

# Die Bestimmung des Massegehalts einer Einzelkomponente in Mischungen von Futtermitteln mit Hilfe des Trockenmassegehalts

Von Bernd J. Scholtysik, München\*)

DK 636.085.1

Zur Ermittlung des Massegehalts einer Einzelkomponente in Proben von Futtermittelmischungen kann der unterschiedliche Trockenmassegehalt der Komponenten benutzt werden. In diesem Beitrag werden die Methode und die auftretenden Analysenfehler sowie deren Auswirkungen auf die Untersuchung von Mischungen dargestellt.

## 1. Einleitung

In der landwirtschaftlichen Praxis werden zur Herstellung von Futtermischungen absatzig arbeitende Futtermischwagen mit verschiedenartigen Mischwerkzeugen benutzt. Ein wichtiges Beurteilungskriterium für diese Mischer ist die bei der Mischung verschiedener Stoffe (meist Grund- und Kraftfutter) erzielte Mischgüte, die ein Maß für die Homogenität der Mischung ist.

Zur Beschreibung der Mischgüte ist eine Reihe von Definitionen bekannt [1]. Dabei wird stets die Varianz der Massegehalte von mehreren Proben der Mischung gebildet, also das mittlere Quadrat der Abweichung der Proben-Massegehalte vom Gesamt-Massegehalt der Mischung. Wenn der Gesamt-Massegehalt nicht bekannt ist, wird ersatzweise der Mittelwert der Proben-Massegehalte verwendet. Die Varianz der Proben-Massegehalte wird bei den verschiedenen Definitionen der Mischgüte mit der Varianz des Anfangszustandes bzw. des möglichen Endzustandes kombiniert. Zur Ermittlung der erreichten Mischgüte ist es zunächst notwendig, den Massegehalt in einzelnen Proben der Mischung zu bestimmen.

## 2. Möglichkeiten zur Ermittlung des Massegehalts einer Komponente in der Mischung

Bei Futtermitteln ist es meist nicht möglich, die Mischungsproben vollständig in ihre Komponenten zu trennen, und so den Massegehalt der Einzelkomponenten zu bestimmen. Die Ermittlung des Massegehalts einer Komponente muß deshalb dadurch erfolgen, daß die Änderung von Stoffeigenschaften beim Vermischen der Komponenten untersucht wird. Je nach der Anzahl der Mischungskomponenten müssen die Änderungen einer ausreichenden Anzahl von Stoffeigenschaften untersucht werden. Bei zwei Komponenten reicht für eine Analyse der Mischung eine Stoffeigenschaft aus, die in den Komponenten verschiedene, möglichst stark voneinander abweichende Werte haben muß. Bei Futtermitteln können als solche Stoffeigenschaften der Gehalt an Inhaltsstoffen, z.B. Rohprotein, benutzt werden. Die quantitative, chemische Bestimmung dieser Inhaltsstoffe

Aus den Arbeiten des Sonderforschungsbereichs 141 "Produktionstechniken in der Rinderhaltung" an der TU München-Weihenstephan

\*) Dipl.-Ing. Bernd J. Scholtysik arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen (Direktor: o. Prof. Dr.-Ing. W. Söhne) der TU München

ist jedoch meist mit einem größeren Aufwand verbunden. Es besteht auch die Möglichkeit, eine der Mischungskomponenten mit einem Indikator zu markieren und so mit einer künstlichen Stoffeigenschaft zu versehen. Diese Indikatoren müssen, wenn die hergestellten Mischungen verfüttert werden sollen, physiologisch unbedenklich sein, wie das in Fütterungsversuchen bewährte Chromoxid. Eine Schwierigkeit besteht allerdings darin, daß die geringen Mengen dieser Indikatoren mit der zu markierenden Komponente sehr homogen vermischt werden müssen. Versuche, eine Komponente durch Einfärben mit Lebensmittelfarben zu markieren, wurden bisher durch die unterschiedlichen Eigenfarben und die unterschiedliche Farbaufnahme der Futtermittel so erschwert, daß keine befriedigenden Ergebnisse erzielt werden konnten [2].

Für die Analyse von Mischungen aus Grund- und Kraftfutter erscheint es günstig, als kennzeichnende Stoffeigenschaft den Trockenmasse (TM)-Gehalt  $Z$  zu verwenden, da dieser bei Kraftfuttermitteln meist mehr als 80 % und bei Grundfutter (z.B. Silage) meist weniger als 30–40 % beträgt und somit ein deutlicher Unterschied in dieser Stoffeigenschaft vorhanden ist.

