Zeitschrift "Das Wirtschaftseigene Futter", Band 41, Heft 2, 1995, Seite 182 - 195

Lehrstuhl für Grünlandlehre, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan

Zur Wasserabgabegeschwindigkeit von Futtergräsern und -leguminosen im Primäraufwuchs unter Berücksichtigung ihres Entwicklungsstadiums

Rita Kammerl und Uwe Simon

1. Einleitung

Bei der Erzeugung von Heu oder Anwelksilage besteht die Forderung nach leicht trocknenden Pflanzen, insbesondere weil mit einer Verkürzung der Trocknungszeit geringere Nährstoffverluste verbunden sind (HONIG, 1980). Über die Trocknungseignung von Futterpflanzen ist bislang nur wenig bekannt. Bisherige Untersuchungen deuten allerdings auf beträchtliche Unterschiede zwischen Arten und Sorten im Wassergehalt beim Schnitt und am Ende einer einheitlichen Trocknungszeit hin (HÜBNER und WAGNER, 1968, 1975; KAMMERL und SIMON, 1991, 1992, 1994; OWEN und WILMAN, 1983; u. a.). Die Trocknungseignung variiert dabei mit dem Schnittermin der Pflanzen (JONES, 1979; JONES und PRICKETT, 1981; KAMMERL und SIMON, 1991, 1992, 1994; MORRIS, 1972; u. a.). Für die landwirtschaftliche Praxis lassen sich aus solchen Trocknungsversuchen wertvolle Hinweise darüber ableiten, inwieweit durch die Wahl der Pflanzenart/sorte bzw. deren Erntezeit die erforderliche Trocknungszeit verringert werden kann.

Die Wasserabgabegeschwindigkeit der Pflanzen kann mit dieser Vorgehensweise kaum beurteilt werden, da nicht bekannt ist, inwieweit ein am Ende der Trocknung festgestellter Wassergehalt durch den Anfangswassergehalt und/oder eine leichtere Wasserabgabe verursacht wurde (siehe hierzu HÜBNER und WAGNER, 1975). Der dynamische Vorgang der Wasserabgabe muß demnach *unabhängig* von dem veränderlichen Wassergehalt beim Schnitt erfaßt und geprüft werden. Ein dafür geeignetes Testverfahren wurde in einer vorangegangenen Arbeit (KAMMERL et al., 1994) diskutiert.

Das bislang vorhandene Datenmaterial, das aus verschiedenen Einzelversuchen stammt, läßt keinen direkten Vergleich von Arten/Sorten in den für die futterbauliche Nutzung relevanten Entwicklungsabschnitten (siehe SIMON und PARK, 1983) zu. Die wichtigsten Gründe hierfür sind: unterschiedliche Trocknungsbedingungen bei der Versuchsdurchführung, die Betrachtung nur jeweils einzelner Arten/Sorten sowie die Prüfung von Pflanzen in nicht vergleichbaren Wachstumsstadien bzw. überhaupt ohne klare Definition des maßgeblichen Entwicklungsabschnitts. Deswegen war das Durchführen eigener Trocknungsversuche angezeigt. Zudem war aufgrund bislang meist einjähriger Versuchsergebnisse zu prüfen, inwieweit sich allgemeingültige Aussagen zur Wasserabgabegeschwindigkeit ergeben, wenn Pflanzen über mehrere Jahre hinweg untersucht werden. Diese Frage stellt sich, weil die Trocknungsfähigkeit der Pflanzen auf Unterschiede in der Morphologie und der stofflichen Zusammensetzung (JONES, 1979; JONES und PRICKETT, 1981; OWEN und WILMAN, 1983; u. a.) zurückgeführt werden können. Gerade diese Merkmale unterliegen erfahrungsgemäß deutlichen jahresbedingten Schwankungen (siehe JONES und PRICKETT, 1981; OWEN, 1981; OWEN und WILMAN, 1983), die nicht zuletzt auf wechselnde Witterungsbedingungen während der Aufwuchszeit zurückzuführen sind (PARK, 1980).

In vorliegender Arbeit sollen auf der Grundlage experimenteller Untersuchungen Unterschiede in der Geschwindigkeit der Wasserabgabe wichtiger Futtergräser und -leguminosen aufgezeigt werden. Der Frage, inwieweit das Wasserabgabevermögen mit dem morphologischen und/oder chemischen Aufbau der Pflanzen in Zusammenhang gebracht werden kann, soll in einer weiteren Arbeit nachgegangen werden.

2. Material und Methoden

2.1 Durchführung der Trocknungsversuche

Von 19 Arten und Sorten von Gräsern und Leguminosen wurde im Verlauf von sechs Jahren (1989 - 1994) in vier aufeinanderfolgenden Entwicklungsabschnitten des ersten Aufwuchses (Tabelle 1) das Wasserabgabevermögen geprüft.

Tabelle 1: Der für den jeweiligen Schnittzeitpunkt im 1. Aufwuchs maßgebliche Entwicklungsabschnitt

Schnitt	Gräser		Leguminosen
I	Halmstreckung	31 - 45*	Blattstadium
II	Beginn Ähren-/Rispenschieben	45 - 55*	Vorknospenstadium
III	Ende Ähren-/Rispenschieben	55 - 60*	Knospenstadium
IV	Blüte	61 - 69*	Blüte
* nach SIMON und PARK (1983)			

Die Arten bzw. Sorten (Tabelle 2; Sortennamen siehe KAMMERL et al., 1994) wurden auf dem Versuchsfeld in Dürnast (470 m über NN) in Parzellen zu je 320 m^2 auf einem Löß-Lehmboden angesät. Direkt neben dem Versuchsfeld wurden die Witterungsda-

ten durch den Deutschen Wetterdienst erhoben (ANONYMUS, 1988 - 1994). Die langjährige mittlere Jahrestemperatur beträgt auf diesem Standort 7,5 °C, die durchschnittliche jährliche Niederschlagssumme 793 mm. Die Bestände wurden pro Hektar und Jahr mit 70 kg P_2O_5, 140 kg K_2O und die Gräser zusätzlich mit 60 kg N bzw. 80 kg N (*Lolium*-Arten) in Form von Kalkammonsalpeter gedüngt.

Von den Feldbeständen wurden die Pflanzen um 7 Uhr MESZ 4 cm über der Bodenoberfläche abgeschnitten, gewogen und auf Aluminiumrahmen mit Drahtgeflechtboden (560 x 450 x 50 mm) verteilt. Das Erntegut von jeweils 2 Arten/Sorten wurde gleichzeitig in 8 Wiederholungen in Memmert-Trockenschränken bei 45 °C (1989) bzw. 50 °C 10 Stunden lang ohne Unterbrechung getrocknet. Diploide und tetrapolide (D, T) bzw. frühe und späte Sorten einer Art wurden stets am gleichen Tag geprüft.

