

sprechend den agrotechnischen Forderungen keine exakt geometrischen Bruchstücke des zerkleinerten Haufwerks notwendig sind, ist die Anwendung des Zerkleinerungsprinzips Prallen möglich.

5. Zusammenfassung

Theoretische und experimentelle Untersuchungen zeigten, daß eine Zerkleinerung von Hackfrüchten durch Stoßbeanspruchung bei Einhaltung bestimmter Konstruktions- und

Betriebsparameter möglich ist. Es würde eine untere Geschwindigkeitsgrenze nachgewiesen, die eingehalten werden muß, um überhaupt eine Zerkleinerung zu erreichen. Bei Beanspruchung der Hackfrüchte oberhalb dieser Grenze entsteht ein Haufwerk an Bruchstücken, die keine exakt geometrischen Formen und Größen aufweisen. Dabei sind Prallgeschwindigkeit und Aufprallwinkel entscheidende Einflußgrößen zur Änderung der zerkleinerten Teilchengröße.

Literatur

- [1] Macharoblidse, R. M.: Untersuchungen der Deformation und Zerstörung von Hackfrüchten unter Stoßbelastung. Probleme der landwirtschaftlichen Mechanik, Bd. XVII, Minsk 1967.
- [2] Pakura, F.: Untersuchungen zum Zerkleinern von Hackfrüchten durch Prallen, Mahlen und Brechen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation 1976 (unveröffentlicht).

A 1776

Zur Analyse von Häckselgemischen

Dr.-Ing. D. Ehler

Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR, Betriebsteil Potsdam-Bornim

Verwendete Formelzeichen

B^*		korr. Bestimmtheitsmaß
k		Verhältnis von Probengröße zur Größe der Grundgesamtheit
KH	%	prozentuale Häufigkeit des Auftretens im Abweichungsintervall $\Delta \bar{x}$
L_H	m	Länge eines einzelnen Häckselteils
L_m^*	m	mittlere geschätzte Häcksellänge der Gesamtstichprobe
$m_{ges, erf}$	g	erforderliche Masse der Gesamtstichprobe
m_H	g	Masse eines einzelnen Häckselteils
n	St.	Probengröße
n_{erf}	St.	erforderliche Stichprobengröße
q		$q, /100\%$
q_s	%	Summenhäufigkeitsprozent
TS	%	Trockensubstanzgehalt
\bar{x}	mm	Mittelwert der Gesamtprobe
$\Delta \bar{x}$	mm	Abweichung von Mittelwert der Gesamtprobe

1. Problemstellung

Häckselängenanalysen werden durchgeführt, um zu überprüfen, ob die agrotechnischen Forderungen erfüllt sind, oder um quantitative Werte über die Beschaffenheit eines Häckselgemisches zu erhalten. Aus Effektivitätsgründen kann nur eine begrenzte Anzahl von Teilen eines Häckselhaufwerks ausgewertet werden. Die aus einem Haufwerk entnommene Stichprobe bestimmt durch ihre Stückzahl im Zusammenhang mit der Streuung bei zufälliger Probenahme die Präzision der Angaben über die Klassenhäufigkeiten und den Mittelwert.

Um den Handarbeitsaufwand für Häckselängenanalysen zu reduzieren, wurden Geräte entwickelt und untersucht [1] [2] [3] [4]. Bis zum gegenwärtigen Entwicklungsstand der Analyse-möglichkeiten konnte sich eine breite, standardisierte Anwendung der entwickelten Geräte nicht durchsetzen. Für genaue Analysen wird die zeitaufwendige Klassierung von Hand durchgeführt, die sich vorrangig auf die Ermittlung der Massen je Längensklasse bezieht [1] [2] [3] [4] [5] [6]. Eine Hauptursache dafür liegt in dem einfacheren Auswerten durch Wiegen gegenüber dem Auszählen nach Stück je Klasse.

Müller [3] empfiehlt, daß eine Probenmasse von 20 bis 30 g Welkgut und 50 bis 60 g mährfrischem Futter zu analysieren ist. Fiala [7] fordert, daß mindestens 500 Häckselteile zu einer Probe gehören müssen, und beschreibt die Art der Probenahme. Welche Analysefehler den Proben zugrunde liegen, wurde von den Verfassern nicht ausreichend quantitativ geklärt.

