

Landwirtschaftliche Fakultät
der Universität München
Lehrstuhl für die Tierärztliche
Forschung und die Tierärztliche
Praxis

Landwirtschaftliche Fakultät
der Universität München

München

Landwirtschaftliche Fakultät
der Universität München
Lehrstuhl für die Tierärztliche
Forschung und die Tierärztliche
Praxis

Landwirtschaftliche Fakultät
der Universität München
Lehrstuhl für die Tierärztliche
Forschung und die Tierärztliche
Praxis

Landwirtschaftliche Fakultät
der Universität München
Lehrstuhl für die Tierärztliche
Forschung und die Tierärztliche
Praxis

Landwirtschaftliche Fakultät
der Universität München
Lehrstuhl für die Tierärztliche
Forschung und die Tierärztliche
Praxis

Landwirtschaftliche Fakultät
der Universität München
Lehrstuhl für die Tierärztliche
Forschung und die Tierärztliche
Praxis

Landwirtschaftliche Fakultät

Landwirtschaftliche Fakultät
der Universität München
Lehrstuhl für die Tierärztliche
Forschung und die Tierärztliche
Praxis

Aus dem Institut für Grünlandlehre der Technischen Hochschule
München-Weihenstephan
und der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle des Deutschen
Wetterdienstes — Weihenstephan

Der Trocknungsverlauf von Heu im Freiland

Von G. Spatz, J. van Eimern, R. Lawrynowicz

Einleitung

Das Wissen um die Zahl der Tage, die für den Wiesenschnitt zur Verfügung stehen, ist entscheidend für die richtige Organisation der Rauhfutterernte. Diese Zahl wird bestimmt von der Trocknungsgeschwindigkeit des Schnittgutes auf dem Felde, welche von der Zusammensetzung und dem Alter sowie von den meteorologischen Faktoren wie: Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlungsintensität, Windgeschwindigkeit, Niederschlagsmenge und -häufigkeit abhängt. Diese Abhängigkeit wurde in zwei neueren Arbeiten von AGENA, BÄTJER und WESSELS (1) sowie von VAN EIMERN und SPATZ (3) eingehend diskutiert.

Der Trocknungsverlauf unter verschiedenen meteorologischen Bedingungen wurde auch von BECKHOFF (2) am Niederrhein und von WARBOYS (7) in Wales untersucht. VAN EIMERN und SPATZ differenzierten die witterungsbedingten Voraussetzungen der Heutrocknung zunächst nach den 14-Uhr-Werten des durch Lufttemperatur und relative Luftfeuchte bestimmten Sättigungsdefizites. In Anlehnung an frühere Arbeiten von SEGLER (6), GRANZ (5) und VAN EIMERN (4) schätzten sie die Zahl der günstigen Schnittage. Anders gingen AGENA und Mitarbeiter vor, sie addierten die Summe der stündlichen Werte des Sättigungsdefizites der Luft von 9 bis 18 Uhr (Zehn-Stunden-Werte) von Tag zu Tag auf und brachten sie mit dem jeweils erreichten Wassergehalt des Heus in Beziehung. Sie unterstellten, daß wegen der nächtlichen Taubenetzung nur diese Zeit des Tages für die Trocknung ausgenutzt werden kann. Die Beziehungen zwischen Sättigungsdefizit und Verdunstung sowie zwischen Sättigungsdefizit und Strahlung, als weitere die Verdunstung bestimmende Faktoren, sind so eng, daß man das Sättigungsdefizit allein als Parameter für die Verdunstung heranziehen kann. Allerdings kann in verschiedenen Klimagebieten die Korrelation zwischen Verdunstung und Sättigungsdefizit wegen anderer Strahlungsverhältnisse unterschiedlich sein. Ebenso darf die Windgeschwindigkeit zur Beurteilung der Heutrocknung meist vernachlässigt werden.

Versuchsort und Versuchsdurchführung

Die Versuche auf dem Versuchsgut Grünschwaige der Technischen Hochschule München-Weihenstephan sollten die Beziehungen zwischen der Geschwindigkeit der Heutrocknung und ihren Bestimmungsgrößen für Süddeutschland klären helfen. Das Versuchsgut liegt in 435 m NN im Erdinger Moos etwa 12 km östlich

von Weihenstephan zwar außerhalb des eigentlichen voralpinen Grünlandgürtels, ist jedoch ein bevorzugter Grünlandstandort. Seine Lage erlaubt es, die Versuchsergebnisse auf das Alpenvorland zu übertragen.

Über die klimatischen sowie die Witterungsbedingungen im Versuchsjahr 1968 unterrichtet Tabelle 1. Es zeigt sich, daß die Witterung des Untersuchungszeitraumes nicht allzu günstig war. Außer in der ersten Julihälfte war es häufig zu kalt und zu feucht.

Tabelle 1:

Klimatologische Daten in Weihenstephan und Grünschwaige

G = Grünschwaige 1968, W = Weihenstephan 1968, W* = Weihenstephan langjähriges Mittel

		Mai	Juni	Juli	August	Mai—Juli	
Niederschlag (mm) (Monatssumme)	G	48,2	113,0	86,0	98,0	247,2	
	W	79,4	138,9	99,5	138,3	317,8	
	W*	83	107	126	87	316	(1931—1960)
Lufttemperatur °C (Monatsmittel)	G	11,6	15,6	15,6	14,8	14,3	
	W	11,4	15,4	15,6	15,1	14,1	
	W*	12,4	15,7	17,3	16,6	15,1	(1931—1960)
Sonnenscheindauer in Stunden	G	183	226	213	120	622	
	W	187	227	213	124	627	
	W*	225	210	240	223	675	(1951—1960)
Rel. Luftfeuchtigkeit in % (Monatsmittel)	G	76	77	79	84	77	
	W	73	76	77	84	75	
	W*	74	75	76	79	75	(1956—1968)
Globalstrahlung in cal/cm ² Tag	W	412	464	447	372	440	
	W*	401	479	467	378	447	(1961—1968)
Zahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 1,0 mm	G	10	13	13	16	36	
	W	11	12	10	17	33	
	W*	11	13	13	11	37	(1931—1960)

Die Versuchsfläche liegt auf kultiviertem Niedermoor über wärmeiszeitlichen Kalkschottern. Die Bodenart ist ein stark anmooriger Sand bis Lehm.

Die ausgewählte Grünlandfläche wird als Mähweide genutzt, die Mähnutzung überwiegt. Der sehr gräserreiche Bestand ist eine Weidelgras-Weißklee-Fettweide (*Lolio-Cynosuretum*). Die pflanzensoziologischen Aufnahmen für Heu und Grummet vom 10. Mai und 9. Juli 1968 ergaben einen Anteil der Gräser von 90% bzw. 85%, der Kräuter von 7% bzw. 13% und der Leguminosen von 3% bzw. 2%.

Die Düngung ist mit 176 kg N, 233 kg K₂O, 132 kg P₂O₅/ha und zusätzlich 200 hl Jauche/ha sehr hoch.

Während der Heuernte wurden 18 Schnitte zwischen dem 13. Mai und dem 25. Juni 1968 und während der Grummeternte 12 Schnitte vom 8. Juli bis zum 1. August 1968 durchgeführt. Normalerweise wurde am Montag, Dienstag und Mittwoch um 8.30 Uhr MEZ ein 6 m breiter Streifen von 25 m Länge geschnitten.

Unmittelbar nach dem Schnitt erfolgte gegen 9 Uhr die erste Probeentnahme. Hierfür wurde das Schnittgut von 4 qm Bodenfläche auf einen Haufen gebracht und mit dem Bohrer eine Mischprobe entnommen. Rechts und links blieb ein Randstreifen von 1 m Breite liegen. Die Probe wurde frisch und nach der Trocknung im Trockenschrank (mindestens 20 Stunden bei 60° C) gewogen. Der Restwassergehalt lag bei 5% (Feuchtgewichtsbasis) und wurde für jeden Schnitt nur aus der Probe ermittelt, die zur Ertragsbestimmung diente. Der an einer Probe bestimmte Restwassergehalt wurde für alle weiteren Proben dieses Schnittes zugrunde gelegt. Als Basis zur Angabe des Wassergehaltes in Prozent diente vornehmlich das Trockensubstanzgewicht, das gleich 100% gesetzt wurde. Dann entsprechen gleiche Wassergehaltsänderungen in Prozent gleichen Wasserabnahmen in Gramm. Setzt sich also eine 600 g schwere Heuprobe aus 200 g Trockensubstanz und aus 400 g Wasser zusammen, so beträgt der Wassergehalt 200% Trockengewichtsbasis (TB). Dieser Wert entspricht 67% Feuchtgewichtsbasis (FB). Die

