknung von Bedeutung sind, wurden in Abb. 11 dargestellt.

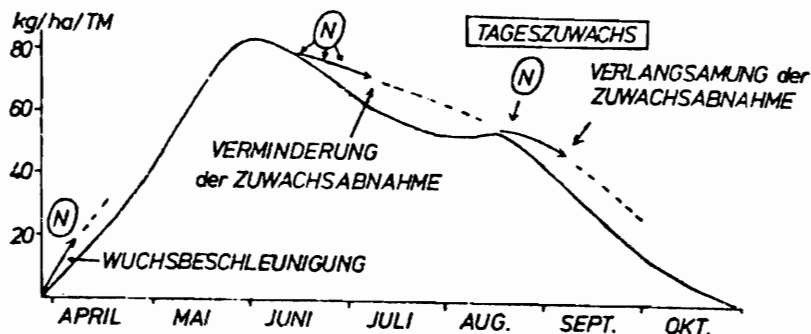


Abbildung 11: Die Wirkung des Stickstoffs auf die Ertragsverteilung nach KNAUER 1973 (58)

Die Wuchsbeschleunigung (Punkt 1) im Frühjahr bedeutet eine Vorverlegung des 1. Schnittes und dadurch eine größere Zeitspanne für die Trocknung des 1. Schnittes. JAGTENBERG 1968 (49) konnte bis zu 4 Wochen gewinnen und BECHSTÄTT 1970 (9) bis zu 10 Tagen, wobei gleichzeitig eine Verlängerung der Nutzungsdauer im Herbst bis zu 20 Tagen erzielt wurde. VOIGT-LÄNDER et al. 1974 (120) erzielten eine Vorverlegung des Nutzungszeitpunktes von 2,1 - 3,6 Tagen bei 120 kg N/ha gegenüber 60 kg N/ha. Dieser Einfluß des Stickstoffs ist auf eine Beschleunigung des vegetativen Wachstums und eine Steigerung der Stoffproduktion (VAN BURG 1961 (18)) zurückzuführen. Die Ansatzpunkte 2 und 3 in Abb. 11 dienen der besseren Auslastung im Sommer und Herbst. Zur Vorverlegung des Schnittzeitpunktes gibt RICHTER et al. 1968 (97) für jeden Tag, der gewonnen werden soll, einen Mehraufwand von 10 kg Reinstickstoff pro Hektar an. Die wirksame Vorverlegung der 1. Nutzung ist aber bei

langsamer Frühjahrsentwicklung effektiver als bei einer stürmischen, kurzen Frühjahrsentwicklung (VOIGTLÄNDER 1970 (119)). Für die Grünfütterheißlufttrocknung bedeutet dies in Gebieten mit langsamer Frühjahrsentwicklung geringere Durchsatzleistungen als in Gebieten mit beschleunigter Frühjahrsentwicklung.

3.223 Bestimmung des Schnittzeitpunktes

Im Rahmen dieser Arbeit ist es für die Bestimmung der notwendigen Durchsatzleistung wichtig zu wissen, mit welchem Ertrag des 1. Schnittes zu rechnen ist. Diese Frage ist aber nicht eindeutig zu klären, da nicht mehr wie bisher der maximale TS-Ertrag als Kriterium des Schnittzeitpunktes herangezogen wird, sondern das Maximum an verdaulichen Nährstoffen des Grünlandaufwuchses. Die Veränderung der Futterinhaltsstoffe, in Abb. 12 über der Wachstumszeit aufgetragen, soll diese Zusammenhänge verdeutlichen.

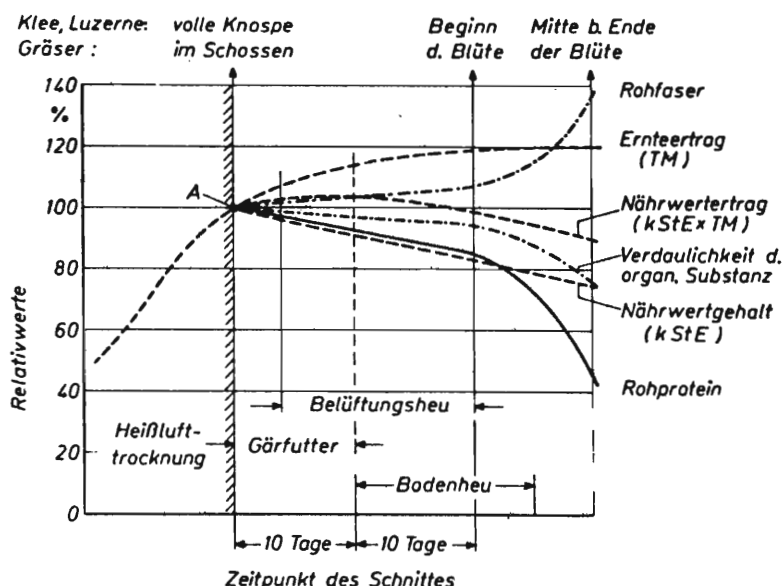


Abbildung 12: Schnittzeitpunkt für verschiedene Halmfütterernteverfahren n. KAUFMANN et al. 1970 (53)

Hierbei wird davon ausgegangen, daß ein Verzicht auf den maximalen TS-Ertrag durch den früheren Schnitt und die höhere Nährstoffkonzentration gerechtfertigt ist. Der Schnittzeitpunkt für die Heißlufttrocknung ist, wie in Abb. 12 gezeigt wird, bis zum Schossen der Hauptbestandbildner sinnvoll (KOBLET 1968 et al. (61), KAUFMANN 1970 (53)). Dieses Stadium des Bestandes wird auch als Weidereife des Bestandes bezeichnet. DENUDT et al. 1970 (25) sieht die Weidereife bei 20 cm Wuchshöhe. KLAPP 1971 (57) betrachtet 18 - 28 cm als optimal. Nach MAAF-ROUDPICHI 1969 (67) besteht eine gesicherte Korrelation zwischen Aufwuchshöhe und Aufwuchsmenge. Der Verlauf ist nahezu proportional, wenn die Schnitthöhe berücksichtigt wird. Die von MARAMBIO 1971 (72) mit 15 - 25 dt Trm/ha angegebene Weidereife entspricht demnach einer Wuchshöhe von 20 - 30 cm.

Eine spätere Nutzung führt zu höheren Trockenmasseerträgen (VAN BURG et al. 1969 (19), JAQUARD 1970 (51), KNIEVEL et al. 1971 (60), ALBRECHT et al. 1970 (5)) und halmreicherem Futter (GILLET 1970 (37)), beeinträchtigt aber die Trockenmasseerträge der weiteren Aufwüchse ungünstig (BECKHOF 1971 (10), GARWOOD et al. 1967 (36), GILLET et al. 1969 (37)).

Der Schnitt sollte deshalb in der Weidereife erfolgen. Der optimale Schnittzeitpunkt wird sich für das ganze zur Nutzung anstehende Material nicht erreichen lassen, wohl aber eine Zeitspanne, in der noch gute Futterqualitäten erzielt werden. Der Grünlandertrag, der in dieser Zeitspanne im Durchschnitt erreicht wird, geht als Variable in die Bestimmung der notwendigen Durchsatzleistung in der nachfolgenden Form ein:

$$m_G = m_B - \frac{m_B \cdot m_V}{100} \quad (\text{dt/ha}) \quad (\text{XX})$$

m_G = Masse Trocknungsgut (trocken) in dt/ha

m_B = Masse Bruttoaufwuchs an Trockengut in dt/ha

m_V = Masseverluste in Trockengut durch die Futterbergung in %

Für die weitere Erarbeitung von Planungsdaten ist es notwendig, die Zeitspanne zu bestimmen, in der die Trocknung des 1. Schnittes erfolgt, wobei verschiedene Klimabedingungen zu berücksichtigen sind.

3.23 Trocknungszeitspanne

Den stärksten Einfluß auf die notwendige Durchsatzleistung hat die Zeit, in der das anfallende Trocknungsgut verarbeitet werden muß. Um die Erntezeitspanne und die Trocknungszeit festlegen zu können, wurden Untersuchungen angestellt, die das bisherige Verfahren Grünfutterheißlufttrocknung bei der Bewältigung des Futteranfalls charakterisieren.

3.231 Trocknungszeit in der Praxis

Für die Untersuchung des Ist-Zustandes wurden die Daten aus der Erhebung an den bayerischen Heißlufttrocknungsanlagen (Kap. 3.13) verwendet. Als Untersuchungsmerkmal und als Kriterium zur Beurteilung der Bewältigung des Futteranfalles wurden die täglichen Trocknerstunden von 11 bayerischen Heißlufttrocknungsanlagen der Jahre 1971 bis 1973 herangezogen. Die Trocknungsstunden pro Jahr der einzelnen Anlagen sind in Tabelle 9 aufgezeigt (Erhebung an den bayerischen Heißlufttrocknungsanlagen 1971 - 73 (STREHLER et al. 1973 (113))).

Um diese Zahlen beurteilen zu können, wurden in Tabelle 9 die statistischen Kenngrößen Mittelwert (\bar{x}), Streuung (s) und Variationskoeffizient (VK %) ermittelt. Die Mittelwerte der Trocknerstunden aller Anlagen zeigen für die einzelnen Jahre eine ansteigende Tendenz. Beachtlich sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Anlagen; die Streuung beträgt maximal im Jahre 1972 501 Stunden.

Die großen Unterschiede werden durch die hohen Variationskoeffizienten von 43 % bis zu 51 % deutlich. Der Variationskoeffizient von nur 28 % im Jahre 1973 deutet auf eine starke Angleichung der Auslastung der einzelnen Anlagen hin.

Tabelle 9: Jahressummen der Trocknerstunden in den Jahren 1971 - 1973 von bayerischen Trocknungsanlagen mit täglichen Auszeichnungen

Trocknungsgenossenschaft	Trocknerstunden/Jahr		
	1971	1972	1973
Achental	-	-	2004
Altusried	-	676	1706
Buchenberg	419	331	-
Hergatz	918	647	-
Isny-Mayerhöfen	1567	1397	1575
Kiefersfelden	-	1251	1385
Nesselwang	-	679	-
Oberallgäu	-	1289	1954
Obergünzburg	601	587	823
Ruderatshofen	979	1996	-
Rothachtal	1128	871	-
Mittelwert (\bar{x})	935	972	1575
Streuung (s)	404	501	435
Variationskoeffizient VK %	43	51	28

Die Summe der Trocknerstunden je Jahr gibt Aufschluß über die Auslastung einer Trocknungsanlage. Für die Bestimmung der Durchsatzleistung ist es aber notwendig, die Verteilung der Trocknerstunden während der Trocknungskampagne zu untersuchen. Zwei Fragen stehen hierbei im Vordergrund:

1. Wann treten Engpässe während der Trocknungskampagne auf?
2. Auf welchen Engpaß während der Trocknungskampagne ist die notwendige Durchsatzleistung auszulegen?

Um die Engpässe während der Trocknungskampagne erkennen zu können, wurden für das Jahr 1971 von 5 Grünfütterertrocknungsanlagen die Trocknerstunden pro Tag ausgewertet. Hierbei handelt es sich um Anlagen, bei denen die Trocknerführer vollständige tägliche Aufzeichnungen erstellten. Aus den Trocknerstunden je Tag der 5 Anlagen wurden einmal die Wochensummen, zum anderen der arithmetische Mittelwert je Trocknungswoche (ohne Sonntage) gebildet. In Abb. 13 wurden die Wochensumme der Trocknerstunden und die Wochenmittelwerte über der Zeit der Trocknungskampagne aufgetragen.

In Abbildung 13 zeigt sich sehr deutlich, daß die Verteilung der Trocknerstunden im Verlauf der Trocknungskampagne sowohl bei der Wochensumme als auch bei den Wochenmittelwerten 2 Gipfel besitzt, die als die Engpässe in der Trocknungskampagne bezeichnet werden müssen.

Der erste Engpaß trat 1971 in der 3. Woche auf, und zwar zwischen dem 18. und dem 25. Mai. Er ist hauptsächlich auf das Maximum des Frühjahrswachstums zurückzuführen. Der Einschnitt in der Verteilung der Trocknerstunden mit der 6. Woche ist auf das Zusammenfallen mit der Heuernte zu erklären.

Der zweite Engpaß trat 1971 in der 20. Woche nach Trocknungsbeginn auf, und zwar zwischen dem 14. und dem 21. September. Er ist einmal auf das spätsommerliche Maximum des Futterwachstums und zum anderen auf die wesentlich verschlechterten Trocknungsbedingungen für die Heubereitung im September zurückzuführen.

In Abbildung 13 unten wird zusätzlich noch verdeutlicht, daß die Verteilung der Trocknerstunden in bezug auf die Engpässe auch dann gleich bleibt, wenn nur die Wochenmittelwerte von den Anlagen gebildet werden, die getrocknet haben, und die Anlagen, die in dieser Woche nicht getrocknet haben, bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt wurden.

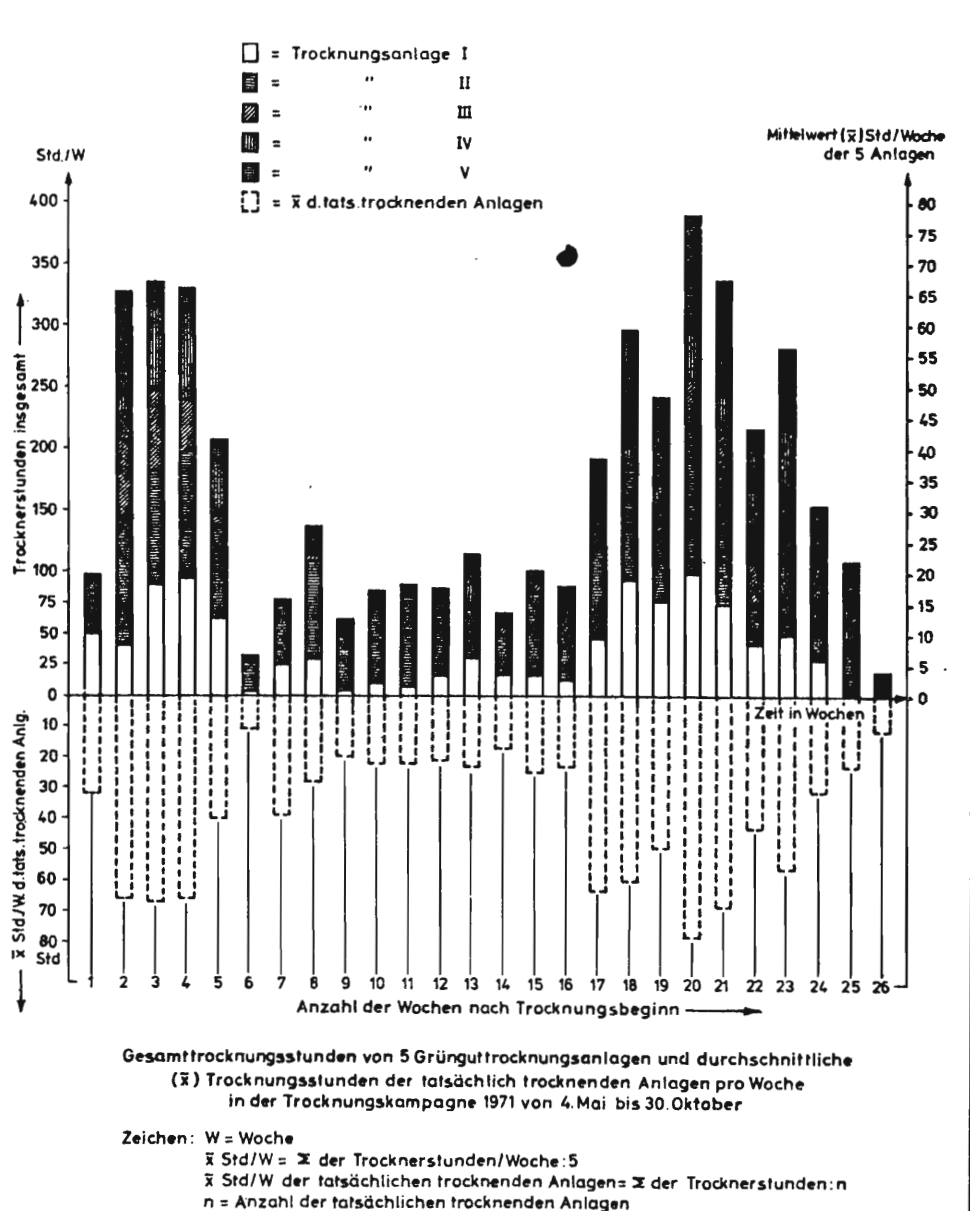


Abbildung 13: Verteilung der Trocknerstunden von 5 Trockenanlagen über 1 Jahr

Um aber festzustellen, ob diese Verteilungsform der Trocknerstunden auch für weitere Jahre zutrifft, wurden die Tageswerte der in Tabelle 9 ausgewiesenen Anlagen der Jahre 1971 - 1973 zur Auswertung herangezogen. Das Ergebnis dieser Auswertung ist in Abbildung 14 dargestellt, und zwar in der Form eines Histogrammes, das mittels Großrechner mit dem Programm ZETRA der Programmbibliothek Landtechnik Weihenstephan (87) erstellt wurde. Alle Trocknungstage wurden als Zeitreihe vom 1. Mai bis 11. November dargestellt. Für jeden Trocknungstag wurde die relative Häufigkeit der Trocknerstunden bestimmt, wobei die 24 Tagesstunden gleich 100 gesetzt wurden.

Bei der Auswertung wurden die Jahre 1971/72/73 auf gleiche Wochentage ausgerichtet, um keine kalenderbedingte Verschiebung der Verteilung der Trocknerstunden zu bekommen. Weiterhin wurde dadurch vermieden, daß bei der Bildung der Mittelwerte zwischen den Jahren ein Arbeitstag auf einen Feiertag fiel, ausgenommen die nicht festen Feiertage.

Zwei Merkmale treten in Abbildung 14 besonders hervor:

1. Im Mittel der 3 Jahre zeigt die Verteilung der Trocknerstunden über der Trocknungskampagne 3 Maxima, die in Tabelle 10 ausgewiesen sind.
2. Aus Abbildung 14 läßt sich ein deutlicher Wochenrhythmus erkennen, der nur dann nicht klar auftritt, wenn über Mitternacht hinaus getrocknet wurde und diese Stunden dem neuen Tag zugeordnet wurden oder wenn an Sonn- und Feiertagen getrocknet wurde. Die oft geringeren Trocknerstunden am Montag gegenüber dem Dienstag deuten auf einen verzögerten Trocknungsbeginn nach einem Sonntag hin.

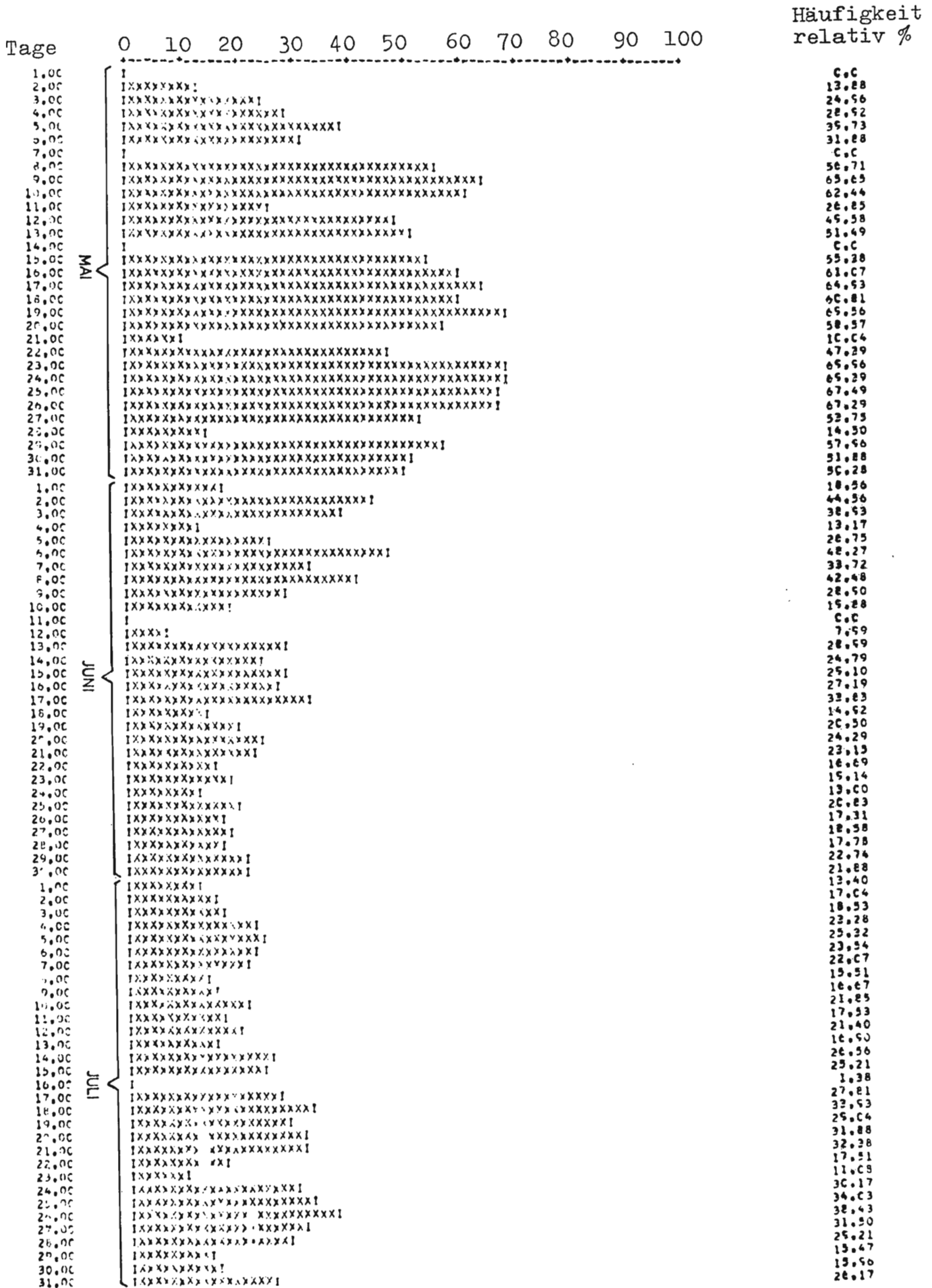


Abbildung 14: Verteilung der Trocknerstunden (Erhebung 1971 - 73)

		relativ %
1.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	34.03
2.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	21.65
3.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	19.60
4.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	24.32
5.00	[XXXXXXXXXXXX]	15.43
6.00	[XXXXXXXXXXXX]	C.C
7.00	[XXXXXXXXXXXX]	12.04
8.00	[XXXXXXXXXXXX]	17.85
9.00	[XXXXXXXXXXXX]	19.86
10.00	[XXXXXXXXXXXX]	14.13
11.00	[XXXXXXXXXXXX]	21.49
12.00	[XXXX]	5.85
13.00	[XXXX]	C.C
14.00	[XXXX]	9.18
15.00	[XXXXXXXXXXXX]	14.65
16.00	[XXXXXXXXXXXX]	13.00
17.00	[XXXXXXXXXXXX]	17.56
18.00	[XXXXXXXXXXXX]	10.22
19.00	[XXXX]	5.38
20.00	[XXXX]	C.C
21.00	[XXXXXXXXXXXX]	19.71
22.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	33.10
23.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	30.57
24.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	34.33
25.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	35.61
26.00	[XXXXXXXXXXXX]	15.38
27.00	[XXXX]	C.C
28.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	30.78
29.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	48.82
30.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	40.67
31.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	42.62
1.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	33.83
2.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	32.68
3.00	[XXXX]	C.C
4.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	34.57
5.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	43.42
6.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	39.74
7.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	33.43
8.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	32.79
9.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	33.76
10.00	[XXXXXXXXXXXX]	13.13
11.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	37.17
12.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	46.50
13.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	58.42
14.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	57.23
15.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	50.44
16.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	27.44
17.00	[XXXX]	C.C
18.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	44.49
19.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	59.87
20.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	58.50
21.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	58.15
22.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	58.67
23.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	39.78
24.00	[XXXXXXXXXXXX]	20.00
25.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	46.56
26.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	46.47
27.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	49.78
28.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	42.36
29.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	50.38
30.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	32.18
1.00	[XXXX]	C.C
2.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	44.29
3.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	50.68
4.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	49.71
5.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	47.36
6.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	40.25
7.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	27.72
8.00	[XXXX]	C.C
9.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	32.17
10.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	43.35
11.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	32.25
12.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	35.07
13.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	27.21
14.00	[XXXXXXXXXXXX]	14.64
15.00	[XXXX]	C.C
16.00	[XXXXXXXXXXXX]	15.71
17.00	[XXXXXXXXXXXX]	18.38
18.00	[XXXXXXXXXXXX]	18.60
19.00	[XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX]	30.67
20.00	[XXXXXXXXXXXX]	13.01
21.00	[XXXXXXXXXXXX]	17.60
22.00	[XXXX]	C.C
23.00	[XXXX]	5.85
24.00	[XXXX]	3.75
25.00	[XXXX]	6.83
26.00	[XXXXXXXXXXXX]	10.04
27.00	[XXXXXXXXXXXX]	16.25
28.00	[XXXX]	8.77
29.00	[XXXX]	C.C
30.00	[XXXXXXXXXXXX]	11.04
31.00	[XXXX]	8.56
1.00	[XXXXXXXXXXXX]	16.88
2.00	[XXXX]	C.C
3.00	[XXXX]	8.33
4.00	[XXXX]	5.58
5.00	[XXXX]	C.C
6.00	[XXXX]	8.13
7.00	[XXXX]	C.C
8.00	[XXXX]	C.C
9.00	[XXXX]	C.C
10.00	[XXXX]	3.33
11.00	[XXXXXXXXXXXX]	10.83

Abbildung 14: Fortsetzung

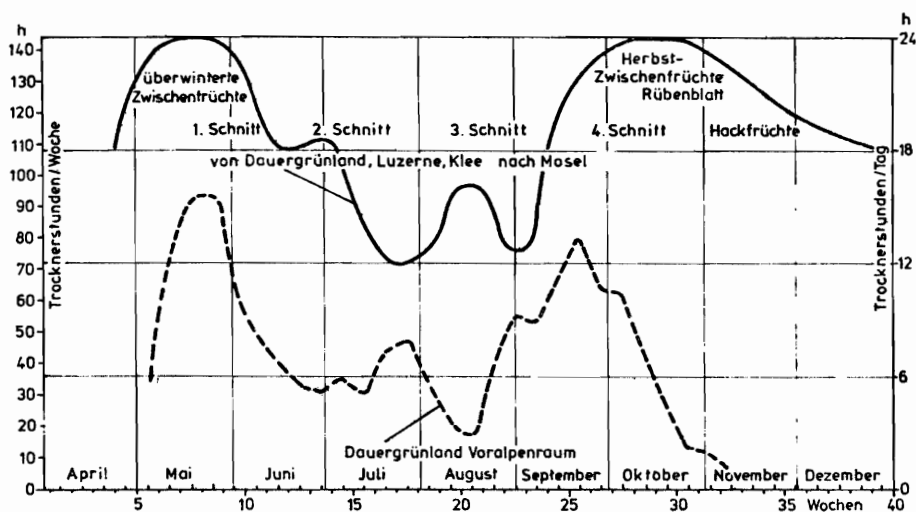
Tabelle 10: Charakterisierung der Verteilung der Trocknerstunden/Tag während der Trocknungskampagne (Auszug aus Abbildung 14)

Monat	relat. Häufigkeit in %	Trocknerstunden/Tag
Mai (23.)	69,96	16,79
Juli (26.)	38,43	9,22
September (20.)	58,50	14,04

Die Maxima der Trocknerstunden/Tag während der Trocknungskampagne liegen zu Beginn oder in der Mitte der 3. Dekade der in Tabelle 9 angegebenen Monate. Das Frühjahrsmaximum ist mit 70 % relative Häufigkeit das größte; es entspricht 16,8 Stunden/Tag und zeigt, daß es nur in 2 Schichten bewältigt werden kann. Im Sommer befindet sich das Maximum bei einer relativen Häufigkeit von 38,4 %, dies entspricht 9,2 Stunden/Tag, wozu eine Trocknungsschicht ausreicht.