In Versuchsserie 1 (1989/90) wurden je Art/Sorte 1390 g auf 10 cm lange Stücke zerkleinertes Pflanzematerial je m^2 eingewogen. In Versuchsserie 2 (1991/94) wurden die Pflanzentriebe in geringerer Menge (850 g/m^2) unzerkleinert getrocknet.

Zu Beginn der Trocknung wurde der Wassergehalt bestimmt. Der Verlauf der Wasserabgabe wurde durch stündliches Wiegen der trocknenden Proben ermittelt.

2.2 Statistische Auswertung

Die Veränderung des Wassergehaltes der Pflanzen während der Trocknungszeit wird durch die einfache lineare Regressionsgleichung $y = a + bt$ beschrieben. Hierbei nimmt b negative Werte an, weil sich mit der Zunahme der Trocknungszeit der Wassergehalt vermindert. Für y wurden vier verschiedene Zielgrößen gewählt, nämlich der relative Wassergehalt FN, der prozentuale Feuchtegrad FT, der logarithmierte relative Wassergehalt lnFN und der logarithmierte prozentuale Feuchtegrad lnFT (KAMMERL et al., 1994) und der Trocknungsverlauf nach den von RIEDWYL (1980) und WEBER (1986) beschriebenen Verfahren auf seine Linearität hin geprüft. Mit Hilfe der Kovarianzanalyse wurden für beide Versuchsserien die Regressionsparameter Intercept a (errechneter Wassergehalt zu Beginn der Trocknung) und Regressionskoeffizient b (Wasserabgabegeschwindigkeit) für y = lnFT auf signifikante Unterschiede zwischen Pflanzenart/-sorte, Entwicklungsabschnitt und Versuchsjahr getestet. Dabei wurde der STUDENT NEWMAN KEULS-Test angewendet. Allen Testverfahren wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 5$ % zugrunde gelegt.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Zur statistischen Prüfung von Trocknungsverläufen

Die vergleichende statistische Prüfung von Trocknungsverläufen mit Hilfe der Kovarianzanalyse setzt signifikant lineare Regressionen voraus (KAMMERL et al., 1994). Tatsächlich verläuft die Abnahme des Wassergehaltes bis zur Gleichgewichtsfeuchte bei der gewählten Temperatur nicht linear, sondern in drei Phasen (KRISCHER, 1963), die durch abnehmende Trocknungsgeschwindigkeiten charakterisiert werden. Da ein

linearer Verlauf der Wasserabgabe nur im ersten Trocknungsabschnitt gewährleistet ist, wurde unsere Versuchsanstellung darauf abgestimmt. In V1 wurde die Trocknungsbedingung so gewählt, daß nach einer 10stündigen Trocknung ein mittlerer Endwassergehalt von nicht weniger als 42,0 % erreicht wurde. Diese Trocknungsverläufe ließen sich signifikant linear darstellen, insbesondere wenn der Gehalt an Wasser als lnFT ausgedrückt wurde (siehe KAMMERL et al., 1994). In V2 wurden die Pflanzentriebe in einer dünneren Schicht getrocknet, so daß ein mit V1 vergleichbarer Endwassergehalt von im Mittel 45,4 % schon nach einer 6stündigen Trocknungszeit erreicht wurde. Es bestätigte sich, daß nur in diesem ersten Trocknungsabschnitt, der bei einem mittleren Wassergehalt von 40 bis 45 % endet, der Verlauf der Wasserabgabe signifikant linear dargestellt werden kann. Die erforderliche Linearität der Regression ließ sich auch bei diesem Datensatz am besten mit y = lnFT erreichen. Für die Beschreibung des gesamten dreiphasigen Trocknungsverlaufs erscheinen Mehr-Term-Gleichungen besser geeignet (vgl. JONES, 1979).

In Tabelle 2 ist der Wassergehalt zu Beginn und am Ende der Trocknung als relativer Wassergehalt FN angegeben. Der Intercept a, der Regressionskoeffizient -b, das Bestimmtheitsmaß B, der Variationskoeffizient C. V. sowie der F-Wert des Testes auf Linearität sind jedoch auf den logarithmierten prozentualen Feuchtegrad bezogen. Im Mittel über die beiden Versuchsserien sind von 19 Pflanzenarten/-sorten 18 (V1) bzw. 17 Regressionen (V2) signifikant linear.

Die Kovarianzanalyse (siehe KAMMERL et al., 1994) ergibt, daß die Regressionsparameter a und -b in beiden Versuchsserien signifikant durch die Pflanzenart/-sorte, den Entwicklungsabschnitt und das Versuchsjahr beeinflußt werden. Die signifikanten Interaktionen weisen darauf hin, daß sich die Regressionsparameter bei den einzelnen Pflanzenarten bzw. -sorten im Laufe ihrer Entwicklung nicht gleichsinnig ändern, so daß der Beachtung der jeweiligen Wachstumsstadien erhebliche Bedeutung zukommt. Wie eingangs vermutet, wird auch der Jahreseinfluß auf die einzelnen Pflanzenarten bzw. -sorten sowie auf die Entwicklungsstadien bestätigt.

3.2 Wassergehalt beim Schnitt

Die Wuchszeit des ersten Aufwuchses wurde während der 6 Versuchsjahre durch stark unterschiedliche Witterungsbedingungen geprägt (ANONYMUS, 1988 - 1994). Dies hatte zur Folge, daß die Pflanzen in V2 (1992) beim Schnitt niedrigere Wassergehalte als in V1 aufwiesen, wobei sich dies am stärksten bei *Lolium perenne* und *Trifolium alexandrinum* ausprägte. In Tabelle 2 sind der relative Wassergehalt (FN %) zu Beginn und am Ende des Trocknungszeitraums sowie der auf signifikante Unterschiede geprüfte errechnete Anfangswassergehalt (Intercept a) zu ersehen. In beiden Versuchsserien zeigen sich gleichermaßen beim Wassergehalt des frischen Erntegutes signifikante Unterschiede zwischen den Arten und Sorten.

Gräser: *Lolium multiflorum gaudini* enthält im Mittel signifikant mehr Wasser als alle anderen Gräser. Dies bestätigt, daß generell der Wassergehalt umso höher liegt, je geringer die Lebensdauer einer Art ist (SIMON, 1970). Den signifikant geringsten Wassergehalt zeigen *Poa pratensis* und *Phleum pratense*. Einen vergleichbar niedrigen Wassergehalt weist nur in V1 *Lolium multiflorum italicum* (D) auf. *Festuca pratensis* enthält weniger Wasser als *Dactylis glomerata* (f, sp) und einige Sorten von *Lolium*.