Eine Aussage über Häckselängengemische ist aufgrund des Charakters der Häckselängenverteilung stets mit Fehlern behaftet. Wenn eine Aussage getroffen wird, ist es für die Einschätzung der Erfüllung einer agrotechnischen Forderung oder für die quantitative Beschreibung eines Häckselängengemisches von entscheidender Bedeutung, die damit verbundenen Fehler zu kennen. Aus diesem Grund wurden zum Gegenstand der Untersuchungen folgende Schwerpunkte gewählt:

- Einfluß der Stichprobengröße auf die Präzision der Mittelwerte

- Analyse der Fehlerquellen und Bestimmung ihrer Größen
- Ableiten von Empfehlungen für die Analyse von Häckselgemischen.

2. Untersuchungsmethodik

Aus einem Horizontalsilo, das mit angewelktem und durch Feldhäckler E 280 zerkleinertem Futterroggen mittlerer Bestandsqualität befüllt wurde, erfolgte die Entnahme von 10 Proben zu je 250 g (Bild 1). Die Entnahmeorte waren über das gesamte Silo verteilt. Der mittlere Trokensubstanzgehalt des eingelagerten Futterroggen-

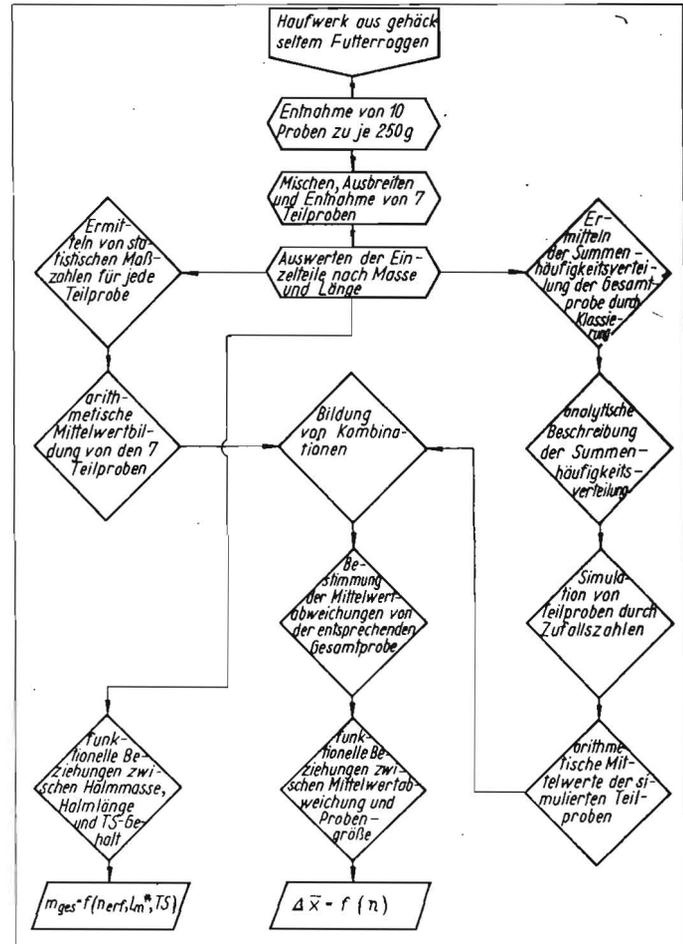


Bild 1 Durchgeführte Untersuchungen zur Häckselängenanalyse

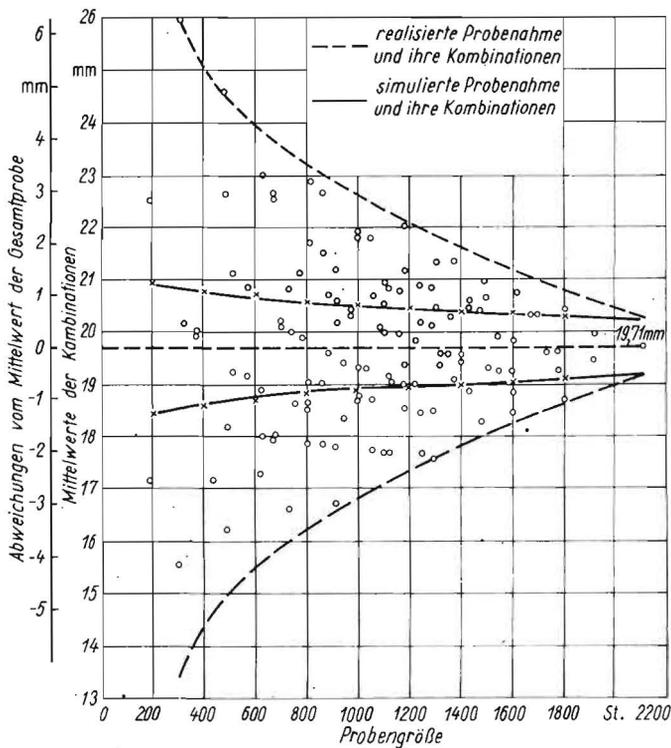


Bild 2
Mittelwerte der Kombinationen sowie ihre Abweichungen vom Mittelwert der Gesamtprobe

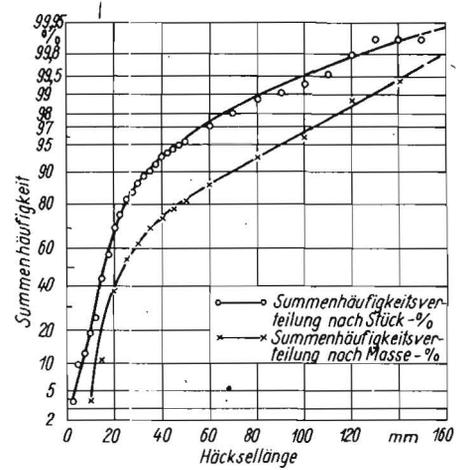


Bild 3
Summenhäufigkeitsverteilungen nach Masse-% und Stück-%

gens betrug 44,3%. Die entnommenen Proben wurden anschließend miteinander vermischt und auf einer ebenen Fläche von 2 m² in gleichmäßiger Schichtdicke verteilt. Von der belegten Fläche wurden an 7 verschiedenen Stellen Teilflächen durch Abgrenzen gebildet. Das auf den Teilflächen lagernde Häckselgut diente als Basis für 7 Teilproben, die hinsichtlich der Masse und der dazugehörigen Länge der einzelnen Häckselpartikel ausgewertet wurden (Bild 1). Mit Hilfe