An der Verteilung der Trocknerstunden während der Trocknungskampagne ändert sich aber in bezug auf die in der Praxis auftretenden, in Abbildung 14 aufgezeigten Engpässe auch dann nichts, wenn die täglich theoretisch möglichen Trocknerstunden verwendet werden.

Da in der Erhebung (Kap. 3.13) an den Grünfutterheilufttrocknern die genauen Ernteflächen und Schnittzeitpunkte nicht erfaßt werden konnten, kann zu der ermittelten Verteilung der Trocknerstunden die Verteilung der theoretisch möglichen Trocknerstunden nicht gezeigt werden. Es wurde deshalb die Verteilung der theoretisch möglichen Trocknerstunden während der Trocknungskampagne von MOSEL 1954 (73) ausgewählt und in Abbildung 15 dargestellt.



———— = theoretisch mögliche Trocknerstunden nach MOSEL 1954 (73)

----- = Trocknerstunden der Anlagen aus Tabelle 9 (Wochenmittelwerte)

Abbildung 15: Vergleich der Auslastung von Heilufttrocknern für Grünfutter

Diese Verteilung gilt zwar für eine Heilufttrocknungsanlage, die neben Grünfutter auch Hackfrüchte trocknet; sie zeigt aber deutliche Engpässe durch ein Frühjahrs- und ein Herbstmaximum.

In Abbildung 15 wurde neben der Verteilung der theoretisch möglichen Trocknerstunden nach MOSEL die Verteilung der Trocknerstunden in der Praxis (Erhebung 1971 - 73, Anlagen aus Tabelle 9) eingezeichnet. Trotz des unterschiedlich hohen Auslastungsniveaus zeigt sich doch Übereinstimmung bei beiden Kurven in den beiden Engpässen im Frühjahr und im Herbst. Für die weitere Untersuchung, auf welchen Engpaß die Trocknerleistung abzustimmen ist, bilden die Daten aus der Erhebung (Kap. 3.13) die Grundlage.

Die Kalendertage der mittleren Trocknungskampagne und die Trocknungstage werden hierzu als Entscheidungskriterien verwendet. In Tabelle 11 wurden die Trocknungstage (Anlagen aus Tabelle 9) mit den Kalendertagen verglichen. Es wurden für die Jahre 1971/72/73 die Monatssummen der Trocknungstage gebildet und der Mittelwert der Jahre 1971 - 1973 der einzelnen Monatssummen der Trocknungstage errechnet und mit den Monatssummen der Kalendertage der mittleren Trocknungskampagne verglichen; das Ergebnis besteht in der Bestimmung der Ausnutzung der Kalendertage.

In Tabelle 11 treten die Monate Mai und September durch eine hohe Zahl an ausgenutzten Trocknungstagen hervor: der Mai mit 18 Tagen und der September mit 21 Tagen. Diese beiden Monate, die die Engpässe der Trocknerkampagne darstellen, können in bezug auf die absoluten Trocknungstage nicht direkt miteinander verglichen werden, da sie eine unterschiedliche Zahl an Kalendertagen aufweisen. Ein Vergleich der beiden Monate Mai und September hinsichtlich der Ausnutzung der Kalendertage zeigt eine deutlich verbesserte Ausnutzung (78,3 %) der Kalendertage im Mai gegenüber der Ausnutzung der Kalendertage im September (70,0 %). Werden die Sonntage bei den Kalendertagen nicht einbezogen (im Mai 3 Sonntage, im September 4 Sonntage), so vergrößert sich dieser Abstand noch (Mai = 90 % gegenüber September = 81 %).

Tabelle 11: Trocknungstage der bayerischen Grünfütterheilufttrocknungsanlage in den Jahren 1971/72/73

Monat	1971	1972	1973	71-73 Mittel- wert (\bar{x})	Kalen- der- tage	Aus- nutz- ung der Ka- lender- tage in %
Mai	16	22	15	18	23	78,3
Juni	10	11	19	13	30	43,3
Juli	9	10	22	14	31	45,2
August	12	13	10	12	31	38,7
September	22	20	22	21	30	70,0
Oktober	15	9	17	14	24	58,3
November	-	-	1	-	-	-
Summe Mai bis November	84	85	106	92	169	54,4

Der Engpaß in der Trocknungskampagne im Frühjahr ist deshalb wesentlich größer als im Herbst. Verursacht wird dies vor allem durch die Verteilung des Futteraufwuchses (Kap. 3.222). Verstärkt wird der Engpaß im Frühjahr aber noch durch die verschlechterten Witterungsbedingungen. Um dies für die bayerischen Grnftterheilufttrockner nachzuweisen, wurden die Regentage und die regenfreien Tage mit den Kalendertagen der Trocknungskampagne 1972 verglichen. Daraus konnten mit Hilfe der Wetterdaten der Wetterstationen, die den Trocknungsanlagen 05, 07 und 10 (Daten vollständig) am nächsten lagen, die Ergebnisse in Tabelle 12 zusammengestellt werden:

Tabelle 12: Anzahl der Tage mit und ohne Niederschlag während der Trocknungskampagne

Zeitspanne	Tage mit Niederschlag		Ausnutz.d. Kalender- tage in %	Tage ohne Niederschlag		Ausnutz.d. Kalender- tage in %
	Trock- nungs- tage	Kalender- tage	$\frac{\text{Sp.2}}{\text{Sp.3}} \times 100$	Trock- nungs- tage	Kalender- tage	$\frac{\text{Sp.5}}{\text{Sp.6}} \times 100$
Spalte 1	2	3	4	5	6	7
Mai	18	21	85,7	4	7	57,1
Juni	8	18	44,4	7	12	58,3
Juli	10	21	47,6	4	10	40,0
August	4	12	33,3	8	19	42,1
September	6	8	75,0	14	22	63,6
Oktober	1	2	50,0	8	15	53,3
Σ Mai bis Oktober	47	82	57,3	45	85	52,9

Diese Ergebnisse in Tabelle 12 zeigen, vor allem für den Monat Mai, der den Frühjahrsengpaß einschließt, schlechtere Wetterbedingungen als für den Monat September. Im Mai wurden von 28 Kalendertagen 22 als Trocknungstage genutzt, allerdings 18 Tage mit Niederschlag. Im September dagegen wurden von 30 Kalendertagen 20 Trocknungstage genutzt, mit nur 6 Tagen Niederschlag. Diese Zahlen zeigen sehr deutlich, daß der durch den Futteraufwuchs bedingte Engpaß in der Trocknungszeit noch durch den höheren Anteil an Regentagen im Mai gegenüber dem September verstärkt wird. Die Leistung von Grünfütterheißeblufttrocknern ist auf diesen Engpaß auszurichten.

Als nächstes ist zu klären, mit welcher Trocknungszeitspanne während des Frühjahrsengpasses gerechnet werden kann und muß, um den Trocknungsengpaß der Trocknungskampagne im Frühjahr zu bewältigen und somit Überkapazitäten zu vermeiden.

3.232 Bestimmung der Trocknungszeitspanne

Die Trocknungszeitspanne ergibt sich aus der Forderung der Tierernährung an die Futterinhaltsstoffe der Trocken-Grünfütterkonserve. Nach ZIMMER 1970 (132) ist diese Forderung im Stadium des Schossens erfüllt. Für diese sehr kurze Zeitspanne ergeben sich in den Einzugsgebieten der stationären Grünfütterheißeblufttrockner verschiedene Möglichkeiten, die Trocknungszeitspanne zu spreizen, wenn nicht einheitliche Grünlandbestandsverhältnisse vorliegen:

1. Ausnutzung der durch unterschiedliche Höhenlage und Hangneigung bedingten verschiedenen optimalen Schnittzeitpunkte. Mit zunehmender Höhe verkürzt sich die Vegetationszeit; die äußeren Zeichen sind ein verspäteter Zeitpunkt des Rispschiebens (REVAZ et al. 1970 (95), KLAPP 1971 (57), WREDE 1972 (129), CAPUTA et al. 1970 (23)). Dadurch bedingt ergibt sich eine

geringere Weidedauer; dies bedeutet aber auch eine Verkürzung der Trocknungszeitspanne im 1. Schnitt.

2. Beeinflussung des Schnittzeitpunktes durch gezielten Düngereinsatz.
3. Ausdehnung der Trocknungszeitspanne durch Vornutzung und Trocknung älterer Bestände.

Die Trocknungszeitspanne genau zu bestimmen, ist kaum möglich, da zu viele nicht voraussehbare Witterungsfaktoren sie beeinflussen. Eine Möglichkeit sie abzuschätzen, bietet sich aber durch phänologische Beobachtungswerte an, insbesondere wenn diese an Wetterstationen gemacht werden, in deren Umgebung die Trocknungsanlage errichtet werden soll. Der Beginn der Trocknungszeitspanne wird beispielsweise mit dem Beginn des Weideganges gleichgesetzt, wobei unterstellt wird, daß der Weideauftrieb nur bei weidereifen Beständen durchgeführt wird. Da die Weidereife als optimaler Zeitpunkt des Schnittes für die Grünfuttertrocknung gilt, ist es sinnvoll, das phänologische Beobachtungsmerkmal Weidegangbeginn als Beginn der Trocknungszeitspanne zu wählen.

Das Ende der Trocknungszeitspanne ist dann erreicht, wenn die Forderungen der Tierernährung an die Futterinhaltsstoffe nicht mehr erfüllt werden können. Nach ZIMMER 1970 (132) wäre dies der Zeitpunkt des Schossens. Dieses phänologische Merkmal wird aber von den Wetterbeobachtungsstationen nicht erfaßt. Es kann deshalb das Ende der Trocknungszeitspanne nur abgeschätzt werden.

Für den Fall, daß die Trocknungszeitspanne aus wirtschaftlichen Gründen ausgedehnt werden muß, kann die maximale Trocknungszeitspanne bis zum Beginn der Heuernte ausgedehnt werden. Dieser Termin läßt sich dann wieder aus den phänologischen Beobachtungswerten errechnen.

Die Abschätzung der Trocknungszeitspanne soll am Beispiel Weihestephan gezeigt werden. Hierzu wurden die phänologischen Beobachtungswerte Weidegang- und Heuerntebeginn des Deutschen

Wetterdienstes in Weihenstephan von 1968 - 1975 benutzt. Die Werte sind in Tabelle 13 ausgewiesen. Die Zahlenabgaben bedeuten die Tage nach Jahresbeginn. Zudem wurden die statistischen Kenngrößen errechnet. Für den Beginn des Weideganges konnte ein Mittelwert (\bar{x}) von 114 Tagen errechnet werden, d. h. daß am 24. 4. im Durchschnitt in Weihenstephan die Trocknungszeitspanne beginnt.

Tabelle 13: Phänologische Beobachtungswerte zur Bestimmung der Trocknungszeitspanne (Deutscher Wetterdienst Weihenstephan (27))

Jahr	Weidegangbeginn Tage nach Jahresbeginn	Heuerntebeginn
1968	119	-
1969	-	142
1970	117	-
1971	114	138
1972	110	143
1973	121	158
1974	101	146
1975	119	-
Statistische Kenngrößen		
Mittelwert (\bar{x})	114	145
Streuung (s)	7	7,6
Variationskoeffizient (VK %)	6,1	5,2

Für den Beginn der Heuernte konnte ein Mittelwert von 145 errechnet werden, also der 25. 5. Aus der Differenz zwischen Beginn des Weideganges und Beginn der Heuernte ergibt sich für Weihenstephan eine maximale Zeitspanne von 31 Tagen.

Bei einer ausreichend hohen Auslastung (2000 Std./Jahr) wird es nur in wenigen Fällen noch vertretbar sein, die Trocknungszeitspanne bis zum Beginn der Heuernte auszudehnen, die in der Praxis oft bei Ende der Blüte der Hauptbestandsbildner eintritt; es ist deshalb notwendig, andere phänologische Beobachtungsmerkmale für die Bestimmung des Endes der Trocknungszeitspanne heranzuziehen.

Gut eignet sich hierfür der Beginn der Blüte der Hauptbestandsbildner. Handelt es sich um den Wiesenfuchsschwanz als Hauptbestandsbildner, so läßt sich für Weihenstephan eine Trocknungszeitspanne von 21 Tagen ermitteln. Der Wiesenfuchsschwanz blüht in Weihenstephan am 135. Tag des Jahres (Mittelwert 1966 - 1975); dies entspricht dem 15. Mai.

Die Bestimmung der Trocknungszeitspanne durch phänologische Beobachtungsmerkmale hat den Vorteil, daß die gebietspezifischen Klimaverhältnisse berücksichtigt werden können. Da aber diese Zeitspannen durch verschiedene Möglichkeiten ausgedehnt werden können, ist die Leistung der Grünfütterheißlufttrocknung für verschiedene Trocknungszeitspannen darzustellen. Im Einzelfall kann somit die zutreffende Zeitspanne (t) gewählt oder abgeschätzt und die zugehörige Leistung bestimmt werden.

Für die weitere Bestimmung der Durchsatzleistung sind noch die Verlust- oder Feiertage der Trocknungszeitspanne zu berücksichtigen und die Trocknerstunden der Trocknungszeitspanne zu errechnen.

Die Korrektur der Trocknungszeitspanne um die Verlust- oder Feiertage wird in der nachfolgenden Gleichung durchgeführt:

$$t_1 = t - t_{VF} \quad (\text{Tage}) \quad (\text{XXI})$$

t = Trocknungszeitspanne in Tagen

t_1 = korrigierte Trocknungszeitspanne in Tagen

t_{VF} = Verlust- oder Feiertage der Trocknungszeitspanne

Für die Bestimmung der Leistung von Grünfütterheiluft-trocknern ist es notwendig, die Trocknerstunden je Trocknungszeitspanne zu bestimmen. Dies geschieht wie folgt:

$$t_2 = t_1 (d_s - d_v) \quad (\text{Std.}) \quad (\text{XXII})$$

t_2 = Summe der Trocknerstunden der Trocknungszeitspanne

d_s = geplante Trocknerstunden/Trocknungstag

d_v = Verlust an Trocknerstunden/Trocknungstag
(Risikozuschlag)

Nach der Bestimmung der Summe der Trocknerstunden in der Trocknungszeitspanne läßt sich über die Gleichung die notwendige Durchsatzleistung (L_D) bestimmen. Diese ist aber in die notwendige Verdampfungsleistung umzurechnen, um die Vorwelkmöglichkeiten und die damit verbundene notwendige Heizleistung der Trocknungsanlage bestimmen zu können. Zur Klärung dieser Frage wurden die nachfolgend beschriebenen Trocknungsversuche durchgeführt.

4. Berechnung der Verdampfungsleistung unter Berücksichtigung des mittleren Anfangsfeuchtegehaltes des Trocknungsgutes

4.1 Trocknungsversuche

Um den Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes auf die Trocknungslufttemperatur, den Wärmeaufwand und die Leistung des Trockners zu untersuchen, wurden Trocknungsversuche durchgeführt. Mit Hilfe der in diesen Versuchen ermittelten Regressionsgleichungen läßt sich die notwendige Durchsatzleistung (L_D) unter Berücksichtigung des Anfangsfeuchtegehaltes in die notwendige Verdampfungsleistung (L_{WV}) umrechnen.

4.11 Versuchsdurchführung

Die Trocknungsversuche wurden in verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt. Es wurde eine versetzbare Trocknungsanlage eingesetzt. Die Nennleistung des eingesetzten Trockners wird vom Hersteller mit 2,7 t/h Wasserverdampfungsleistung bei $U_1 = 80 \%$ angegeben.

Die für die späteren Aussagen wichtigen Meßgrößen wurden wie folgt bestimmt:

1. Die Versuchsdauer wurde definiert als die Zeit, die zwischen dem Einschalten des Brenners und dem Ausschalten des Brenners lag.
2. Der Ölverbrauch wurde mit Hilfe eines Ölzählers ermittelt, der eine Ablesegenauigkeit von $\pm 0,05$ l aufwies.
3. Das im Versuchszeitraum verarbeitete Grüngut und das erzeugte Trockengut wurden mit einer Radlastwaage (Ablesegenauigkeit ± 10 kg) oder mit einer Fuhrwerkswaage (Ablesegenauigkeit $\pm 0,5$ kg) gewogen.
4. Der Anfangsfeuchtegehalt (U_1) des Grüngutes und der Endfeuchtegehalt (U_2) des Trockengutes wurden folgendermaßen bestimmt:

Je Charge wurden drei Probedosen mit ca. 200 g Substanz gefüllt und gewogen. Nach anschließender Dehydratation im Trockenschrank bei 105°C und 24 h Verweildauer, wurden sie wieder zurückgewogen. Aus der Gewichts-differenz wurde der Feuchtegehalt errechnet.

5. Die Trocknungsbedingungen des Trockners (Armaturen) wurden durch das Ablesen der Trocknungslufttemperatur, der Ablufttemperatur des Endfeuchtegehaltes und der Preßkraft der Strangpresse in festgelegten Zeitabständen notiert oder aber mit schreibenden Meßgeräten festgehalten.

4.12 Ergebnisse

Es wurden 35 Trocknungsversuche durchgeführt und zur Auswertung für die Bestimmung der Trocknerleistung verwendet. In Tabelle 14 wurden die mittleren Leistungsdaten und ihre statistischen Kenngrößen dargestellt, um die gesamten Trocknungsversuche zu charakterisieren.

Die hohen Variationskoeffizienten der Grüngutmenge/Tag und des Ölverbrauches/Tag lassen sich auf die unterschiedlich lange Dauer der einzelnen Versuche zurückführen. Die Versuchsdauer wiederum wurde auf die Bedürfnisse der Praxis abgestimmt. Die übrigen in Tabelle 14 ausgewiesenen Größen schwankten weit weniger stark, so daß über die Regressionsanalyse die nachfolgend beschriebenen Abhängigkeiten deutlich gemacht werden konnten. Diese bei der versetzbaren Trocknungsanlage gefundenen Zusammenhänge treten sicherlich ähnlich bei den stationären Graströcknungsanlagen auf, so daß die hier gefundenen Ergebnisse übertragen werden können.

Tabelle 14: Leistungsdaten und ihre statistischen Kenngrößen
(Trocknungsversuche mit einer versetzbaren Trocknungsanlage 1973)

Bezeichnung der Kenngrößen	Anzahl der Bilanzversuche n	Mittelwert \bar{x}	Streuung s	Variationskoeffizient VK %
Trocknungszeit in Std./Tag	35	6,51	3,48	53,42
Trocknungslufttemp. (ν_{LW}) in °C	35	854,00	110,00	12,93
Ablufttemperatur (ν_{LA}) in °C	35	120,00	6,00	5,19
Anfangsfeuchtegeh. (U_1) in %	35	76,89	5,07	6,59
Endfeuchtegehalt (U_2) in %	35	13,95	2,89	20,68
Grüngut in t/Tag	35	17,05	10,62	62,27
Ölverbrauch in l/Tag	35	1201,70	752,20	62,59
Wasserverdampfungsleistung in t/Std.	35	1,89	0,463	24,53
spez. Wärmeaufwand in kJ/kg H ₂ O	35	3473,00	381,00	10,91

4.121 Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes auf die Trocknungs- lufttemperatur

Der Anfangsfeuchtegehalt beeinflusst sehr stark die Trocknerleistung (SPRENGER 1955 (108), MALTRY 1969 (70), TACK 1971 (114), MOSEL 1954 (74), HONIG et al. 1973 (46), SCHNEIDER 1973 (105)). Die Änderung der Trocknerleistung durch unterschiedliche Anfangsfeuchtegehalte wird in der Praxis der GrünfütterheiBlufttrockner über eine Veränderung des Öldurchsatzes (SCHNEIDER 1970 (104)) erreicht. Der Öldurchsatz aber bestimmt die Höhe der Trocknungslufttemperatur.

Die Bedeutung der Höhe der Trocknungslufttemperatur liegt vor allem in der Beeinflussung der Gutsqualität (KIRCHGESSNER et al. 1975 (56 b)), insbesondere der Verdaulichkeit des Rohproteins (gemessen in vivo) bei hohen Trocknungslufttemperaturen und niederen Anfangsfeuchtegehalten.

Im Gegensatz zum Einfluß der Höhe der Ablufttemperatur auf die Verdaulichkeit des Rohproteins (PRYM 1971 (88)) lagen bis vor kurzem keine genauen Zahlen über den Einfluß der Höhe der Trocknungslufttemperatur auf die Gutsqualität vor. Um diese Frage genauer zu untersuchen, wurden Trocknungsversuche durchgeführt, in denen sowohl die Trocknungslufttemperatur als auch der Anfangsfeuchtegehalt variiert wurden. Die Trocknungsversuche wurden, wie in Kapitel 4.11 beschrieben, durchgeführt. Die Gutsqualität wurde vom Institut für Tierernährung der TUM-Weihenstephan untersucht. Die Ergebnisse aus den Trocknungsversuchen sind in Tabelle 15 zusammengestellt.

Tabelle 15: Abhängigkeit der Rohproteinverdaulichkeit von den Trocknungsbedingungen

Trocknungs- versuch vom Untersuchungs- material	Trocknungsbedingungen				Rohproteinverdaulichkeit	
	Trocknungs- lufttemp. \checkmark LW in °C	Abluft- temperatur \checkmark LA in °C	Feuchtegehalte in %		in %	relativ
			U ₁	U ₂		
Spalte 1	2	3	4	5	6	7
17. 5. 1973						
Frischgut	-	-	-	-	83,1	100,0
Brikett	607	130	80,88	15,78	77,4	93,1
"	849	128	80,33	14,05	72,8	87,6
"	1000	123	80,33	11,20	69,8	84,0
"	600	120	61,41	8,36	73,1	88,0
"	800	131	65,78	9,37	64,6	77,7
"	975	132	65,78	10,72	62,6	75,3
13. 8. 1974						
Frischgut	-	-	-	-	65,5	100,0
Brikett	332	103	78,72	18,13	62,8	95,6
"	485	109	79,58	14,44	63,0	96,2
"	748	122	82,15	12,33	58,4	89,2
"	313	105	66,88	16,43	62,8	95,6
"	483	117	66,12	14,77	55,8	85,2
"	723	124	65,39	10,83	48,1	73,4
"	270	114	52,39	14,69	65,0	99,2
"	353	109	57,26	14,06	63,1	96,3
"	500	121	59,22	10,70	54,5	83,2
"	620	129	53,61	8,61	48,8	74,5

In dieser Tabelle zeigt sich die Senkung der Verdaulichkeit des Rohproteins mit ansteigenden Trocknungslufttemperaturen. Die Senkung der Verdaulichkeit wird in den weiteren Betrachtungen einer Senkung der Gutsqualität (KIRCHGESSNER et al. 1975 (56 b)) gleichgesetzt. Weiterhin zeigt Tabelle 15 deutliche Unterschiede in der Verdaulichkeit des Rohproteins des Frischgutes zwischen den beiden Trocknungsversuchen auf, im Trocknungsversuch vom 17. 5. 1973 83,1 % gegenüber 65,5 % am 13. 8. 1974. Um die Unterschiede in der Verdaulichkeit des Frischgutes bei Untersuchung der Trocknungslufttemperatur in bezug auf die Verdaulichkeit des Rohproteins auszuschließen, wurden die Verdaulichkeitswerte der Frischgutproben gleich 100 gesetzt und die Verdaulichkeit des Rohproteins der Brikkettproben relativ zu den Frischgutproben errechnet (Tabelle 15, Spalte 7). Die relativen Werte der Rohproteinverdaulichkeiten bei den Trocknungsversuchen zeigen nun eine gute Übereinstimmung und lassen sich statistisch zusammenfassen.

Um den Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes auf die Rohproteinverdaulichkeit in Abhängigkeit von der Trocknungslufttemperatur zeigen zu können, war es notwendig, verschiedene Gruppen des Anfangsfeuchtegehaltes zu bilden. Da in den Trocknungsversuchen verschiedene Vorwelkstufen (Anfangsfeuchtegehalte) eingeplant waren, bereitete es keine Schwierigkeiten, die Anfangsfeuchtegehalte nach den Vorwelkstufen zu gruppieren. Bei der Auslegung der Ergebnisse ist allerdings zu beachten, daß im ersten Versuch die dritte Vorwelkstufe mit einem Anfangsfeuchtegehalt von unter 60 % nicht gefahren wurde.

In Abbildung 16 kann die Verdaulichkeitsminderung des Rohproteins in Abhängigkeit von der Trocknungslufttemperatur für 3 Vorwelkstufen gezeigt werden.

Vorwelkstufen	Anfangsfeuchtegehalt	
	Mittelwert	Gruppenbreite
1	80,3 %	78,72 % - 82,15 %
2	65,2 %	61,41 % - 66,88 %
3	55,6 %	52,39 % - 59,22 %

Die geringe Zahl der Wertepaarre in Abbildung 16 bei der Regressionsanalyse ist auf die geringen Versuchskapazitäten bei Tierversuchen zurückzuführen.