Diese Ergebnisse bestätigen im Grundsätzlichen die Resultate von HÜBNER und WAGNER (1975), die den bislang umfangreichsten Artenvergleich durchführten.

Die tetraploiden Sorten von Weidelgräsern und Rotklee gewinnen im praktischen Anbau zunehmend an Bedeutung (BUNDESSORTENAMT, 1993). Allerdings sind tetraploide Sorten, wie hier bei den *Lolium*-Arten zu sehen, signifikant wasserreicher als diploide (s. BECKHOFF, 1975; OWEN und WILMAN, 1983; SIMON, 1970). Gleiches gilt für frühblühende Sorten von *Lolium perenne* und *Dactylis glomerata*, da sie in vergleichbaren Entwicklungsabschnitten signifikant mehr Wasser enthalten als spätblühende. HÜBNER und WAGNER (1975) bestätigen dies allerdings nur für *Lolium perenne*, nicht für *Dactylis glomerata*. Der Unterschied zwischen den Reifegruppen prägt sich bei tetraploiden Sorten von *Lolium perenne* verläßlicher aus als bei diploiden. Insgesamt zeigt sich aufgrund der starken Differenzierung der Sorten von *Lolium perenne, Lolium multiflorum italicum* und *Dactylis glomerata* bzw. im Vergleich mit *Festuca pratensis*, daß der Wassergehalt beim Schnitt charakteristischer mit dem Sortentyp variiert als mit der Art. Insbesondere tetraploide bzw. frühblühende Sorten von *Lolium* und *Dactylis* zeigen aufgrund ihres höheren Wassergehaltes beim Schnitt eine für die Trocknung schlechtere Ausgangssituation.

Die Regel, daß der mittlere Wassergehalt mit zunehmender physiologischer Reife abnimmt, bestätigen auch unsere Ergebnisse (Tabelle 2).

Leguminosen: Die *Trifolium*-Arten (Tabelle 2) sind im Mittel beim Schnitt erheblich wasserreicher als die Gräser. Die signifikant höchsten Wassergehalte zeigen *Trifolium resupinatum* und *Trifolium repens* (V1). In Übereinstimmung mit bisherigen Untersuchungen (KAMMERL und SIMON, 1991, 1992) enthält *Trifolium alexandrinum* signifikant weniger Wasser als *Trifolium resupinatum*, insbesondere in V2 (1992). Unsere Untersuchungen bestätigen die Ergebnisse von HÜBNER und WAGNER (1975).

Ein höherer Wassergehalt tetraploider Pflanzen ist im Vergleich zu den diploiden nicht nur für Gräser, sondern auch für Kleesorten charakteristisch (SIMON, 1970). Dieser Effekt der Ploidiestufe kann bei *Trifolium pratense* in beiden Versuchsserien (V1 1989; V2 1991) allerdings nicht generell, sondern nur für die Pflanzen im Blattstadium (Schnitt I) nachgewiesen werden.

Von den *Trifolium*-Arten hebt sich *Medicago sativa* (V1) durch einen signifikant niedrigeren Wassergehalt ab (s. HÜBNER und WAGNER, 1975; KAMMERL und SIMON, 1992) und ähnelt somit mehr den Gräsern (nicht *Lol. mul. gaud.*).

Während des Wachstumsverlaufs nimmt der Wassergehalt bei *Medicago sativa* ähnlich wie bei den Gräsern ab. Bei den *Trifolium*-Arten ist ein mit dem Älterwerden abnehmender Wassergehalt weniger deutlich ausgeprägt, insbesondere nicht bei *Trifolium repens*. Bei den anderen Kleearten ist am deutlichsten ab Blühbeginn ein reduzierter Wassergehalt festzustellen.

Insgesamt ergibt sich, daß insbesondere *Trifolium*-Arten und *Lolium multiflorum gaudini* aufgrund ihrer hohen Anfangswassergehalte für Trocknungszwecke kritisch zu betrachten sind. Allerdings muß dieser Aspekt eine weitere Beurteilung aufgrund der zu prüfenden Wasserabgabegeschwindigkeit erfahren. Es ist nicht auszuschließen, daß ein ungünstig hoher Ausgangswassergehalt durch eine sehr gute Wasserabgabe kompensiert werden kann.

Tabelle 2: Wassergehalt zu Beginn und am Ende der Trocknung sowie statistische Kenndaten der Regressionsanalysen ($y = a - bt$)