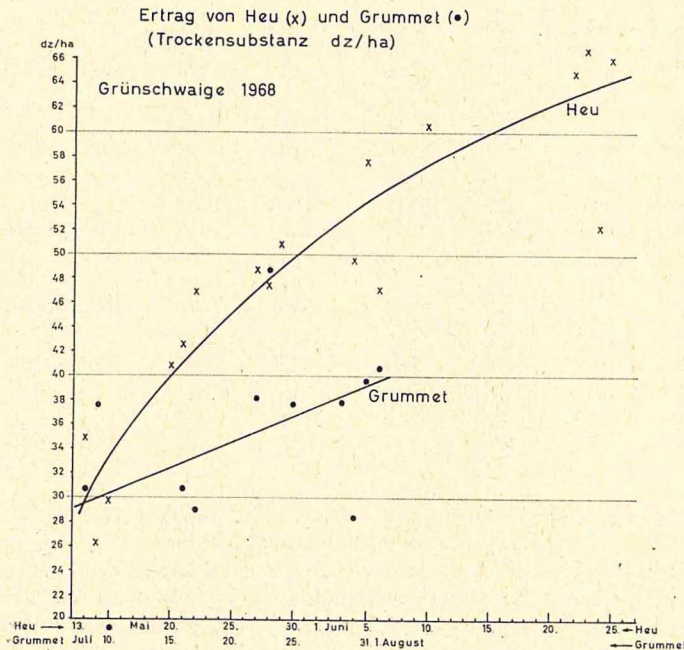


Abb. 1:
Der Ertrag von Heu und Grummet (Trockensubstanz dz/ha) zu den verschiedenen Schnittterminen

Probeentnahme erfolgte alle drei Stunden. Die letzte Probe am Tag wurde gegen 18 Uhr genommen. Durch die Staffelung der Schnitte über drei aufeinanderfolgende Tage hinweg war es möglich, die Wirkung der meteorologischen Faktoren auf das Schnittgut drei verschiedenen Trocknungsstadien zu untersuchen. Die lange Versuchsperiode über mehrere Monate ermöglichte es, die Abweichungen im Trocknungsverlauf von Futter unterschiedlichen physiologischen Alters zu

beobachten. Als Altersmaßstab diente der Rohfasergehalt. Zu Beginn jedes Schnittes wurde zusätzlich eine Ertragsfeststellung durchgeführt.

Die Abbildungen 1 und 2 geben einen Überblick über die Zunahme des Ertrages von Heu und Grummet sowie über die Änderung des Gehaltes an Rohfaser und Rohprotein während der Schnittperioden.

Im Zuge der Heubearbeitung ergaben sich folgende Arbeitsgänge: Zetten der Mähschwaden gleich nach dem Mähen, Wenden nach der dritten Probeentnahme gegen 14.30 Uhr. Nach der letzten Probeentnahme wurde das Schnittgut gegen 18 Uhr zum Nachtschwad zusammengezogen und unmittelbar nach der ersten Probenahme am nächsten Morgen wieder angestreut. Zur Bearbeitung dienten Heugabel und Handrechen.

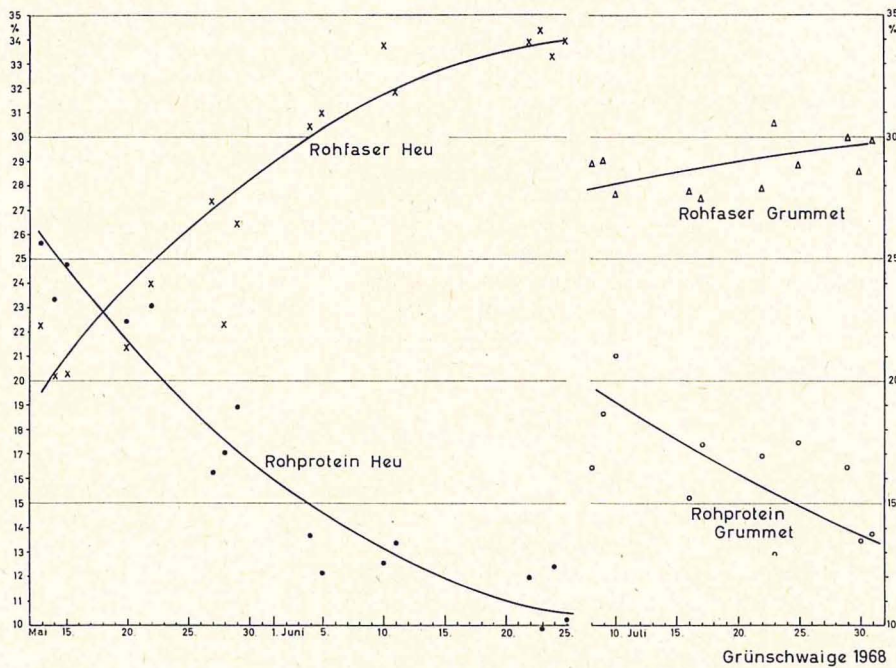


Abb. 2: Die Änderung des Rohfaser- und Rohproteingehaltes in % der Trockensubstanz mit fortschreitendem Schnittdatum

Bei der ersten Probenahme war der Tau in der Regel noch nicht ganz aus dem Schnittgut entfernt, während die Taubildung sehr bald nach dem Zusammenziehen des Heus zum Nachtschwad einsetzte. Leider war der Taubenetzungsreiber am Versuchsort ausgefallen. Einen Anhaltspunkt für den mittleren Beginn und das mittlere Ende der Taubenetzung von Gras geben folgende Daten des Agrarmeteorologischen Meßfeldes Weihenstephan:

Tabelle 2:

**Mittlerer Beginn und mittleres Ende der Taubenetzung von Gras
in Weihenstephan 1968**
(n = Zahl der Fälle)

	Taubeginn		Tauende	
	n	Uhr MEZ	n	Uhr MEZ
19. Mai — 9. Juni	16	18.50	10	8.39
10. Juni — 30. Juni	15	18.45	15	8.29
1. Juli — 21. Juli	15	19.32	10	8.11
22. Juli — 11. Aug.	15	19.50	10	9.29
12. Aug. — 31. Aug.	11	19.41	10	9.05

Auf der Grünschwaige ist die Minimumtemperatur in klaren Nächten um 2 bis 4° C niedriger als in Weihenstephan. Dementsprechend ist die Dauer und Menge der Taubenetzung etwas größer und die relative Luftfeuchte überschreitet nachts in der Regel 95%. Im August 1968 begann die Taubenetzung auf der Grünschwaige etwa 20 Minuten früher und endete etwa 30 Minuten später als in Weihenstephan. Für die Zeit Mitte Mai bis Ende Juli kann somit die Zeit von 9—18 Uhr als eigentliche Trocknungszeit angesetzt werden.

Die stündlichen Werte folgender meteorologischer Größen standen für die Untersuchungen zur Verfügung: Lufttemperatur (° C) und relative Luftfeuchte (‰) und damit das Sättigungsdefizit (Torr), ferner die Sonnenscheindauer und die Windgeschwindigkeit. Alle Größen wurden in 2 m Höhe auf einer benachbarten Wiese gemessen. Die Werte der Globalstrahlung (cal/cm²h) stammen vom Agrarmeteorologischen Meßfeld in Weihenstephan.

Rechenmethoden

In Anlehnung an AGENA, BÄTJER und WESSELS wurden zunächst die Summen des Sättigungsdefizites vom Schnitt bis zu jeder Probenahme (10 Stundenwerte von 9—18 Uhr je Tag) bestimmt. Die Beziehung zwischen den Summen des Sättigungsdefizites und den jeweils erreichten Wassergehalten wurde mittels Korrelations- und Regressionsanalyse rechnerisch erfaßt. In gleicher Weise wurden die Summen der Globalstrahlung (9—18 Uhr) und der Sonnenscheindauer (9—18 Uhr) vom Schnitt bis zur Probeentnahme mit den jeweils erzielten Wassergehalten in Beziehung gebracht. Zur Verrechnung dienten die Wertepaare, die jeweils vom Schnitt bis zum Beginn des ersten Regenfalles gemessen wurden. Die Messungen nach einem Regen wurden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Es war zu erwarten, daß der Wassergehalt nicht linear mit der Zunahme der Summen der Einflußgrößen abnahm. Um die Abhängigkeit des Trocknungsverlaufes von den oben genannten Größen genau erfassen zu können, wurden verschiedene Gleichungen auf ihre Eignung geprüft. Das Bestimmtheitsmaß R^2 gibt an, wieviel der Varianz des abhängigen Faktors y, hier des Wassergehalts, durch die Varianz des unabhängigen Faktors x, hier des Sättigungsdefizites, erklärt wird.