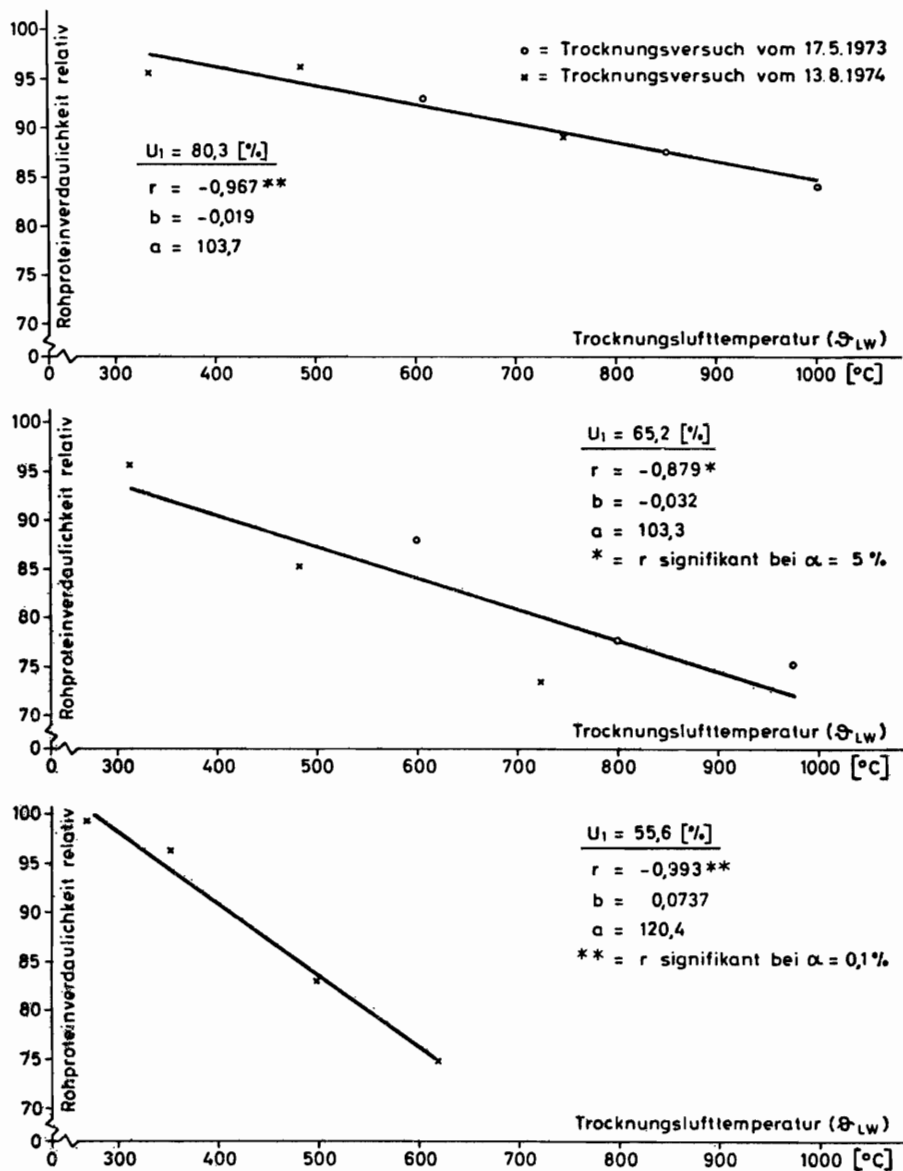


Abbildung 16: Einfluß der Trocknungslufttemperatur (ϑ_{LW}) auf die Rohproteinverdaulichkeit bei unterschiedlichen Anfangsfeuchtegehalten (U_1)

In Abbildung 16 zeigt sich, daß die Minderung der Rohproteinverdaulichkeit mit ansteigenden Werten der Trocknungslufttemperatur parallel geht (WIENEKE 1972 (127)). Die Minderung

der Rohproteinverdaulichkeit wird durch die negativen, signifikanten Korrelationskoeffizienten noch verdeutlicht. Die Beziehung zwischen der Minderung der Rohproteinverdaulichkeit und der Höhe der Trocknungslufttemperatur ist durch einen linearen Ansatz hinreichend erklärt.

Die zunehmende Verdaulichkeitsminderung des Rohproteins mit ansteigender Trocknungslufttemperatur und abnehmenden Anfangsfeuchtegehalten läßt sich insbesondere an den zunehmenden Regressionskoeffizienten (b) erkennen, die von 0,019 bei einem Anfangsfeuchtegehalt von 80,3 % auf 0,0737 bei einem Anfangsfeuchtegehalt von 55,6 % ansteigen. Die bisher dargestellten, abgesicherten Ergebnisse zeigen deutlich die Beeinflussung der Gutsqualität durch die Höhe der Trocknungslufttemperatur in Abhängigkeit vom Anfangsfeuchtegehalt. Läßt die geringe Zahl der Versuchsergebnisse auch nicht zu, für jeden Anfangsfeuchtegehalt die optimale Höhe der Trocknungslufttemperatur gesichert anzugeben, so lassen sich doch - bis eine größere Zahl an Versuchsergebnissen vorliegt - für die Praxis brauchbare Anhaltswerte ableiten.

Hierzu werden die Regressionsgleichungen aus Abbildung 16 nach der Verdaulichkeit des Rohproteins (relativ) aufgelöst. Für die 3 Vorwelkstufen konnten somit für verschiedene Verdaulichkeitsminderungen des Rohproteins die entsprechenden Trocknungslufttemperaturen errechnet und in Tabelle 16 dargestellt werden.

Bei einem Anfangsfeuchtegehalt von 80,3 % dürfte die Trocknungslufttemperatur 459°C nicht überschreiten, wenn eine Verdaulichkeitsminderung des Rohproteins (relativ) von 5 Einheiten in Kauf genommen wird. Darf die Verdaulichkeitsminderung 10 Einheiten betragen, so kann bei dem umseitigen Anfangsfeuchtegehalt eine Temperatur von 722°C eingestellt werden.

Tabelle 16: Einfluß der Trocknungsluft (\mathcal{V}_{LW}) auf die Rohproteinverdaulichkeit bei unterschiedlichen Anfangsfeuchtegehalten

x = Trocknungslufttemperatur (\mathcal{V}_{LW}) in °C;

y = Rohproteinverdaulichkeit (relativ)

Regressionsgleichung aufgelöst nach x	Anfangsfeuchtegehalt U_1 in %	Trocknungslufttemperatur (\mathcal{V}_{LW}) in °C bei einer Minderung der Rohproteinverdaulichkeit (relativ) von			
		5	10	15	20
Einheiten					
$x = \frac{103,72 - y}{0,019}$	80,3	459	622	985	1248
$x = \frac{103,27 - y}{0,032}$	65,2	258	415	571	727
$x = \frac{120,43 - y}{0,074}$	55,6	344	411	479	546

Die abgeleiteten Anhaltswerte in Tabelle 16, die als eine vorläufige Möglichkeit anzusehen sind, sollen, in einem Diagramm in Abbildung 17 dargestellt, der Praxis dienen.

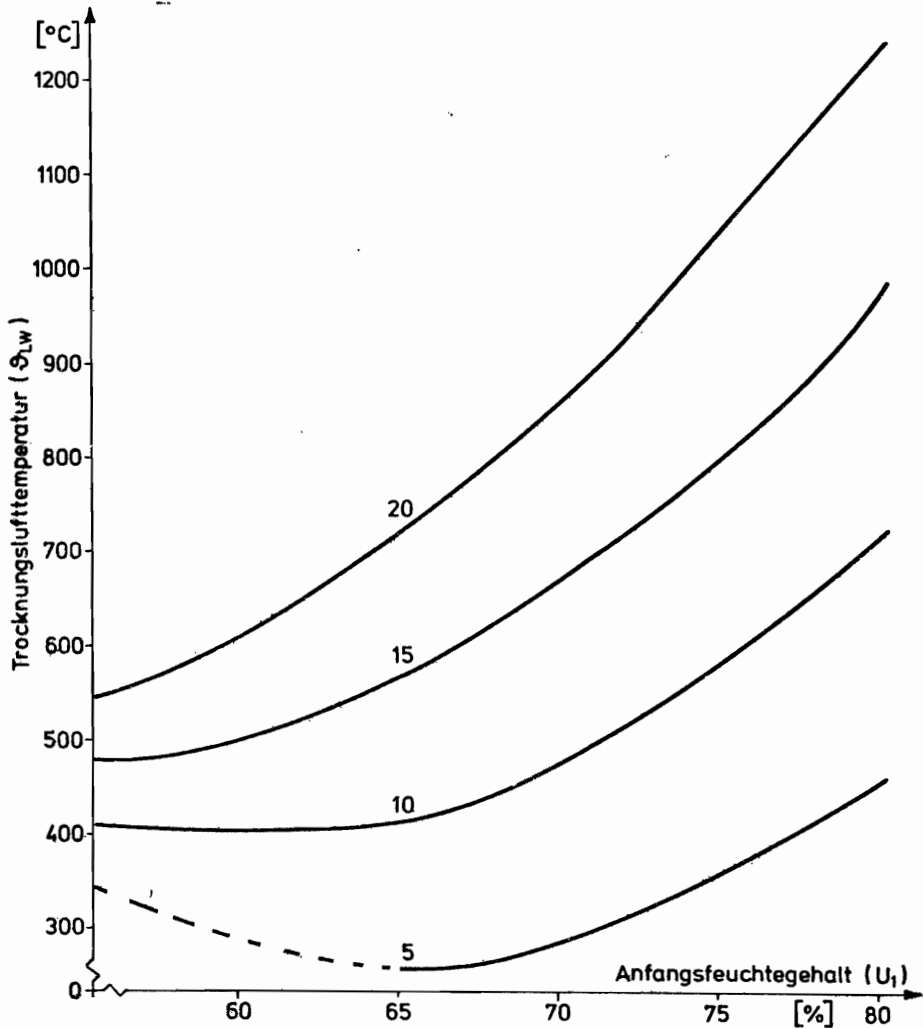


Abbildung 17: Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes (U_1) auf die Trocknungslufttemperatur (t_{LW}) unter Berücksichtigung der Rohproteinverdaulichkeitsminderung (relativ)

Aus Abbildung 17 lassen sich so für verschiedene Anfangsfeuchtegehalte die zugehörigen Trocknungslufttemperaturen ablesen bei unterschiedlichen Rohproteinverdaulichkeitsminderungen. Für den Anfangsfeuchtegehaltsbereich von 65,2 % und 80,3 % lassen sich die zugehörigen Trocknungslufttemperaturen noch sicher bestimmen, da hier 2 Trocknungsversuche durchgeführt wurden. Die Empfehlungen für den Bereich unter 65,2 % sind vorsichtig zu gebrauchen, da hier nur ein Trocknungsversuch vorliegt und die Verdaulichkeitsbestimmung stark schwankt, vor allem in den unteren Temperaturbereichen, wie an der Kurve für 5 Einheiten in Abbildung 17 deutlich wird, die unter 65,2 % Anfangsfeuchtegehalt eine ansteigende Temperatur zeigt. Eine Aussage über die untere Grenze der Trocknungslufttemperatur bei niederen Anfangsfeuchtegehalten kann deshalb nicht gemacht werden, sie muß durch weitere Trocknungsversuche mit anschließender Verdaulichkeitsbestimmung des erzeugten Trockengutes im Tierversuch bestimmt werden. Begrenzt die Trocknungslufttemperatur indirekt über die Gutsqualität in Abhängigkeit vom Anfangsfeuchtegehalt die Trocknerleistung, so bestimmt der Anfangsfeuchtegehalt direkt über die notwendig zu verdampfende Wassermenge und dem hierzu notwendigen Wärmeaufwand die Trocknerleistung.

4.122 Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes auf den Wärmeaufwand (Q)

Die Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung ist nur unter Berücksichtigung des Anfangsfeuchtegehaltes des Trocknungsgutes durchzuführen. Es wurde deshalb in den in Tabelle 14 charakterisierten Trocknungsversuchen die Abhängigkeit der notwendigen Verdampfungsleistung vom Anfangsfeuchtegehalt des Trocknungsgutes untersucht. Der Anfangsfeuchtegehalt schwankte zwischen 85,1 % und 64,9 %. Der Endfeuchtegehalt lag im Mittel bei 14 %.

Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse konnte der funktionale Zusammenhang zwischen Anfangsfeuchtegehalt und Verdampfungsleistung nicht abgesichert werden. Der Zusammenhang läßt sich aber rechnerisch über den spezifischen Wärmeaufwand, insbesondere über den spezifischen Wärmeaufwand (Q_1) je kg Trockengut darstellen. Die statistische Aufbereitung der Versuchsergebnisse über die Regressionsanalyse erbrachte den signifikanten Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes auf den spezifischen Wärmeaufwand je kg Trockengut. Der Kurvenverlauf kann in Übereinstimmung mit TACK 1974 (114 b) und RATSCHOW 1974 (92) durch eine Gleichung 2. Grades erklärt werden.

Der spezifische Wärmeaufwand Q_1 läßt sich in Abhängigkeit vom Anfangsfeuchtegehalt somit durch die nachfolgende Regressionsgleichung beschreiben:

$$y = (1,72997 - 0,0512 x + 0,00042 x^2) 35.983 \text{ (kJ/kg)} \quad (\text{XXIII})$$

y = spezifischer Wärmeaufwand Q_1 in kJ/kg Trockengut

x = Anfangsfeuchtegehalt U_1 in %

Hierbei konnte ein Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,866$ gefunden werden. Dies bedeutet, daß 86,6 % der Gesamtstreuung aus der Veränderung des Anfangsfeuchtegehaltes durch die Schätzfunktion erklärt (SACHS 1972 (102)) werden kann. In Abbildung 18 ist die Abhängigkeit des spezifischen Wärmeaufwandes Q_1 (kJ/kg TG) vom Anfangsfeuchtegehalt dargestellt.

Es wird deutlich, daß durch die Verminderung des Anfangsfeuchtegehaltes von 85 % auf 75 % der spezifische Wärmeaufwand je kg Trockengut von 14.841 kJ/kg TG auf 9.084 kJ/kg TG sinkt. Das entspricht einer Ersparnis an Energie von 38,8 %. Sinkt der Anfangsfeuchtegehalt auf 65 %, so werden 57,2 % an Energie eingespart. Ein Vorwelken von 85 % U_1 auf 75 % U_1 bringt aber eine weit größere Energieersparnis als ein Vorwelken von 75 % U_1 auf 65 % U_1 , das nur noch 18,4 % erbringen würde. Aus dem

Wärmeaufwand je kg Trockengut (Q_1) läßt sich über den notwendigen Wasserentzug je kg Trockengut der spezifische Wärmeaufwand Q_2 je kg verdampftes Wasser errechnen:

$$y = \frac{100-x}{x-14} \cdot (1,72997 - 0,0512 x + 0,00042 x^2) 35983 \text{ (kJ/kg)}$$

(XXIV)

y = spezifischer Wärmeaufwand Q_2 in kJ/kg Wasser

x = Anfangsfeuchtegehalt U_1 in %

Auch der spezifische Wärmeaufwand (Q_2) je kg Wasser wurde in Abbildung 18 einbezogen.

So tritt in Abbildung 18 die Zunahme des spezifischen Wärmeaufwandes (Q_2) je kg Wasser, rechte Ordinatenenseite, mit sinkendem Anfangsfeuchtegehalt deutlich hervor, zum Beispiel von 3.134 kJ/kg auf 3.724 kJ/kg Wasser, wenn der Anfangsfeuchtegehalt von 85 % auf 75 % sinkt. Den Haupteinfluß darauf haben (MALTRY 1974 (69)) die Trocknungslufttemperatur (ϑ_{LW}) und die Höhe der Ablufttemperatur (ϑ_{LA}). Der funktionale Zusammenhang zwischen Anfangsfeuchtegehalt und spezifischem Wärmeaufwand (Q_2) je kg Wasser konnte aus dem vorliegenden Datenmaterial statistisch nicht abgesichert werden.

Der spezifische Wärmeaufwand (Q_1) je kg Trockengut in Abhängigkeit vom Anfangsfeuchtegehalt des Trockengutes ermöglicht es, über die notwendige Trockengutdurchsatzleistung die notwendige Wärmemenge zu bestimmen.

Die notwendige Wärmemenge Q läßt sich wie folgt berechnen:

$$Q = TG_D \cdot 100 Q_1 \text{ (kJ/h)}$$

(XXV)

Q = notwendige Wärmemenge (kJ)

TG_D = notwendige Durchsatzleistung in dt/h

Q_1 = spezifischer Wärmeaufwand in kJ/kg

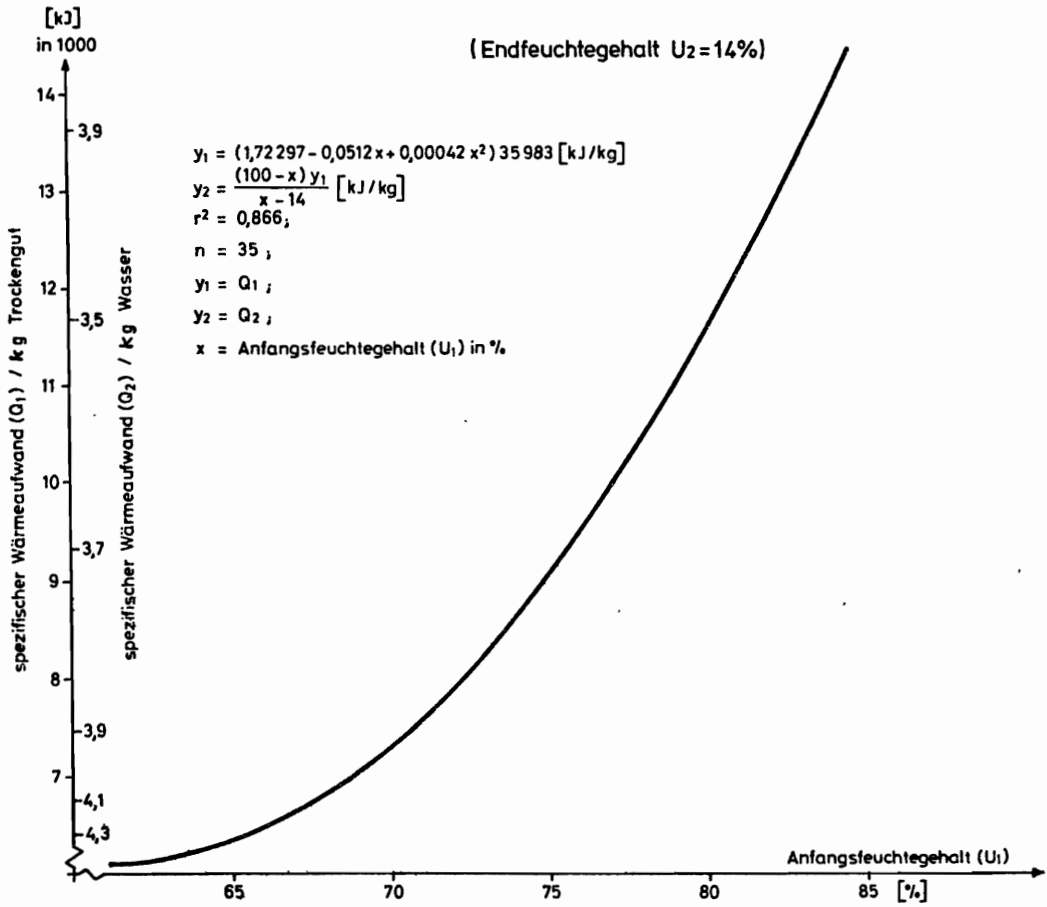


Abbildung 18: Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes (U_1 %) auf den spezifischen Wärmeaufwand (Endfeuchtegehalt $U_2 = 14$ %)

Für die Errechnung der notwendigen Verdampfungsleistung ist es erforderlich, die Heizleistung je Stunde, ausgedrückt durch den Öldurchsatz, in Abhängigkeit vom Anfangsfeuchtegehalt zu bestimmen. Die Auswertung der durchgeführten Versuche zur Ermittlung des Einflusses des Feuchtegehaltes auf den Öldurchsatz mittels nicht-linearer Regressionsanalyse ergibt den in Abbildung 19 dargestellten Zusammenhang.

Der Öldurchsatz gilt hierbei für eine von den Herstellern garantierte Verdampfungsleistung von 2,7 t/h bei einem Anfangsfeuchtegehalt von $U_1 = 80 \%$.

Der Gleichungsansatz

$$y = 10^{1,2653} + 0,01271 x \quad (1/h) \quad (XXVI)$$

y = Öldurchsatz in l/h

x = Anfangsfeuchtegehalt U_1 in %

ergab ein Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,531$. Der Öldurchsatz, mit dem unteren Heizwert (H_u) von leichtem Heizöl multipliziert, ergibt die Heizleistung (Q_0) in kJ/h.

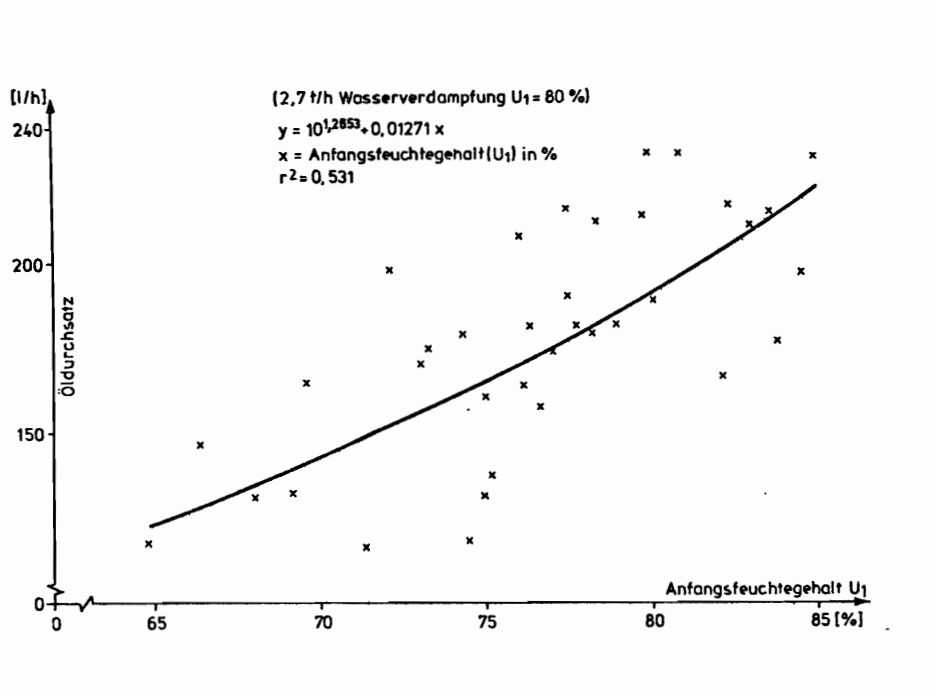


Abbildung 19: Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes auf den Öldurchsatz

In Tabelle 17 wurden die Ergebnisse der in Abbildung 18 und Abbildung 19 aufgezeigten Regressionen zusammengefaßt.

Tabelle 17: Einfluß des Anfangsfeuchtegehaltes auf den spezifischen Wärmeaufwand und die Heizleistung (Beispiel versetzbare Trocknungsanlage mit einer Nennleistung von 2,7 t/h Wasserverdampfung)

Anfangsfeuchte- gehalt U_1 in %	spez. Wärmeaufwand in kJ/kg		Heizleistung Q_0 in kJ/h in 1000
	TG (Q_1)	Wasser (Q_2)	
65	6351	4360	440,33
70	7339	3933	5142,01
75	9084	3724	5951,63
80	11586	3510	6887,20
85	14841	3134	8006,28

Die Ergebnisse in Tabelle 17 zeigen, daß ansteigende Anfangsfeuchtegehalte neben dem oben diskutierten Einfluß auf den spezifischen Wärmeaufwand vor allem ein Ansteigen der Heizleistung mit sich bringen. So steigt die Heizleistung von 5 951,630 kJ/h bei einem U_1 von 75 % auf 8 006,280 kJ/h bei einem U_1 von 85 % bei der unterstellten Anlage.

Wird die notwendige Wärmemenge Q auf die Nennleistung von 1 t/h Wasserverdampfung bezogen, ergibt sich die notwendige Verdampfungsleistung. Um dies zu ermitteln, muß die Regressionsgleichung XXVI, die für die Wasserverdampfung von 2,7 t/h gilt, auf 1 t/h Wasserverdampfung bezogen werden.

Die Gleichung lautet dann:

$$y = 10^{0,8338 + 0,01271 \cdot x} \cdot 35983 \quad (\text{kJ/h}) \quad (\text{XXVII})$$

y = Heizleistung Q_0 bezogen auf die Nennleistung von 1 t Wasserverdampfung/h

x = Anfangsfeuchtegehalt U_1 in %

Die durch die Trocknungsversuche ermittelte Gleichung XXVII zur Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung enthält als unabhängige Variable den Anfangsfeuchtegehalt des Trocknungsgutes. Die Bestimmung der notwendigen Leistung von Grünfutterheilufttrocknern erfordert aber die Kenntnis des durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehaltes des während der Trocknungszeitspanne (Kapitel 3.232) zu erwartenden Trocknungsgutes.

4.2 Ermittlung des durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehaltes

Der durchschnittliche Anfangsfeuchtegehalt (\bar{U}) der Trocknungszeitspanne ist stark von der vorherrschenden Witterung abhängig. Mit dem durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehalt läßt sich die notwendige Verdampfungsleistung auf die jeweiligen Klimabedingungen abstimmen. Zunächst geht die Untersuchung des Einflusses der Niederschläge und der Evapotranspiration auf die Zahl und die Verteilung der Trocknerstunden voraus. Dieser Untersuchung folgt die Ermittlung des durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehaltes des angelieferten Trocknungsgutes an bayerischen Grnfutterheilufttrocknungsanlagen in Abhängigkeit von den Niederschlägen. Der durchschnittliche Anfangsfeuchtegehalt (\bar{U}_{NS}) an Tagen mit Niederschlag bildet ein erstes Teilergebnis.

Das nächste Teilergebnis bildet die Ermittlung des durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehaltes ($\bar{U}_{NS\text{-frei}}$) an niederschlagsfreien Tagen, die sich auch für das Vorwelken eignen. Dieser Anfangsfeuchtegehalt wird mit einer Gleichung ermittelt, die den funktionalen Zusammenhang zwischen Trocknungsmglichkeiten und erzielbarem Anfangsfeuchtegehalt berücksichtigt. Aus dem durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehalt \bar{U}_{NS} und $\bar{U}_{NS\text{-frei}}$ läßt sich der durchschnittliche Anfangsfeuchtegehalt \bar{U} in der Trocknungszeitspanne berechnen.

4.21 Einfluß der Niederschläge auf die Zahl der Trocknerstunden in der Praxis

Die Frage nach der Witterungsabhängigkeit des Verfahrens Grünfutterheißlufttrocknung in der bisherigen Trocknungspraxis soll durch die nachfolgende Untersuchung geklärt werden, vor allem der Einfluß der Niederschläge auf die Zahl der Trocknerstunden. Dieser Untersuchung wurden die Daten der Erhebung 1971-73 (Kap. 3.13) zugrunde gelegt. Es wurden alle Anlagen und alle Jahre, an denen Tagesdaten ermittelt werden konnten, zur Auswertung herangezogen. Die Auswertung erfolgte mit dem Programm "Häufigkeitsverteilung" (REINER 1972 (94)) des Instituts für Pflanzenbau am IBM-360-Rechner in Garching.

Das Merkmal Niederschlagshöhe wurde für die Gruppenbildung herangezogen. Es wurden 10 Gruppen gebildet, wobei die Gruppenbreite 2 mm Niederschlagshöhe betrug. Jeder Trocknungstag wurde so einer Gruppe der Niederschlagshöhe zugeordnet. Weiterhin wurden der Mittelwert und die Streuung der Trocknerstunden/Trocknungstag und der Niederschlagshöhe der einzelnen Gruppen errechnet. Zusätzlich wurde die Summe aller Trocknerstunden und Trocknungstage innerhalb einer Gruppe gebildet. Die Ergebnisse wurden in Tabelle 18 zusammengestellt.

Aus den in Tabelle 18 dargestellten Ergebnissen läßt sich der Einfluß der Höhe der Niederschläge in Millimeter pro Tag nur andeuten, nicht aber nachweisen, da die Streuungen in Spalte 4 größer sind als die Unterschiede der Mittelwerte zwischen den einzelnen Gruppen. Während der Mittelwert (3 Jahre) der Trocknerstunden/Tag an regenfreien Tagen über die gesamte Trocknungskampagne bei 11,7 Std./Tag liegt, steigt er auf 14,03 Std./Tag in der Gruppe der Niederschlagshöhe von 0,3 bis 2,3 mm/Tag. Dies deutet darauf hin, daß in der Praxis bei diesen geringen Regenmengen umfangreich getrocknet wird. Mit jeder weiteren Erhöhung der Niederschläge/Tag sinken die Trocknerstunden pro Tag geringfügig bis in die Gruppe 7 ab.

