

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-

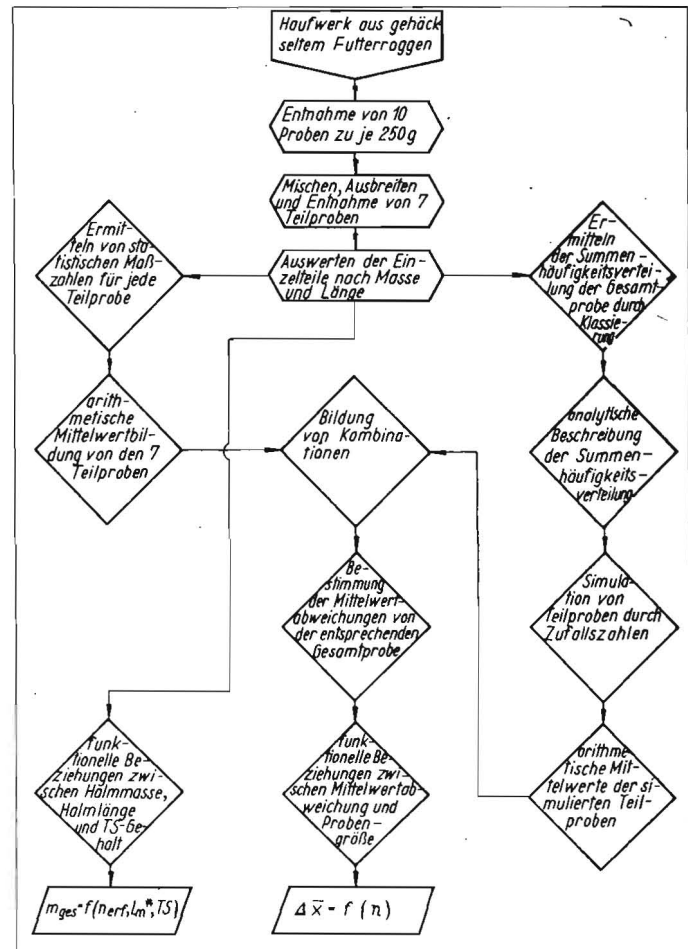


Bild 1 Durchgeführte Untersuchungen zur Häckselängenanalyse

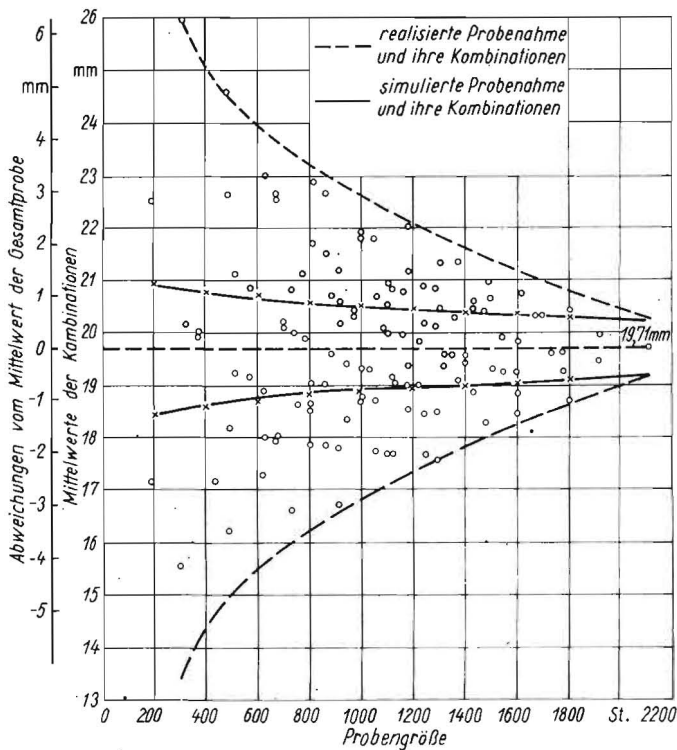


Bild 2
Mittelwerte der Kombinationen sowie ihre Abweichungen vom Mittelwert der Gesamtprobe

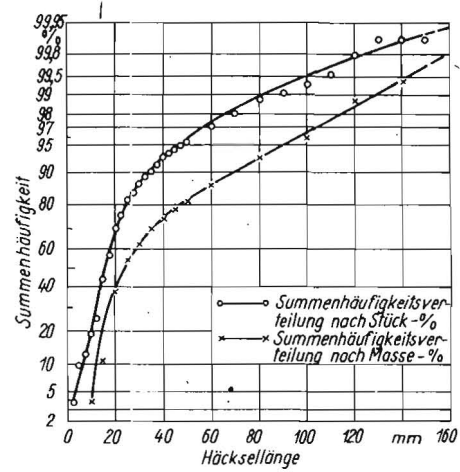


Bild 3
Summenhäufigkeitsverteilungen nach Masse-% und Stück-%

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 Häcksellänge	mm	120	126	160	118	109	82	158
mittlere Häcksellänge	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

KRS 4200 die prozentuale Zuordnung der Abweichungen.