Pflanzenart bzw. -sorte		Versuchsserie 1 (Mittel 89/90) Wassergehalt F_N (%) t_0	t_{10}	a	-b	B	C. V. (%)	Test auf Linearität F-Wert	Versuchsserie 2 (Mittel 91/94) Wassergehalt F_N (%) t_0	t_6	a	-b	B	C. V. (%)	Test auf Linearität F-Wert
Lolium multiflorum gaudini, diploid	Lmg D	86,3	46,4	$6,48^{d}$	$0,206^{e}$	0,78	6,4	0,12*	87,1[2)]	50,9[2)]	$6,53^{c}$	$0,319^{d}$	0,90	3,7	0,67*
Lolium multiflorum gaudini, tetrapl.	Lmg T	87,4	54,7	$6,56^{c}$	$0,181^{g}$	0,78	5,4	0,39*	87,9[2)]	56,8[2)]	$6,61^{b}$	$0,292^{f}$	0,85	4,2	0,43*
Lolium multiflorum italicum, diploid	Lmi D	79,0	30,5	$5,97^{h}$	$0,228^{c}$	0,75	8,7	0,15*	80,5	44,0	$6,03^{i}$	$0,288^{f}$	0,69	7,4	0,27*
Lolium multiflorum italicum, tetrapl	Lmi T	82,0	40,6	$6,14^{g}$	$0,198^{f}$	0,76	6,8	0,17*	82,5	49,7	$6,16^{f}$	$0,270^{g}$	0,67	7,1	0,52*
Lolium perenne, früh, diploid	Lp f D	81,9	40,4	$6,12^{g}$	$0,194^{f}$	0,80	5,9	0,02*	79,7	44,7	$5,96^{k}$	$0,269^{g}$	0,74	6,2	0,43*
Lolium perenne, früh, tetraploid	Lp f T	84,1	46,4	$6,30^{e}$	$0,186^{fg}$	0,83	4,9	0,15*	81,3	49,4	$6,07^{h}$	$0,254^{h}$	0,72	5,9	0,51*
Lolium perenne, spät, diploid	Lp s D	80,3	37,5	$5,98^{h}$	$0,196^{f}$	0,83	5,7	0,43*	79,2	43,2	$5,93^{k}$	$0,270^{g}$	0,85	4,4	0,57*
Lolium perenne, spät, tetraploid	Lp s T	82,8[1)]	41,5[1)]	$6,22^{f}$	$0,197^{f}$	0,86	4,8	0,18*	79,5	43,1	$5,96^{k}$	$0,275^{g}$	0,87	4,3	0,55*
Dactylis glomerata, früh	Dg f	82,3	46,4	$6,13^{g}$	$0,174^{h}$	0,75	6,1	0,65*	81,7	44,0	$6,12^{g}$	$0,299^{e}$	0,84	5,0	0,58*
Dactylis glomerata, spät	Dg s	81,3	41,1	$6,08^{g}$	$0,189^{f}$	0,87	4,5	0,71*	80,6	42,9	$6,02^{i}$	$0,292^{f}$	0,85	4,7	0,81*
Poa pratensis	Pp	78,9	22,3	$5,96^{h}$	$0,274^{b}$	0,81	9,1	0,06*	78,3[3)]	26,8[3)]	$6,00^{ij}$	$0,390^{a}$	0,89	5,7	9,81
Phleum pratense	Php	79,1	42,6	$5,90^{i}$	$0,165^{i}$	0,79	5,3	0,62*	78,2	44,0	$5,84^{l}$	$0,256^{h}$	0,79	5,3	0,67*
Festuca pratensis	Fp	80,1	41,3	$5,99^{h}$	$0,179^{gh}$	0,85	4,6	0,44*	80,1	45,3	$5,97^{jk}$	$0,266^{g}$	0,87	3,9	2,68
Trifolium resupinatum	Tres	89,9	50,4	$6,92^{a}$	$0,222^{cd}$	0,77	6,6	1,42*	89,6[1)]	54,4[1)]	$6,86^{a}$	$0,331^{c}$	0,72	7,0	0,78*
Trifolium alexandrinum	Ta	87,5	47,6	$6,65^{b}$	$0,210^{e}$	0,76	6,6	0,86*	83,9[1)]	37,3[1)]	$6,35^{e}$	$0,379^{b}$	0,70	9,5	0,48*
Trifolium pratense, diploid	Tp D	88,1[1)]	52,3[1)]	$6,65^{b}$	$0,196^{f}$	0,89	3,8	0,38*	87,0[1)]	62,4[1)]	$6,51^{cd}$	$0,233^{i}$	0,67	5,6	0,07*
Trifolium pratense, tetraploid	Tp T	86,9[1)]	52,0[1)]	$6,56^{c}$	$0,187^{fg}$	0,83	4,7	0,11*	86,3[1)]	59,7[1)]	$6,46^{d}$	$0,246^{hi}$	0,73	5,3	0,12*
Trifolium repens	Trep	89,9	31,2	$6,96^{a}$	$0,312^{a}$	0,82	8,7	2,78	—	—	—	—	—	—	—
Medicago sativa	Ms	82,6	36,3	$6,20^{f}$	$0,219^{f}$	0,81	6,6	0,10*	—	—	—	—	—	—	—
Entwicklungsabschnitt	I	85,1	41,9	$6,41^{a}$	$0,219^{a}$	0,71	8,3	0,46*	83,4	47,3	$6,24^{a}$	$0,293^{a}$	0,75	6,3	0,28*
"	II	84,9	46,6	$6,38^{b}$	$0,196^{c}$	0,68	7,8	0,25*	83,0	48,6	$6,21^{b}$	$0,271^{c}$	0,73	6,1	1,13*
"	III	83,3	43,8	$6,27^{c}$	$0,194^{c}$	0,67	8,2	0,07*	81,3	46,4	$6,08^{c}$	$0,275^{b}$	0,75	6,0	0,80*
"	IV	80,7	35,5	$60,7^{d}$	$0,212^{b}$	0,72	8,4	0,08*	77,6	38,4	$5,85^{d}$	$0,296^{a}$	0,75	6,9	0,55*
Versuchsjahr															
Serie 1: 1989	Serie 2: 1991	83,6	43,1	6,27	0,200	0,66	8,6	0,52*	82,5	46,5	6,16	0,292	0,68	7,5	2,13*
1990	1992	83,3	40,7	6,29	0,210	0,68	8,8	1,15*	80,8	43,1	6,08	0,298	0,65	8,5	0,11*
—	1993	—	—	—	—	—	—	—	80,5	43,0	6,04	0,289	0,80	5,6	0,09*
—	1994	—	—	—	—	—	—	—	81,1	49,8	6,06	0,246	0,81	4,5	0,65*
Gesamt		83,5	42,0	6,28	0,205	0,67	8,7	0,55*	81,3	45,4	6,09	0,284	0,70	7,1	1,18*

[1)] einjähriges Ergebnis [2)] zweijähriges Ergebnis [3)] dreijähriges Ergebnis Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant

3.3 Wasserabgabevermögen

Gräser: Im Mittel über alle Wachstumsstadien (Tabelle 2) gibt *Poa pratensis* von allen Gräsern das Wasser am schnellsten ab. Die ausgezeichnete Trocknungseignung von *Poa pratensis* ist demnach sowohl auf den zu Beginn der Trocknung niedrigen Anfangswassergehalt als auch auf das sehr hohe Wasserabgabevermögen zurückzuführen. Sie erreicht aber auch in Übereinstimmung mit ELSÄSSER (1990), der *Poa pratensis* mit *Dactylis glomerata* und *Lolium perenne* verglich, die insgesamt niedrigsten Endwassergehalte (Tabelle 2). Eigene Untersuchungen unter atmosphärischen Bedingungen bestätigen dies. *Phleum pratense* und *Festuca pratensis* trocknen von allen Gräsern am langsamsten. Dies verdeutlicht, daß der niedrige Endwassergehalt (V2) von *Phleum pratense* in vorliegender Untersuchung, nicht wie von HÜBNER und WAGNER (1975) angenommen, auf eine sehr schnelle Wasserabgabe, sondern auf den niedrigen Anfangswassergehalt zurückzuführen ist. Auch OWEN und WILMAN (1983) ermittelten für *Phleum pratense* geringere Trocknungsraten als für *Lolium*-Arten.