## 3. Ermittlung des TM-Gehalts

Für die Ermittlung des TM-Gehalts steht eine Reihe von Verfahren zur Verfügung [3]. Neben der aufwendigen Toluol-Destillation [4] wird als Standardverfahren vor allem die einfach zu handhabende Trocknung im Trockenschrank über 24 Stunden bei 105°C angewendet. In [3] wird über die Verwendung eines modifizierten, handelsüblichen Mikrowellenherdes zur TM-Ermittlung berichtet. Damit kann die Trocknungszeit auf 10–30 min. verkürzt werden, und die Temperaturbelastung der zu trocknenden Substanz ist geringer

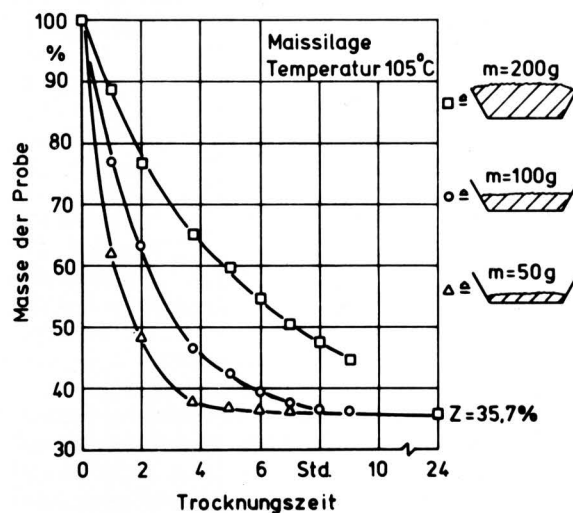


Bild 1. Einfluß der Probengröße auf den Trocknungsverlauf.

als bei der Trocknung im Trockenschrank. Ein bei der Feuchtigkeitsbestimmung von Getreide verwendetes Verfahren, das die Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstante von der Gutsfeuchtigkeit ausnützt, konnte bisher nicht zufriedenstellend für die TM-Ermittlung bei sehr feuchtem Grundfutter verwendet werden, da die Meßergebnisse zum Teil stark von der Gutsdichte, Pflanzenart und Struktur und von der verwendeten Meßfrequenz beeinflusst werden [5].

Die bekannten Methoden zur TM-Bestimmung liefern etwas voneinander abweichende Ergebnisse. Dies ist zum Teil auf die bei den einzelnen Verfahren verschiedenen starken Verluste an flüchtigen Inhaltsstoffen (z.B. flüchtige Fettsäuren, Alkohole, Ammoniak) zurückzuführen. Bei der Trocknung im Trockenschrank muß innerhalb der Trocknungszeit ein konstantes Probengewicht erreicht werden. Ob dies der Fall ist, hängt vom jeweiligen Trocknungsverlauf ab. Der Trocknungsverlauf wird beeinflusst von der Trocknungstemperatur, der Art der Belüftung des Trockenschanks, dem zu trocknenden Material, der Probenmasse und dem Verhältnis von Probenmasse zur freien Probenoberfläche. Beispiele für die beiden letzten Zusammenhänge sind in Bild 1 und 2 dargestellt.

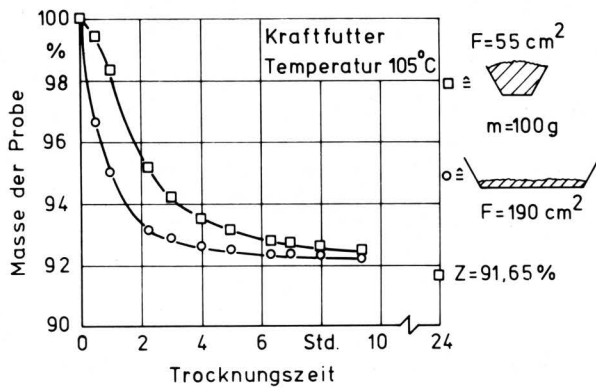


Bild 2. Einfluß der Behältergröße auf den Trocknungsverlauf.