Tabelle 18: Einfluß der Höhe der Niederschläge auf die Trocknerstunden/Tag

Gruppe	Gruppengrenzen Niederschlag in mm/Tag	Trockn.Std./Tag Mittelwert (\bar{x})	Streuung (s)	Summe d. Tr.Std./ Gruppe	Summe d. Tr.Tage/ Gruppe	Niederschl.Höhe in mm/Tag Mittelwert (\bar{x})	Streuung (s)
Spalte 1	2	3	4	5	6	7	8
1	$\leq 0,3$	11,70	6,05	11.888	1016	0,01	0,04
2	0,3 - 2,3	14,03	6,85	4.173	291	1,01	0,55
3	2,3 - 4,3	13,04	6,57	2.041	157	3,22	0,55
4	4,3 - 6,3	12,26	6,46	1.214	99	5,21	0,62
5	6,3 - 8,3	12,56	7,07	867	69	7,21	0,51
6	8,3 - 10,3	11,80	6,71	554	47	9,27	0,61
7	10,3 - 12,3	11,44	7,09	572	50	11,21	0,67
8	12,3 - 14,3	12,21	7,27	391	32	13,17	0,46
9	14,3 - 16,3	12,49	7,17	412	33	15,07	0,58
10	$> 16,3$	12,36	5,97	1.286	104	26,57	11,40

Hinzu kommt, daß die Zahl der Trocknungstage (Spalte 6) mit zunehmender Höhe der Niederschläge (Spalte 7) pro Tag abnimmt. Die höhere Zahl der Trocknungstage in Gruppe 10 ist auf die größere Gruppenbreite zurückzuführen.

Die Höhe des Mittelwertes der Trocknerstunden/Tag von über 10 Std./Tag ist darauf zurückzuführen, daß die Trocknungsanlage, wenn sie einmal in Betrieb genommen wurde, eine Schicht durchgefahren wird.

Bei den Ergebnissen in Tabelle 18 blieb der Wachstumsverlauf auf dem Grünland unberücksichtigt; eine Überlagerung des Einflusses der Niederschläge auf die Trocknerstunden ist nicht auszuschließen. Es wird deshalb der Zusammenhang zwischen Wachstumsverlauf und Trocknerstunden untersucht.

4.22 Die potentielle Evapotranspiration als Wachstumsparameter

Hinweise in der Literatur wiesen die potentielle Evapotranspiration (E_{pot}) als geeigneten Wachstumsparameter aus (PUECH et al. 1968 (89), THORNTHWAITE 1957 (116), PAHL 1968 (83)). Er wird wie folgt definiert:

"Die potentielle Evapotranspiration ist die witterungsabhängige Evapotranspiration eines niederen, gleichmäßig hohen Pflanzenbestandes, von einer gewissen Flächenausdehnung, der den Boden vollständig beschattet, in vollem Wachstum begriffen ist und unter optimaler Wasserversorgung steht." (NETHERL. J. AGRIC. SCI. 1956 zit. in PAHL 1968 (83)).

Die potentielle Evapotranspiration wurde nach THORNTHWAITE 1957 (116) mit folgender Formel berechnet:

$$E_{pot} = 16 d \cdot (10 t_1/I)^a \quad (\text{mm}) \quad (\text{XXVIII})$$

t_1 = Mitteltemperatur der betreffenden Periode

d = Tageslänge in Einheiten von 12 Stunden

I = Wärmeindex mit $I = \sum_{\text{Jan.}}^{\text{Dez.}} i$ mit $i = (t/5)^{1,514}$
(i nach (116))

t = langjähriges Monatsmittel der Temperatur in $^{\circ}\text{C}$

$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239$

Für die Berechnung der einzelnen, in Formel XXVIII einbezogenen Variablen, ist der nachfolgend beschriebene Rechengang notwendig. Der Rechengang wurde nach folgenden Schritten vollzogen:

1. Bestimmung von i

- a) langjährige Monatsmitteltemperatur
- b) Ablesen von i aus Tabelle 2 (116)

2. Bestimmung von I

Die für 12 Monate ermittelten i werden aufsummiert

3. Bestimmung der Evapotranspiration (E_{pot})

- a) Mit Hilfe des gefundenen I und der Mitteltemperatur der jeweiligen Periode läßt sich aus Tabelle 4 (116) die potentielle Evapotranspiration ablesen.
- b) Der aus Tabelle 4 ermittelte Wert muß noch mit der Tageslänge multipliziert werden. Der Wert der Tageslänge wird aus Tabelle 8 (116) für den jeweiligen Breitengrad bestimmt ($^{\circ}\text{N}$). Als geographische Breite wird der Wert der jeweiligen Klimastation eingesetzt.

Die so errechneten Werte der Evapotranspiration wurden tabelliert und im Anhang (Anhangstabelle 20 - 25) ausgewiesen. Das Datenmaterial, das der Untersuchung zugrunde gelegt wurde, waren die Trocknerstunden/Tag von Trocknungsanlagen aus der Erhebung 1971-73. Diesen Trocknerstunden/Tag der einzelnen Anlagen wurden die Werte der potentiellen Evapotranspiration zugeordnet, die von den Wetterstationen ermittelt wurden, die der

Trocknungsanlage am nächsten gelegen waren. Die Anhangstabelle 19 gibt hierüber eine genaue Übersicht. Die der Berechnung der potentiellen Evapotranspiration zugrunde gelegten Daten sind in den Anhangstabellen 20 - 25 ausgewiesen.

Weiterhin wurden die Mittelwerte der Trocknerstunden/Tag und der potentiellen Evapotranspiration (Anhangstabelle 26) aus den verschiedenen Anlagen gebildet und daraus wieder der Mittelwert der Jahre 1971 - 1973. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 20 dargestellt, und zwar wurden hierzu aus den Tagesmittelwerten die Mittelwerte für die einzelnen Monate gebildet.

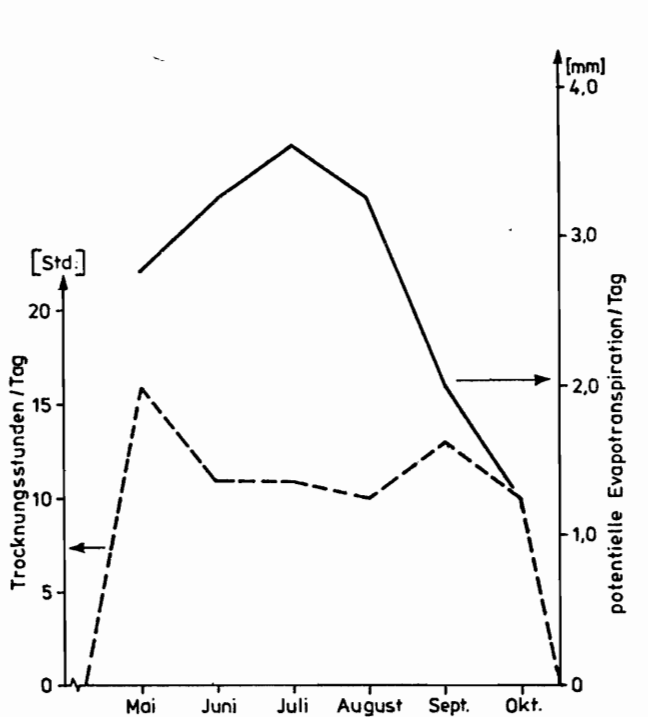


Abbildung 20: Verlauf der Trocknerstunden/Tag und der Evapotranspiration über der Trocknerkampagne

Die in Abbildung 20 dargestellten Ergebnisse deuten darauf hin, daß im Frühjahr mit ansteigender Evapotranspiration als Maß für erhöhte Zuwachsraten in der Praxis die Grünfütterheiße-lufttrocknung verstärkt beansprucht wird, da Silage- und Heu-bereitung nur erschwert durchgeführt werden können.

Die Monate Juni, Juli und August zeigen die niedrigsten Trock-nerstunden/Tag und die höchste potentielle Evapotranspiration. Dies erklärt sich einmal aus der Wachstumsdepression, im Sommer zum Teil bedingt durch die abnehmende Bodenfeuchte (PAHL 1968 (83)), zum anderen aber besonders aus dem Verhalten der Land-wirte, die in diesen Monaten mit besseren Voraussetzungen für die Heu- oder Silagebereitung die Winterfutterbereitung mit diesen Konservierungsverfahren durchführen. Stärker wirkt sich auch bei geringerer Wachstumsintensität der Flächenan-spruch durch Weidegang aus.

Abnehmende E_{pot} -Werte, d. h. abnehmende Wachstumsintensität und zunehmende Trocknerstunden pro Tag bei der Heißlufttrock-nung, kennzeichnen den September. Dies deutet auf wesentlich verschlechterte Konservierungsmöglichkeiten durch die Heu- und Silagebereitung hin. Erst weiter sinkende E_{pot} -Werte bedingen ein Abnehmen der Trocknerstunden pro Tag in der Heißlufttrock-nung. Der Einfluß der Evapotranspiration auf die Trocknerstun-den/Tag aufgrund der Abhängigkeit des Wachstumsverlaufes läßt sich zwar in der Tendenz aufzeigen, konnte aber nicht abge-sichert werden.

Beeinflußt der Wachstumsverlauf im Frühjahr die zu trocknende Menge an Trocknungsgut, so besteht ein Zusammenhang zwischen den Niederschlägen und dem Anfangsfeuchtegehalt des Trocknungs-gutes. Um den durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehalt (\bar{U}) des in der Trocknungszeitpanne anfallenden Trocknungsgutes be-stimmen zu können, ist es notwendig, den Zusammenhang zwischen den Niederschlägen und dem Anfangsfeuchtegehalt näher zu unter-suchen.

4.23 Ermittlung des durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehaltes in Abhängigkeit von den Niederschlägen

Bei der Untersuchung der Abhängigkeit des durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehaltes von den Niederschlägen wurde unterstellt, daß der Anfangsfeuchtegehalt des anfallenden Trocknungsgutes nicht wesentlich vom Wachstumsverlauf während der Trocknungszeitspanne beeinflußt wird.

Der Untersuchung dienten die Daten der Trocknungsanlagen aus der Erhebung 1971-73, bei denen neben den täglichen Aufzeichnungen der Trocknerstunden die verbrauchte Ölmenge und das erzeugte Trockengut notiert wurden. Es waren dies die Trocknungsanlagen 05 (1972 + 1973), 07 und 10 (1972). Aus der verbrauchten Menge an Heizstoff ließ sich der mittlere spezifische Wärmeaufwand (Q_1) je kg Trockengut über das erzeugte Trockengut pro Tag errechnen. Unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des spezifischen Wärmeaufwandes (Q_1) je kg Trockengut vom Anfangsfeuchtegehalt, die mittels Regression in Kapitel 4.122 nachgewiesen wurde, ließ sich durch die Anwendung der gefundenen Regressionsgleichung jedem Wärmeaufwand (Q_1) ein Anfangsfeuchtegehalt zuordnen.

Um die Umrechnung des spezifischen Wärmeaufwandes (Q_1) je kg Trockengut in den entsprechenden Anfangsfeuchtegehalt zu erleichtern, wurde eine Regressionsgleichung erstellt, bei der der Anfangsfeuchtegehalt die abhängige Variable bildet; dabei wurden die Daten aus den in Kapitel 4.1 beschriebenen Trocknungsversuchen verwendet. Zur Vereinfachung wurde als Dimension des spezifischen Wärmeaufwandes (Q_1) nicht die Dimension kJ, sondern l leichtes Heizöl je kg Trockengut verwendet. Die Regression läßt sich durch eine Gleichung 2. Grades wie folgt darstellen:

$$y = 45,12 + 167,25 x - 174,33 x^2 \quad (\%) \quad (\text{XXIX})$$

y = Anfangsfeuchtegehalt U_1 in %

x = Wärmeaufwand in l leichtes Heizöl pro kg Trockengut

Um die Abhängigkeit des mittleren Anfangsfeuchtegehaltes von den Niederschlägen zeigen zu können, wurden die Trocknungstage der vorgenannten Trocknungsanlagen in Tage mit Niederschlag (NS) und in Tage ohne Niederschlag (NS-frei) eingeteilt. Für die Tage mit und die Tage ohne Niederschlag wurde der durchschnittliche spezifische Wärmeaufwand in Liter leichtes Heizöl je kg Trockengut für jede Anlage und jedes Jahr errechnet. Anschließend wurde der durchschnittliche spezifische Wärmeaufwand (Q_1) mit Hilfe der Gleichung XXIX in den entsprechenden durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehalt umgerechnet. Die Mittelwerte des spezifischen Wärmeaufwandes (Q_1) der Trocknungstage mit Niederschlag und der Trocknungstage ohne Niederschlag wurden miteinander verglichen (Vergleich zweier Mittelwerte $n_1 + n_2$ nach SACHS 1972 (102)) und mit dem t-Test auf Signifikanz geprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 19 zusammengestellt.

Die gesicherten Unterschiede (***) = gesichert bei 0,01 %) des spezifischen Wärmeaufwandes (Q_1) zwischen den Trocknungstagen mit Niederschlag und den Trocknungstagen ohne Niederschlag in Tabelle 19 lassen zu, auch die Unterschiede der Anfangsfeuchtegehalte in Spalte 3 als gesichert anzusehen. Die Unterschiede im mittleren Anfangsfeuchtegehalt in Spalte 3 der Tabelle 19 zwischen Trocknungstagen mit und Trocknungstagen ohne Niederschlag liegen bei 1,6 - 4,7 % Punkten. Die geringen Unterschiede zeigen, daß in der Praxis 1972/73 nur geringfügig oder gar nicht vorgewelkt wurde, wie auch bisher wenig darauf Rücksicht genommen wurde, nur trockene Bestände zu mähen. Bemerkenswert ist vor allem, daß an Regentagen der mittlere Anfangsfeuchtegehalt nicht über 85 % steigt. Um aber bei der Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung die Möglichkeit des Vorwelkens berücksichtigen zu können, genügt es nicht, die durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehalte von regennassen oder trockenen Beständen zu kennen, sondern es muß der mögliche Vorwelkgrad bekannt sein, um von einem gesicherten durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehalt ausgehen zu können. Der mögliche Vorwelkgrad ist aber von der Witterung voll abhängig. Es sind deshalb die von der Witterung gegebenen Vorwelkmöglichkeiten nachfolgend zu untersuchen.

Tabelle 19: Einfluß der Niederschläge auf den mittleren Anfangsfeuchtegehalt

Trocknungs- anlage Bez./Jahr	Nieder- schläge (NS)	Anfangsfeuchte- gehalt U_1 in % (errechnet)		Trockn. Tage (n)	Spezifischer Wärmearaufwand Q_1 in l leichtes Heizöl/kg Trockengut		
					Mittelwert (\bar{x})	Streuung (s)	t-Wert
Spalte 1	2	3		4	5	6	7
05/72	NS	85,0	2,3*	62	0,441	0,103	4,14***
	NS-frei	82,7		59	0,358	0,126	
07/72	NS	83,9	4,7*	40	0,392	0,069	6,94***
	NS-frei	79,2		43	0,294	0,064	
10/72	NS	85,2	1,8*	39	0,511	0,114	5,57***
	NS-frei	83,3		35	0,385	0,086	
05/73	NS	85,0	1,6*	39	0,440	0,093	4,48***
	NS-frei	83,4		71	0,377	0,071	

* = Differenz NS - NS-frei

4.24 Abhängigkeit des Anfangsfeuchtegehaltes beim Vortrocknen auf dem Feld von physikalisch gegebenen Trocknungsbedingungen

Das Sättigungsdefizit der Luft charakterisiert am besten ihre Trocknungsfähigkeit und damit die Vorwelkmöglichkeiten auf dem Feld (AGENA et al. 1968 (2), SPATZ 1970 et al. (107), PFAU 1971 (85), OLFE 1971 (81), ALBRECHT 1973 (6), BANTHIEN 1969 (7)).

Unter Sättigungsdefizit (E-e) wird die Differenz des maximal möglichen Dampfdrucks (E) zum herrschenden Dampfdruck (e) verstanden. Der Zusammenhang zwischen dem Sättigungsdefizit und dem Anfangsfeuchtegehalt wurde von AGENA et al. 1968 (2), SPATZ et al. 1970 (107) und OLFE 1971 (81) in einer Großzahl von Versuchen untersucht und nachgewiesen. Hierbei konnten Regressionsgleichungen ermittelt werden, über die der mögliche Vorwelkgrad in Abhängigkeit von der Summe des Sättigungsdefizites je Tag abgeschätzt werden kann. Die nachfolgend beschriebenen Gleichungen gelten für die Zeit, in der noch Futter konserviert werden kann.

1. Regressionsgleichung nach AGENA et al. 1968 (2) für den norddeutschen Raum:

$$y = 16 + 0,3307 x - 0,00041 x^2 \quad (\%) \quad (XXX)$$

y = Trockensubstanzgehalt

x = Summe des Sättigungsdefizites (Torr x h)

2. Regressionsgleichung nach SPATZ et al. 1970 (107) für den süddeutschen Raum:

$$\ln y = 6,066 - 0,01453 x + 0,000001797 x^2 \quad (\%) \quad (XXXI)$$

y = Wassergehalt bezogen auf Trockengewichtsbasis (%)

x = Summe des Sättigungsdefizites (Torr · h)

3. Regressionsgleichung nach OLFE 1971 (81) für den Raum Göttingen:

$$Y = 8,61 + 0,24 x \quad \% \quad (\text{XXXII})$$

Y = erzielte Feuchtegehaltsdifferenz %

x = Summe des Sättigungsdefizites (Torr x h)

Die abhängige Variable y stellt in den drei vorgenannten Gleichungen XXX, XXXI, XXXII verschiedene Bezugsgrößen dar. Um diese Gleichungen miteinander vergleichen zu können, müssen sie auf die gleiche Bezugsgröße, den Feuchtegehalt, gebracht werden. Unter dem Feuchtegehalt ist hierbei der Anfangsfeuchtegehalt ($U_{\text{NS-frei}}$) des Trocknungsgutes zu verstehen, der an niederschlagsfreien Tagen erzielt wird.

In der Gleichung XXX nach AGENA stellt der Trockensubstanzgehalt die Bezugsgröße y dar. Sie läßt sich in den Feuchtegehalt wie folgt umrechnen:

$$Z = 100 - U \quad (\%)$$

Z = Trockensubstanzgehalt in %

U = Feuchtegehalt in %

SPATZ verwendet in Gleichung XXXI den Wassergehalt, bezogen auf Trockengewichtsbasis als Bezugsgröße y. Diese Bezugsgröße stellt den Feuchtegrad (X) in % dar und läßt sich in den Feuchtegehalt in der nachfolgenden Form umrechnen:

$$X = \frac{100 U}{100 - U} \quad (\%)$$

X = Feuchtegrad in %, d. h.

Feuchtegrad X · 100

U = Feuchtegehalt in %

Die Feuchtegehaltsminderung oder die erzielte Feuchtegehaltsdifferenz stellt in der Gleichung XXXII von OLFE die Bezugsgröße y dar, die sich wie folgt errechnet:

$$y = U_1 - U_2 \quad (\%)$$

y = Feuchtegehaltsdifferenz in %

U_1 = Anfangsfeuchtegehalt in %

U_2 = Endfeuchtegehalt in %

Nach der Umrechnung der verschiedenen Bezugsgrößen der drei vorgenannten Gleichungen in den Feuchtegehalt wurde der Mittelwert aus den drei Gleichungen in einen linearen Ansatz gebracht, bei dem die Konstante den Anfangsfeuchtegehalt eines oberflächenwasserfreien Trocknungsgutes darstellt:

$$Y = 81,16 - 0,254 x \quad (\%) \quad (\text{XXXIII})$$

$Y = \bar{U}_{\text{NS-frei}}$ = Anfangsfeuchtegehalt an Tagen ohne Niederschlag

x = Summe Sättigungsdefizit in Torr · Std.

Der Einfluß der Summe des Sättigungsdefizits auf den Feuchtegehalt bei der Vortrocknung auf dem Feld ist nach den Gleichungen von AGENA, SPATZ und OLFE in Abbildung 21 dargestellt.

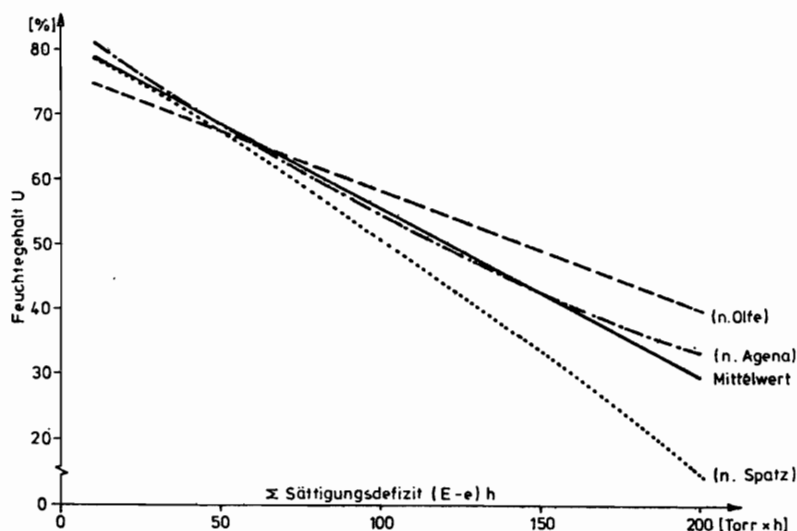


Abbildung 21: Abhängigkeit des erzielbaren Feuchtegehaltes von der Trocknungskraft der Luft bei der Vortrocknung auf dem Feld

Um die Beurteilung dieser Darstellung zu erleichtern, wurden in Tabelle 20 für verschiedene Summen des Sättigungsdefizites die erzielbaren Feuchtegehalte mit Hilfe der Gleichungen XXX, XXXI, XXXII und XXXIII errechnet.

Tabelle 20: Erzielbare Feuchtegehalte bei unterschiedlichem Sättigungsdefizit, berechnet nach verschiedenen Autoren

Sättigungs- defizit (E -e) h in Torr	Feuchtegehalt U in % nach			Gleichung XXXIII (Mittelwert aus Spalte 2, 3 u. 4)
	AGENA	SPATZ	OLFE	
Spalte 1	2	3	4	5
0	84,00	81,20	83,00	81,16
10	80,78	78,81	74,74	78,62
50	68,50	67,64	67,54	68,46
100	55,00	50,74	58,54	55,76
150	43,50	33,77	49,54	43,06
200	34,00	20,00	40,54	30,36

In Abbildung 21 wie in Tabelle 20 zeigt sich, daß Abweichungen zwischen den Werten bestehen, die nach den obengenannten Gleichungen errechnet wurden. Besonders stark sind die Unterschiede in dem Bereich der Summe des Sättigungsdefizites von 150 - 200 Torr. Diese hohen Werte der Summe des Sättigungsdefizites sind aber in einem Tag nicht zu erreichen. Sie scheiden also für das Vorwelken von 1 Tag aus. Der Bereich der Summe des Sättigungsdefizites bis 100 Torr zeigt viel geringere Unterschiede in den über verschiedene Gleichungen berechneten Werten. Die Entscheidung, welche Gleichung für die Bestimmung des mittleren Feuchtegehaltes ($\bar{U}_{NS\text{-frei}}$) an Tagen ohne Niederschlag herangezogen wird, ist vom örtlichen Klima abhängig. Entspricht dieses dem süddeutschen Raum, wird die Gleichung XXXI von SPATZ herangezogen. Bei Verhältnissen ähnlich dem norddeutschen Raum sollte die Gleichung XXX von AGENA angewendet werden. Läßt sich das örtliche Klima nicht klar zuordnen, so dient die

Gleichung (der Mittelwert in Tabelle 20, Spalte 5) als Hilfsmittel zur Bestimmung von $\bar{U}_{NS\text{-frei}}$. Werden die von SPATZ et al. 1970 (107) ermittelten langjährigen Mittelwerte des Sättigungsdefizites, gemessen um 14.00 Uhr, für Bremerhaven und Weihenstephan herangezogen, so lassen sich nach der Gleichung XXXVIII die zugehörigen mittleren erreichbaren Feuchtegehalte bestimmen (Tabelle 21).

Tabelle 21: Mittlerer Anfangsfeuchtegehalt, errechnet aus langjährigen Mittelwerten des Sättigungsdefizites $((E - e)_{14.00}$ in Torr (1881 - 1930)) über die Gleichung XXXVIII (Vorwelkdauer 6 Std.)

	Mai		Juni		Juli		August	
	E-e	$\bar{U}_{NS\text{-frei}}$	E-e	$\bar{U}_{NS\text{-frei}}$	E-e	$\bar{U}_{NS\text{-frei}}$	E-e	$\bar{U}_{NS\text{-frei}}$
Bremerhaven	5,3	73,5	5,9	72,2	6,2	71,7	5,6	72,6
Weihenstephan	7,6	69,6	8,8	68,7	10,1	65,8	8,8	67,7

Die mittleren Anfangsfeuchtegehalte in Tabelle 21 im Mai zeigen deutlich den klimatischen Unterschied zwischen Bremerhaven (maritimes Klima) und Weihenstephan (kontinentales Klima) mit 5,9 % Punkten an. Klimatische Unterschiede können somit über die Abhängigkeit des möglichen Vorwelkgrades von der Höhe des Sättigungsdefizites bei der Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung berücksichtigt werden. Für den erzielbaren Vorwelkgrad ist aber nicht nur die Höhe des Sättigungsdefizites ausschlaggebend, sondern auch die Vorwelkdauer, d. h. die Summe des Sättigungsdefizites je Tag (Tabelle 22).

Tabelle 22: Erzielbarer Feuchtegehalt (%) in Abhängigkeit vom Sättigungsdefizit bei unterschiedlicher Vorwelkdauer (über die Gleichung XXXIII errechnet)

Sättigungsdefizit (E - e) / h in Torr	Feuchtegehalte in % bei Vorwelkdauer von		
	2 h	6 h	10 h
1	80,65	79,64	78,62
10	76,08	65,92	55,76
20	71,00	50,68	20,36

Tabelle 22 verdeutlicht, in welchem Maß der Feuchtegehalt mit zunehmender Vorwelkdauer und zunehmendem Sättigungsdefizit sinkt. Bei einer Vorwelkdauer von 6 Stunden beispielsweise sinkt der Feuchtegehalt von 81,16 % auf 65,92 %, wenn ein durchschnittliches Sättigungsdefizit von 10 Torr pro Stunde angenommen wird. Es ist aber hierbei zu berücksichtigen, daß das durchschnittliche Sättigungsdefizit innerhalb einer Trocknungszeitspanne nur selten 10 Torr erreichen wird und 20 Torr ohnehin nur an einzelnen besonders heißen Tagen erreicht werden. Dies zeigt, daß der für die Grünfütterheiße-lufttrocknung relevante Bereich unter 10 Torr/h in der

Trocknungszeitspanne liegt, wie auch die langjährigen Mittelwerte in Tabelle 21 für Mai und Juni zeigen. Dies bedeutet, daß das mögliche Vorwelken selten Feuchtegehalte von unter 60 % ergeben wird. Der Vorteil der oben angewendeten Methode, über Regressionsgleichungen aus der Summe des Sättigungsdefizites auf den erzielbaren Anfangsfeuchtegehalt zu schließen, liegt in der Errechnung eines mittleren Anfangsfeuchtegehaltes, der auf langjährigen Beobachtungswerten beruht. Der mittlere Anfangsfeuchtegehalt ($\bar{U}_{NS\text{-frei}}$) an Tagen, an denen vorgewelkt werden kann, kann somit nicht nur sicher abgeschätzt, sondern auch für jedes Gebiet, in dem Wetterbeobachtungen durchgeführt werden, errechnet werden. Neben der Ermittlung der Anfangsfeuchtegehalte \bar{U}_{NS} und $\bar{U}_{NS\text{-frei}}$ ist aber noch die Bildung des Mittelwertes, der den durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehalt des Trocknungsgutes während der Trocknungszeitspanne darstellt, zu klären.