Bei den *Lolium*-Arten und *Dactylis glomerata* zeigt sich je nach Sortentyp ein differenziertes Wasserabgabevermögen. Diploide *Lolium*-Sorten, die schon beim Schnitt weniger Wasser enthalten als tetraploide, geben Wasser signifikant rascher ab. Dies stimmt mit der insgesamt günstiger beurteilten Trocknungseignung diploider Sorten überein (KAMMERL et al., 1994; OWEN und WILMAN, 1983; REES, 1974; OPITZ v. BOBERFELD, 1994) und beweist, daß der generell höhere Endwassergehalt tetraploider Pflanzen nicht ausschließlich durch den höheren Anfangswassergehalt bedingt ist (vgl. BECKHOFF, 1975; REES, 1974). Vorliegende Untersuchung zeigt darüber hinaus, daß der Effekt der Ploidiestufe auf die Wasserabgabe für alle *Lolium*-Arten, mit Ausnahme der spätblühenden Sorten von *Lolium perenne*, gilt. In Übereinstimmung mit HÜBNER und WAGNER (1975) ergeben sich bei *Lolium multiflorum gaudini* insgesamt die höchsten Wassergehalte zu Beginn und am Ende der Trocknung.

Spätblühende Weidelgräser, die beim Schnitt weniger Wasser enthalten als frühblühende, geben in vergleichbaren Wachstumsstadien ebenfalls rascher Wasser ab (s. HÜBNER und WAGNER, 1975); insbesondere bei den tetraploiden Sorten prägt sich dieser Unterschied signifikant aus.

Auch bei *Dactylis glomerata* ist das Wasserabgabevermögen der späten Sorte signifikant größer als das der frühen; dies trifft allerdings nur in V1 zu, woraus zu schließen ist, daß die Sorten sich in den einzelnen Versuchsjahren nicht gleichsinnig verhielten. Die längere Trocknungszeit früher Sorten im Vergleich zu späten dokumentieren auch HÜBNER und WAGNER (1975). Im Mittel der einzelnen Versuchsjahre ist die Geschwindigkeit der Wasserabgabe von *Dactylis glomerata* mit den *Lolium*-Arten vergleichbar und übertrifft in der Regel *Phleum pratense* und *Festuca pratensis*.

Die Geschwindigkeit der Wasserabgabe variiert signifikant mit dem Wachstumsstadium der Gräser (Tabelle 2). Im Mittel ist das Wasserabgabevermögen der Gräser in beiden Versuchsserien während des Ähren-/Rispenschiebens (Schnitt II und III) deutlich verlangsamt. Auch JONES (1979) berichtet von einer verlängerten Trocknungszeit von *Lolium mult. ital.* bei Eintritt in die generative Phase. Wird wie in vorliegender Arbeit die Wasserabgabe in aufeinander folgenden Entwicklungsabschnitten des Primäraufwuchses geprüft, zeigt sich in einem früheren und späteren Wachstumsstadium eine signifikant raschere Wasserabgabe. Dies erklärt, warum die

Pflanzen während des Ähren-/Rispenschiebens trotz reduzierten Wassergehaltes beim Schnitt nicht auch niedrigere Endfeuchten erreichen (s. ELSÄSSER, 1990). JONES (1979) stellte an einem vegetativ entwickelten Folgeaufwuchs von *Lolium mult. ital.* ebenfalls trotz eines höheren Anfangswassergehaltes eine geringere Trocknungszeit als bei Pflanzen des Primäraufwuchses kurz vor bzw. nach dem Ährenschieben fest.

Gräser geben sowohl in der Halmstreckung als auch in der Blüte sehr rasch Wasser ab (Tabelle 2). Die oftmals ungünstig beurteilte Trocknungseignung physiologisch jungen Futters dürfte demnach mehr auf eine erhöhte Lagerdichte und eine dadurch verlangsamte Wasserabgabe zurückzuführen sein. Erfahrungsgemäß neigt insbesondere wasserreiches bzw. strukturärmeres Futter zur Dichtlagerung (KAMMERL und SIMON, 1991). SPATZ et al. (1970) weisen darauf hin, daß die Trocknungsfähigkeit physiologisch unterschiedlich alten Futters unter Berücksichtigung des Trocknungsabschnittes beurteilt werden sollte. Wird der Trocknungsverlauf nämlich bis zur Lagerfähigkeit des Heus (ca. 14 % H_2O) verfolgt, benötigt physiologisch sehr junges Futter keine längere Trocknungszeit als älteres. Der bei jungen Pflanzen höhere Wassergehalt beim Schnitt wird nämlich durch eine insbesondere zu Trocknungsende vergleichsweise günstigere Wasserabgabe ausgeglichen. Es verlangsamt sich zwar auch bei sehr jungen Pflanzen die Wasserabgabe zum Trocknungsende hin, allerdings weniger stark als bei älterem Futter. Nach den Untersuchungen von SPATZ et al. (1970) ergibt sich demnach eine gegenteilige Aussage zur Trocknungsfähigkeit unterschiedlich alten Futters, wenn der letzte Trocknungsabschnitt nicht miteinbezogen wird.

Die Betrachtung des Wasserabgabevermögens der Arten/Sorten zu den einzelnen Schnitterminen (Übersicht 1a, 1b) zeigt, daß *Poa pratensis* im Gegensatz zu den anderen Gräsern auch während des Rispenschiebens sehr gut Wasser abgibt. Bei *Phleum pratense* variiert dagegen die Wasserabgabe in den einzelnen Versuchsjahren, so daß sich im Mittel, insbesondere bei mehrjähriger Betrachtung (V2), eine nur geringe Differenzierung nach Wachstumsstadien ergibt. Ähnliches wurde bei *Festuca arundinacea* beobachtet (JONES und PRICKETT, 1981). Bei den einzelnen Arten/Sorten ist die Wasserabgabe sehr einheitlich in den einzelnen Jahren während des Ähren-/Rispenschiebens deutlich reduziert. Demgegenüber variieren die Ergebnisse jüngerer und älterer Pflanzen nicht nur mit der Art/Sorte, sondern unterliegen auch jahresbedingten Schwankungen. Die sich während des Entwicklungsverlaufs von Gräsern ändernde Wasserabgabegeschwindigkeit ist demnach für die Arten/Sorten unter Berücksichtigung ihres morphologischen bzw. chemischen Aufbaus zu diskutieren.

Wie sich das Wasserabgabevermögen der einzelnen Arten/Sorten in den jeweiligen Entwicklungsabschnitten zueinander verhält, ist in den Übersichten 1a und 1b dargestellt. Es zeigt sich, daß die relativ langsam trocknende *Festuca pratensis* zumindest während der Halmstreckung (V1), aber auch in der Blüte (V2), das Wasser noch schneller abgibt als *Phleum pratense*. *Dactylis glomerata* übertrifft bis zum Ende des Rispenschiebens (insbesondere in V2) das Wasserabgabevermögen von *Lolium perenne*. Diese Reihung der Arten stimmt mit der von OWEN und WILMAN (1983), die die Pflanzen bei einer geschätzten Verdaulichkeit der organischen Masse von 67 % miteinander verglichen, überein. Auch HÜBNER und WAGNER (1975) attestieren

Dactylis glomerata zu Beginn des Rispenschiebens eine günstigere Trocknungseignung als *Lolium perenne*.