R^2 dient dabei als Maßstab für die Eignung der unterstellten Gleichung zur Kennzeichnung der funktionalen Abhängigkeit der Größe y von x .

Tabelle 3 bringt einen Auszug der geprüften Gleichungen.

Tabelle 3:

Regressionsgleichungen zwischen dem Wassergehalt des Trockengutes (y) in % Tr.S. und den seit dem Schnitt bis zu den Probeentnahmen erreichten Summen des Sättigungsdefizits (x) in Torr mal h

R^2 = Bestimmtheitsmaß, N = Zahl der Proben

a) Gesamtversuchsperiode ($N = 168$)	R^2
$y = 357,326 - 1,516x$	0,487
$y = 434,981 - 3,649x + 7,862 \cdot 10^{-4}x^2$	0,612
$\ln y = 5,888 - 9,652 \cdot 10^{-3}x$	0,765
$\ln y = 6,066 - 1,453 \cdot 10^{-2}x + 1,797 \cdot 10^{-6}x^2$	0,790
b) Grummetschnitte vom 8. 7. bis 25. 7. 1968 ($N = 30$)	
$y = 306,648 - 1,387x$	0,612
$y = 386,213 - 3,811x + 9,556 \cdot 10^{-4}x^2$	0,827
$\ln y = 5,773 - 9,728 \cdot 10^{-3}x$	0,922
$\ln y = 5,967 - 1,563 \cdot 10^{-2}x + 2,327 \cdot 10^{-6}x^2$	0,961

Mit einer linearen Gleichung der Form $y = a - bx$ sowie einer quadratischen Gleichung der Form $y = a - b_1x + b_2x^2$, wie sie AGENA und Mitarbeiter 1967 zur Kennzeichnung der Verhältnisse in Nordwestdeutschland verwendet haben, ist der Zusammenhang zwischen beiden Größen signifikant zu beschreiben. Noch höhere Bestimmtheitsmaße ergaben e-Funktionen der Form $y = a \cdot e^{-bx}$ bzw. der Form $y = a \cdot e^{-b_1x + b_2x^2}$. Sie sind in Tabelle 3 in logarithmischer Schreibweise dargestellt. Für die weiteren Untersuchungen wurde daher nur noch die Gleichung $y = a \cdot e^{-b_1x + b_2x^2}$ bzw. $\ln y = \ln a - b_1x + b_2x^2$ verwendet. Auch die Abhängigkeit des Wassergehaltes von der Globalstrahlung bzw. Sonnenscheindauer konnte mit dieser Gleichung am besten erfaßt werden. Ein signifikanter Einfluß der Windgeschwindigkeit war nicht festzustellen.

Ergebnisse

Der Trocknungsverlauf während der gesamten Versuchsperiode

Für die gesamte Versuchsperiode ergaben sich die in Tab. 4 angegebenen Regressionskoeffizienten b_1 und b_2 , sie sind durch den t-Test auf Signifikanz geprüft und alle mit $p = 1\%$ hoch gesichert. a ist der Punkt, an dem die Regressionskurve die y -Achse schneidet, in diesem Fall der Wassergehalt zum Zeitpunkt der ersten Probeentnahme unmittelbar nach dem Schnitt. Diese Werte sind in Tabelle 4 als $\ln a$ angegeben. Dem Wert von $\ln a = 6,066$ entspricht ein Wassergehalt von 431% Trockengewichtsbasis (81,2% Feuchtgewichtsbasis).

R^2 ist durch den F-Test geprüft und war in allen Fällen hochsignifikant. Es zeigte sich, daß das Sättigungsdefizit als erklärender Faktor noch geeigneter ist als die Strahlung und die Sonnenscheindauer. Der Korrelationskoeffizient zwischen dem Sättigungsdefizit einerseits und der Globalstrahlung bzw. der Sonnen-

Tabelle 4:

Das Ergebnis der Regressionsanalyse zwischen dem Wassergehalt (y) und den erreichten Summen des Sättigungsdefizites, der Globalstrahlung und Sonnenscheindauer (x)

Regressionsgleichung: $\ln y = \ln a - b_1x + b_2x^2$

Gesamte Versuchsperiode: Heu und Grummet (N = 168)

	ln a	b ₁	t-Wert	b ₂	t-Wert	R ²	F-Wert
Sättigungsdefizit	6,066	-1,453x10 ⁻²	-12,463	+1,797x10 ⁻⁶	4,444	0,790	310,378
Globalstrahlung	6,126	-2,303x10 ⁻³	-12,448	+4,804x10 ⁻⁷	5,424	0,724	216,066
Sonnenscheindauer	6,013	-1,565,10 ⁻¹	-10,892	+2,601x10 ⁻⁴	5,260	0,684	178,199

scheindauer andererseits betrug auf der Grundlage der 168 Wertepaare für alle Zeitspannen zwischen den Probeentnahmen +0,955 bzw. +0,935. Es läßt sich also nicht feststellen, inwieweit die Trocknung kausal von einem der drei Faktoren bestimmt wird. Auf Grund der sehr engen Korrelation zwischen den drei potentiellen Einflußgrößen wurde auf die Anwendung der multiplen Regressionsanalyse mit mehreren erklärenden Faktoren verzichtet. In Abb. 3 ist die Regressionslinie des Wassergehaltes in Abhängigkeit von der Summe des Sättigungsdefizites wiedergegeben.

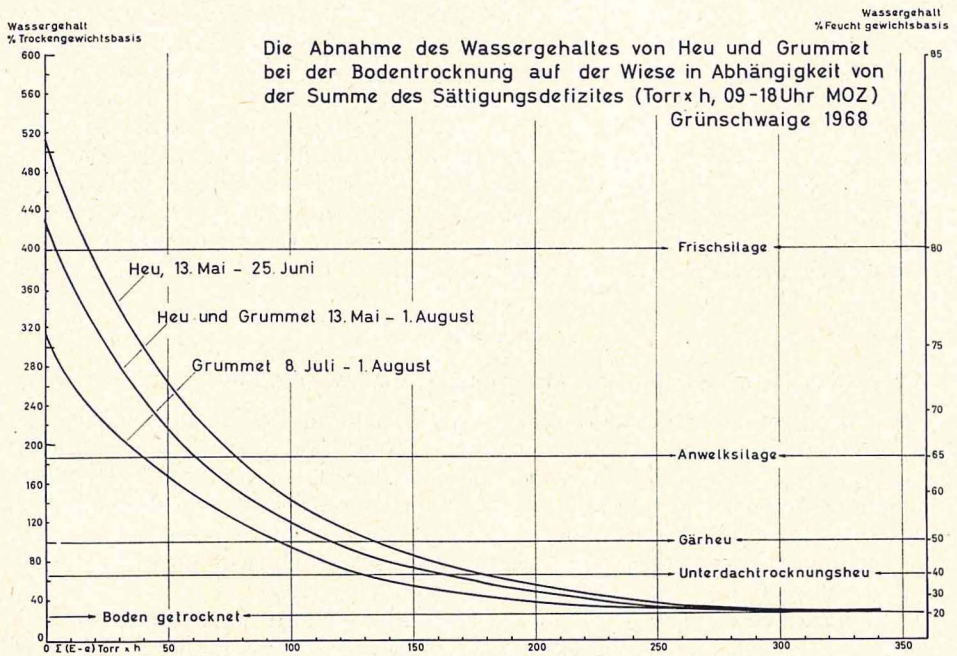


Abb. 3: Die Abnahme des Wassergehaltes von Heu und Grummet bei der Bodentrocknung in Abhängigkeit von der Summe des Sättigungsdefizites (Torr × h, 09–18 Uhr MOZ)

Der Trocknungsverlauf während der Heu- und Grummetperiode

Schon während der Feldperiode zeigte sich, daß die Trocknung nicht gleichartig verläuft. Daher wurde das gesamte Material für die eigentliche Heuernte (13. Mai bis 27. Juni) und für die Grummeternte (8. Juli bis 1. August) getrennt verrechnet.