Bei den Trocknungsverfahren ergibt sich der TM-Gehalt  $Z$  aus der Masse der trockenen Probe  $m_s$  und der Masse der feuchten Probe  $m_{ges}$ :

$$Z = \frac{m_s}{m_{ges}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Da verschiedene Proben eines Futtermittels etwas voneinander abweichende TM-Gehalte besitzen, müssen mehrere Proben untersucht werden, aus denen der Mittelwert des TM-Gehalts und zur Abschätzung der Streuungen die Standardabweichung berechnet werden. Der Variationskoeffizient, das ist die auf den Mittelwert bezogene Standardabweichung, ist ein Maß für die relative Größe der Streuungen. Für Kraftfutter ist aufgrund der Homogenität des Materials der Variationskoeffizient des TM-Gehalts sehr klein, etwa 0,1–0,2%. Hier reichen deshalb 2–3 Proben aus, um den Mittelwert des TM-Gehalts ausreichend genau zu bestimmen. Bei den Grundfuttermitteln ist der Variationskoeffizient des TM-Gehalts wesentlich größer. Dies ist auf die Inhomogenität zurückzuführen, die durch das Vorhandensein verschiedener Pflanzenteile (Stengel, Blätter, bei Mais auch Kolben und Körner) bedingt wird. Bei Silage können daneben aufgrund der verschiedenen Erntetermine in verschiedenen Abschnitten des Silos unterschiedliche TM-Gehalte auftreten. Unterschiede im TM-Gehalt können sich auch zwischen der Mitte und den Randzonen des Silos ergeben.

#### 4. Ermittlung des Massengehalts einer Komponente in der Mischung aus den TM-Gehalten der Komponenten und der Mischung

Zur Ermittlung des Massengehalts einer Komponente in der Mischung muß neben den TM-Gehalten  $Z_1$  und  $Z_2$  der Komponenten

"1" und "2" auch der TM-Gehalt  $Z_m$  der Mischungsproben "m" bestimmt werden, dessen Wert naturgemäß zwischen den Werten der Komponenten liegt:

$$Z_1 = \frac{m_{s1}}{m_{ges1}} \cdot 100 \% ; Z_2 = \frac{m_{s2}}{m_{ges2}} \cdot 100 \% ;$$

$$Z_m = \frac{m_{sm}}{m_{gesm}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Der Massengehalt  $w_1$  der Komponente "1" in der Mischung "m" im feuchten Zustand ist definiert durch:

$$w_1 = \frac{m_{ges1}}{m_{gesm}} \cdot 100 \% \quad (3)$$

$w_1$  nimmt also Werte zwischen "0%" und "100%" an.

Bei der Vermischung von zwei Komponenten gelten die folgenden Massenbilanzen:

$$m_{s1} + m_{s2} = m_{sm} \quad (4)$$

$$m_{ges1} + m_{ges2} = m_{gesm} \quad (5)$$

Mit Hilfe der Massenbilanzen Gl. (4) und (5) kann aus den TM-Gehalten, Gl. (2), der Komponenten und der Mischung der in Gl. (3) definierte Massengehalt berechnet werden:

$$w_1 = \frac{Z_m - Z_2}{Z_1 - Z_2} \cdot 100 \% \quad (6)$$

Die Ermittlung des Massengehalts nach Gl. (6) liefert falsche Werte, wenn die TM-Gehalte der Komponenten in der untersuchten Mischungsprobe nicht mit den aus einigen Proben der Komponenten ermittelten Werten übereinstimmen. Dies ist zum einen dadurch möglich, daß die TM-Gehalte der Komponenten aus Proben bestimmt werden, die für die Gesamtmengen nicht repräsentativ sind. Zum anderen sind, wie bereits beschrieben, in den Proben Streuungen der TM-Gehalte der Komponenten und die jeweiligen Mittelwerte vorhanden. Als Anhaltspunkte für eine Abschätzung der Streuungen  $\Delta Z_1$ ,  $\Delta Z_2$  in den Komponenten, können die jeweiligen Standardabweichungen der TM-Gehalt-Ermittlung dienen.

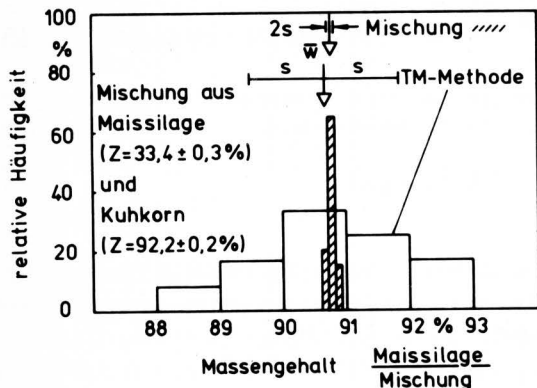
Die TM-Gehalte der Mischungsproben sind bei ordnungsgemäßer Trocknung nur mit Wiegefehlern behaftet, die so klein sind, daß  $\Delta Z_m$  meist vernachlässigt werden kann. Aus Gl. (6) ergibt sich als möglicher relativer Fehler des Massengehalts:

$$\left| \frac{\Delta w_1}{w_1} \right| = \left| \frac{\Delta Z_1}{Z_1 - Z_2} \right| + \left| \frac{(Z_m - Z_1) \cdot \Delta Z_2}{(Z_1 - Z_2) \cdot (Z_m - Z_2)} \right| + \left| \frac{\Delta Z_m}{Z_m - Z_2} \right| \quad (7)$$