Lolium multiflorum gaudini, insbesondere die diploide Sorte, gibt im blühenden Zustand Wasser schneller ab als in anderen Entwicklungsstadien, so daß sie in diesem Entwicklungsabschnitt *Lolium perenne* übertrifft.

Leguminosen: In der Geschwindigkeit, Wasser abzugeben, unterscheiden sich Leguminosen signifikant (s. HÜBNER und WAGNER, 1975). *Trifolium repens* (V1) trocknet von allen geprüften Gräsern und Leguminosen am schnellsten (Tabelle 2). Trotz des sehr hohen Anfangswassergehaltes erreicht diese Art nach *Poa pratensis* die niedrigsten Endwassergehalte (Tabelle 2). Die Trocknungseignung von *T. repens* wurde bisher widersprüchlich beurteilt (vgl. HÜBNER und WAGNER, 1968, 1975). Aber auch umfangreiche Prüfungen unter atmosphärischen Bedingungen (KAMMERL und SIMON, 1994) bestätigen die überdurchschnittlich rasche Wasserabgabe von *T. repens* bei praxisüblichen Ertragsstärken von 30 bis 45 dt T/ha.

Trifolium resupinatum und *alexandrinum* geben Wasser ähnlich schnell wie *Lolium*- und *Dactylis*-Sorten, in V2 (1992) sogar deutlich rascher, ab. Diese Beobachtung läßt vermuten, daß in V1, wo das Pflanzenmaterial in größerer Menge und zerschnitten getrocknet wurde, einer verhältnismäßig starken Freisetzung von Wasserdampf eine begrenzte Wasseraufnahmefähigkeit der Trocknungsluft gegenüber stand (vgl. REES, 1974). Dadurch dürfte die Wasserabgabe insbesondere bei den wasserreichen, dickstengeligen *Trifolium*-Arten verlangsamt worden sein. Diese Annahme erklärt die deutlich stärkere Wasserabgabe der einjährigen Kleearten im Vergleich zu den *Lolium*- und *Dactylis*-Arten in V2. HÜBNER und WAGNER (1975), die verschiedene Kleearten zu Blühbeginn miteinander verglichen, beurteilten die Wasserabgabe von *T. repens* und *resupinatum* weitaus ungünstiger. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die Pflanzen in diesen Versuchen nicht in einer dünnen Schicht, sondern in einer unverhältnismäßigen hohen Auflagestärke der Trocknung ausgesetzt waren. Die bei diesen wasserreichen, strukturarmen *Trifolium*-Arten bekannte Neigung zur dichten Lagerung (s. KAMMERL und SIMON, 1991) dürfte zu einer verlangsamten Wasserabgabe geführt haben. Unter solchen Trocknungsbedingungen ist jedoch keine unverzerrte Beurteilung des pflanzeneigenen Wasserabgabevermögen möglich (vgl. ISSELSTEIN und RIDDER, 1993; KAMMERL und SIMON, 1994; REES, 1974).

Medicago sativa (V1) weist in Übereinstimmung mit HÜBNER und WAGNER (1975) eine günstige Trocknungseignung auf; sie ist den *Trifolium*-Arten und Gräsern mit Ausnahme von *T. repens* und *P. pratensis* überlegen. Die relativ rasche Wasserabgabe von *Medicago sativa* bestätigt sich sowohl in Trocknungsversuchen im Freiland (KAMMERL und SIMON, 1994) als auch bei Belüftungstrocknung unter Dach (KAMMERL und SIMON, 1991) und wird in vorliegender Arbeit durch niedrige Endwassergehalte widergespiegelt.

Trifolium pratense, in jeder Versuchsserie 1jährig geprüft, trocknete in V1 vergleichbar den *Lolium*- und *Dactylis*-Sorten. In V2 gab sie im Mittel deutlich langsamer Wasser ab als die Gräser, allerdings nicht im ersten Schnitt.

Insgesamt betrachtet kann den Leguminosen ein relativ rasches Wasserabgabevermögen zugesprochen werden, so daß sie trotz deutlich erhöhter Anfangswassergehalte bei Trocknungsende den Gräsern vergleichbare Wassergehalte erreichen (Tabelle 2).

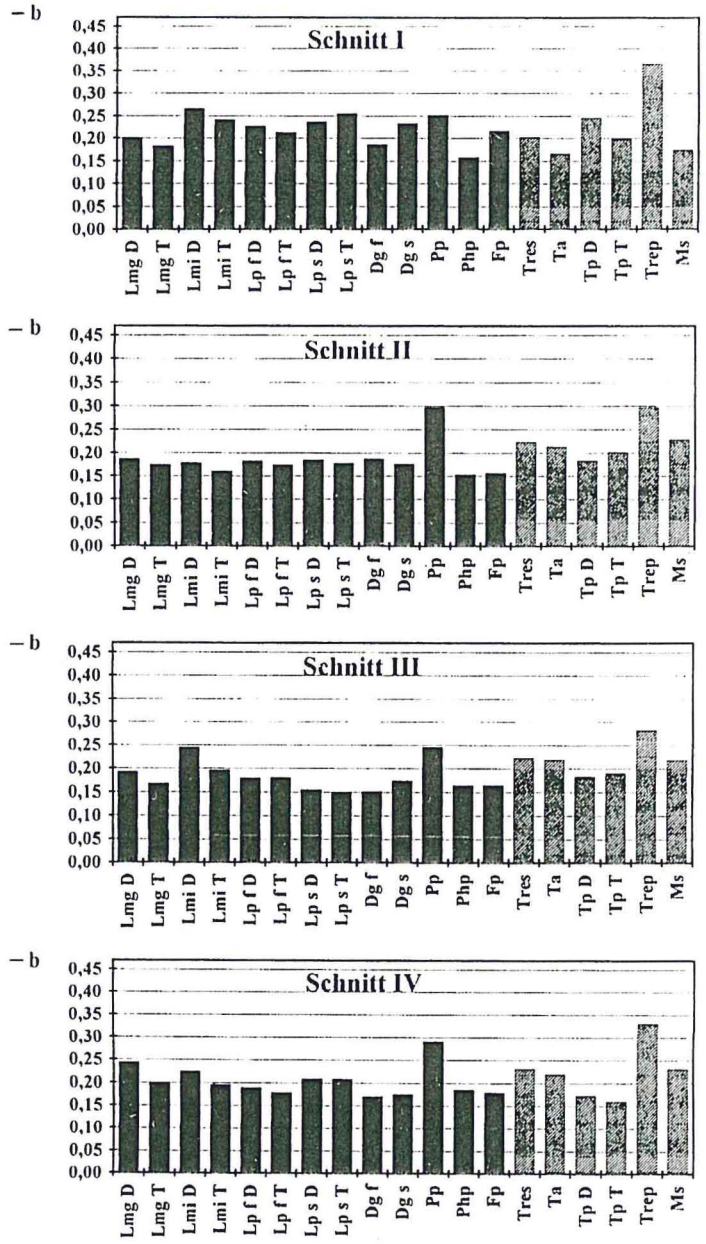
Während des Älterwerdens zeigen die Leguminosen keine gleichgerichtete Veränderung des Wasserabgabevermögens (Übersicht 1a, 1b). *Medicago sativa*, nur einjährig in allen Entwicklungsstadien geprüft, gibt mit dem Älterwerden schneller Wasser ab. Dies trifft auch für die einjährigen Kleearten (in 2 von 3 Jahren) zu. Deswegen übertreffen sie insbesondere mit zunehmender physiologischer Reife die Wasserabgabegeschwindigkeit von *Lolium*-Arten und *Dactylis glomerata* (ausgeprägter in V2). Demgegenüber gibt *Trifolium pratense* beider Ploidiestufen im Blattstadium (Schnitt I) leichter Wasser ab und trocknet in diesem Stadium in beiden Jahren (V1: 1989; V2: 1991) nicht schlechter als die Gräser. Das besonders hohe Wasserabgabevermögen von *Trifolium repens* äußert sich in allen Entwicklungsabschnitten.