Tabelle 5:

Das Ergebnis der Regressionsanalyse zwischen dem Wassergehalt (y) und den erreichten Summen des Sättigungsdefizites, der Globalstrahlung und Sonnenscheindauer (x)

Regressionsgleichung: $\ln y = \ln a - b_1x + b_2x^2$

	ln a	b ₁	t-Wert	b ₂	t-Wert	R ²	F-Wert
Heuperiode (N = 106)							
Sättigungsdefizit	6,247	-1,432x10 ⁻²	- 9,886	+1,551x10 ⁻⁶	3,001	0,803	210,242
Globalstrahlung	6,326	-2,082x10 ⁻³	-10,397	+3,470x10 ⁻⁷	3,854	0,792	196,590
Sonnenscheindauer	6,198	-1,459x10 ⁻¹	- 7,984	+2,170x10 ⁻⁴	3,545	0,685	111,800
Grummetperiode (N = 62)							
Sättigungsdefizit	5,760	-1,525x10 ⁻²	-13,288	+2,367x10 ⁻⁶	6,013	0,908	291,636
Globalstrahlung	5,858	-2,748x10 ⁻³	-14,250	+7,045x10 ⁻⁷	5,761	0,922	346,863
Sonnenscheindauer	5,733	-1,731x10 ⁻¹	-16,966	+3,102x10 ⁻⁴	8,266	0,932	404,030

Das Bestimmtheitsmaß wird in allen Fällen wesentlich größer, wenn Heuernte und Grummetschnitt getrennt behandelt werden. Der mittlere Anfangswassergehalt lag während der Heuernte bei 83—84% (Feuchtgewichtsbasis) und 76% während der Grummeternte. Während der Heuperiode waren also die Anfangswassergehalte des Futters deutlich höher, was auf den Mitte Mai physiologisch noch sehr jungen Aufwuchs zurückzuführen ist.

In Abb. 3 sind die Regressionslinien für den Wassergehalt und die Summe des Sättigungsdefizites beider Perioden dargestellt. Man erkennt, wieviel rascher das Grummet dank des geringeren Anfangswassergehaltes abtrocknet als das Heu. Allerdings wurde für die Abtrocknung von 200% auf 100% Wassergehalt TB (66,7% auf 50% FB) in beiden Fällen eine Summe von 61 Torr · h und von 100% auf 50% TB (50% auf 33,3% FB) für das Heu eine Summe von 131 Torr · h, für das Grummet von 126 Torr · h benötigt.

Rohfasergehalt und Trocknungsverlauf

Das Beobachtungsmaterial wurde nun noch weiter aufgeteilt, um den Trocknungsverlauf von Futter verschiedenen Rohfasergehaltes vergleichen zu können. Es wurden Regressionsgleichungen innerhalb der Heuperiode getrennt für die Schnitte 13. Mai bis 1. Juni und 6. Juni bis 25. Juni berechnet. Im ersten Fall lag der Rohfasergehalt zwischen 20,2 und 27,4% (Mittel 23,9%), im zweiten Fall zwischen 30,4 und 34,4% (Mittel 32,8%). In ähnlicher Weise wurden Regressions-

gleichungen getrennt für die Grummetschnitte 8. bis 25. Juli sowie 26. Juli bis 1. August berechnet. Die mittleren Rohfasergehalte waren in diesem Fall 28,5% bzw. 29,6%. Die Regressionsgleichungen für diese vier Abschnitte sind in Tabelle 6, die dazugehörigen Regressionslinien in Abb. 4 wiedergegeben. Konnte auf Grund des gesamten Beobachtungsmaterials die Wassergehaltsabnahme schon zu 79% ($R^2 = 0,79$) durch die Summe des Sättigungsdefizites erklärt werden, so stieg dieser Wert bei einer getrennten Betrachtung für Heu und Grummet auf 80% bzw. 91% bzw. 91%. Durch die Aufteilung von Heu und Grummet in weitere zwei Abschnitte wuchs das Bestimmtheitsmaß auf 93% bzw. 96% an.

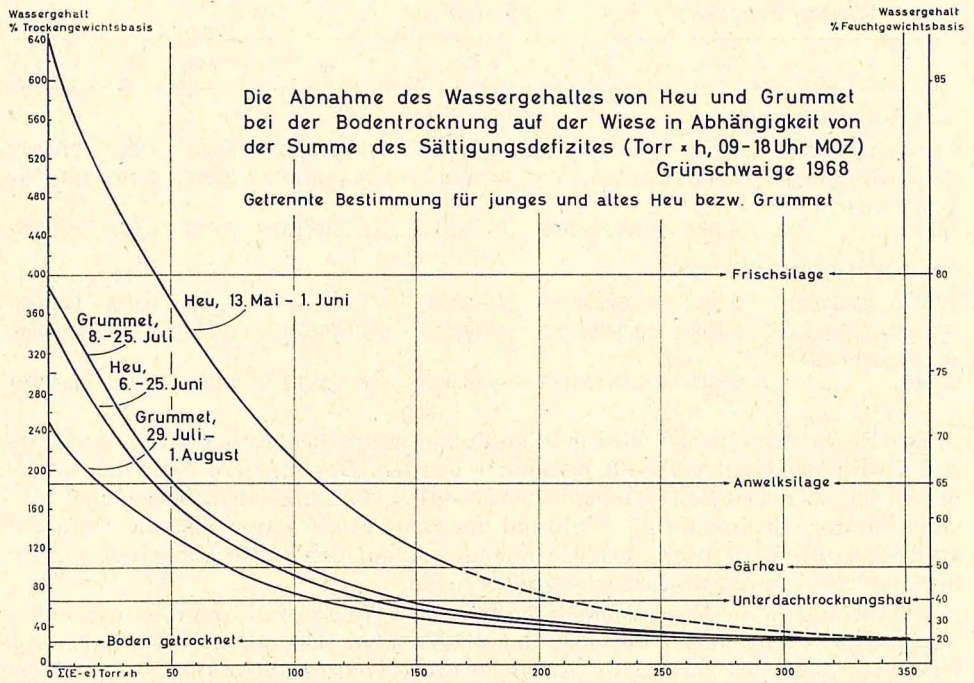


Abb. 4: Die Abnahme des Wassergehaltes von jungem und altem Heu bzw. Grummet bei der Bodentrocknung in Abhängigkeit von der Summe des Sättigungsdefizites ($\text{Torr} \times \text{h}$, 09–18 Uhr MOZ)

Abb. 4 zeigt die große Bedeutung des Anfangswassergehaltes des Grüngutes für die Trockengeschwindigkeit noch deutlicher als Abb. 3. Der mittlere Anfangswassergehalt des vom 13. 5.—1. 6. geschnittenen Grüngutes betrug 680% TB (87,2% FB), der des vom 4.—25. Juni geschnittenen dagegen nur 354% TB (= 76,0 FB). Für die Grummetschnitte vom 8.—25. 7. war der mittlere Anfangswassergehalt 390% (= 79,6% FB), für die Schnitte vom 26. 7.—1. 8. 249% (= 71,3% FB). Die Summe des Sättigungsdefizites, die benötigt wird, um Futter sehr jungen physiologischen Alters als Anwelksilage einzufahren, muß mehr als dop-

Tabelle 6:

Das Ergebnis der Regressionsanalyse zwischen dem Wassergehalt (y) und den erreichten Summen des Sättigungsdefizites, der Globalstrahlung und Sonnenscheindauer (x)

Regressionsgleichung: $\ln y = \ln a - b_1x + b_2x^2$

	ln a	b ₁	t-Wert	b ₂	t-Wert	R ²	F-Wert
Heuschnitte vom 13. 5. bis 1. 6. (N = 46)							
Sättigungsdefizit	6,522	-1,223x10 ⁻²	- 8,228	+1,500x10 ⁻⁶	1,559	0,926	267,881
Globalstrahlung	6,553	-1,306x10 ⁻³	- 7,765	+2,118x10 ⁻⁷	1,215	0,922	253,603
Sonnenscheindauer	6,456	-1,193x10 ⁻¹	- 7,816	+2,413x10 ⁻⁴	4,238	0,775	73,944
Heuschnitte vom 6. 6. bis 25. 6. (N = 60)							
Sättigungsdefizit	5,870	-1,594x10 ⁻²	-18,633	+2,614x10 ⁻⁶	9,371	0,948	524,013
Globalstrahlung	5,953	-2,277x10 ⁻³	-17,620	+5,184x10 ⁻⁷	9,595	0,935	411,748
Sonnenscheindauer	5,814	-1,530x10 ⁻¹	-11,876	+2,525x10 ⁻⁴	6,163	0,877	203,984
Grummettschnitte vom 8. 7. bis 25. 7. (N = 30)							
Sättigungsdefizit	5,967	-1,563x10 ⁻²	-13,042	+2,327x10 ⁻⁶	5,201	0,961	332,197
Globalstrahlung	6,018	-2,672x10 ⁻³	- 7,051	+4,598x10 ⁻⁷	1,458	0,911	138,767
Sonnenscheindauer	5,881	-2,176x10 ⁻¹	- 9,459	+4,664x10 ⁻⁴	3,795	0,929	176,170
Grummettschnitte vom 26. 7. bis 1. 8. (N = 32)							
Sättigungsdefizit	5,516	-1,441x10 ⁻²	-11,370	+2,334x10 ⁻⁶	6,637	0,930	191,244
Globalstrahlung	5,631	-2,534x10 ⁻³	-17,693	+6,766x10 ⁻⁷	8,030	0,974	538,288
Sonnenscheindauer	5,580	-1,417x10 ⁻¹	-13,394	+2,177x10 ⁻⁴	6,123	0,955	304,783

pelt so hoch als für physiologisch älteres Schnittgut sein. Zu dem Zeitpunkt, an dem sich das ältere Futter bereits zu Gärheu verarbeiten läßt, kann das junge Futter noch nicht einmal als Anwelksilage eingefahren werden. Wegen des asymptotischen Verlaufes der Kurven vermischt sich dieser Unterschied bis zur vollständigen Bodentrocknung. Diese Tatsache ist verständlich, wenn man bedenkt, daß das ältere Futter gerade die letzten Prozente an Wasser langsamer abgibt als das junge Futter. Das Wasser ist im alten Futter zwar in geringerem Umfang in den Zellen lokalisiert, dort aber infolge der zellulosereichen Zellwände besser gegen Verdunstung geschützt als im jungen Futter.