4.25 Bestimmung des durchschnittlichen Feuchtegehaltes des Trocknungsgutes während der Trocknungszeitspanne

Nachdem nicht nur an allen Trocknungstagen vorgewelkt oder nur an Tagen mit Niederschlägen getrocknet wird, ist ein Mittelwert aus den Anfangsfeuchtegehalten \bar{U}_{NS} und $\bar{U}_{NS\text{-frei}}$ zu bilden, der die Anzahl der Tage mit und ohne Niederschlag berücksichtigt. Die Bestimmung des durchschnittlichen Feuchtegehaltes (\bar{U}) des Trocknungsgutes der Trocknungszeitspanne erfolgt deshalb über die nachfolgende Gleichung:

$$\bar{U} = \frac{\bar{U}_{NS\text{-frei}} \cdot t_3 + \bar{U}_{NS} \cdot t_4}{t} \quad (\%) \quad (\text{XXXIV})$$

\bar{U} = durchschnittlicher Feuchtegehalt des Trocknungsgutes der Trocknungszeitspanne

$\bar{U}_{\text{NS-frei}}$ = durchschnittlicher Anfangsfeuchtegehalt an niederschlagsfreien Tagen der Trocknungszeitspanne

\bar{U}_{NS} = durchschnittlicher Anfangsfeuchtegehalt an Tagen mit Niederschlag in der Trocknungszeitspanne

t = Trocknungszeitspanne in Tagen

t_3 = Tage ohne Niederschlag in der Trocknungszeitspanne

t_4 = Tage mit Niederschlag in der Trocknungszeitspanne

Die Gleichung XXXIV stellt das gewogene Mittel von \bar{U}_{NS} und $\bar{U}_{\text{NS-frei}}$ dar.

Wird die gesamte Trocknungszeitspanne getrocknet und der durchschnittliche Feuchtegehalt (\bar{U}) nach Gleichung XXXIV berechnet, läßt sich der Einfluß der Tage mit Niederschlag auf den durchschnittlichen Feuchtegehalt (\bar{U}) aufzeigen. $\bar{U}_{\text{NS-frei}}$ wird in diesem Fall nicht in Abhängigkeit von dem Sättigungsdefizit errechnet, sondern stellt die Konstante der Gleichung XXXII dar, die den Anfangsfeuchtegehalt von Trocknungsgut ohne Oberflächenwasser darstellt.

Wird eine Zeitspanne (Kap. 3.232) von 21 Tagen und werden 5 Tage ohne Niederschlag und 16 Tage mit Niederschlag (75 % von t wie im Mai in Tabelle 12) angenommen, so läßt sich ein mittlerer Anfangsfeuchtegehalt von 84,1 % errechnen. Steigt aber die Zahl der Tage ohne Niederschlag auf 10 an, so sinkt der mittlere Anfangsfeuchtegehalt auf 83,2 %. In Abbildung 22 wurde dies in Säule I dargestellt.

Wird die gesamte Trocknungszeitspanne genutzt und werden die Möglichkeiten des Vorwelkens ausgeschöpft, so ist der durchschnittliche Feuchtegehalt neben der Zahl der Tage ohne Niederschlag auch von der Höhe des Sättigungsdefizites abhängig. Dies wurde in Abbildung 22 in den Säulen II + III für 5 Schönwettertage und in den Säulen IV + V für 10 Schönwettertage dargestellt. Es wurde von einer Trocknungszeitspanne von 21 Tagen ausgegangen.

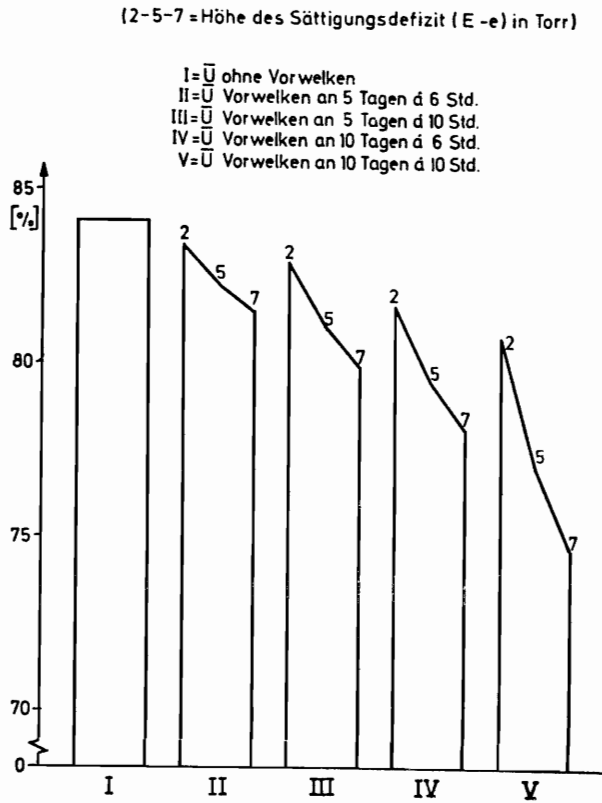


Abbildung 22: Durchschnittlicher Anfangsfeuchtegehalt (\bar{U}) bei unterschiedlichen Vorwelkbedingungen

Der mittlere Anfangsfeuchtegehalt an Regentagen (\bar{U}_{NS}) wurde, wie in Kapitel 4.22 aufgeführt, mit 85 % angenommen. Die Anfangsfeuchte an Schönwettertagen wurde über die Gleichung XXXII für die Werte des Sättigungsdefizites von 2 - 5 - 7 Torr/h bestimmt. Die Vorwelkdauer wurde in Säule II und IV mit 6 Stunden angenommen und in Säule III und IV mit 10 Stunden.

Deutlich zeigt sich die Abnahme des mittleren Anfangsfeuchtegehaltes (\bar{U}) mit zunehmendem Sättigungsdefizit, zunehmender Vorwelkdauer und zunehmenden Schönwettertagen. Wird ein Sättigungsdefizit von 5 Torr/h angenommen, wie es der Trocknungsfähigkeit der Luft in Bremerhaven im Mai (Tab. 21) entspricht, so kann \bar{U} auf 82,3 % gesenkt werden, wenn 6 Std./Schönwettertag vorgewelkt wird. Wird 10 Std./Schönwettertag

vorgewelkt, läßt sich \bar{U} auf 81,1 % bringen. Werden 7 Torr/h Sättigungsdefizit angenommen, wie es in etwa dem Durchschnittswert in Weißenstephan entspricht und werden statt 5 Schönwettertagen 10 Schönwettertage angenommen, läßt sich \bar{U} auf maximal 74,7 % senken, wenn 10 Stunden vorgewelkt wird.

Wird nur an Tagen getrocknet, an denen vorgewelkt werden kann, lassen sich zwar mittlere Anfangsfeuchtegehalte bis zu 63,4 % erzielen, wenn ein Sättigungsdefizit von 7 Torr/Std. vorherrscht und 10 Std./Tag vorgewelkt wird. Die Trocknungszeitspanne wird aber dadurch stark verkürzt, und es muß geprüft werden, inwieweit der Vorwelkgrad bei der Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung die Trocknungszeitspanne substituieren kann.

Die durchschnittlichen Feuchtegehalte (\bar{U}) des Trocknungsgutes in der Trocknungszeitspanne stellen das letzte Teilergebnis der Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung dar. Das bedeutet, daß nunmehr die wichtigen Einflußgrößen, die in den vorausgegangenen Ausführungen bestimmt wurden, zusammengefaßt darzustellen sind.

4.3 Zusammenfassende Ergebnisse

Die Ergebnisse der Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung (L_{WV}) können durch die Verknüpfung der in den vorhergehenden Kapiteln (3. und 4.) erarbeiteten Teilergebnisse dargestellt und diskutiert werden.

Das Teilergebnis aus Kapitel 3. war die Errechnung der Durchsatzleistung (L_D) nach der Gleichung XVIII wie folgt:

$$L_D = \frac{F_{HT} \cdot m_G}{t_2} \cdot 100 \quad (\text{kg/h}) \quad (\text{XVIII})$$

L_D = notwendige Durchsatzleistung an Trockengut in kg/h

F_{HT} = Grünlandfläche, die für die Heißlufttrocknung zur Verfügung steht, in ha

m_G = Masse Trocknungsgut in dt Trockengut/ha

t_2 = Summe der Trocknerstunden in der Trocknungszeitspanne

Die Durchsatzleistung (L_D) wird mit den in Kapitel 4.1 und 4.2 erarbeiteten Teilergebnissen in die notwendige Verdampfungsleistung (L_{WV}) umgerechnet. Dies zeigt der nachfolgende Rechengang. Über die Durchsatzleistung (L_D) und mit Hilfe des spezifischen Wärmeaufwandes (Q_1) kann die notwendige Wärmemenge (Q) pro Stunde wie folgt errechnet werden:

$$Q = L_D \cdot Q_1 \quad (\text{kJ/h}) \quad (\text{XXXV})$$

Formel XVIII und Formel XXIII in Formel XXXV eingesetzt, ergibt:

$$Q = \frac{F_{HT} \cdot m_G \cdot 100 (1,72997 - 0,0512 \bar{U} + 0,00042 \bar{U}^2) \cdot 35983}{t_2} \quad (\text{kJ/h}) \quad (\text{XXXVI})$$

Die notwendige Wärmemenge (Q) in kJ/h stellt die Energie dar, die benötigt wird, um das je Stunde anfallende Trocknungsgut mit dem Anfangsfeuchtegehalt \bar{U} zu trocknen (Endfeuchtegehalt 14 %).

Um aber auf die notwendige Verdampfungsleistung zu kommen, d. h. auf die zu installierende Nennleistung der Trocknungsanlage, wird die notwendige Wärmemenge (Q) durch die Heizleistung (Q_0), bezogen auf eine Tonne Wasserverdampfungsleistung, dividiert.

Es gilt:

$$L_{WV} = \frac{Q}{Q_0} \quad (\text{t/h}) \quad (\text{XXXVII})$$

Formel XXVII in Formel XXXVII eingesetzt, ergibt:

$$L_{WV} = \frac{F_{HT} \cdot m_G \cdot 100 (1,72997 - 0,0512 \bar{U} + 0,00042 \bar{U}^2)}{t_2 \cdot 10^{0,8338} + 0,01271 \bar{U}}$$

(t/h) (XXXVIII)

In die Formel XXVII wurde hierbei statt des Anfangsfeuchtegehaltes (U_1) der durchschnittliche Anfangsfeuchtegehalt (\bar{U}) des Trocknungsgutes der Trocknungszeitspanne eingesetzt.

Die Berechnung der Verdampfungsleistung über den aufgezeigten Rechengang ermöglicht es, den Wirkungsgrad der Trocknungsanlage, wie er in der Praxis erreicht und durch die im praktischen Einsatz ermittelten Regressionsgleichungen XXIII und XXVII errechnet wurde, zu berücksichtigen. Die theoretische Wasserverdampfungsleistung (WV), ermittelt über die Gleichung XVII, wird deshalb immer niedriger sein als die über die Gleichung XXXVIII festgestellte notwendige Verdampfungsleistung (L_{WV}).

Um die Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung (L_{WV}) zu erleichtern, wurde über die Gleichung XXXVIII ein Nomo-gramm erstellt, das in Abbildung 23 gezeigt wird.

An dem nachfolgenden Beispiel wird die Handhabung des Nomo-grammes erläutert. Unterstellt man eine Erntefläche F_{HT} von 1000 ha (siehe Abbildung 23, Abszisse links, gestrichelte Linie), so müssen bei einem Ertrag (linkes Feld oben) von 25 dt Trockengut/ha 25.000 dt Trockengut in der Trocknungszeitspanne für den 1. Schnitt verarbeitet werden (Kreuzungspunkt der gestrichelten Linie mit der oberen Ordinate). Bei einer Trocknungszeitspanne von 30 Tagen und 20 Trocknerstunden pro Tag, wobei unterstellt wird, daß keine Trocknerstunden oder Trocknungstage ausfallen, stünden 600 Trocknerstunden zur Verfügung (rechtes Feld oben). Die notwendige Durchsatzleistung (L_D), siehe Abbildung 23, Abszisse rechts, gestrichelte Linie, würde somit 41,7 dt Trockengut/Stunde betragen.

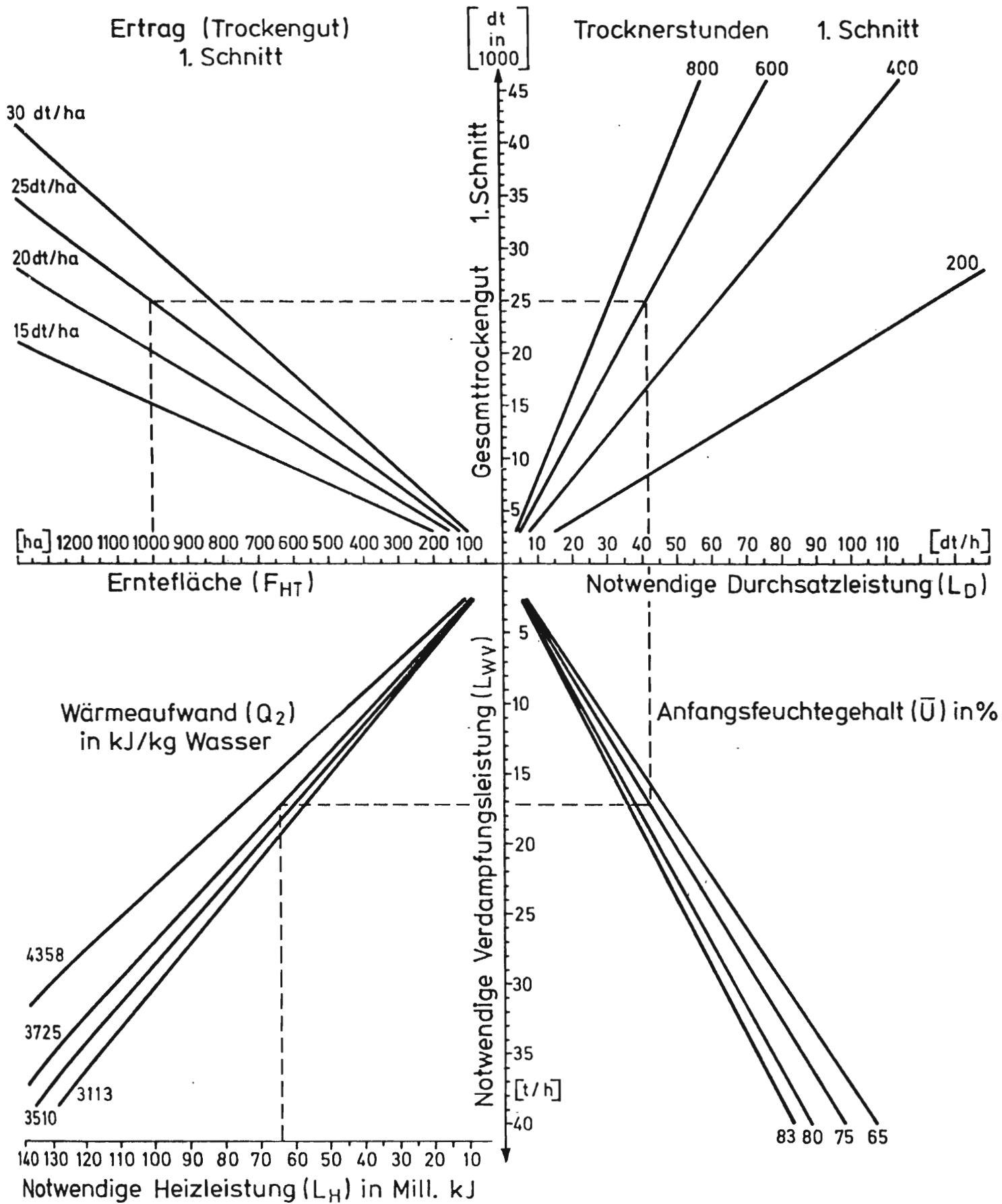


Abbildung 23:

Nomogramm zur Ermittlung der notwendigen Leistung von GrünfütterheiBluftrocknern

In Abhängigkeit vom durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehalt \bar{U} (rechtes Feld unten) läßt sich die notwendige Verdampfungsleistung (L_{WV}) auf der unteren Ordinate ablesen. Bei einem durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehalt von 75 % beträgt bei der Durchsatzleistung (siehe gestrichelte Linie) die notwendige Verdampfungsleistung 17,2 t/h. Neben der notwendigen Verdampfungsleistung (L_{WV}) kann noch die notwendige Heizleistung (L_H) aus Abbildung 23 ermittelt werden.

Bei einer notwendigen Wasserverdampfungsleistung von 17,2 t/h (Kreuzungspunkt gestrichelte Linie untere Ordinate) kann über den spezifischen Wärmeaufwand (Q_2), siehe Abbildung 23 linkes Feld unten, die notwendige Heizleistung (L_H) auf der Abszisse unten links abgelesen werden. Bei dem unterstellten durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehalt $\bar{U} = 75\%$ ist die Linie (linkes Feld unten) mit dem entsprechenden spezifischen Wärmeaufwand $Q_2 = 3\,723$ kJ/kg zu wählen. Geht man von dem Schnittpunkt der gestrichelten waagrechten Linie mit der Linie des Wärmeaufwandes senkrecht auf die Abszisse unten links (gestrichelte Linie), erhält man die notwendige Heizleistung (L_H) mit 63,95 Mill. kJ/h. Mit den Werten der Abbildung 23 ist es also möglich, die Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung zu vereinfachen und doch die Erntefläche, den Grünlandertrag, die Trocknungszeitspanne und den durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehalt zu berücksichtigen. Zusätzlich kann aus der Durchsatzleistung über die notwendige Verdampfungsleistung und den spezifischen Wärmeaufwand (Q_2) die notwendige Heizleistung bestimmt werden. Das Nomogramm in Abbildung 23 ist folglich gut geeignet, die Einflußgrößen Grünlandertrag, Trocknerstunden und durchschnittlicher Anfangsfeuchtegehalt in ihrer Beziehung zur notwendigen Verdampfungsleistung aufzuzeigen. Für eine genaue Berechnung der notwendigen Verdampfungsleistung sind aber die entwickelten Gleichungen zur Bestimmung der einzelnen Einflußgrößen zu verwenden. Im folgenden Kapitel soll anhand ausgewählter Beispiele diese schrittweise Leistungsbestimmung gezeigt und diskutiert werden. Hierbei wird die praktische Anwendung dieser Methode gezeigt und zugleich wird überprüft, wie die notwendigen Grundlagen zu berechnen und anzuwenden sind.

5. Planungsbeispiel

Die Leistung von Grünfutterheilufttrocknern soll anhand von Fiktionen, die einmal das Voralpengebiet (Beispiel I) und zum anderen die Grnlandgebiete der Marsch (Beispiel II) charakterisieren, bestimmt werden. Im ersten Schritt muß die Fläche ermittelt werden, die im jeweiligen Einzugsgebiet für die Konservierung durch die Heißlufttrocknung zur Verfügung steht. Dies wird mit Hilfe der Formel XIX durchgeführt. Die zugehörigen Variablen sind in Tabelle 23 enthalten.

Tabelle 23: Bestimmung der Grünlandfläche (F_{HT}), die für die Grünfutterheißlufttrocknung zur Verfügung steht

$F_{HT} = r^2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5$		Beispiel	
		I	II
Entfernung des weitestgelegenen Anlieferers in km	(r)	6,6	6,6
Flchenformfaktor	(f ₁)	0,9	0,9
Anteil der LN an der F _E	(f ₂)	0,53	0,61
Anteil des DG an der F _{LN}	(f ₃)	0,7	0,7
Anteil der Fläche WF an der F _{DG}	(f ₄)	0,51	0,44
Anteil der Fläche für die HT an der F _{WF}	(f ₅)	0,47	0,55
Grünlandfläche (F_{HT}) für Heißlufttrocknung in ha		1095	1272

Die erste Variable ist die Entfernung des weitestgelegenen Anlieferers (r); sie ergibt sich, wie in Kapitel 3.211 erläutert, aus den Transportkosten, die noch in Kauf genommen werden können. Um die Verhältnisse in der Praxis besser zu berücksichtigen, wird die Entfernung von 6,6 km angenommen, die in der Erhebung (172) als Maximum der Kurve in Abbildung 7 bestimmt werden konnte. Dies gilt sowohl für das Beispiel I als auch für das Beispiel II. Weiterhin wird ein Einzugsgebiet unterstellt mit annähernder Kreisform (die Kreisform wird in der Praxis selten erreicht werden). Für beide Beispiele wird deshalb ein Flächenformfaktor von 0,9 angenommen. Für die Bestimmung der Variablen, Anteil der LN (f_2) an der Fläche des Einzugsgebietes, werden die Ergebnisse aus der Bodennutzungserhebung 1974 (Fachserie B statistisches Bundesamt) unterstellt.

Für Bayern ergibt sich ein Anteil der LN an der Gesamtfläche von 0,53 (Beispiel I) und für Niedersachsen 0,61 (Beispiel II). Um ein Beispiel heranzuziehen für die Grünlandgürtel, die mit einem Dauergrünlandanteil an der LN von über 60 % im süddeutschen Grünlandgürtel angegeben werden (KEIM 1968 (54)), wurde der Anteil des Dauergrünlandes in beiden Beispielen mit 0,7 angenommen. Der Anteil der Fläche für die Winterfutterbereitung (f_4) kann in Beispiel I mit 0,51 und in Beispiel II mit 0,44 eingesetzt werden. Als Annäherung dient das Verhältnis der Sommerfutterperiode zur Winterfutterperiode. Die Unterschiede zwischen Beispiel I und II ergeben sich aus der Sommerfutterperiode von 205 Tagen (KLAPP 1971 (57)) in Beispiel II und 180 Tagen (KEIM 1968 (54)) in Beispiel I.

Die Variable, der Anteil des Konservierungsverfahrens, wird über die Futterration bestimmt. Für Beispiel I wird der Aufzuchtbetrieb gewählt, um der klein- und mittelbäuerlichen Struktur des Voralpengebietes gerecht zu werden. Laut Tabelle 8 ist der Umrechnungsfaktor (f_5) von 0,47 einzusetzen, wenn Briketts an Milchvieh und Jungvieh verfüttert werden. Für das Beispiel II wird der Ergänzungsbetrieb als zutreffender angesehen und der Umrechnungsfaktor (f_5) von 0,55 gewählt.

Aus den sechs Variablen kann über die Formel XIX die Fläche, die der Heißlufttrocknung zur Verfügung steht, errechnet werden. Es ergibt sich im Beispiel I eine Fläche F_{HT} von 1095 ha und im Beispiel II eine Fläche F_{HT} von 1272 ha. Der Flächenunterschied zwischen Beispiel I und Beispiel II ist auf die unterschiedliche Zusammensetzung des Rindviehbestandes, ausgedrückt durch Faktor f_5 , zurückzuführen, da sich die Unterschiede der Faktoren f_2 und f_4 weitgehend ausgleichen.

Der zweite Schritt der Leistungsbestimmung besteht in der Ermittlung des zu trocknenden Gutes je Hektar. Hierzu dient Formel XX. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Ernte im Mittel der Zeitspanne zum optimalen Zeitpunkt, der Weidereife der Bestände, erfolgt. Für beide Beispiele wird ein Ertrag des 1. Schnittes von 22,8 dt/ha Trockengut (20 dt/ha Trm) veranschlagt. Davon sind die Aufsammlerverluste, die nach ZEISIG et al. 1974 (131) etwa 2 - 3 % betragen, abgezogen. Bei Unterstellung von 3 % ergibt sich eine Trockengutmenge von 22,1 dt/ha Trockengut.

Der dritte Schritt der Leistungsbestimmung ist die Ermittlung der Trocknungszeitspanne. Diese wird in beiden Beispielen mit phänologischen Beobachtungswerten durchgeführt. Für das Beispiel I, das Voralpengebiet, werden die phänologischen Beobachtungswerte der Station Memmingen verwendet und für den norddeutschen Raum im Beispiel II die der Wetterstation Soltau. Die Trocknungszeitspanne (t_2) liegt, wie in Kapitel 3.232 beschrieben, zwischen dem Weidegangbeginn und dem 1. Wiesenchnitt. Für das Beispiel I ist dies vom 24. 4. bis 1. 6. (1972); das ergibt 38 Tage. Für das Beispiel II konnte 1972 eine Trocknungszeitspanne vom 8. 4. bis 18. 5., also 40 Tage, ermittelt werden. Die Variablen für die Bestimmung der Trocknerstunden (t_2) der Trocknungszeitspannen sind in Tabelle 24 aufgeführt.

Tabelle 24: Bestimmung der Trocknungszeitspanne in Stunden

$$t_2 = (t - t_{VF}) (d_s - d_v)$$

	Beispiel	
	I	II
Trocknungszeitspanne in Tagen (t_1)	38	40
Verlust- oder Feiertage der Trocknungszeitspanne (t_{VF})	8	8
Geplante Trocknerstunden/Tag (d_s)	20	20
Verlust an Trocknerstunden/Tag (d_v) (Risikozuschlag)	1	1
Summe der Trocknerstunden der Trocknungszeitspanne (t_2)	570	608

Wie in Abbildung 14 gezeigt wurde, werden die Feiertage weitgehend in der Praxis eingehalten. Es sollen deshalb durch den Faktor t_{VF} diese Tage von der Trocknungszeitspanne abgezogen werden. Für beide Beispiele ergaben sich 8 Feiertage. Die Trocknerstunden (d_s) je Trocknungstag werden mit 20 Std. angesetzt.

Dies sind zwei Trocknungsschichten, die notfalls auch noch von einem Trocknerführer für kurze Zeit gefahren werden können. Die Verlustzeit wird mit 1 Stunde je Trocknungstag veranschlagt, wobei dies für beide Beispiele gilt. Die Summe der Trocknerstunden in der Trocknungszeitspanne läßt sich dann mit Gleichung XXII berechnen. Die Berechnung in Tabelle 24 ergab für das Beispiel I 570 Stunden und für das Beispiel II mit der größeren Trocknungszeitspanne 608 Stunden.

Als vierter und letzter Schritt ist die Berechnung der Verdampfungsleistung durchzuführen. Hierzu ist es notwendig, den mittleren Anfangsfeuchtegehalt (\bar{U}) der Trocknungszeitspanne zu bestimmen. Die hierzu notwendigen Variablen sind in Tabelle 25

aufgeführt. Für diese Berechnung wurde die Formel XXXIII in die Formel XXXIV eingesetzt und in Tabelle 25 dargestellt. Das mittlere Sättigungsdefizit wurde für das Beispiel I mit 1,9 Torr/Std. als Tagesmittel berechnet, wobei hier die Wetterstation Kaufbeuren die Daten lieferte. Für das Beispiel II dienten die Daten der Wetterstation Soltau. Es konnte ein Tagesmittel von 2,1 Torr/Std. berechnet werden. Die Vorwelkdauer je Trocknungstag mit Vorwelkmöglichkeit wurde mit 10 Stunden angenommen, um die Vorwelkmöglichkeiten voll auszuschöpfen (BURCKHARDT 1967 (17)). Bei der Berechnung des durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehaltes der Trocknungszeitspanne sind die Tage ohne Niederschlag, im Beispiel I 10 Tage, im Beispiel II 24 Tage, und die Regentage zu berücksichtigen.