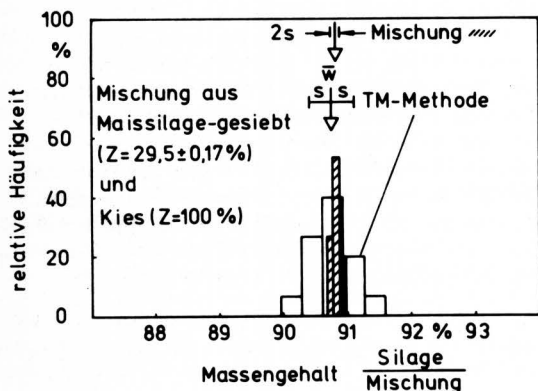
Aus Gl. (7) folgt, daß der relative Fehler des Massengehalts sehr groß wird, wenn sich die beiden Komponenten in ihren TM-Gehalten  $Z_1$  und  $Z_2$  nur wenig unterscheiden. Der Fehler wird außerdem groß, wenn die Fehler bei der Bestimmung der TM-Gehalte  $\Delta Z_1$ ,  $\Delta Z_2$ ,  $\Delta Z_m$  groß sind.

Für eine experimentelle Überprüfung der Genauigkeit der Massengehaltsermittlung mit Hilfe der TM-Gehalte (im folgenden kurz "TM-Methode" genannt) wurde folgendermaßen vorgegangen. Aus verschiedenen Komponenten wurden jeweils 20 Mischungsproben mit einheitlichem bekanntem Massengehalt hergestellt, indem die Komponenten jeweils einzeln abgewogen wurden. Die Proben umfaßten 100 g. Diese Mischungsproben bekannter Zusammensetzung wurden dann mit der oben beschriebenen TM-Methode analysiert. In Bild 3 und 4 sind die Ergebnisse von zwei derartigen Versuchen dargestellt. Bei dem in Bild 3 dargestellten Versuch wurden die Proben aus Maissilage und Kuhkorn (ein pelletiertes Kraftfutter) mit einem Verhältnis der Massen von 10:1 gemischt. Durch das Abwiegen der einzelnen Komponenten war der tatsächliche Massengehalt

in jeder Probe bekannt. Der Variationskoeffizient der tatsächlichen Massegehalte dieser Proben betrug etwa 0,056 %. Die Analyse dieser Proben mit der TM-Methode ergab Massegehalte, deren Variationskoeffizient 1,29 % betrug. Aufgrund der Analysenfehler wurde also der Variationskoeffizient der Massegehalte um den Faktor 23 vergrößert.



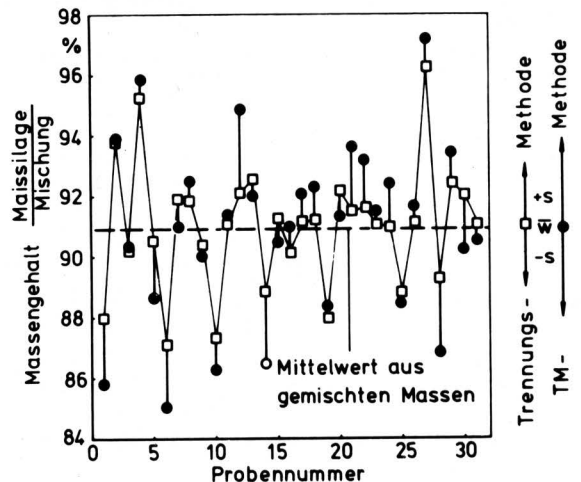
**Bild 3.** Verteilung des Massegehalts von Silage in 20 gleichen, einzeln hergestellten Mischungen aus Silage und dem pelletierten Kraftfutter Kuhkorn. Schraffierte Säulen: Verteilung entsprechend den Streuungen bei der Herstellung, Variationskoeffizient  $s_r = 0,056\%$ . Offene Säulen: Verteilung entsprechend der Trockenmasse-Bestimmung an den fertigen Mischungen  $s_r = 1,29\%$ . Die Pfeile, bezeichnet mit  $\bar{w}$ , geben die jeweiligen Mittelwerte für die 20 Proben an.