Die Unterschiede für das Grummet sind infolge der geringen Abweichung im Rohfasergehalt weniger deutlich, weisen aber dieselbe Tendenz auf. Das physiologische Alter des Futters übt somit einen erheblichen Einfluß auf den Trocknungsprozeß aus. Das fällt um so mehr ins Gewicht, je weniger Vortrocknung das jeweilige Bergungsverfahren erfordert. Im Schnittgut, das vom 13. 5. bis 1. 6. gewonnen wurde und dessen mittlerer Ertrag 40,93 dz TS/ha und dessen Anfangswassergehalt 680% TB ausmacht, befanden sich im Mittel 2,78 kg/m² Wasser. Im älteren Futter der Heuperiode war trotz des größeren mittleren Ertrages von 58,16 dz TS/ha wegen des geringeren Anfangswassergehaltes (354% TB) mit

2,06 kg/m² weniger Wasser je Quadratmeter gebunden. Im Schnittgut der Grummetperiode mit einem mittleren Ertrag von 34,97 dz TS/ha waren im Mittel 1,11 kg Wasser/m² gebunden. Die vom geschnittenen Gras abzugebenden Wassermenge ist somit viel geringer als die Wassermenge, die von einer wachsenden Grasfläche bei guter Wasserversorgung an einem Sommertag verdunstet werden kann.

Eine Auswirkung unterschiedlicher Erträge auf den Trocknungsverlauf konnte nicht festgestellt werden, da mit steigendem Ertrag auch der Rohfasergehalt stieg.

Tabelle 7:

**Erforderliche Summenwerte des Sättigungsdefizites Torr × h (9—18 Uhr)
zur Trocknung des Grüngutes auf verschiedene Wassergehalte für Schnittgut unterschiedlichen Rohfasergehaltes**

H = Heu, G = Grummet

Schnittgut	mittlerer Anfangswassergehalt in %		Rohfasergehalt in %			Erforderliche Summe des Sättigungsdefizites Torr × h für			
	TG	FG	von	bis	φ	Anwelksilage	Gärheu	Unterdach-trocknungsheu	Bodentrocknungsheu
H jung	680	87,2	20,2—27,4	23,9		111	165	210	(350)
H alt	354	76,0	30,4—34,4	32,8		43	93	132	(320)
G jung	390	79,6	27,5—30,5	28,5		51	105	146	(320)
G alt	249	71,3	28,6—30,0	29,6		21	73	111	(305)
H gesamt	516	83,8	20,2—34,4	28,6		78	134	180	(325)
G gesamt	317	76,0	27,5—30,5	28,9		40	94	128	(310)
H+G gesamt	431	81,2	20,2—34,4	28,7		61	116	162	(320)
H+G (AGENA)	525	84	unter 28			65	120	170	320

Schwellenwerte für bestimmte Trocknungsstufen (Bergungsverfahren)

Auf Grund der berechneten Regressionslinien ergeben sich die Summen an Sättigungsdefizit, die für bestimmte Bergungsverfahren notwendig sind (Tabelle 7). Dabei gilt als höchster Wassergehalt für Anwelksilage 65% FB, für Gärheu 50%, für Unterdach-trocknungsheu 40% und für Bodentrocknungsheu 20%.

Wenn man die Werte von AGENA und Mitarbeitern mit den mittleren Torrsummen für die gesamte Versuchsperiode (H + G) vergleicht, so bestehen fast keine Unterschiede. Die Werte für den Versuchsort Grünschaige sind etwas geringer als die in Infeld gewonnenen. Die Ursache liegt wohl in den unterschiedlichen Anfangswasser- und Rohfasergehalten des Schnittgutes der beiden Versuchsorte (Tabelle 7), dürfte aber auch durch die auf der Grünschaige wirksamere Strahlung erklärt werden. Die für bodengetrocknetes Heu notwendigen Summen an Sättigungsdefizit sind aus den asymptotisch verlaufenden Regressionskurven nur ungenau abzulesen. Auch die Gleichungen können in diesem Bereich zur Berechnung nur bedingt herangezogen werden, da Wassergehalte unter 25% TB = 20% FB nur sehr selten, beim jungen Heu überhaupt nicht vorgekommen sind. Der erreichbare Endwassergehalt wird schließlich auch durch den von der rel. Luftfeuchte bestimmten Gleichgewichtszustand zwischen Luft- und Heufeuchte bestimmt. Die Werte für Bodentrocknungsheu in Tab. 7 sind daher eingeklammert.

Interessant ist der Vergleich der benötigten Summenwerte des Sättigungsdefizites für Schnittgut unterschiedlichen physiologischen Alters. So wird bei gleicher Summe an Sättigungsdefizit von 111 Torr x h aus dem physiologisch alten Futter des Grummetschnittes Unterdachtrocknungsheu, aus dem physiologisch jungen Futter erst Anwelksilage.

Vergleich zwischen Nord- und Süddeutschland

Die Zusammenstellung in Tab. 7 sagt noch nichts über die notwendige Trocknungsdauer in Stunden oder Tagen. In Süddeutschland wird die gleiche Summe des Sättigungsdefizites in der Regel viel rascher erreicht als in Nordwestdeutschland. Da langjährige Mittelwerte der Summe des Sättigungsdefizites 9—18 Uhr nur mit erheblichem Aufwand bestimmt werden können, soll der Unterschied zwischen Nord- und Süddeutschland auf einfachere Weise dargestellt werden.

Für den Versuchszeitraum 27. Mai bis 23. August 1967 hatten AGENA und Mitarbeiter für Infeld eine mittlere Tagessumme des Sättigungsdefizites (9—18 Uhr) von 38 Torr x h ermittelt, wobei das mittlere Sättigungsdefizit um 14 Uhr 4,3 Torr betrug. Das Verhältnis $\Sigma (E-e)_{9-18}$ zu $(E-e)_{14}$ war somit 8,85. Im Zeitraum 11. Mai bis 5. August 1968 war die mittlere Tagessumme des Sättigungsdefizites (9—18 Uhr) auf dem Versuchsgut Grünschaibe 60,9 Torr · h und das mittlere Sättigungsdefizit um 14 Uhr 7,4 Torr, das Verhältnis somit 8,24. Das langjährige mittlere Sättigungsdefizit um 14 Uhr für drei Orte mit unterschiedlichen Klimabedingungen ist in Tabelle 8 wiedergegeben. Es wurde angenähert aus der mittleren täglichen Maximumtemperatur und der mittleren relativen Luftfeuchte um 14 Uhr bestimmt. Die Abweichung vom wahren Mittel des Sättigungsdefizites um 14 Uhr betrug in Weihestephan $\pm 0,2$ Torr.

Tabelle 8:

Mittleres Sättigungsdefizit 14 Uhr in Torr (1881—1930)

		Mai	Juni	Juli	August
Bremerhaven	(1881—1930)	5,3	5,9	6,2	5,6
Kleve	(1881—1930)	6,3	7,0	7,2	6,6
Weihestephan	(1881—1930)	7,6	8,8	10,1	8,8
Weihestephan	(1968)	6,4	7,7	7,4	5,3

Wendet man hierauf die eben festgestellten Relationen von $\Sigma (E-e)_{9-18}$ zu $(E-e)_{14}$ an und nimmt man für Kleve einen Wert von 8,70 an, so lassen sich die mittleren Tagessummen des Sättigungsdefizites von 9—18 Uhr für die drei Orte wie folgt abschätzen.