Tabelle 25: Bestimmung des durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehaltes der Trocknungszeitspanne

$$U = \frac{81,16 + 0,254 (E - e) h t_3 + \bar{U}_{NS} \cdot t_4}{t}$$

	Beispiel	
	I	II
Sättigungsdefizit (E - e) Tagesmittel (Torr/h)	1,9	2,1
Vorwelkdauer (h/Tg.)	10,0	10,0
Tage ohne Niederschlag in der Trocknungszeitspanne (t ₃)	10,0	24,0
Durchschnittlicher Anfangsfeuchte- gehalt an Regentagen in %	85,0	85,0
Tage mit Niederschlag in der Trocknungszeitspanne (t ₄)	28,0	16,0
Trocknungszeitspanne t ₁	38,0	40,0
Durchschnittlicher Anfangsfeuchte- gehalt der Trocknungszeitspanne in %	82,7	79,5

Für das Beispiel I mußte die Wetterstation Garmisch-Partenkirchen herangezogen werden. Im Jahrbuch des Deutschen Wetterdienstes lagen diese Daten für die Station Memmingen oder Kaufbeuren nicht vor. Auf die nächstgelegene Wetterstation wurde deshalb ausgewichen. Im Beispiel II lagen bei der Station Soltau alle für diese Berechnungen notwendigen Daten für das Jahr 1972 vor. Für Beispiel I also 10 Tage mit und 28 Tage ohne Niederschlag und in Beispiel II 24 Tage mit und 16 Tage ohne Niederschlag. Als durchschnittlicher Anfangsfeuchtegehalt an Regentagen wird der in Kapitel 4.23, Tabelle 32, ermittelte Anfangsfeuchtegehalt von 85 % herangezogen. Über die in Tabelle 25 dargestellte Gleichung läßt sich der durchschnittliche Anfangsfeuchtegehalt in der Trocknungszeitspanne berechnen und ergab für das Beispiel I einen durchschnittlichen Anfangsfeuchtegehalt (\bar{U}) von 82,7 %, für das Beispiel II 79,5 %.

Das Jahr 1972 zeigt deutliche Unterschiede zwischen dem Klima in Niedersachsen und dem Klima des Voralpengebietes auf. Sie sind nicht nur gekennzeichnet durch die längere Trocknungszeitspanne, sondern auch in dem höheren Sättigungsdefizit im Beispiel II gegenüber Beispiel I und in der größeren Zahl der niederschlagsfreien Tage im Beispiel II gegenüber Beispiel I.

Als Letztes sind die Einzelschritte der Leistungsbestimmung zusammenzufassen. Für Beispiel I und Beispiel II wurde dies in Tabelle 26 durchgeführt.

Tabelle 26: Berechnung der notwendigen Verdampfungsleistung (L_{WV})

$$L_{WV} = \frac{F_{HT} \cdot m_G \cdot 100 (1,72997 - 0,0512 \bar{U} + 0,00042 \bar{U}^2)}{t_2 \cdot 10 (0,8338 + 0,01271 \bar{U})}$$

Tabelle 26 - Fortsetzung:

	Beispiel	
	I	II
Fläche für die HT (F_{HT}) in ha	1095	1272
Masse Trocknungsgut (m_G) (trocken) in dt/ha	22,1	22,1
Summe der Trocknerstunden (t_2) der Trocknungszeitspanne	570	608
durchschnittlicher Anfangsfeuchte- gehalt \bar{U} der Trocknungszeitspanne in %	82,7	79,5
Notwendige Verdampfungsleistung (L_{WV}) in t/h	20,4	20,8

Für das Beispiel I wurde eine notwendige Verdampfungsleistung von 20,4 t/h und für das Beispiel II eine von 20,8 t/h errechnet. Der Unterschied von 0,4 t/h erscheint gering. Wird aber die Fläche F_{HT} von Beispiel I dem Beispiel II gleichgesetzt, steigt die Verdampfungsleistung von 20,4 t/h (I) auf 23,6 t/h an. Die Differenz steigt von -0,4 t/h auf +2,8 t/h; dies entspricht einer Steigerung der Verdampfungsleistung von 15,7 %. Bei gleicher Erntefläche müßte für das Beispiel I eine um 2,8 t/h größere Anlage installiert werden als in Beispiel II. Die kürzere Trocknungszeitspanne und die geringeren Vorwelkmöglichkeiten in Beispiel I sind die Hauptursachen der unterschiedlich notwendigen Verdampfungsleistung und verdeutlichen die klimatisch schlechteren Bedingungen im voralpinen Grünlandgürtel gegenüber dem norddeutschen Raum. Berücksichtigt man, daß die Vorwelkmöglichkeiten, wenn sie ausgeschöpft wurden, nicht weiter beeinflußt werden können, dann ergibt sich vor allem für das Beispiel I die Notwendigkeit, die Trocknungszeitspanne optimal zu nutzen. Besonders die Berücksichtigung verschiedener Schnittzeitpunkte durch unterschiedliche Höhenlage der Ernteflächen und der gezielte Einsatz von Stickstoffdüngern zur Beeinflussung des Schnittzeitpunktes können

der Verlängerung der Trocknungszeitspanne dienen. Voraussetzung ist eine genaue und sorgfältige Planung bei der Dimensionierung der Trocknungsanlagen. Die dargestellten Beispiele zeigen hierbei deutlich, daß die entwickelten Planungshilfen diese Planungsarbeit vereinfachen. Für bestehende Trocknungsanlagen dienen die entwickelten Planungshilfen zur Verbesserung der Auslastung oder der besseren Ausschöpfung der Vorwelkmöglichkeiten.

6. Zusammenfassung

Die Einkommensverhältnisse der Futterbaubetriebe lassen sich durch steigende Intensivierung, d. h. höhere Milchleistung und steigende Erträge, wirkungsvoll verbessern. Der Betriebserfolg ist hierbei im wesentlichen von der Qualität und der Nährstoffkonzentration der Futterkonserve abhängig.

Futterkonserven mit höchstem Nährstoffgehalt und bester Qualität liefert die Grünfütterheißlufttrocknung, deren Wirtschaftlichkeit nur dann gewährleistet ist, wenn das Trocknungsgut im optimalen Zeitpunkt geschnitten wurde, die Möglichkeiten des Vorwelkens genutzt, die Anlage optimal ausgelastet wurde und die Energiekosten in tragbaren Grenzen bleiben.

Die Aufgabe dieser Arbeit bestand in der Erarbeitung von Planungsgrundlagen, die es ermöglichen, die Leistung der Trocknungsanlage auf die örtlichen Verhältnisse abzustimmen. Hierzu wurde in den Jahren 1971 bis 1973 eine Erhebung an den bayerischen Grünfütterheilufttrocknungsanlagen durchgeführt, um den derzeitigen Stand der Technik und die Auslastungen der Anlagen zu erfassen. Desweiteren wurden Trocknungsversuche durchgeführt, um den Einfluß des Feuchtegehaltes auf die Trocknereinstellung sowie die Stoff- und die Energiebilanz des Trockners zu untersuchen, vor allem im Hinblick auf die Gutsqualität. Die Erhebung und die Trocknungsversuche wurden durch intensives Literaturstudium und die Klarstellung theoretischer Zusammenhänge ergänzt.

Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Der durch die Erhebung an den bayerischen Grünfütterheiße-lufttrocknern erfaßte Stand der Technik zeigt, daß mit der Heißlufttrocknung ein ausgereiftes, hochtechnisiertes Ver-fahren der Grüngutkonservierung angeboten wird. Es zeigte sich aber auch, daß die erstellten Anlagen nicht alle und nicht in jedem Jahr ökonomisch sinnvoll genutzt werden, da bei der Erstellung der Anlagen zu wenig auf die Ertrags-lage, die Ertragsverteilung, die Vegetationszeit, die Trocknungszeitspanne und die Witterung Rücksicht genommen wurde.
2. Bei der Bestimmung der notwendigen Durchsatzleistung von Grünfütterheiße-lufttrocknern sind die Erntefläche, der Grünlandertrag und die Trocknungszeitspanne die wichtig-sten Einflußgrößen.

Die Erntefläche läßt sich hierbei aus der Größe des Ein-zugsgebietes errechnen. Sie ist von der Entfernung des weitestgelegenen Anlieferers von der Trocknungsanlage ab-hängig, denn diese wird durch die Höhe der Transportkosten bestimmt, die noch eine Wirtschaftlichkeit der Grünfütter-heißlufttrocknung ermöglichen. Bei der Errechnung der Ernte-fläche aus der Größe des Einzugsgebietes zeigt es sich, daß die örtlichen Verhältnisse durch den Korrekturfaktor Flächen-form, durch den Faktor landwirtschaftlicher Nutzfläche und Dauergrünlandanteil sehr gut berücksichtigt werden. Die Länge der Vegetationszeit wird in dem Flächenanteil der Winterfütterbereitung berücksichtigt. Nutzflächenverhältnis und Länge der Vegetationszeit sind aber kaum veränderliche Größen und deshalb von geringerem Einfluß auf die Ernte-fläche Grünfütterheiße-lufttrocknung als der Anteil der son-stigen Konservierungsverfahren. Dieser Anteil kann über die Futterrationsration bestimmt werden. Für den Ergänzungsbetrieb konnte ein Anteil von 0,55 ermittelt werden, für den Auf-zuchtbetrieb ein Anteil von 0,47, wobei in beiden Fällen Briketts in vollem Umfang eingesetzt wurden.

Der Grünlandertrag wird durch die Standortfaktoren des Grünlandes bestimmt. Dabei tritt als wichtigster Einfluß auf die notwendige Durchsatzleistung des Trockners die Ertragsverteilung auf, die durch gezielte Stickstoffdüngung beeinflußt werden kann, ohne aber das Zuwachsmaximum im Frühjahr beseitigen zu können. Der wesentliche Trocknungsgutertrag zur Dimensionierung der Anlagen wird deshalb in Abhängigkeit vom 1. Schnittzeitpunkt gesehen, der zur Zeit der Weidereife eines Bestandes erreicht ist.

Durch die Verteilung der Trocknerstunden bei Anlagen in der Praxis ließ sich der Engpaß im Frühjahr, der sich schon durch die Ertragsverteilung andeutete, nachweisen. Die notwendige Durchsatzleistung muß deshalb in Abhängigkeit von der Trocknungszeitspanne des 1. Schnittes geplant werden. Diese kann aus den phänologischen Beobachtungswerten "Weidegangbeginn" und "Heuerntebeginn" bestimmt werden. Für Weißenstephan konnte eine maximale Trocknungszeitspanne im 10-jährigen Durchschnitt mit 31 Tagen errechnet werden.

3. Die notwendige Durchsatzleistung des Trockners ist in die notwendige Verdampfungsleistung umzurechnen, um die zu installierende Größe der Trocknungsanlage besser charakterisieren zu können. Die Verdampfungsleistung in t/h hängt aber hauptsächlich vom Anfangsfeuchtegehalt des Trocknungsgutes und der dadurch möglichen Trocknungslufttemperatur ab. Um hierüber eindeutige Aussagen machen zu können, wurde aufgrund umfangreicher Trocknungsversuche die notwendige Verdampfungsleistung über den spezifischen Wärmeaufwand errechnet, der durch die nichtlineare Regression in Abhängigkeit vom Anfangsfeuchtegehalt dargestellt werden konnte. Die Regressionsgleichung lautet:

$$y = (1,72997 - 0,0512 x + 0,00042 x^2) 35 983 \text{ (kJ/kg)}$$

y = spezifischer Wärmeaufwand (Q_1) in kJ/kg Trockengut

x = Anfangsfeuchtegehalt in %

Weiterhin mußte die vorherrschende Witterung bei der Bestimmung der notwendigen Verdampfungsleistung berücksichtigt werden. Hierzu wurde der durchschnittliche Anfangsfeuchtegehalt der Trocknungszeitspanne errechnet. Hierbei konnte für Regentage ein durchschnittlicher Feuchtegehalt von 85 % ermittelt werden. Der durchschnittliche Anfangsfeuchtegehalt an Tagen ohne Niederschlag wurde nach empirischen Gleichungen bestimmt oder aus dem Mittelwert dieser Gleichungen. Das gewogene Mittel beider Feuchtegehalte ergibt den Feuchtegehalt der Trocknungszeitspanne.

Die Errechnung der notwendigen Verdampfungsleistung erfolgt mit der nachfolgenden Gleichung:

$$L_{WV} = \frac{F_{HT} \cdot m_G \cdot 100 (1,72997 - 0,0512 \bar{U} + 0,00042 \bar{U}^2)}{t_2 \cdot 10^{0,8338 + 0,01271 \bar{U}}} \quad (\text{t/h})$$

L_{WV} = notwendige Verdampfungsleistung in t/h

F_{HT} = Erntefläche für das Konservierungsverfahren
Heißlufttrocknung

m_G = Masse Trocknungsgut (bezogen auf Trockengut) in dt/ha

t_2 = Summe der Trocknerstunden der Trocknungszeitspanne

Hierbei wird in Abhängigkeit des anfallenden Trocknungsgutes die zur Trocknung notwendige Wärmemenge (Q) ermittelt. Wird diese Wärmemenge Q durch die Heizleistung (bezogen auf 1 Tonne Wasserverdampfung pro Stunde) dividiert, erhält man die notwendige Wasserverdampfungsleistung.

4. Durchgeführte Planungsbeispiele zeigen deutlich die Notwendigkeit einer exakten Anpassung der erforderlichen Verdampfungsleistung an die örtlichen Gegebenheiten. So konnte in Beispielen für den norddeutschen Raum mit größerem Einzugsgebiet eine notwendige Verdampfungsleistung von 20,8 t/h und für den süddeutschen Raum mit dem kleineren Einzugsgebiet 20,4 t/h nachgewiesen werden. Diese erheblichen Differenzen sind in erster Linie durch die verschiedenen Klimabedingungen verursacht, speziell durch unterschiedliche Vorwelkmöglich-

keiten (Anfangsfeuchtegehalt \bar{U}) und durch verschiedene Trocknungszeitspannen. Für den süddeutschen Raum mit seinen erschwerten Bedingungen muß deshalb eine besonders sorgfältige Planung vorgesehen werden, um die geringen Möglichkeiten zur Ausweitung der Trocknungszeitspanne optimal zu nutzen.

7. Literaturverzeichnis

- 1 Achilles, A.: "Die Fütterung von Pellets, Cobs und Briketts".
Landtechnik Heft 6 (1973),
S. 177 - 179.
- 2 Avena, M. U.: "Wieviel Einfuhrtage stehen im norddeutschen Raum für die Bergung von Winterfutter zur Verfügung?".
Meteorologische Rundschau 21,
(1968) H. 6, S. 169 - 175.
- 3 Agrarbericht 1974: Agrar- u. ernährungspolitischer Bericht der Bundesregierung.
- 4 Alberda, T.: "Maximale grasproduktion".
Stikstof 5/60 (1968),
S. 538 - 545.
- 5 Albrecht, M.: "Auswirkung der Klarwasser- und Gülleverregung auf das Ertragsvermögen und den Wachstumsverlauf von Intensivweiden grundwasserferner toniger Substrate".
Z. Landeskult. 11/6 (1970),
S. 459 - 477.
- 6 Albrecht, P.: "Ermittlung der optimalen verfahrenstechnisch bedingten Produktionseinheiten der Halmfuttermittelgewinnung unter Berücksichtigung natürlicher Standortfaktoren".
Diss. Göttingen (1973)

- 7 Banthien, P.: "Versuche mit verschiedenen neuen Halmfutteraufbereitungs-
maschinen in der Bodenheutrock-
nung".
Diss. Göttingen 1969.
- 8 Bayer. Landesanstalt "Entwicklung der genossensch.
für Tierzucht in Grub: Heißlufttrocknung in Bayern".
Briefl. Mitt. V/3-3.4. (v.H.
Mayer) 4. 4. 1973.
- 9 Bechstädt, O.: "Weidennutzung bei hoher N-
Düngung".
Tierzucht 24/2 (1970),
S. 64 - 65.
- 10 Beckhoff, J.: "Konservierung im Mähweidebetrieb -
Ideal und Wirklichkeit".
Mitt. DLG 86/22 (1971),
S. 573 - 574.
- 11 Beckhoff, J.: "Trocknungszeit und Nachwuchs des
Grünlandes".
Das wirtschaftseigene Futter 1974/
Bd. 20 H 3 + 4.
- 12 Brockmann, J. S.: "The relationship between total N
input and yield of cut grass
swards".
J. Brit. Grassl. Soc. 24/2 (1969),
S. 89 - 97.

- 13 Brockmann, J. S.: "Fertilizer N and the yield of cut grass swards in Eastern England".
J. Brit. Grassl. Soc. 26/1 (1971)
S. 17 - 23.
- 14 Brougham, R. W.: "Weather fluctuations and the daily rate of growth of pure stands of three grass species".
New Zealand J. Agr. Res. 12/1
(1969) S. 125 - 136.
- 15 Broža, A.: "Die Trocknung von Futterpflanzen".
Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft 4/1966.
- 16 Bühring, D.: "Der Einfluß der Belichtung vor dem Schnitt auf das Nachschnittlängenwachstum bei perennierenden Gräsern".
Wiss. Z. KMU Leipzig Math. Naturwiss. R. 17/2 (1968), S. 395 - 397.
- 17 Burckhardt, H.: "Zur Häufigkeit von Stunden mit Luftfeuchtheitswerten, die für die Landwirtschaft von besonderer Bedeutung sind".
Meteorol. Rundschau 20 (1967),
S. 98 - 104.
- 18 Burg, P.F.J.van: "Stikstofbemesting van grasland. 2. Invloed van de hoeveelheid en het tijdstip van een stikstofbemesting op de weidevroegeheid in het voorjaar.
Stikstof 3 (1961), S. 187 - 194.

- 19 Burg, P.F.J.van: "De toepassing van stikstofoplossingen.
2. Troeven op bouwland en grasland in 1966 - 1968".
Stikstof 6/62 (1969), S. 61 - 65.
- 20 Burgstaller, G.: "Verwertung von heißluftgetrocknetem Grünfutter durch landw. Nutztiere".
KTBL-Schrift 176 (1974)
- 21 Burnham, C. P.: "Effect of soil parent material, elevation, aspect and fertilizer treatment on upland grass yield".
J. Brit. Grassl. Soc. 25/4 (1970), S. 272 - 277.
- 22 Burns, J. C.: "Seasonal dry matter distribution and annual yields of a cool-season sward as altered by frequency and rate of nitrogen application".
Agron. J. 62/4 (1970), S. 453-458.
- 23 Caputa, J.: "Wachstumsrhythmus und Stickstoffwirkung auf natürlichen Beständen der Bergweiden".
Wirtschaftseig. Futter 16 (1970), S. 165 - 182.
- 24 Collins, D. P.: "Effect of time and frequency of cutting on total seasonal production of herbage".
Irish J. Agr. Res. 8/1 (1969), S. 29 - 40.

- 25 Denudt, G.: "Etude des differences de comportement entre 6 varietes herbageres, exploitees au stade pature".
Fourrages 43 (1970), S. 19 - 33.
- 26 Detre, I.: "Neuere Erfahrungen aus der Grünfütterttrocknung in Ungarn".
Dtsch. Agrartechn. 15 (1965), 12, S. 539 - 541.
- 27 Deutscher Wetterdienst: Deutsches meteorologisches Jahrbuch.
- 28 Deuringer, F.: "Die landwirtschaftlichen Trocknungswerke in Bayern".
Mitteilungen zur Beratung 69/2 (1969)
Seminar für Beraterfortbildung, Dachau.
- 29 Deuringer, RD.: "Heißlufttrocknung in der Schweiz".
Bericht über eine Studienfahrt vom 11. - 13. 11. 1970 in die Schweiz (1971).
- 30 Dräger, J.: "Das Verfahren der Heißlufttrocknung für die industriemäßige Futterproduktion".
Agrartechnik, 23 H. 8 (1973)
S. 352 - 353.
- 31 Fachverband landw. Trocknungswerke e.V.: "Rundschreiben 5/70
Kiel 14. April 1970.

- 32 Fachverband landw. Trocknungswerke e.V.: "Landwirtschaftliche Trocknungs-
werke in der BRD Stand: 1. 1. 1970
Kiel im März 1970.
- 33 Falke, F.: "Die Bodenheubereitung".
Arbeiten DLG Heft 111 zit. in
Pflugbeil Diss. 1973 TUM
- 34 Foss, S.: "Vekstrytme hos timoteisorter".
Forskning Forsok Landbr. 1968,
S. 487 - 518.
- 35 Frankena, H. J.: "Het kunstmatig drogen van gras
1938 - 1963".
Wageningen, Proefstat. voor
Akker-en Weidebouw
Landbouwkund. Tijdschr. 35
(1963) 11, S. 499 - 506.
- 36 Garwood, E. A.: "Soil water use and growth of a
grass sward".
J. Agr. Sci./68 (1967) 2,
S. 281 - 292.
- 37 Gillet, M.: "Le potentiel de production des
graminees en fonction des rythmes
de croissance et de developpement".
Fourrages 38/ 1969, S. 57 - 74.
- 38 Gillet, M.: "Physiologyo of some temperate
forage grasses and cutting date
in the spring".
Proceed. XI. Intern. Grassl.
Congr. 1970, S. 545 - 548.

- 39 Gillio, M.: Genie rur., Paris/65 (1972) 6/7,
S. 373 - 375
- 40 Hadelers, U.: "Trockengrünfütter"
Handbuch der Futtermittel Band I
1969
Verlag Paul Parey, Hamburg und
Berlin.
- 41 Hammer, W.: "Die Trocknung von Rübenblättern,
Zuckerrüben und Grünfütterpflanzen".
Heft 72 der RKTIL Schriften 1936.
- 42 Henk, G.: "Untersuchung über die Nährstoff-
und Carotinverluste bei der Heiß-
lufttrocknung von Grünfütter und
der Lagerung von Trockengrünfütter".
Diss. Rostock Oskar-Kellner-Insti-
tut (1967).
- 43 Hesse, W.: "Über die Problematik der Er-
fassung des Wasser- und Wärmebe-
darfs von Kulturpflanzen und die
Ermittlung des atm. Einflusses
auf die Stoffproduktion und den
Ertrag von Fütterpflanzen".
Wiss. Z. Univ. Leipzig Math.-
Naturwiss.R. 17/2 (1968),
S. 257 - 262.
- 44 Hilbert, M.: "Untersuchungen über den Wachs-
tumsrhythmus von Grünlandarten und
über Möglichkeiten seiner Beein-
flussung".
Z.Acker- u. Pflanzenb. 131/2 (1970),
S. 137 - 158.

- 45 Hoglund, C. R.: "Silo news, an important word for word report".
zit. n. Albrecht 1973 (6).
- 46 Honig, H.: "Technik der Halmfütterernte und Futterkonservierung".
Bericht über eine Studienfahrt nach Rumänien vom 17. 6. bis 8. 7. 1973.
- 47 Hunkeler, K.: "Tierfütterung und Futterkonservierung im Wandel der Zeiten".
Nachrichtenbl. Arbeitsgem. landw. Trocknungsbetriebe in Bayern 4, Nr. 5 (1968)
zit. in Pflugbeil Diss. 1973 TUM
- 48 Hunt, I. V.: "Fundamentals of grassland management. Part 6 - The structure and development of a grass sward".
Scot.Agr. 49/1 (1970), S. 34 - 41.
- 49 Jagtenberg, W. D.: "Vervroeging van de grasgroei in het voorjaar".
Stikstof 5 (1968), S. 411 - 416.
- 50 Jakimowa, J.: "Ergebnisse von Stickstoffdüngungsversuchen auf angesäten Weiden in Bulgarien".
Tagungsber. DAL 94 (1968)
S. 9 - 42.

- 51 Jaquard, P.: "Comparison du rythme saisonner de croissance de deux graminees perennes:
Festuca arundinacea Schreb."
(CV. S. 170) et Phleum pratense L.
(CV. Melusine)
Ann.Amel.Plantes 20/1 (1970),
S. 45 - 77.
- 52 Kaltofen, H.: "Gefäßversuche über den Zuwachsverlauf verschiedener Gräser nach einer Nutzung".
Z. Landeskult. 8/2 (1967)
S. 123 - 134.
- 53 Kaufmann, W.: "Bewertungsschlüssel für Halmfutter".
Das Wirtschaftseigene Futter 1970
Heft 4, S. 269/244.
zit. in Wieneke (127)
- 54 Keim, F. D.: "Die Mechanisierung von Heuernteverfahren in Mähweidebetrieben des süddeutschen Grünlandgürtels".
Diss. Hohenheim 1968.
- 55 Kin, W. K. L.: "Effect of time and rate of N applications on yield, nutritive value index, crude protein and nitrate content of bromegrass".
Agron. J. 62/4 (1970),
S. 442 - 444.
- 56^a Kirchgeßner, M.: "Tierernährung"
Leitfaden für Praxis, Beratung und Studium.
DLG-Verlag Frankfurt/Main 1970.

- 56 b Kirchgeßner, M.: "Zur Verdaulichkeit von Mähweidegras bei verschiedenen Konservierungsverfahren".
Das wirtschaftseigene Futter
21/ 1975
- 57 Klapp, E.: "Wiesen und Weiden, eine Grünlandlehre".
4. Auflage Verlag Paul Parey,
Berlin und Hamburg 1971.
- 58 Knauer, N.: "Leistungsstand und Leistungsfähigkeit des Grünlandes".
Bauernblatt Schleswig-Holstein
27/123 (1973)
zit. in KTBL 176
- 59 Kneule, F.: "Das Trocknen".
Grundlagen der chemischen Technik - Verfahrenstechnik der chemischen und verwandter Industrien
2. Auflage Verlag Sauerländer
Aarau und Frankfurt am Main 1968.
- 60 Knievel, D. P.: "Influence of growth stage and stubble height on herbage yields and persitence of smooth brome grass and timothy".
Agron.J.63/3 (1971), S. 430 - 434.
- 61 Koblet, R.: "Über die Bestockung und ihre Auswirkungen auf die Ertragsbildung bei Futtergräsern".
Schweiz.Landw.Forsch.8/1 (1969),
S. 80 - 108.

- 62 Koeniger, W.: "Die künstliche Grünfütter-Trocknung".
RKTL-Schriften H. 25 (1931).
- 63 Kretzschmar, G.: "Mit Trockengrün zu neuen Ufern".
Mitt. d. DLG (1969) 27, S. 882.
- 64 Kröll, K.: "Trockner und Trocknungsverfahren".
Krischer/Kröll Trocknungstechnik
Band 2 (1959).
- 65 Lampeter, W.: "Untersuchungen über den Trockenmassezuwachs auf einer Mittelgebirgsweide in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung und der Witterung sowie die Veränderungen der wichtigsten Inhaltsstoffe im Futter".
2. Mitteilung Z. Landeskult. 11/6
(1970), S. 433 - 457.
- 66 Lüke, F.: "Die heutige Bedeutung der künstlich getrockneten wirtschaftseigenen Futtermittel für die Tierernährung".
Diss. Bonn Popp. 969 (1957).
- 67 Maaf-Roudpichi, S.M.: "Untersuchungen über Pflanzenbestände und Leistungen des Dauergrünlandes auf dem Versuchsgut Veitshof".
Diss. TUM-Weihenstephan (1969).