eines Rechners KRS 4200 wurden die wichtigsten statistischen Maßzahlen jeder Teilprobe errechnet. Aus dem Vergleich der Maßzahlen kann abgeleitet werden, daß die einzelnen Proben starke Abweichungen untereinander aufweisen (Tafel 1). Bei logarithmisch transformierten Längen (Basis 10) weisen relative Streuung, Schiefe und Exzeß geringere Abweichungen und Werte als bei nichttransformierten auf.

Zur Eingrenzung, des Untersuchungsprogramms werden sich alle weiteren Betrachtungen auf den Mittelwert beschränken, da er in Verbindung mit der Streuung für Häckselana-

lysen die wichtigste statistische Maßzahl ist. Um zu untersuchen, welchen Einfluß die Stichprobengröße auf das Verhalten des Mittelwerts ausübt, wurden von den 7 Teilproben alle möglichen Kombinationen gebildet und durch den Rechner die Mittelwerte (Bild 1) bestimmt. In einem weiteren Schritt erfolgte das Ermitteln der Abweichungen des Mittelwerts jeder einzelnen Teilprobe und der Kombinationen vom Mittelwert der Gesamtprobe. Die aus den Teilproben und ihren Kombinationen errechneten Mittelwerte weisen im Bereich geringer Probengrößen große Abweichungen vom Mittelwert der Gesamtprobe auf (Bild 2). Bei der Kombination aller 7 Teilproben beträgt die Probengröße 2 101 Stück und entspricht der Gesamtprobe. Die Konfidenzgrenzen für den Mittelwert wurden näherungsweise zu 19,71 mm ± 0,68 mm für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05 bestimmt.

Um einschätzen zu können, wie groß die Mittelwertabweichungen bei einer zufälligen, durch Simulation realisierten Probenahme sind, wurden die 2 101 Werte der Gesamtprobe nach Längen klassiert und ihre Summenhäufigkeits-

kurve in einem Wahrscheinlichkeitsnetz Nr. 500 (Abszissenachse linear, Ordinatenachse nach dem Gaußschen Integral geteilt) aufgetragen (Bild 3).