4. Zusammenfassung

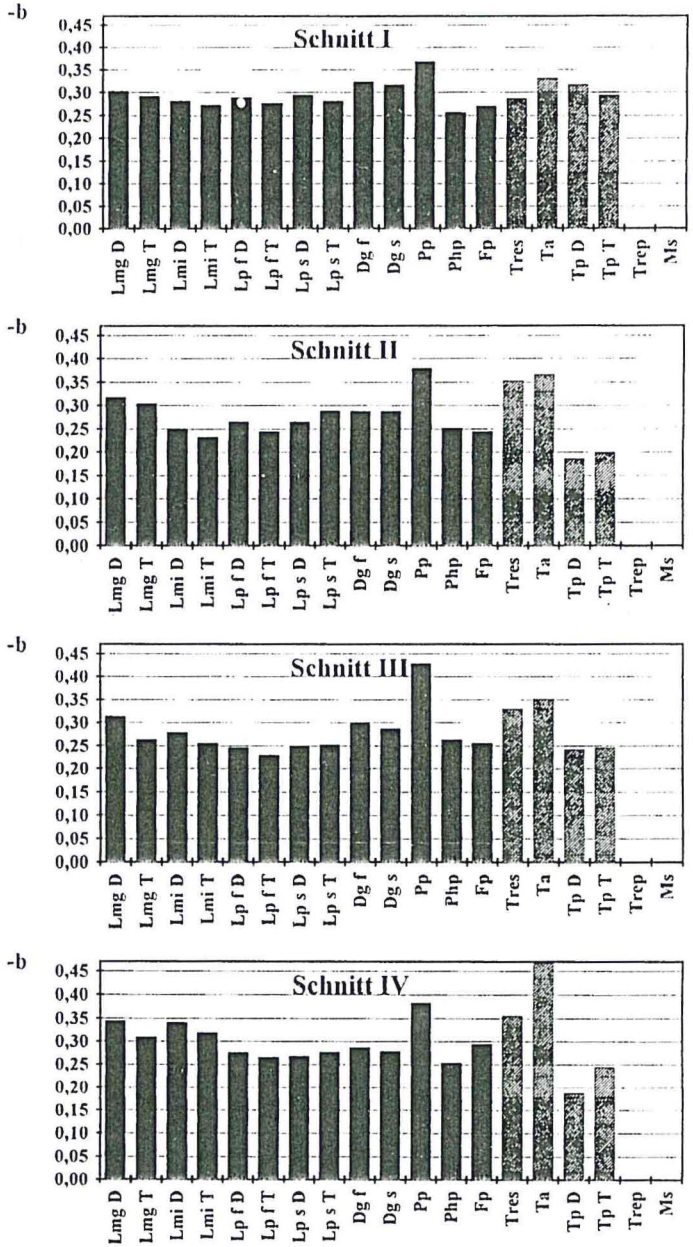
Die Wasserabgabegeschwindigkeit von 19 Arten und Sorten von Futtergräsern und -leguminosen wurde in vier aufeinanderfolgenden Entwicklungsabschnitten des ersten Aufwuchses in zwei Versuchsserien untersucht. Während einer zehn- bzw. sechsstündigen Trocknung bei 50 °C wurde die Wasserabgabe der Pflanzen in stündlichen Intervallen festgestellt. Der relative Wassergehalt betrug zu Beginn der Trocknung im Mittel 82,4 %, am Ende der Trocknung 43,7 %. In diesem Feuchtebereich verläuft unter Zugrundelegung des logarithmierten prozentualen Feuchtegrades die Wasserabgabe signifikant linear, so daß sie durch die einfache lineare Regressionsgleichung $y = a + bx$ beschrieben und die Wasserabgabegeschwindigkeit durch den negativen Regressionskoeffizienten b gekennzeichnet werden konnte.

Sowohl der Wassergehalt beim Schnitt als auch die Wasserabgabegeschwindigkeit stehen in einer signifikanten Abhängigkeit von der Pflanzenart/-sorte, dem Entwicklungsabschnitt der Pflanzen und dem Versuchsjahr. Von den geprüften Gräsern gibt *Poa pratensis* am schnellsten Wasser ab, *Phleum pratense* und *Festuca pratensis* am langsamsten. Bei den *Lolium*-Arten und *Dactylis glomerata* zeigt sich ein je nach Sortentyp differenziertes Wasserabgabevermögen. Diploide Sorten eignen sich wegen ihrer rascheren Wasserabgabe besser für die Trocknung als tetraploide. Während des Ähren-/Rispenschiebens geben Gräser Wasser signifikant langsamer ab als in der Halmstreckung und in der Blüte.

Die geprüften Kleearten trocknen im Vergleich zu den Gräsern im Durchschnitt schneller, so daß sie trotz insgesamt deutlich höherer Anfangswassergehalte bei Trocknungsende den Gräsern ähnliche Wassergehalte erreichen. *Trifolium repens* ist die schnellstrocknende Kleeart und steht damit zugleich an der Spitze aller hier geprüften Pflanzenarten/sorten. Es folgt *Medicago sativa*. *Trifolium alexandrinum* und *Trifolium resupinatum* übertreffen im Wasserabgabevermögen *Trifolium pratense*.