- 68 Maltry, W.: "Landwirtschaftliche Trocknungs-
technik".
VEB Verlag Technik Berlin (1966).
- 69 Maltry, W.: "Heißlufttrocknung und Wärme-
energiebedarf".
Agrartechnik H 5 / 1974
- 70 Maltry, W.: "Untersuchungen an Trommeltrock-
nern mit Kreuzeinbauten"
Deutsche Agrartechnik 19, 1969
H 1 S. 45/46.
- 71 Mansat, P.: "Les potentiels de fourrageres
d'apres des references acquises
a l'echelle experimentale".
Fourrages, 38 (1969) S. 75 - 88.
- 72 Marambio, J.: "Der Einfluß gesteigerter Stick-
stoffgaben auf die Nähr- und
Mineralstoffgehalte von Mäh-
weidefutter".
Diss. TUM-Weihenstephan 1971.
- 73 Mosel, B.v.d.: "Das ABC der künstlichen Futter-
trocknung".
Praxis und Forschung 6 (1954)
S. 30.
- 74 Mosel, B.v.d.: "Wodurch kann der Landwirt zur
Kostensenkung bei der künst-
lichen Trocknung beitragen?"
Praxis und Forschung 6 (1954)
S. 29.

- 75 Myr, K.: "Verknaden av stygging på vekst, utvikling og kjemisk samansetning hos nokre grasarte".
Forskning Forsok Landb. (1969),
S. 297 - 315.
- 76 Nielebock, W.: "Zur Rationalisierung der Trockengrünproduktion".
Deutsche Agrartechnik 18 (1968) 5,
S. 219 - 221.
- 77 Nösberger, J.: "Die Analyse der Ertragsbildung von Pflanzen".
Schweiz.Landw.Monatsh. 48, 10,
(1970), S. 325 - 345.
- 78 Nordenskjöld, R.v.: "Stand der Technik der Grünfutter-Heißlufttrocknung".
Grundl. Landtechnik 20 (1970) 1,
S. 16 - 20.
- 79 Nordenskjöld, R.v.: "Heißlufttrocknung".
Landtechnik 9 Anfang Mai 1971.
- 80 Nowak, M.: "Düngung der Weiden mit verschieden hohen N-Mengen in der VR Polen".
Tagungsber. DAL 94 (1968),
S. 79 - 102.
- 81 Olfe, H. C.: "Untersuchungen über die Korrespondenz der meteorologischen Daten mit den thermodynamischen Trocknungsmöglichkeiten von Halmfutter".
Nr. 141 KTBL-Berichte über Landtechnik 1971.

- 82 Ono, S.: "Physiologisch-ökologische Untersuchungen über das Nachwachsen von Futterpflanzen".
J.Jap.Soc.Grassl.Sci. 14/1 (1968), S. 10 - 19.
- 83 Pahl, E.: "Jahreszeitliche Schwankungen der Futterproduktion auf einigen Weiden und ihre Abhängigkeit von der Evapotranspiration und von der Witterung".
Diss. 1968 TUM-Weihenstephan.
- 84 Pahl, E.: "Jahreszeitliche Schwankungen auf einigen Weiden Südbayerns".
Z.Acker-Pflanzenb. 130/4 (1969), S. 304 - 322.
- 85 Pfau, R.: "Verfügbare Feldarbeitstage für die verschiedenen Verfahren der Futterernte".
KTBL 38, Manuskriptdruck 1971.
- 86 Pflugbeil, J.M.: "Zur Qualität von heißluftgetrocknetem Mähweidegras in Abhängigkeit von Standort, Bewirtschaftung und Verarbeitung".
Diss. TUM 1973.
- 87 Programmbibliothek Landtechnik Weihenstephan
- 88 Prym, R.: "Veränderung des Futterwertes bei der Heißlufttrocknung von Grünfutter und Möglichkeiten zu ihrer analytischen Kennzeichnung".
Diss. Rostock 1971 Oskar-Kellner-Institut für Tierernährung.

- 89 Puech, J.: "Comparaison des consommations d'eau et des productions de matiere seche de quelques cultures irreguees".
Ann.Agron. 19/3 (1968), S. 365-377.
- 90 Puttich: "Bedeutung des Meßwesens in der Landwirtschaft am Beispiel der technischen Trocknung von Grünfutter".
Agrartechnik 23 (1973), H. 6, S. 276 - 278.
- 91 Rappe, G.: "Seasonal variation in the rate of pasture regrowth after grazing".
Plant and Soil 3 (1951), S. 309 - 388.
- 92 Ratschow, J. P.: "Energieeinsparung durch Vorwelken bei der Heißlufttrocknung".
Landtechnik 5 Mai 1974.
- 93 Reinhardt, H.: "Beitrag zur ökonomischen Beurteilung der Heißlufttrocknung von Grünfutter".
Das wirtschaftseigene Futter 18 (1972), HZ, S. 125 - 135.
- 94 Reiner, L.: "Verlauf der Extraktminderung bei Vermälzung eiweißreicher Gersten".
Brauwissenschaft Jg. 25 (1972) H. 1, S. 1 - 7.
- 95 Revaz, J. P.: "Ergebnisse der Sortenversuche mit Knaulgras 1966 bis 1968".
Arb.Geb.Futterbau 13, (1970) S. 24 - 29.

- 96 Reveille, J.: "Trocknung landw. Produkte".
Genie rur. 63 (1970) 2,
S. 105 - 110.
- 97 Richter, K.: "Höhere und sichere Erträge
durch Stickstoffdüngung und
Mähweidennutzung".
Tierzucht 22/2 (1968),
S. 52 - 55.
- 98 Ringwald, F.: "Die künstliche Graastrocknung".
Grüne 98, (1970) 22,
S. 783 - 787.
- 99 Roberts, H. W.: "Forage crop drying in the
United Kingdom".
Proc. 3rd. Gen. Meeting EGF
Braunschweig (1969).
- 100 Röttschke, W.: "Untersuchungen über den Trocken-
massezuwachs auf einer Mittelge-
birgsweide in Abhängigkeit von der
Stickstoffdüngung und der Witterung
sowie Veränderungen der wichtig-
sten Inhaltsstoffe im Futter".
Z. Landeskult. 11/4 (1970),
S. 239 - 254.
1. Mitteilung: "Der Trockenmasse-
zuwachs in Abhängigkeit von der
Stickstoffdüngung und dem Vege-
tationsmonat".
- 101 Ryle, G. J. A.: "Effects of two levels of applied
nitrogen on the growth of S37
cocksfoot in small simulated sward
in a controlled environment".
J.Brit.Grassl.Soc. 25/1 (1960),
S. 20 - 29.

- 102 Sachs, L.: "Statistische Auswertungsmethoden".
Dritte, neubearbeitete und erweiterte Auflage mit neuer Bibliographie
Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1972.
- 103 Samoila, Z.: "Ergebnisse der Versuche mit verschiedenen hohen Stickstoffmengen auf einigen natürlichen Weidetypen der S. R. Rumänien".
Tagungsber. DAL 94 (1968),
S. 103 - 155.
- 104 Schneider, B.: "Heißlufttrocknung von Grünfutter und Hackfrüchten".
VEB Verlag Technik Berlin 1970.
- 105 Schneider, B.: "Stand und Entwicklung der Heißlufttrocknung in der DDR".
Agrartechnik 23. Jg. Heft 8
August 1973.
- 106 Seidel, K.: "Künstliche Trocknung von eiweißreichem Grünfutter".
Schriften der Gesellschaft zur Förderung der landwirtschaftl. Trocknung
Hamburg 1954.
- 107 Spatz, G.: "Der Trocknungsverlauf von Heu im Freiland".
Bayer. Landw. Jahr 47 (1970), H. 4
S. 446 - 464.

- 108 Sprenger, J.J.I.: "Welche Untersuchungen sind für die technische Beurteilung eines Grünfütteretrockners erforderlich?"
Futterkonservierung 1, 1955,
S. 237 - 241.
- 109 Stählin, A.: "Ein Beitrag zur Frage der Voraussdüngung auf dem Grünland.
Teil II. Voraussdüngung und chemische Zusammensetzung".
Kali-Briefe 10/Fachg. 8, 6. Folge
S. 13 1971.
- 110 Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 1974
Verlag Paul Parey
- 111 Straumann, K.: "Die künstliche Graastrocknung zur Erzeugung von Heu".
Schweizer landw. Monatsh. 7 (1929)
S. 247 - 254
- 112 Strehler-Pöppel, A.: "Die Trocknungslufttemperaturen bei der Körnermaistrocknung in ihrer Auswirkung auf Trocknungstechnik, Futterqualität und Kosten".
Landtechnik Weihenstephan Nr. 6
1974
- 113 Strehler, A.: "Situation der Trocknungswerke in Bayern 1971".
Zwischenbericht zum Forschungsauftrag "Grünfütteretrocknung" über die Arbeiten März 1972 bis Februar 1973,
Anlage 1

- 114 a Tack, F.: "Zu Problemen der Produktion von Trockengrüngut, insbesondere der Trocknung gewelkten Grünfutters".
Dt. Agrartechnik 21 (1971),
S. 123 - 125.
- 114 b Tack, F.: "Technologische Folgen der Trocknung von vorgewelktem Futter".
Dt. Agrartechnik 5 (1974)
- 115 Thönies, E.: "Die Stickstoffdüngung von Knautgras-Ladino-Mischungen".
Arb.Geb.Futterbau 12 (1969),
S. 20 - 26.
- 116 Thornthwaite, C.W., Mather, J.R.: "Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance".
Publications in Climatology,
Volume X, Number 3
Centerton, New Jersey 1957.
- 117 VDMA 24351: "Trocknungstechnische Grundbegriffe".
VDMA-Einheitsblätter 1963
- 118 Vetter, H.: "Die Stickstoffdüngung auf einer Dauerweide auf Parabraunerde in acht Versuchsjahren".
Wirtschaftseig. Futter 14/1 (1968),
S. 34 - 47.

- 119 Voigtländer, G.: "Stickstoff in der Grünland-
düngung".
Sonderdruck aus Chemie- und Land-
wirtschaft Produktion.
100 Jahre Landw.chem.Bundesver-
suchsanstalt Wien 1870 - 1970
(1970).
- 120 Voigtländer, G.: "Veränderung der Weideperiode
durch rechtzeitige Nutzung und
Stickstoffdüngung".
Das wirtschaftseigene Futter 20/2
(1974)
- 121 Voigtländer, G.: "Ergebnisse der Grünland- und
Futterbauforschung".
Dokumentationsbericht Nr. 2 (1971).
- 122 Wacker, H.: "Die künstliche Grünfütteretrock-
nung".
DLG-Verlags-GmbH Frankfurt/Main
1957.
- 123 Waydbrink, W.: "Höhe und Sicherheit der Erträge
des Grünlandes in verschiedenen
Niedermoorgebieten".
Z. Landeskult. 10/4-6 (1969),
S. 279 - 295.
- 124 Weise, F.: "Einfluß unterschiedlicher Vorwelk-
zeit auf den Gärverlauf".
Das wirtschaftseigene Futter (1975)
Bd. 21 H. 1

- 125 Wenner, H.-L.: "Stand der Entwicklung bei Grünfütteretrocknungsanlagen".
Berichte über die Jahrestagung der Landtechnik Weißenstephan vom 10. und 11. Okt. 1973.
- 126 Wermke: "Untersuchung über die Heißlufttrocknung von Grünfütterpflanzen".
Das wirtschaftseigene Futter Heft 3 (1973).
- 127 Wieneke, F.: "Verfahrenstechnik der Halmfütterproduktion".
Verlag Prof. Dr.-Ing. F. Wieneke, Göttingen 1972.
- 128 Wieneke, F.: "Technologie der Heißlufttrocknung und Verpressung von Grünfütter".
KTBL-Schrift 176 (1974).
- 129 Wrede, H.: "Neuzeitliche Grünlandwirtschaft im hessischen Mittelgebirge. Beispiel Vogelsberg".
Schriftenreihe des Bodenverbandes Vogelberg Heft 6 (1972).
- 130 Zabeltitz, C.v.: "Entwicklung eines Grünfütteretrockners hoher spezifischer Leistung".
Verfahrenstechnik 1973 Heft 12.
- 131 Zeisig, H.-D.: "Möglichkeiten und Grenzen des Vorwelkens bei der Grünfütterheißlufttrocknung".
Jahrestagung 1974 Landtechnik Weißenstephan 8/1974

- 132 Zimmer, E.: "Pflanzenbauliche Voraussetzungen und Möglichkeiten bei der Heißlufttrocknung".
KTBL-Schrift 176 (1974).
- 133 Zivotko, B.: "Opyt proizvodstvi vitaminnoj muki v Belorussii".
Technika v sel`skom chozjajstve, Moskva 1967 Nr. 9, S. 14 - 18.
- 134 Zwischenbericht zum Forschungsauftrag
"Grünfütterttrocknung"
über die Arbeiten März 1972
bis Februar 1973.

8. Anhang

Anhangstabelle 1

Geschichtlicher Überblick
von 1777 bis 1929
über die künstliche Trocknung
nach PFLUGBEIL (86) erweitert

<u>Jahr</u>	<u>Trockenort, Trocknungszweck</u>
1777	Riege mit 2 Riegenstuben
1795	Riege auf Gut Manalas in Estland
1806	Anfänge der Kartoffeltrocknung auf offenen Darren
1817	Erste Darre zur Zichorientrocknung in Sachsen
1829	Malzdarre in Schlesien
1847	Umbau der Riege auf Gut Manalas zur Mehrfruchttrocknung
1868	Geschlossener Trockner in Lübeck (Kammer-Band-Wandtrockner)
1870	Schnitzelwendetrockner in Oberschlesien
1875	Trommeltrockner in Altona
1878	Patentschrift über einen Strahlungs- trockner
1880	Offene Darre in Ostpreußen
1881	Patentschrift über einen Vakuumtrockner
1891	Walzentrockner in Pommern
1896	Patentschrift über einen Förderluft- Rohrtrockner
1902	Milchtrockner in Schleswig-Holstein
1905	Trommeltrockner in Schlesien auf dem Hubertushof (v. Naehrichsche Gutsverwaltung)
1929	Patentschrift über einen Gefriertrockner

Anhangstabelle 2

Trockengrün in der Bundesrepublik Deutschland
(in Tonnen)

Jahr	Eigenproduktion	Importüberschuß	Verbrauch
1957	48 300	16 290	64 590
1958	39 600	19 090	58 690
1959	24 200	26 250	50 450
1960	39 800	27 140	66 940
1961	42 350	31 800	74 150
1962	32 000	53 000	85 000
1963	34 600	62 100	96 700
1964	27 750	93 920	121 670
1965	34 300	125 900	160 200
1966	40 000	164 800	204 800
1967	35 000	151 300	186 300
1968	32 000	161 500	193 500
1969	29 250	196 700	225 950
1970	27 000	244 310	271 310

Trockengrünimporte (in Tonnen) in das Bundesgebiet

Exportland	1970	1969	1967	1965	1963
Dänemark	145 348	111 541	72 089	52 558	13 934
Frankreich	72 947	72 627	57 248	44 744	23 796
Niederlande	11 377	8 001	16 490	23 856	20 546
Belgien	-	26	123	23	40
USA	2 547	-	-	2 412	10 233
Schweden	-	290	21	114	-
Norwegen	-	-	-	387	-
Polen	3 780	4 096	5 153	1 831	-
Österreich	225	-	-	-	746
ČSSR	815	119	-	-	-
Ungarn	7 219	20	148	-	-
Schweiz	30	-	39	-	-
Italien	230	-	-	-	-
Importsumme:	244 518	196 720	151 311	125 925	69 295
Demgegenüber stehen Exporte	208	18	-	-	7 195

Trockengrün (in Tonnen) 1970

	Produktion	Import	Export	Verbrauch	1964 Verbrauch	1967 Verbrauch
BRD	27 000	244 518	208	271 310	121 700	186 700
Belgien	11 000	59 776	967	69 809	30 000	60 340
Niederlande	119 377	177 486	15 341	281 522	135 000	223 642
Frankreich	552 360	10	209 850	342 520	75 000	150 000
Italien	75 000	13 300	230	88 070	87 000	110 000
Dänemark	275 000	20	216 800	58 220	35 000	90 000
Schweden	54 000	8 000	-	62 000	-	-
Österreich	10 000	8 000	1 225	16 775	-	-
CIDE 1970	1 123 737	511 110	444 621	1 190 226	483 700 ^{*)}	820 282 ^{*)}

^{*)} ohne Österreich und Schweden

Anhangstabelle 5

Entwicklung der Trockengrünproduktion (in Tonnen)

	BRD	Belgien	Nieder- lande	Frank- reich	Italien	Däne- mark	Schweden	Öster- reich	CIDE ^{*)}
1961	42 350	16 000	100 000	75 000	85 000	22 000			340 350
1964	27 750	20 000	95 000	150 000	85 000	89 000			466 750
1966	40 000	20 000	115 400	230 000	84 600	140 000			630 000
1967	35 000	24 000	135 000	320 000	100 000	180 000			794 000
1968	32 000	24 000	133 000	450 000	90 000	250 000			979 000
1969	29 245	15 000	100 000	425 000	85 000	200 000	39 400	11 500	854 245
1970	27 000	11 000	119 377	552 360	75 000	275 000	54 000	10 000	1123 737

*) Summe der CIDE-Produktion erst ab 1970 einschl. Schweden und Österreich

Anhangstabelle 6

Entwicklung der genossenschaftlichen Heißlufttrocknung in Bayern

n. Bayer. Landesanstalt für Tierzucht in Grub (8)

Betr. Jahr	Anzahl der		Inbetriebnahme		Trockengutproduktion		
	Grünl. Anlagen	komb. Anlagen	Grünl. Anlage	komb. Anlage	Trockengrün dt	Kartoffel- schrot dt	Sonstiges dt
1960	1	2	1	-			
1961	5	5	4	3			
1962	8	8	3	3			
1963	10	9	2	1			
1964	10	9	-	-			
1965	10	10	-	1	87,016	35,821	14,745
1966	10	13	-	3	116,513	88,014	16,450
1967	10	16	-	3	115,610	165,538	21,425
1968	10	17	-	1	109,029	253,552	40,185
1969	10	20	-	3	115,136	194,454	36,926
1970 ¹⁾	10	24	-	5	104,100	346,000	102,462
1971 ²⁾	10	24	1	-	111,650	306,388	112,023
1972 ³⁾	10	25	1	1	167,847	521,910	89,112

1) 2) 3) je 1 Genossenschaft aufgelöst oder fusioniert.

Anhangstabelle 7

Grünfütterheilufttrocknungsanlagen

Erhebung 1973

Fabrikat, Verdampfungsleistung und Jahr der Inbetriebnahme

Standort der Anlagen	Nr.	Trocknerfabrikat	Wasserverdampfung t/h Fa. Angaben	Inbetriebnahme Monat/Jahr	Stilllegung
Achental	1	v.d.broek	10,0	5. 1973	-
Altusried	2	v.d.broek	2,5	1961	-
Buchenberg	3	Karer	1,5	1961	1973
Hergatz	4	v.d.broek	2,5	1961	-
Isny-Mayerhöfen	5	Swiss Combi	5,0	1964	-
Kempton	6	v.d.broek	10,0	8. 1973	-
Kiefersfelden	7	Swiss Combi	5,0	1971	-
Kirchdorf a.H.	8	v.d.broek	10,0	5. 1973	-
Lengenfeld	9	v.d.broek	10,0	9. 1973	-
Nesselwang	10	v.d.broek	2,5	1962	7.1973
Neuricht	11	Swiss Combi	10,0	5. 1973	-
Oberallgu	12	Heil	2,7	1962	-
Obergnzburg	13	v.d.broek	1,8	1960	-
Ruderatshofen	14	v.d.broek	8,0	1973	-
Rothachtal	15	Heil	2,7	1963	1973
Schongau-West	16	v.d.broek	10,0	8. 1972	-
Wolfratshausen-Ost	17	v.d.broek	15,0	9. 1973	-
Gut Unterholz (privat)	18	v.d.broek	5,0	6. 1971	-
Schwaiganger (staatl)	19	v.d.broek	3,7	1971	-

Grünfütterheiluftttrocknungsanlagen - Erhebung 1973
Organisatorischer Aufbau der Anlagen

Standort der Anlage	Anzahl d. Mitglieder	Anzahl d. Anteile	Anteile pro Mitglied	Wert je Anteil in DM	Zeichnungshöhe in DM	Lieferrecht je Anteil in dt Trockengut	Lieferpflicht	Anfuhr
Achenthal	205	465	2,3	1000	465.000	-	100	Genoss.
Altusried	458	2478	5,4	40	99.120	-	-	privat
Buchenberg	-	-	-	-	-	-	-	-
Hergatz	95	143	1,5	1000	143.000	100	100	20% priv. 80% Gen.
Isny-Mayerhöfen	315	1644	5,2	40	65.750	-	-	privat
Kempton	138	356	2,6	1000	356.000	80	80	Genoss.
Kiefersfelden	36	117	3,3	3000	351.000	100	100	Genoss.
Kirchdorf a.H.	178	441	2,5	1500	661.500	100	80	21% priv. 79% Gen.
Lengenfeld	181	306	1,7	1000	306.000	110	90	Genoss.
Nesselwang	-	-	-	-	-	-	-	-

Anhangstabelle 8 - Fortsetzung:

Standort der Anlage	Anzahl d. Mitglieder	Anzahl d. Anteile	Anteile pro Mitglied	Wert je Anteil in DM	Zeichnungshöhe in DM	Lieferrecht je Anteil in dt Trockengut	Lieferpflicht in dt	Anfuhr
Neuricht	197	330	1,7	1000	330.000	100	Einzug v. 200 DM	Genoss.
Oberallgäu	294	2632	9,0	50	131.600	2,5	2,5	privat
Obergünzburg	211	214	1,0	500	107.000	-	-	privat
Ruderatshofen	515	707	1,4	250	176.750	-	-	Genoss.
Rothachtal	-	-	-	-	-	-	-	-
Schongau-West	275	450	1,6	1000	450.000	100	100	45% priv. 55% Gen.
Wolfratshausen-Ost	222	581	2,6	1500	871.000	100	100	Genoss.
Unterholz (priv.)	-	-	-	-	-	-	-	-
Schwaiganger (staalich)	-	-	-	-	-	-	-	-

Grünfütterheißlufttrocknung - Erhebung 1973
Technische Daten - Kurzgutdosierer

Standort der Anlagen	Steuerung	Dosier- vorrichtung	Anordnung	Länge in m	Breite in m	Fassungs- vermögen	kW
Achental	-	-	-	-	-	-	-
Altusried	v. Hand	Kettenf. Abstr.Tr.	parallel zur Trommel	7,8	2,5	22 m ³	4,0
Buchenberg	v. Hand	Kettenf. Abstr.Tr.	quer zur Trommel	7,8	2,5	22 m ³	4,0
Hergatz	v. Hand stufenl. regelbar	2 Reier- wellen 1 Verteil.W.	parallel zur Trommel	8,5	2,5	25 m ³	13,1
Isny-Mayerhöfen	v. Hand	3 Dosier- walzen	quer zur Trommel	3,5 7,0	1,4 2,6	6 t	7,7
Kempton	v. Hand	3 Dosier- trommeln	parallel zur Trommel	6,0 10,6	2,7 2,9	10 t	24,4

Anhangstabelle 9 a - Fortsetzung:

Standort der Anlagen	Steuerung	Dosier- vorrichtung	Anordnung	Länge in m	Breite in m	Fassungs- vermögen	kW
Kiefersfelden	v. Hand Taster i. D II	Kettenf. o. Abstr.	parallel zur Trommel	10,0	2,5	5 t	10,0
Kirchdorf a.H.	Photozelle Vorschub	3 Dosier- walzen	quer zur Trommel	6,0 10,0	2,7 2,9	10 t	24,4
Lengenfeld	v. Hand	2 Dosier- walzen	parallel zur Trommel	5,0 9,0	2,6 2,8	7,5 t	21,8
Nesselwang	v. Hand	Kettenf.	parallel zur Trommel	7,8	2,5	22 m ³	4,0

Grünfütterheißlufttrocknung - Erhebung 1973
Technische Daten - Kurzgutdosierer

Standort der Anlagen	Steuerung	Dosier- vorrichtung	Anordnung	Länge in m	Breite in m	Fassungs- vermögen	kW
Neuricht	v. Hand elektr. Widerstand	Kettenfrd.	parallel zur Trommel	10,0	2,9	7,5 t	3,0
Oberallgäu	Wiegen b. Stromaufn.	Grasele- vator	parallel zur Trommel	12,0	2,5	7,5 t	1,5
Obergünzburg	v. Hand	Kettenfrd.	parallel zur Trommel	7,8	2,4	20 m ³	4,0
Ruderatshofen	v. Hand Kratzb. Geschw.	3 Walzen	parallel zur Trommel	10,5	2,9	9 t	18,75
Rothachtal	-	-	-	-	-	-	-
Schongau-West	v. Hand	3 Walzen	parallel zur Trommel	6 10,6	2,7 2,9	10 t	26,5

Anhangstabelle 9 b - Fortsetzung:

Standort der Anlagen	Steuerung	Dosier- vorrichtung	Anordnung	Länge in m	Breite in m	Fassungs- vermögen	kW
Wolfratshausen- Ost	v. Hand	3 Walzen	parallel zur Trommel	2 x 10,6	2 x 2,9	2 x 60 dt	23,6
Gut Unterholz (privat)	v. Hand	-	-	-	-	10 t	-
Schwaiganger (staatlich)	v. Hand	Ketten- förd.	parallel zur Trommel	6,0	2,3	22 m ³	4,0

Grünfütterheißlufttrocknung - Erhebung 1973
Technische Daten - Standhacksler

Standort der Anlagen	Bauart	Nennleistung des Antriebsmotors in kW		Schnittlange in cm	Messerwechsel pro Jahr
Achental	3 Trommelfeldhacksler	9,4	93,75	2,4	50 (alle 3 Tg.)
Altusried	Scheibenrad	6,2	15,5	2,5	3
Buchenberg	Scheibenrad	3,7	5,5	1,2	1
Hergatz	Scheibenrad	-	-	2,0	3
Isny-Mayerhofen	Scheibenrad	3,0	15,0	1,0	2
Kempton	Scheibenrad	3,0	30,0	4,0	5
Kiefersfelden	Trommelhacksler	4,4	22,0	2-3,0	-
Kirchdorf	Scheibenrad	3,8	38,0	3,0	-
Lengenfeld	Scheibenrad	3,3	33,0	4-8,0	-
Nesselwang	Scheibenrad	5,9	14,7	-	-

Anhangstabelle 10 - Fortsetzung:

Standort der Anlagen	Bauart	Nennleistung des Antriebsmotors in kW		Schnittlänge in cm	Messerwechsel pro Jahr
Neuricht	Scheibenrad	5,7	57,00	1,0	-
Oberallgäu	Scheibenrad	8,3	22,50	2-4,0	5
Obergünzburg	Scheibenrad	6,9	12,35	2,0	2
Ruderatshofen	Scheibenrad	2,8	22,50	4-5,0	2
Rothachtal	Scheibenrad	4,1	11,00	2,0	2
Schongau-West	Scheibenrad	3,8	28,00	3,0	2
Wolfratshausen-Ost	2 Scheibenr.	3,5	2 x 26,25	4,0	3
Gut Unterholz (priv.)	Scheibenrad	5,5	27,25	2,0	-
Schwaiganger (staatl.)	Scheibenrad	8,1	30,0	4,0	6
Durchschnitt (\bar{x})		4,8	24,9	2,8	