	Mai	Juni	Juli	August	
Bremerhaven	47	52	55	50	Torr x h
Kleve	55	61	63	57	Torr x h
Weihestephan	63	73	84	73	Torr x h

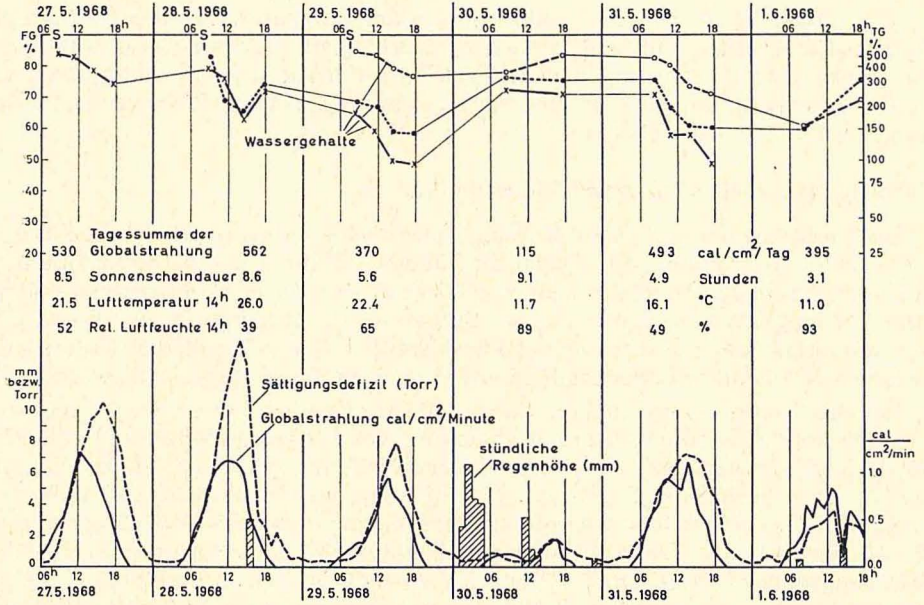


Abb. 5a: Der Verlauf der Trocknung des am 27., 28. und 29. Mai 1968 geschnittenen Grüngutes sowie die Tagesgänge des Sättigungsdefizites, der Globalstrahlung und der Regenhöhe

Im Mittel wird in Weihenstephan in zwei Tagen die gleiche Summe des Sättigungsdefizites erreicht wie in Bremerhaven in drei Tagen. Die Verhältnisse in Kleve liegen dazwischen. In dieser Zusammenstellung sind alle Tage, nicht nur die regenfreien, enthalten. An sonnig warmen Tagen mit idealem Heuwetter werden pro Tag erheblich größere Summen des Sättigungsdefizites erreicht, die in Weihenstephan meist 100 Torr x h überschreiten.

Der Trocknungsverlauf während einzelner Perioden

Regen verzögert die Heutrocknung, weil das am Trocknungsgut haftende Niederschlagswasser zusätzlich verdunsten muß. AGENA und Mitarbeiter haben angegeben, wieviel zusätzliche Trocknungszeit in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge erforderlich ist. In dieser Arbeit wurde wegen der zu großen Streuung der Wiederanfeuchtungswerte von der Berechnung einer Regressionsgleichung abgesehen. Niederschlagstagesummen unter 1 mm können unberücksichtigt bleiben. Sie verzögern die Abtrocknung kaum, ebenso wie die nachts abgelagerte Tauwassermenge, die im Einzelfall schon 0,5 mm erreichen kann. Um eine Vorstellung vom Ausmaß der Wassergehaltzunahme von Trocknungsgut nach Regen zu geben, ist der Trocknungsverlauf für drei Perioden in den Abb. 5a—c dargestellt. Sie enthalten weiterhin den Tagesgang der Globalstrahlung und des Sättigungsdefizites sowie die stündlichen Regenhöhen. Abb. 5a zeigt den Verlauf des Wassergehaltes in der Zeit vom 27. Mai bis 1. Juni 1968 für das Schnittgut vom 27., 28. und 29. Mai. Man erkennt die Zunahme der Feuchte durch

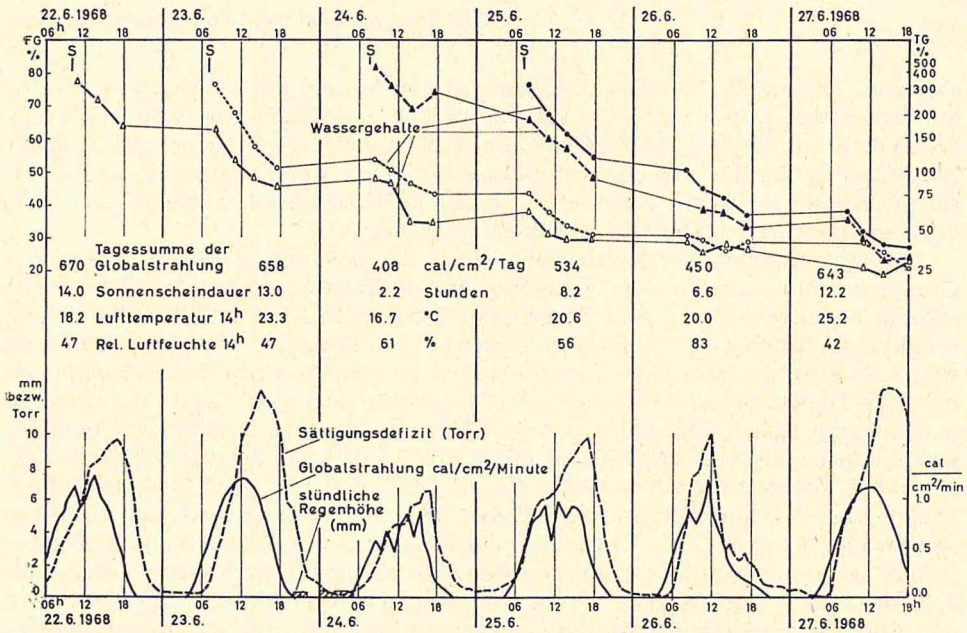


Abb. 5b: Der Verlauf der Trocknung des am 22., 23., 24. und 25. Juni 1968 geschnittenen Grüngutes sowie die Tagesgänge des Sättigungsdefizites, der Globalstrahlung und der Regenhöhe

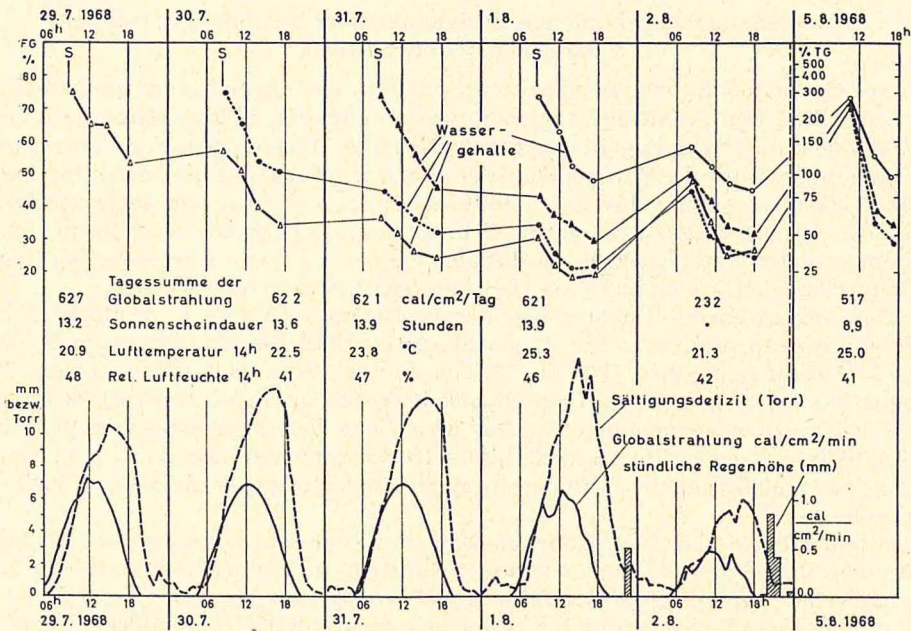


Abb. 5c: Der Verlauf der Trocknung des am 29., 30. und 31. Juli und am 1. August 1968 geschnittenen Grüngutes sowie die Tagesgänge des Sättigungsdefizites, der Globalstrahlung und der Regenhöhe

Tau vom 27. zum 28. Mai. Der Niederschlag von 3,0 mm am 28. Mai, 15—16 Uhr, ließ den Wassergehalt von 14.30 Uhr bis 18 Uhr von 171,4% auf 268,1% (Schnitt 27. 5.) bzw. von 190,6% auf 275,8% (Schnitt 28. 5.) ansteigen. Das entspricht unter Berücksichtigung der Trockenmasse einer Zunahme von 0,47 bzw. 0,41 kg Wasser/m². Ergiebige Regen ließen am 30. Mai den Wassergehalt auf rund 250% bis 500% entsprechend 1,2 bis 2,5 kg Wasser/m² ansteigen.