Übersicht 1a: Wasserabgabevermögen (-b) von Pflanzen in 4 aufeinanderfolgenden Entwicklungsabschnitten des Primäraufwuchses
Versuchsserie 1: Mittel 1989/90



Übersicht 1b: Wasserabgabevermögen (-b) von Pflanzen in 4 aufeinanderfolgenden Entwicklungsabschnitten des Primäraufwuchses
Versuchsserie 2: Mittel 1991/94

Summary

On the rate of water loss of forage grasses and legumes in the primary growth at defined stages of growth

The rate of water loss in 19 species and cultivars of forage grasses and legumes was investigated in two series of experiments during the primary growth at four consecutive stages of plant development. During a drying period of ten or six hours, respectively, at 50 °C, the water loss of the plants was determined in hourly intervals. The average initial water content was 82,4 %; the average final water content was 43,7 %. Within this range of humidity, and after transformation of the relative water content to log n % moisture degree, the rate of water loss is significantly linear. Under this condition, the water loss can be described by the linear regression equation y = a + bx. The coefficient of regression b indicates the rate of water loss.

Both the initial water content and the rate of water loss vary significantly with the species/variety, the stage of maturity and the year of harvest. Among the grasses the rate of water loss is fastest in *Poa pratensis*, slowest in *Phleum pratense* and *Festuca pratensis*. The drying rate of *Lolium* and *Dactylis glomerata* varies according to the investigated cultivars. The diploid type is more suitable for drying than the tetraploid. The reduction of water content in the grasses is slower during ear emergence than at stem elongation and flowering, respectively.

The rate of water loss in legumes compares favourably with that of the grasses. Consequently, the final water content of legumes and grasses are similar, despite the generally higher initial water content of the legumes. *Trifolium repens* ability to evaporate water is superior. *Medicago sativa* shows also very good drying characteristics. *Trifolium resupinatum* and *alexandrinum* surpass *Trifolium pratense* in the rate of water loss.

5. Literatur

ANONYMUS, 1988 - 1994: Agrarmeteorologischer Monatsbericht für Bayern. Deutscher Wetterdienst, Agrarmeteorol. Beratungs- und Forschungsstelle Weihenstephan.

BECKHOFF, J., 1975: Über das Trocknungsverhalten von diploiden und tetraploiden Weidelgräsern. Kali-Briefe 12, 4/7, 1 - 5.

BUNDESSORTENAMT, 1993: Beschreibende Sortenliste für Gräser, Klee, Luzerne. Alfred Strothe Verlag, Frankfurt.

ELSÄSSER, M., 1990: Trocknungsverhalten von Gräsern in dünnen Schichten in Abhängigkeit vom Wuchsstadium beim Schnitt. Das Wirtschaftseig. Futter, 36, 158 - 174.

HONIG, H., 1980: Mechanical and respiration losses during pre-wilting of grass. Brit. Grassl. Soc. Occasional Symp. No. 11, Brighton, 201 - 204.

HÜBNER, R. und F. WAGNER, 1968: Beitrag zum Anwelke- bezw. Abtrocknungsverlauf einiger Futterpflanzen. Das Wirtschaftseig. Futter 14, 218 - 230.

HÜBNER, R. und F. WAGNER, 1975: Untersuchungen über den Trocknungsverlauf von Gräsern und Kleearten. Das Wirtschaftseig. Futter 21, 247 - 263.

ISSELSTEIN, J. und P. RIDDER, 1993: Untersuchungen zum Trocknungsverlauf ausgewählter Grünlandkräuter unter kontrollierten Bedingungen. Das Wirtschaftseig. Futter 39, 136 - 145.

JONES, L., 1979: The effect of stage of growth on the rate of drying of cut grass at 20 °C. Grass and Forage Sci. 34, 139 - 144.

JONES, L. and J. PRICKETT, 1981: The rate of water loss from cut grass of different species dried at 20 °C. Grass and Forage Sci. 36, 17 - 23.

KAMMERL, R. und U. SIMON, 1991: Zum Wasserabgabevermögen einjähriger Futterpflanzen bei der Trocknung unter Dach mit verschieden stark angewärmter Luft. Das Wirtschaftseig. Futter 37, 186- 200.

KAMMERL, R. and U. SIMON, 1992: Drying properties of lucerne. In: Proc. of the Xth. Intern. Conf. Eucarpia Medicago spp Group, Lodi (Italy), 99 - 104.

KAMMERL, R. und U. SIMON, 1994: Zum Trocknungsverhalten verschiedener Futterpflanzen unter Freilandbedingungen. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 7, 127 - 130.

KAMMERL, R., R. ROSS und U. SIMON, 1994: Zur Ermittlung und statistischen Prüfung der Wasserabgabegeschwindigkeit von Futterpflanzen. Das Wirtschaftseig. Futter 40, 188 - 198.

KRISCHER, O., 1963: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. I, 2. Aufl., Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

MORRIS, R. M., 1972: The rate of water loss from grass samples during hay-type conservation. J. Br. Grassld. Soc. 27, 99 - 105.

OPITZ v. BOBERFELD, W., 1994: Grünlandlehre. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

OWEN, I. G., 1981: Studies relating to the field drying of herbage. Ph. D. thesis, University College of Wales, Aberystwyth (zit. Owen and Wilman, 1983).

OWEN, I. G. and D. WILMAN, 1983: Differences between grass species and varieties in rate of drying at 25 °C. J. agric. Sci. Camb. 100, 629 - 636.

PARK, B. H., 1980: Untersuchungen zum Entwicklungsverlauf im Primäraufwuchs von perennierenden Futtergräsern. Diss. Gießen.

REES, D. V. H., 1974: Investigations on the drying of herbage at temperatures up to 50 °C. J. Br. Grassld. Soc. 29, 47 - 55.

RIEDWYL, H., 1980: Regressionsgerade und Verwandtes. Verlag Paul Haupt (UTB, 923), Bern und Stuttgart.

SIMON, U., 1970: Polyploidie und Futterpflanzenzüchtung. Bayer. Landw. Jahrb. 47, 131 - 159.

SIMON, U. and B. H. PARK, 1983: A descriptive scheme for stages of development in perennial forage grasses. Proc. of the XIV. Intern. Grassl. Congr., Lexington (USA), 416 - 418.

SPATZ, G., J. van EIMERN, R. LAWRYNOWICZ, 1970: Der Trocknungsverlauf von Heu im Freiland. Bayer. Landw. Jahrb. 47, 446 - 464.

WEBER, Erna, 1986: Grundriss der biologischen Statistik. 9. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Anschrift der Verfasser:

Technische Universität München
Lehrstuhl für Grünlandlehre
D-85350 Freising-Weihenstephan