Die Auswertung der Summenhäufigkeitskurve im Wahrscheinlichkeitsnetz Nr. 485 (Abszissenachse logarithmisch, Ordinatenachse nach dem Gaußschen Integral geteilt) ergab in Übereinstimmung mit den Werten aus Tafel 1, daß der Verteilungstyp dem einer logarithmischen Normalverteilung ähnlich ist.

Um die Summenhäufigkeitskurve der Gesamtprobe durch eine analytische Funktion ausdrücken zu können, wurden Regressionsrechnungen durchgeführt.

Als explizite Größe wurde die Länge der Häckselpartikel in Abhängigkeit von der Summenhäufigkeit aus Polynomansätzen errechnet. Um eine ausreichende Annäherung der durch die Regressionsrechnung ermittelten Gleichungen an die Summenhäufigkeitskurve der Gesamtprobe zu erreichen, mußten drei Teilgleichungen ermittelt werden:

$$\begin{aligned} \text{Teil I: } 0 \leq q \leq 0,7 \\ L_H = 0,1391 + 0,6652 \cdot 10^3 q - 0,1933 \cdot 10^3 q^2 \\ - 0,3788 \cdot 10^4 q^3 + 0,7902 \cdot 10^4 q^4 \\ - 0,4577 \cdot 10^4 q^5 \\ B^* = 0,998 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Teil II: } 0,7 < q \leq 0,977 \\ L_H = -0,4507 \cdot 10^4 + 0,2173 \cdot 10^5 q \\ - 0,3299 \cdot 10^5 q^2 + 0,1652 \cdot 10^5 q^3 \\ B^* = 0,906 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Teil III: } 0,977 < q \leq 1 \\ L_H = -0,2514 \cdot 10^5 + 0,2640 \cdot 10^5 q \\ B^* = 0,755 \end{aligned} \quad (3)$$

Tafel 1. Statistische und biologische Kennzahlen für die Häckselgutproben

Kennzahl	Häckselprobe							gesamt
	1	2	3	4	5	6	7	
TS-Gehalt	%	41,6	39,0	61,2	44,1	60,6	49,7	55,9
Probenmasse	g	6,25	6,15	4,56	7,19	2,96	2,54	3,08
Anzahl der Häckselpartikel		375	325	300	430	300	184	187
größte Häckselänge	mm	120	126	160	118	109	82	158
mittlere Häckselänge	mm	20,07	20,34	25,92	17,33	15,51	17,28	22,55
Streuung abs.	mm	13,64	14,69	23,81	12,31	11,63	13,41	15,90
Streuung rel. ¹⁾	%	67,98	72,24	91,87	71,01	74,99	77,63	70,53
		22,90	23,94	26,31	28,19	33,91	34,50	20,42
Streuung des Mittelwerts	mm	0,705	0,815	1,375	0,594	0,671	0,989	1,163
Schiefe ¹⁾		2,67	2,99	2,47	3,05	3,13	2,23	3,93
		-0,74	-0,66	-0,07	-1,06	-1,05	-0,92	-0,68
Exzeß ¹⁾		11,49	13,73	6,98	15,88	18,10	7,25	27,01
		2,62	1,75	0,74	2,05	1,23	0,83	4,37

1) die halbfett hervorgehobenen Werte gelten für logarithmisch transformierte Längen

Durch Simulation, indem mit Hilfe eines Zahlengenerators Zufallszahlen zwischen 0 und 1 gebildet wurden, erfolgte das Zusammenstellen folgender Zufallsproben:

- 10 Proben zu je 200 Stück
- 20 Proben zu je 200 Stück
- 20 Proben zu je 100 Stück
- 40 Proben zu je 100 Stück.

Die Zahlen aus den Zufallsproben wurden entsprechend ihrer Größe für q in die entsprechenden Gültigkeitsbereiche der Gleichungen (1) bis (3) eingesetzt und für jede Zufallszahl L_H errechnet. Die auf dieser Basis simulierten Häckselproben wurden durch ein spezielles Rechenprogramm miteinander kombiniert und daraus die Abweichungen aus den Mittelwerten der einzelnen Proben und ihrer Kombinationen vom Mittelwert der jeweiligen simulierten Gesamtprobe errechnet (Bild 1). Für vorgegebene Intervalle von Mittelwertabweichungen erfolgte mit Hilfe des Rechners