Abb. 5b zeigt den Trocknungsverlauf für die Zeit vom 22. bis 27. Juni. Bei günstigem, aber nicht idealem Heuwetter war das Heu am Abend des 27. fast vollständig bodengetrocknet. Der Regen vom 23. zum 24. (1,4 mm) brachte keinen erheblichen Anstieg des Wassergehaltes. Auch ein Regen von 3 mm in der Nacht zum 2. August bewirkte eine Wassergehaltszunahme, die einer Wassermenge von nur 0,16 bis 0,27 kg/m² entsprach (Abb. 5c). Nach Regen von 21,5 mm zwischen dem 2. 8. um 19 Uhr und dem 4. 8. um 17 Uhr war der Wassergehalt des am 30. 7. geschnittenen Heus bis zum Morgen des 5. 8. von 34,9% um 215,3% auf 240,2% TG (= 70,6% FG) gestiegen. Die Werte des am 31. 7. und 1. 8. geschnittenen Futters stiegen von 46,7% um 198,9% auf 245,6% TG (= 71,1% FG) bzw. von 82,7% um 184,4% auf 267,1% TG (= 72,8% FG). Obwohl kaum ein Unterschied im Wassergehalt der drei Schnitte am Morgen des 5. 8. bestand, war bis zum Abend des 5. 8. das früher geschnittene Gut wieder stärker ausgetrocknet. Die Kurven in den Abb. 5a—c zeigen, daß das am Trockengut haftende und von ihm aufgenommene Regenwasser viel schneller verdunstet als das physiologisch gebundene Wasser.

Anwendung der gefundenen Beziehungen zur Bestimmung der Zahl der geeigneten Schnittage

Auf Grund der in Tab. 7 genannten Summenwerte des Sättigungsdefizites läßt sich die Zahl der Schnittage angeben, denen genügend Schönwettertage folgen, um auf dem Feld ohne Regenbenetzung bestimmte Trocknungsstufen zu erreichen. Hierzu müssen nur die Stundenwerte des Sättigungsdefizites bekannt sein. Die in Tab. 7 genannten Schwellenwerte gelten allerdings nur für den Zeitraum Mitte Mai bis Anfang August. Sollen die Schwellenwerte auch auf Schnitte im Spätsommer angewendet werden, so dürften wegen der dann kürzeren Tage statt 10 Stundenwerte je Tag nur 9 oder 8 Stundenwerte verwendet werden.

Das Verfahren der Bestimmung der verfügbaren Tage sei am Beispiel von Weihenstephan erläutert, ihm liegen die Aufzeichnungen der Zeit vom 21. Mai bis 1. August der Jahre 1959 bis 1968 zugrunde. Vom letzten regenfreien Tag (regenfrei bis 18 Uhr) einer Trockenperiode wurde durch Rückwärtsaddition die von jedem vorangegangenen Tag bis zum Ende der Trockenperiode erreichte Gesamtsumme des Sättigungsdefizites 9—18 Uhr ermittelt. Das Beispiel in Tab. 9 zeigt die abnehmenden verfügbaren Summenwerte gegen Ende der Trockenperiode.

Anhand der in Tab. 7 angegebenen Schwellenwerte ist es nun möglich, für jedes der zehn Jahre auszuzählen, wieviele Schnittage in Weihenstephan in der Zeit vom 21. Mai bis 1. August auftraten. Die Werte gelten für den Heuschnitt.

Abb. 6 zeigt die Verteilung der Schnittage während der Jahre 1959 bis 1968.

Die Tab. 10—12 enthalten die im zehnjährigen Mittel verfügbaren Schnittage in Weihenstephan, differenziert nach den vier Trocknungsverfahren.

Tabelle 9:

**Beispiel zum Bestimmen geeigneter Schnittage zur niederschlagfreien Bergung
Weihenstephan 1966**

Tag	Niederschlag mm	Tagessumme E-e Torr x h	Gesamtsumme E-e Torr x h	Schnitttag für
29. Mai	1,8	29,6	—	—
30. Mai	.	55,0	747,8	Bodentrocknung
31. Mai	.	68,4	692,8	Bodentrocknung
1. Juni	0,0	69,4	624,4	Bodentrocknung
2. Juni	0,0	85,7	555,0	Bodentrocknung
3. Juni	.	74,8	469,3	Bodentrocknung
4. Juni	.	110,6	394,5	Bodentrocknung
5. Juni	.	134,7	283,9	Unterdachtrocknung
6. Juni	0,1	50,3	149,2	Gärheu
7. Juni	.	98,9	98,9	Anwelksilage
8. Juni	6,7	76,0	—	—

Tabelle 10:

**Mittlere Zahl der Schnittage je Dekade zur Gewinnung von Futter
bestimmten Trocknungsgrades
Weihenstephan 1959—1968**

Verfahren	Σ (E-e) Torr x h	21.—31. Mai	1.—10. Juni	11.—20.	21.—30.	1.—10. Juli	11.—20.	21.—31.
Bodentrocknung	325	1,9	3,0	2,4	2,5	2,6	2,5	4,0
Unterdachtrocknung	180	3,0	4,3	4,6	3,9	4,4	4,0	5,8
Gärheu	130	3,6	5,1	5,4	5,1	5,6	5,1	6,7
Anwelksilage	80	5,0	6,3	6,5	6,2	6,5	6,0	7,6

Tabelle 11:

**Zahl der Jahre von 10, an denen wenigstens an einem Tag der Dekade
die erforderliche Summe E-e erreicht wurde**

Σ (E-e) Torr x h	21.—31. Mai	1.—10. Juni	11.—20.	21.—30.	1.—10. Juli	11.—20.	21.—31.
325	5	8	6	8	7	6	8
180	7	9	10	10	8	8	9
130	9	9	10	10	10	10	9
80	10	10	10	10	10	10	10

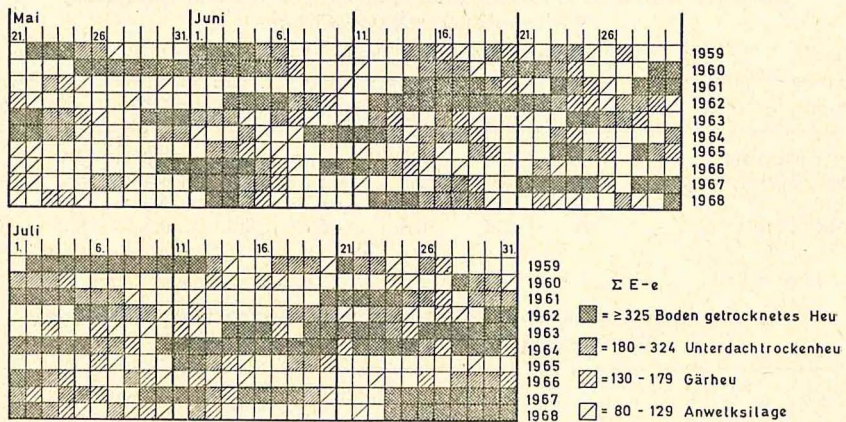
Tabelle 12:

**Zahl der Jahre von 10, in denen der dritte (der fünfte) geeignete Schnitttag in die Zeit
vom 21. Mai bis zu den angegebenen Stichtagen fiel**

Σ (E-e) Torr x h	bis 1. Juni	bis 11. Juni	bis 21. Juni	bis 1. Juli
325	3 (2)	7 (5)	9 (8)	10 (9)
180	4 (4)	8 (7)	10 (10)	10 (10)
130	5 (4)	9 (8)	10 (10)	10 (10)
80	8 (5)	10 (10)	10 (10)	10 (10)

Für die Weihenstephaner Klimaverhältnisse lassen sich daraus folgende Schlußfolgerungen ziehen. Fast jedes Jahr reicht die Zahl der Schönwettertage aus, um Anwelksilage oder Gärheu zum Zeitpunkt seiner optimalen Zusammensetzung zu bergen. Eine Ausnahme bilden nur Jahre mit so anhaltend nassem Spätfrühling wie 1965.