GrünfütterheiBlufttrocknung - Erhebung 1973

Technische Daten - Langgutdosierer

Standort der Anlagen	Bauart	Anordnung D II zur Trommel	Länge in m	Breite in m	Anschlußwert in kW	Fassungsvermögen in m ³
Achental	Kratzb. + D.Trommel	parallel	8,7	2,5	4,0	10
Altusried	Kratzb. + D.Trommel	quer	6,0	1,8	2,25	4
Buchenberg	Kratzb. + D.Trommel	parallel	3,0	1,6	2,2	1,5
Hergatz	Kratzb. + D.Trommel	parallel	5,5	1,1	3,3	5
Isny-Mayerhofen	Kratzb. + D.Trommel	quer	10,0	2,0	2,6	6
Kempton	Kratzb. + D.Haspel	parallel	8,7	2,5	6,4	3
Kiefersfelden	Kratzb. + D.Trommel	parallel	5,0	2,3	3,7	8
Kirchdorf	Kratzb. + D.Haspel	parallel	8,7	2,5	4,0	10
Lengenfeld	Kratzb. + D.Haspel	parallel	8,7	2,5	4,0	10

Anhangstabelle 11 - Fortsetzung:

Standort der Anlagen	Bauart	Anordnung D II zur Trommel	Länge in m	Breite in m	Anschlußwert in kW	Fassungsvermögen in m ³
Nesselwang	Kratzb. + D.Trommel	parallel	5,5	1,0	3,3	2
Neuricht	Kratzb. + D.Haspel	parallel	10,0	2,0	7,5	6
Oberallgäu	Kratzb. + D.Trommel	quer	6,0	1,9	5,1	4
Obergünzburg	nur Kratzkette mit Zinken	parallel	ca. 3,5	1,0	-	2
Ruderatshofen	Kratzb. + D.Trommel	quer	6,0	2,0	5,2	4
Schongau-West	Kratzb. + D.Haspel	parallel	8,7	2,5	8,36	10
Wolfratshausen-Ost	Kratzb. + D.Trommel	quer	9,0	2,8	9,75	6
Gut Unterholz (privat)	Kratzb. + D.Trommel	parallel	5,4	2,2	3,75	4
Schwaiganger (staatlich)	Kratzb. + D.Trommel	quer	5,4	2,2	5,2	4

Grünfütterheißlufttrocknung - Erhebung 1973

Technische Daten - Trocknungstrommeln

Standort der Anlagen	Wasser- verdampf. in t/h	Länge in m	Durch- messer in m	Volumen in m ³	Volumen je 1 t/h Verdampf.	Zahl d. Antr.- Motoren	Nenn- leist. d. Antr.- Motoren in kW	Trommel- typ
Achental	10,0	13,0	2,8	80	8	1	11,25	Einzug
Altusried	2,5	8,0	2,0	25	10	1	4,28	Einzug
Buchenberg (2 Trommeln)	1,5	2 x 6,0	1,6	24	16	2x1	6,4	Einzug
Hergatz	2,5	8,0	2,0	25	10	1	4,28	Einzug
Isny-Mayer- hofen	5,0	10,0	2,9	78,5	15,7	4	7,5	Dreizug
Kempton	10,0	13,0	2,8	80	8	1	11,25	Einzug
Kiefers- felden	5,0	10,0	2,9	66	13	4	7,5	Dreizug
Kirchdorf	10,0	13,0	2,8	80	8	1	11,25	Einzug
Lengenfeld	10,0	13,0	2,8	80	8	1	11,25	Einzug
Nesselwang	2,5	8,0	2,0	25	10	1	4,28	Einzug

Anhangstabelle 12 - Fortsetzung:

Standort der Anlagen	Wasser- verdampf. in t/h	Länge in m	Durch- messer in m	Volumen in m ³	Volumen je 1 t/h Verdampf.	Zahl d. Antr.- Motoren	Nenn- leist. d. Antr.- Motoren in kW	Trommel- typ
Neuricht	10,0	10,0	4,0	125,6	12,5	4	16,5	Dreizug
Oberallgäu	2,7	6,6	2,2	25	9	1	1,5	Dreizug
Obergünzburg	1,8	8,0	1,75	19	10,5	1	1,5	Einzug
Ruderatshofen	8,0	10,0	2,8	66	8,2	1	-	Einzug
Rothachtal	2,7	6,6	2,2	25	9,2	1	1,5	Dreizug
Schongau-West	10,0	13,0	2,8	80	8	1	11,25	Einzug
Wolfrats- hausen-Ost	15,0	15,0	4,0	188	12,5	1	15,0	Einzug
Gut Unterholz	5,0	10,0	2,8	66	13,2	1	7,5	Einzug
Schwaiganger	3,5	10,0	2,2	38	11	1	5,5	Einzug

Grünfütterheißlufttrocknung - Erhebung 1973
Technische Daten - Brenner und Hauptgebläse

Standort der Anlage	Brenner			Hauptgebläse		
	Typ	Nenn- leist. kW	Regelung	Nenn- leist. Haupt- gebläse in kW	Wasserverdampfung kW/t	
					Brenner	Hauptgebläse
Achental	Hauck 785	20,25	über \checkmark LA	132,0	2,0	13,2
Altusried	Agib	14,00	über \checkmark LA 2 Stufen	41,25	5,6	16,5
Buchenberg	-	5,00	über \checkmark LA 2 Stufen	11,0	3,3	7,3
Hergatz	-	8,15	über \checkmark LA m. 2 Brenn.	37,0	3,3	14,8
Isny-Mayerhöfen	Oertli	6,35	v. Hand; konstant	37,0	1,3	7,4
Kempton	Hauck 785	20,25	über \checkmark LA	132,0	2,0	13,2
Kiefersfelden	Oertli	6,5	v. Hand; konstant	45,0	1,3	9,0

Anhangstabelle 13 - Fortsetzung:

Standort der Anlage	Brenner			Hauptgebläse		
	Typ	Nenn- leist. kW	Regelung	Nenn- leist. Haupt- gebläse in kW	Wasserverdampfung kW/t	
					Brenner	Hauptgebläse
Kirchdorf a.H.	Hauck 785	20,25	über $\sqrt{\text{LA}}$	132,0	2,0	13,2
Lengenfeld	Hauck 785	20,25	über $\sqrt{\text{LA}}$	132,0	2,0	13,2
Neuricht	Oertli RE 40	11,63	v. Hand; konstant	90,0	1,2	9,0
Oberallgäu	Heil	-	-	28,0	-	10,4
Obergünzburg	Elico	12,25	über $\sqrt{\text{LA}}$ 2 Stufen	30,0	6,8	16,7
Schongau-West	Hauck 785	20,25	über $\sqrt{\text{LA}}$	132,0	2,0	13,2
Wolfratshausen- Ost	Hauck 786	21,00	über $\sqrt{\text{LA}}$	250,0	1,4	16,7
Unterholz	-	11,15	über $\sqrt{\text{LA}}$	56,3	2,2	11,3
Schwaiganger	Hauck 784	11,55	über $\sqrt{\text{LA}}$ 2 Stufen	55,0	3,1	14,7

Grünfütterheißlufttrocknung - Erhebung 1973

Technische Daten - Kollergangpressen

* (Kolbenpresse)

Standort der Anlagen	Antriebsmotorleistung in kW	Trockengutdurchsatz in dt/h	Matrizen		Matrizen und Koller	
			Matrizenbohrung mm	Matrizen Abdrehabarkeit	Lebensdauer in Std.	Montagedauer in Std.
Achental	165,00	32-48	-	1 x	500	3
Altusried	65,25	15-20	24	1 x	1 700	Matrize 2 Koller 5
Buchenberg	-	-	-	-	-	-
Hergatz	56,25	10-16	8 u. 24	1 - 2 x	1 500 - 1 800	1
Isny-Mayerhöfen	93,75	20-30	22	-	-	-
Kempton	160,00	32-48	24	1 x	-	1
Kiefersfelden	90,00	-	-	1 - 2 x	1 500	-
Kirchdorf a.H.	165,00	32-48	-	1 x	1 000	-
Lengenfeld	160,00	32-48	-	1 x	-	1
Nesselwang	-	-	-	-	-	-

Anhangstabelle 14 - Fortsetzung:

Standort der Anlagen	Antriebsmotorleistung in kW	Trockengutdurchsatz in dt/h	Matrizen		Matrizen und Koller	
			Matrizenbohrung mm	Matrizen Abdrehabarkeit	Lebensdauer in Std.	Montagedauer in Std.
Neuricht	153,56	-	16	1 x	1 500	2
Oberallgäu	75,00	-	16	1 x	Matrize 3 100 Koller 1 600	1
Obergünzburg	-	-	-	-	-	-
Ruderatshofen	160,00	32-48	-	-	-	-
Rothachtal	-	-	-	-	-	-
Schongau-West	220 (2x110)	40-60	24	1 x	2 000	1
Wolfratshausen-Ost	333 (2x166,5)	64-96	-	-	600	Matrize 1 Koller 4
Gut Unterholz	93,75	20-30	24	1 - 2 x	-	1
Schwaiganger (staatlich)	77,2 52,55*	- -	22 -	nein	350 -	Koller 1

Anhangstabelle 15

Grünfütterheißlufttrocknung - Erhebung 1973

Technische Daten - Trockengutkhler

Standort der Anlage	Bauart	Anschluß in kW	Kühlfläche in m ²
Achental	Bandkhler	16,13	12
Altusried	Bandkhler	6,19	3,2
Buchenberg	-	-	-
Hergatz	Bandkhler	6,19	3,2
Isny-Mayerhöfen	Bandkhler Turmkhler	7,25 7,50	
Kempton	Bandkhler	16,13	12
Kiefersfelden	3 Khlzylinder	-	-
Kirchdorf a.H.	Bandkhler	16,13	12
Lengenfeld	Bandkhler	20,90	-
Nesselwang	-	-	-
Neuricht	Bandkhler	15,38	-
Oberallgäu	3 Khlzylinder	-	-
Obergünzburg	-	-	-
Ruderatshofen	Bandkhler	-	-
Rothachtal	-	-	-
Schongau-West	Bandkhler	20,94	-
Wolfratshausen-Ost	Bandkhler	16,69	-
Gut Unterholz (privat)	Bandkhler	5,25	-
Schwaiganger (staatlich)	Bandkhler	12,50	-

Grünfütterheiluftttrocknung - Erhebung 1973
 Klimadaten (langjährige Mittelwerte)

Standort der Anlagen	Ø Nieder- schlag in mm	Ø Temp. °C	Höhe NN m	-Amt	
				Landwirtsch.-	Tierzucht-
Achental	1500	7,1	500		Traunstein
Altusried	1300	6,7	705		Kempton
Buchenberg	1560	6,7	900		Kempton
Hergatz	1680	7,3	830	Lindau	Kempton
Isny-Mayerhöfen	ca. 1200	6,7	714	Lindau	Kempton
Kempton	1300	6,6	698		Kempton
Kiefersfelden	1400	7,4	561	Rosenheim	Miesbach
Kirchdorf a.H.	1140	7,4	610	Rosenheim	Miesbach
Lengenfeld	790	7,7	498	Neumarkt/Opf.	Regensburg
Nesselwang	1749	6,5	1050		Kempton
Neuricht	790	7,7	498	Neumarkt/Opf.	Regensburg
Oberallgäu	1900	6,5	750	Immenstadt	Kempton

Anhangstabelle 16 - Fortsetzung:

Standort der Anlagen	Ø Nieder- schlag in mm	Ø Temp. °C	Höhe NN m	-Amt	
				Landwirtsch.-	Tierzucht-
Obergünzburg	1185	6,6	737	Marktoberdorf	Kaufbeuren
Ruderatshofen	1200	6,7	765	Marktoberdorf	Kaufbeuren
Rothachtal	1680	7,3	830	Lindau	Kempton
Schongau-West	1200	6,23	720	Weilheim	Weilheim
Wolfratshausen- Ost	1500	7,5	670	Wolfratshausen	Miesbach
Gut Unterholz (privat)	1040	7,5	680	-	-
Schwaiganger (staatlich)	1484	7,4	660	Landesanstalt für Tierzucht Grub	

Grünfütterheiluftttrocknung - Erhebung 1973
Trocknungskampagnen

Standort der Anlagen	1970		1971		1972		1973	
	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende
Achental	-	-	-	-	-	-	14.5.	10.11.
Altusried	-	-	-	-	2.5.	30. 9.	9.5.	30.10.
Buchenberg	2.6.	2.11.	14.5.	23.10.	8.5.	17.10.	-	-
Hergatz	-	-	5.5.	30.10.	24.4.	21.10.	8.5.	6.11.
Isny-Mayerhöfen	-	-	4.5.	26.10.	3.5.	16.10.	15.5.	5.11.
Kempton	-	-	-	-	-	-	30.7.	20.10.
Kiefersfelden	-	-	-	-	5.5.	20.10.	21.5.	26.10.
Kirchdorf a.H.	-	-	-	-	-	-	15.5.	15.11.
Lengenfeld	-	-	-	-	-	-	14.9.	28.10.
Nesselwang	-	-	-	-	2.5.	14.10.	14.5.	30. 7.
Neuricht	-	-	-	-	-	-	30.5.	27.10.

Anhangstabelle 17 - Fortsetzung:

Standort der Anlagen	1970		1971		1972		1973	
	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende
Oberallgäu	-	-	-	-	8.5.	12.10.	12.5.	27.10.
Obergünzburg	-	-	8.5.	21.10.	2.5.	17.10.	14.5.	30.10.
Ruderatshofen	-	-	12.5.	20.10.	2.5.	11.10.	12.5.	27.10.
Rothachtal	-	-	10.5.	25.10.	2.5.	18.10.	-	-
Schongau-West	-	-	-	-	-	-	16.5.	2.11.
Wolfratshausen-Ost	-	-	-	-	-	-	1.9.	31.10.
Gut Unterholz (privat)	-	-	-	-	-	-	14.5.	31.10.
Schwaiganger (staatlich)	-	-	-	-	-	-	14.5.	31.10.

Grünfütterheißlufttrocknung - Erhebung 1973

Nr. der Trockn.-Anlage	Trockner Std./Jahr	Trockengut/Jahr in t	Heizölverbrauch l/Jahr	Wärmeaufwand l Öl/kg TG	errechn. Anfangsfeuchte U_1 in %	inst. Wasserverd.-leist. in t H_2O/h	errechn. Trockengut-durchs. dt/h	erzielt. Trockengut-durchs. dt/h	TG-Durchsatz-leist.-grad in %
1	1999	3918,5	1.398.549	0,3569	82,6	10,0	25,4	19,6	77,2
2	1706	887,2	335.630	0,3783	83,4	2,5	6,0	5,2	86,6
4	2442	1503,8	533.752	0,3549	82,5	2,5	6,4	6,2	96,9
5	1497	1366,0	533.530	0,3905	83,8	5,0	11,6	9,1	78,4
6	781	1439,7	500.760	0,3478	82,2	10,0	26,1	18,4	70,5
7	1223	1259,0	409.748	0,3254	81,1	5,0	14,1	10,3	73,0
8	1900	3837,3	1.430.000	0,3726	83,2	10,0	24,2	20,2	83,5
9	129	276,1	77.856	0,2819	78,4	10,0	33,5	21,4	63,9
10	418	212,8	91.275	0,4289	84,8	2,5	5,4	5,1	94,4

Anhangstabelle 18 - Fortsetzung:

Nr. der Trockn.-Anlage	Trockner Std./Jahr	Trockengut/Jahr in t	Heizölverbrauch l/Jahr	Wärmeaufwand l Öl/kg TG	errechn. Anfangsfeuchte U_1 in %	inst. Wasserverd.-leist. in t H_2O/h	errechn. Trockengut-durchs. dt/h	erzielt. Trockengut-durchs. dt/h	TG-Durchsatz-leist.-grad in %
11	1080	1744,6	650.000	0,3725	83,2	10,0	24,2	16,2	66,9
12	1972	1005,1	371.090	0,3602	83,1	2,7	6,6	5,1	77,3
13	819	390,9	166.903	0,4269	84,8	1,87	3,9	4,8	-
14	2005	3349,8	1.166.880	0,3483	82,2	8,0	20,8	16,7	80,3
16	1997	4360,0	1.305.700	0,2994	79,6	10,0	31,1	21,8	70,1
17	606	1588,0	610.257	0,3842	83,6	15,0	35,2	26,2	74,4

Anhangstabelle 18 - Fortsetzung:

Nr. der Trockn.-Anlage	Trockner Std./Jahr	Trockengut/Jahr in t	Heizölverbrauch l/Jahr	Wärmeaufwand l Öl/kg TG	errechn. Anfangsfeuchte U_1 in %	inst. Wasserverd.-leist. in t H_2O/h	errechn. Trockengut-durchs. dt/h	erzielt. Trockengut-durchs. dt/h	TG-Durchsatz-leist.-grad in %
11	1080	1744,6	650.000	0,3725	83,2	10,0	24,2	16,2	66,9
12	1972	1005,1	371.090	0,3602	83,1	2,7	6,6	5,1	77,3
13	819	390,9	166.903	0,4269	84,8	1,87	3,9	4,8	-
14	2005	3349,8	1.166.880	0,3483	82,2	8,0	20,8	16,7	80,3
16	1997	4360,0	1.305.700	0,2994	79,6	10,0	31,1	21,8	70,1
17	606	1588,0	610.257	0,3842	83,6	15,0	35,2	26,2	74,4

Anhangstabelle 19

Grünfütteretrocknungsgenossenschaften und die zugehörigen Klimahaupt- und Niederschlagsstationen im schwäbisch-/oberbayerischen Grünlandgürtel

Trocknungsge- nossenschaften	Klimahauptstationen		Niederschlags- stationen
	Ort	Messungen	
Kiefersfelden	Oberaudorf	a, b, O T F	-
Ruderatshofen	Leinau	T F	Marktoberdorf
Meierhöfen	Isny	a, b, T F	-
Altusried	Kempten	a, d, e EOBTFW	-
Obergünzburg	Kempten	a, d, e EOBTFW	Obergünzburg
Nesselwang	Mittelberg	T F	Nesselwang
Buchenberg	Kempten	s. o.	-
Hergatz	Lindenberg	O T F	Lindenberg
Oberallgäu	Mittelberg	s. o.	Mittelberg
Rothachtal	Lindenberg	s. o.	Lindenberg
Schongau-West	Leinau	s. o.	Hochpeißenberg
Kirchdorf	Großhöhen- rain	O T F	Großhöhenrain
Achental	Reit i. Winkel	O T F	Reit i. Winkel

Langjährige Monatsmitteltemperaturen

Stationen	Höhen- lage m NN	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Kempten	750	-2,7	-1,7	+2,2	6,3	10,8	14,3	16,0	15,3	12,3	7,1	2,3	-1,3
Leinau	663	-2,8	-1,8	+2,0	6,3	10,7	14,3	16,1	15,4	12,1	6,9	2,3	-1,3
Scheidegg- Lindenberg	830	-1,8	-0,6	+2,9	6,7	11,0	14,3	16,1	15,8	13,2	8,0	3,1	-0,6
Mittelberg	1050	-2,0	-1,5	+2,0	5,4	9,8	13,1	15,1	14,8	12,1	7,2	2,7	-0,6
Oberaudorf	480	-3,4	-1,8	+2,8	7,8	12,3	15,4	17,0	16,5	13,6	8,0	2,6	-1,6
Reit i. Winkel	708	-4,2	-2,2	+1,6	6,2	10,9	14,2	15,0	15,2	12,5	7,2	2,1	-2,1
Traunstein	593	-2,3	-1,0	+3,2	7,8	12,3	15,6	17,3	16,6	13,4	8,0	3,2	-0,6
Isny	714	-3,1	-1,9	+2,2	6,5	11,0	14,5	16,1	15,4	12,5	7,1	2,3	-1,7

I und i - Werte

Stationen	m NN	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	$\sum i=I$	Tabel- len- wert I
Isny	714	-	-	0,29	1,49	3,30	5,01	5,87	5,49	4,0	1,70	0,31	-	27,26	27,5
Kempten	705	-	-	0,29	1,42	3,21	4,91	5,82	5,44	3,91	1,70	0,31	-	27,01	27,5
Kaufbeuren Leinau	663	-	-	0,25	1,89	3,16	4,91	5,87	5,49	3,81	1,63	0,31	-	26,82	27,5
Lindenberg	830	-	-	0,44	1,56	3,30	4,91	5,87	5,71	4,35	2,04	0,48	-	28,26	27,5
Mittelberg	1050	-	-	0,25	1,12	2,77	4,30	5,33	5,17	3,81	1,74	0,39	-	24,88	25,0
Oberaudorf	480	-	-	0,42	1,96	3,91	5,49	6,38	6,10	4,55	2,04	0,37	-	31,22	30,0
Reit i. Winkel	708	-	-	0,18	1,39	3,25	4,86	5,71	5,38	4,00	1,74	0,27	-	26,78	27,5
Traunstein	593	-	-	0,51	1,96	3,91	5,60	6,55	6,15	4,45	2,04	0,51	-	31,63	32,5

E_{pot} nach THORNTHWAITE für I = 25

Tempera- tur in °C	.0	.1	.2	.25	.3	.4	.50	.6	.7	.75	.8	.9
0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
2	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
3	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
4	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
5	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4
7	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6
8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7
9	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9
10	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1
11	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2
12	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4

Anhangstabelle 22 - Fortsetzung:

Temperatur in °C	.0	.1	.2	.25	.3	.4	.50	.6	.7	.75	.8	.9
13	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
14	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7
15	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9
16	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
17	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2
18	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
19	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5
20	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,7
21	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
22	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0
23	4,0	4,0	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,2
24	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
25	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,5
26	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5					

Anhangstabelle 23

 E_{pot} nach THORNTHWAITE für $I = 27,5$

Tempera- tur in °C	.0	.1	.2	.25	.3	.4	.50	.6	.7	.75	.8	.9
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
2	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
3	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2
6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
7	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5
8	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
9	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8
10	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0
11	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2
12	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3

Anhangstabelle 23 - Fortsetzung:

Tempera- tur in °C	.0	.1	.2	.25	.3	.4	.50	.6	.7	.75	.8	.9
13	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5
14	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6
15	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8
16	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,0
17	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1
18	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3
19	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,5
20	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6
21	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,8
22	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9
23	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1
24	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	4,2
25	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,4
26	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5				

Anhangstabelle 24

E_{pot} nach THORNTHWAITE für $I = 30,0$

Temperatur in °C	.0	.1	.2	.25	.3	.4	.50	.6	.7	.75	.8	.9
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7
4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9
5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1
6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
7	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4
8	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
9	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7
10	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9
11	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1
12	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3

Anhangstabelle 24 - Fortsetzung:

Tempera- tur in °C	.0	.1	.2	.25	.3	.4	.50	.6	.7	.75	.8	.9
13	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4
14	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6
15	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8
16	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9
17	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1
18	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
19	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4
20	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,6
21	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,7
22	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9
23	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1
24	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	4,2
25	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,4
26	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5						

Anhangstabelle 25

E_{pot} nach THORNTHWAITE für $I = 32,5$
 (für Weihenstephan von van Eimern errechnet)

Temperatur in °C	.0	.1	.2	.3	.4	.50	.6	.7	.8	.9
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
4	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
5	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0
6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1
7	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3
8	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5
9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7
10	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
11	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0
12	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2
13	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
14	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5
15	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7
16	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9
17	2,9	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1
18	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2
19	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4
20	3,4	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,6
21	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7
22	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,9
23	3,9	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
24	4,0	4,0	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2
25	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4
26	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6

\bar{x} Trocknerstunden/Tag und \bar{x} E_{pot} /Tag

Trocknungs- anlagen	Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober	
	Std.	E_{pot} mm	Std.	E_{pot} mm	Std.	E_{pot} mm	Std.	E_{pot} mm	Std.	E_{pot} mm	Std.	E_{pot} mm
Buchenberg	11,85	2,95	7,42	3,39	10,13	4,64	0,0	0,0	7,20	1,89	8,30	1,54
Hergatz	11,15	2,81	4,84	3,38	4,52	4,05	7,32	3,34	13,55	2,05	8,36	1,27
Isny- Mayerhöfen	15,63	2,96	11,89	3,02	11,65	3,78	12,38	3,38	13,41	2,05	8,59	1,42
Obergünzburg	12,17	2,96	3,08	3,31	2,88	3,93	3,81	3,38	11,86	1,81	9,43	1,43
Ruderatshofen	15,10	3,16	8,17	3,10	6,60	4,04	8,89	3,43	14,06	2,10	8,75	1,46
Rothachtal	17,97	3,23	7,25	2,00	11,69	3,47	14,05	3,05	16,89	2,01	12,71	1,55
Durchschnitt (\bar{x}) 1971	14,12	3,01	8,42	3,13	8,64	3,90	9,74	3,33	13,33	2,00	9,40	1,43
Altusried	11,92	2,20	2,67	2,96	5,50	3,33	9,25	2,73	10,92	1,34	-	-
Buchenberg	13,92	2,33	-	-	-	-	-	-	6,61	1,32	4,88	0,66
Isny- Mayerhöfen	16,24	2,34	11,39	3,28	10,71	3,56	9,20	3,16	11,26	1,71	8,85	1,08
Kiefersfelden	21,20	2,62	15,72	3,67	14,54	3,72	13,95	2,97	9,10	1,96	8,50	1,24

Anhangstabelle 26 - Fortsetzung:

Trocknungs- anlagen	Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober	
	Std.	E _{pot} mm	Std.	E _{pot} mm	Std.	E _{pot} mm	Std.	E _{pot} mm	Std.	E _{pot} mm	Std.	E _{pot} mm
Nesselwang	16,25	2,19	4,14	2,88	-	-	4,40	1,96	8,18	1,57	3,22	1,08
Oberallgäu	21,05	2,20	8,35	2,93	6,55	3,16	9,26	2,64	13,40	1,79	9,20	1,23
Obergünzburg	11,61	2,31	2,58	3,04	3,40	3,52	5,67	2,61	6,80	1,75	5,54	1,02
Ruderatshofen	22,52	2,32	17,37	3,24	15,85	3,81	17,31	2,91	17,56	1,75	13,43	1,07
Rothachtal	15,41	2,21	15,00	4,22	-	-	10,31	2,78	11,88	1,63	9,08	1,14
Durchschnitt (\bar{x}) 1972	16,69	2,30	10,29	3,18	10,72	3,52	10,61	2,81	10,99	1,67	7,95	1,10
Achental	17,25	2,87	17,44	3,33	19,40	3,40	12,17	3,36	11,15	2,43	9,00	1,17
Altusried	20,53	2,72	6,36	3,52	14,52	3,39	6,52	3,51	-	-	-	-
Isny- Mayerhöfen	18,20	3,03	15,29	3,62	10,47	3,82	9,83	3,50	14,05	2,43	12,44	1,18
Kiefersfelden	19,77	3,40	18,39	3,56	15,67	3,63	13,80	3,54	12,20	2,55	12,60	1,24

Anhangstabelle 26 - Fortsetzung:

Trocknungs- anlagen	Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober	
	Std.	E _{pot} mm	Std.	E _{pot} mm	Std.	E _{pot} mm	Std.	E _{pot} mm	Std.	E _{pot} mm	Std.	E _{pot} mm
Oberallgäu	19,38	2,69	13,74	3,34	13,00	3,12	10,68	3,27	21,88	2,57	18,95	1,39
Obergünzburg	11,87	2,94	4,39	3,42	6,33	3,24	4,30	3,31	8,48	2,38	9,63	1,16
Durchschnitt (\bar{x}) 1973	17,87	2,91	13,25	3,46	13,75	3,42	9,80	3,41	13,91	2,47	12,28	1,22
Durchschnitt (\bar{x}) 1971-1973	16,23	2,74	10,65	3,26	11,10	3,61	10,05	3,18	12,74	2,05	9,88	1,25