**Bild 4.** Verteilung des Massegehalts von Silage in 20 gleichen, einzeln hergestellten Mischungen aus gesiebter Silage (<5 mm) und Kies. Schraffierte Säulen: Verteilung entsprechend den Streuungen bei der Herstellung. Offene Säulen: Verteilung entsprechend der Trockenmasse-Bestimmung an den fertigen Mischungen. Die Pfeile  $\bar{w}$  geben die verschiedenen Mittelwerte an.

Bei dem in Bild 4 dargestellten Versuch wurden die Proben aus zwei Komponenten hergestellt, die in sich homogener waren als die Komponenten bei dem in Bild 3 dargestellten Versuch. Dazu wurde das pelletierte Kraftfutter durch Kieskörner mit einem exakten TM-Gehalt  $Z = 100\%$  ersetzt. Die Maissilage wurde mit einer Maschenweite von 5 mm gesiebt, wodurch Körner und große Blatt- und Stengelteile abgeschieden wurden. Proben des so entstandenen Materials hatten nur etwa halb so große Streuungen des TM-Gehaltes wie Proben der ungesiebten Silage. Die TM-Methode ergab bei dieser Mischung aus Kies und gesiebter Silage eine Vergrößerung des Variationskoeffizienten der Massegehalte der Proben nur um den Faktor 4,4. Aus den Bildern 3 und 4 geht also hervor, daß Fehler im Ergebnis der Analyse, wie zu erwarten, stark von der Inhomogenität in den Mischungskomponenten beeinflußt werden.

Um die Auswirkungen dieser Fehler bei der Untersuchung von Mischungen darzustellen, wurde eine Mischung aus Maissilage und Kieskörnern mit einem Massenverhältnis von 10:1 hergestellt. Aus dieser Mischung gezogene Proben wurden mit der beschriebenen TM-Methode analysiert. Außerdem wurden die tatsächlichen Massegehalte in den gezogenen Proben ermittelt, indem die Proben in ihre Komponenten getrennt wurden, was bei den beiden verwendeten Materialien aufgrund des Dichteunterschieds leicht möglich war ("Trennungsmethode"). In Bild 5 sind für die gezogenen Mischungsproben die durch Trennen ermittelten tatsächlichen Massegehalte  $\square$  und die mit der TM-Methode ermittelten Massegehalte  $\bullet$  aufgetragen. Die mit den beiden Methoden erhaltenen Mittelwerte der Massegehalte stimmen untereinander und mit dem aus den gemischten Massen ermittelten Wert sehr gut überein. Die TM-Methode liefert jedoch aufgrund von Fehlern im Ergebnis der Analyse eine größere Streuung der ermittelten Massegehalte als tatsächlich mit der Trennungsmethode nachgewiesen wird. Die Mischungsanalyse mit der TM-Methode täuscht also eine schlechtere Mischgüte vor, als tatsächlich vorliegt.



**Bild 5.** Auswirkung der Analysenfehler bei der Untersuchung einer Mischung.

## 5. Zusammenfassung

Für die Beurteilung der mit landwirtschaftlichen Futtermischwagen erzielten Mischgüte ist die Ermittlung des Massegehalts einer Komponente in einzelnen Mischungspuben notwendig. Dazu können die unterschiedlichen TM-Gehalte verschiedener Futtermittel ausgenutzt werden. Die bei den Futtermitteln vorhandenen Streuungen der TM-Gehalte beeinflussen dabei die Genauigkeit der Analyseergebnisse und die Aussagen über die erzielte Mischgüte.

## Schrifttum

Bücher sind durch  $\bullet$  gekennzeichnet

- [ 1 ]  $\bullet$  Rumpf, H.: Mechanische Verfahrenstechnik, S. 25/28. München-Wien: Carl Hauser Verlag 1975.
- [ 2 ] Pirkelmann, H.: Techniken zur Herstellung aufgewerteter Grundfütterrationen für Rindvieh. Manuskript eines Vortrags auf der Jahrestagung der Landtechnik Weihenstephan, 9.10.1974.
- [ 3 ] Schild, G.-J. u. H. Honig: Methodische Untersuchungen zur Bewertung von Grundfutter. Berichte über Landwirtschaft, 191. Sonderheft, S. 393/401.
- [ 4 ]  $\bullet$  Nehring, K.: Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden für Düng- und Futtermittel, Böden und Milch. Verlag Paul Parey 1960. S. 144/45.
- [ 5 ] Ahlgrimm, H.-J.: Ein Beitrag zur dielektrischen Bestimmung des Feuchtegehalts an sehr feuchten organischen Stoffen. Grundl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 6, S. 165/72.