Unterdachtrocknungsheu von hoher Qualität läßt sich ebenfalls fast in jedem Jahr zum rechten Zeitpunkt ohne Störung durch Niederschlag gewinnen. Nur in 2 von 10 Jahren trat der dritte hierzu geeignete Schnitttag erst in der zweiten Junidekade auf. Benötigt man drei oder mehr Schnitttage für die Gewinnung bodengetrockneten Heus, so gelingt dies nur in 7 von 10 Jahren vor dem 11. Juni. In rund 10% der Jahre wird sich der Schnitt bis in die letzte Junidekade verzögern. Ein Schnitt für bodengetrocknetes Heu in der letzten Maidekade wird witterungsmäßig nur in jedem zweiten Jahr möglich sein, und nur in jedem dritten Jahr gibt es schon in der letzten Maidekade drei hierzu geeignete Schnitttage. Es muß darauf hingewiesen werden, daß wegen der unsicheren Niederschlagsvorhersage für 4—5 Tage die Zahl der geeigneten Tage, die auch ausgenutzt werden, sicherlich um etwa 20% geringer ist als die gesamte Zahl.



Zum Schnitt von Grüngut geeignete Tage,
um ohne Regen (Tagessumme unter 1.0 mm)
Futter verschiedenen Trocknungsgrades zu
bergen. Weihenstephan, 1959-1968

Abb. 6: Zum Schnitt von Grüngut geeignete Tage, um ohne Regen (Tagessumme unter 1,0 mm) Futter verschiedenen Trocknungsgrades zu bergen, Weihenstephan 1959-1968

Abb. 6 zeigt deutlich, daß es in den 10 Jahren nur ausnahmsweise geeignete Schnitttage zwischen dem 6. und 11. Juni gegeben hat. Die Woche vorher und die Woche nachher brachten deutlich günstigeres Heuwetter.

Wie oft am Morgen geschnittenes Grüngut schon am Abend des zweiten oder dritten Folgetages als bodengetrocknetes Heu eingefahren werden kann, zeigt Tab. 13. Die dazu notwendige Summe an Sättigungsdefizit muß dann in 3 bzw. 4 Tagen erreicht werden.

Tabelle 13:

Mittlere Zahl der Tage je Dekade, an denen am Morgen geschnittenes Grüngut am Abend des 2. bzw. 3. Folgetages bodengetrocknet ist

Trocknung	21.—31. Mai	1.—10. Juni	11.—20.	21.—30.	1.—10. Juli	11.—20.	21.—31.
2. Folgetag	0,1	0,4	0,4	0,9	0,6	1,5	1,5
3. Folgetag	0,4	1,5	1,6	2,0	1,7	2,2	2,7

Am Montag früh geschnittenes Grüngut kann demnach im Mittel im Juni an 1—2 Tagen je Dekade schon am Donnerstagabend bodengetrocknet eingefahren werden. Vor dem 21. Juni traten in 5 von 10 Jahren einzelne Tage auf, an denen am Morgen geschnittenes Grüngut schon am Abend des übernächsten Tages bodengetrocknet war. In 9 von 10 Jahren konnte es zum Abend des dritten Folgetages bodengetrocknet eingefahren werden.

Schlußbetrachtung

Die 1968 von VAN EIMERN und SPATZ (3) nur an Hand des Sättigungsdefizites um 14 Uhr abgeschätzten „günstigen“ und „einfachen“ Schnitttage entsprechen nach den vorliegenden Untersuchungen Tagen, in deren Folge in 3 bzw. 4 Tagen Summen des Sättigungsdefizites (9—18 Uhr) von 200 Torr \times h bzw. 165 Torr \times h erreicht werden.

Auf Grund der hier erarbeiteten Werte wird es möglich, für jeden Ort, an dem Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlag registriert werden, die Zahl der Tage zu bestimmen, die gewährleisten, daß das Schnittgut mit einem bestimmten Trocknungsgrad auf dem Feld geborgen werden kann.

Darüber hinaus können folgende Empfehlungen gegeben werden:

1. Das physiologische Alter des Mähfutters beeinflusst über den Rohfasergehalt und Anfangswassergehalt den Trocknungsvorgang erheblich. Sehr junges Futter sollte also, wenn die Möglichkeit dazu besteht, unbedingt durch Beweidung genutzt werden.
2. Obwohl das Risiko der Futterkonservierung bei frühzeitigem Schnitt größer ist, sollte trotzdem nicht allzulang damit gewartet werden, da die Qualität des Futters rasch nachläßt. Die in mindestens jedem zweiten Jahr um die Monatswende Mai/Juni auftretende Schönwetterperiode sollte daher genutzt werden. Von allzu frühem Schnitt muß wegen des zu hohen Risikos und der noch folgenden Ertragssteigerung abgeraten werden.
3. Die Möglichkeit zur Bereitung von Anwelksilage und von Gärheu ist praktisch in jedem Jahr gegeben. Auch das Unterdachtrocknungsheu kann meist ohne Schwierigkeiten termingerecht geborgen werden. Der Vorteil von Konservierungsverfahren, die nur einen geringen Trocknungsgrad erfordern, fällt besonders ins Gewicht, je höher der Trockensubstanzgehalt bzw. je geringer der Anfangswassergehalt zum Zeitpunkt des Schnittes ist.
4. Läßt sich eine vollständige Bodentrocknung nicht umgehen, so ist in diesem Fall die erforderliche Trockenzeit für junges und altes Futter fast gleich.

5. Die Wasserabgabe des Futters verlangsamt sich immer mehr, je fortgeschrittener der erreichte Trocknungsgrad ist. Dies ist bei altem Futter noch ausgeprägter als bei jungem. Um bodengetrocknetes Heu zu erhalten, wird mehr als die doppelte Zeit benötigt als für Gärheu, obwohl die gesamte Wasserabgabe vom Schnitt bis zum Erreichen von Gärheu etwa dreimal so groß ist als die weitere Wasserabgabe bis zum bodengetrockneten Heu. Das Bergungsrisiko steigt jedenfalls sehr schnell, je weiter das Futter auf dem Feld herabgetrocknet werden muß. Hinzu kommt, daß auch der Witterungsverlauf für 2—3 Tage eher vorauszusehen ist als für eine längere Zeitspanne.

Zusammenfassung

In umfangreichen Feldversuchen auf dem Versuchsgut Grünschwaige bei Freising-Weihenstephan wurde der Trocknungsverlauf von Heu untersucht.

Die meteorologischen Faktoren Sättigungsdefizit der Luft und Globalstrahlung sind gut geeignet, den Trocknungsvorgang zu erklären, etwas schlechter die Sonnenscheindauer. Die funktionale Abhängigkeit der Wassergehaltsabnahme von den drei meteorologischen Faktoren läßt sich am besten in der e-Funktion $y = a \cdot e^{-b^1 x + b^2 x^2}$ ausdrücken.

Ein Einfluß der Windgeschwindigkeit konnte nicht nachgewiesen werden. Es zeigte sich, daß die Trocknung von Futter unterschiedlichen physiologischen Alters (Rohfasergehalt) und Anfangswassergehaltes recht unterschiedlich verläuft.

Für die Verhältnisse von Weihenstephan wird gezeigt, wieviele Tage im zehnjährigen Mittel während des Heuschnittes zur Verfügung stehen, um Futter unterschiedlichen Trocknungsgrades ohne Regeneinwirkung zu bergen.

Literaturverzeichnis

1. A g e n a, M. U., B ä t j e r, D. und W e s s e l s, D.: Wieviel „Einfahrtage“ stehen im norddeutschen Raum für die Bergung von Winterfutter zur Verfügung? Ein Beitrag zur Ermittlung von verfügbaren Erntetagen während der Heu- und Silageernte. Meteorol. Rdsch. 21, 169—175, 1968.
2. B e c k h o f f, J.: Trocknungsverlauf, Wasser- und Nährstoffverluste bei verschiedenen Heuwerbeverfahren. Forschung und Beratung, Reihe C, Heft 10, Hilstrup 1965.
3. V a n E i m e r n, J. und S p a t z, G.: Das Problem der verfügbaren Tage für den Wiesenschnitt. Bayer. Ldw. Jahrb. 45, 350—363, 1968.
4. V a n E i m e r n, J.: Zur Witterung während der Heuernte an der Küste und im Binnenland in den vergangenen 9 Jahren. Das Grünland, 6, 10, 1956.
5. G r a n z, E.: Das Wetter während der Heuernte. Das Grünland, 4, 26—29, 1955.
6. S e g l e r, G.: Hochwertiges Heu durch richtige Werbung. Illustr. Beil. d. Mitt. d. DLG vom 14. 5. 1953.
7. W a r b o y s, J. B.: Climatic factors in the development of local grass conservation techniques. In: Weather and Agriculture, edited by J. A. Taylor, University College of Wales, Aberystwyth, 157—162, 1967.