Die $5,83 \cdot 10^6$ gebildeten Kombinationen wurden den Abweichungsintervallen

$0 \text{ mm} \leq \Delta \bar{x}_1 < 0,2 \text{ mm}$;

$0,2 \text{ mm} \leq \Delta \bar{x}_2 < 0,4 \text{ mm}$;

$0,4 \text{ mm} \leq \Delta \bar{x}_3 < 0,6 \text{ mm}$;

$0,6 \text{ mm} \leq \Delta \bar{x}_4 < 1,0 \text{ mm}$; $\Delta \bar{x}_5 > 1,0 \text{ mm}$

zugeordnet und bildeten die Grundlage für eine Regressionsrechnung zur Bestimmung der Abweichungen vom Mittelwert:

$$\bar{x} = 0,329 + 0,0115 \text{ KH} - 6,43 \cdot 10^{-4} n + 1,95 \cdot 10^{-7} n^2 - 0,382 k \quad (4)$$

$$B^* = 0,79$$

$$\bar{x} (\text{KH} = 90\%) = 1,364 - 7,25 \cdot 10^{-4} n + 1,95 \cdot 10^{-7} n^2 \quad (5)$$

Gl. (5) ist im Bild 2 als Vollinie grafisch dargestellt. Um eine analytische Beziehung zwischen der Masse eines Häckselteils und seiner Länge für gehäckselten Futterroggen zu erhalten, wurden beide Größen von den 2101 ausgewerteten Häckselteilen für eine Regressionsrechnung verwendet (Bild 4):

$$m_H = -0,00109 + 0,4363 L_H - 1,204 L_H^2 \quad (6)$$

Unter Einbeziehung der Gl. (6) konnte zu der Summenhäufigkeitskurve nach Stück-% die der nach Masse-% errechnet und dargestellt werden (Bild 3).

3. Schlußfolgerungen

Im Bereich geringer Probengrößen treten infolge einer fehlerbehafteten Probenahme große Mittelwertabweichungen auf. Die Fehler sind auf Entmischungserscheinungen und zu geringe Probengrößen zurückzuführen. Obwohl das zu analysierende Häckselgut vor der Entnahme der Teilproben intensiv vermischt wurde, traten große Mittelwertabweichungen der Teilproben vom Gesamtprobenmittelwert auf. Bei der simulierten Probenahme wurde eine zufällige Zusammenstellung der Einzelproben erreicht. Die Mittelwertabweichungen waren wesentlich geringer. Bei einer Probengröße von 400 Stück betrug die Mittelwertabweichung etwa 20% der Mittelwertabweichung bei realisierter Probenahme (Bild 2). Aus den Relationen wird abgeleitet, daß die Art der Probenahme von entscheidender Bedeutung ist. Durch ihre Verbesserung kann der Aufwand für Häcksellängenanalysen gesenkt werden. Je besser die Probenahme ist, desto geringer ist die erforderliche Probengröße.

Aus den grafischen Darstellungen (Bild 2) kann die Schlußfolgerung gezogen werden, daß durch Erhöhung der Probengröße die Präzision der Mittelwertbestimmung vergrößert wird. Bei einer Stichprobengröße von 2100 Stück beträgt nach Gl. (5) die Mittelwertabweichung 0,70 mm und entspricht damit annähernd dem ermittelten Konfidenzintervall. Mit weiter steigender Probengröße würde die Präzision für den Mittelwert nur noch unwesentlich erhöht werden. Daraus läßt sich ableiten, daß ein Häckselgemisch hinsichtlich seines Mittelwerts nur begrenzt genau bestimmbar ist. Bei Vorgabe zulässiger Maximalabweichungen können für den untersuchten Bereich die erforderlichen Stichprobengrößen nach Bild 2 ermittelt werden. Tafel 2 enthält die Auswahl einiger Zuordnungen.

Soll ein Haufwerk von Häckselgut hinsichtlich seiner Länge analysiert werden, so sind nach TGL 80-21875 an mindestens 10 verschiedenen, gleichmäßig über das Haufwerk verteilten Stellen Proben von etwa 40 g Trockensubstanz zu entnehmen und anschließend zu mischen (Bild 5). Ein für den Zweck geeignetes Mischverfahren ist noch nicht vorhanden und müßte

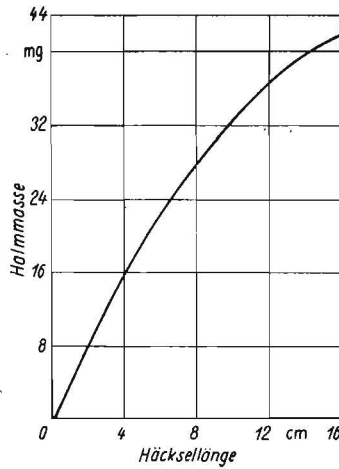


Bild 4. Abhängigkeit der Halmmasse von der Häcksellänge bei Futterroggen

Tafel 2. Erforderliche Stichprobengrößen in Abhängigkeit von den zulässigen Mittelwertabweichungen

$\Delta \bar{x}$	mm	5,3	3,4	2,4	1,5
n_{erf}		400	800	1200	1600
$\frac{\Delta \bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100\%$		26,88	17,25	12,18	7,61

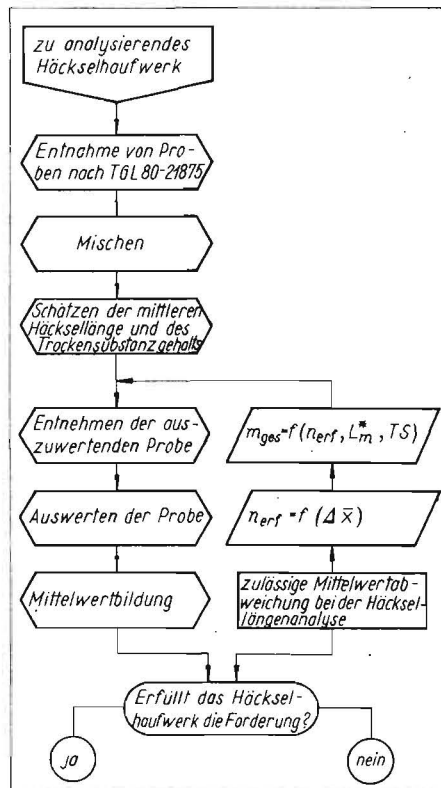


Bild 5. Schematische Darstellung des Ablaufs von Häcksellängenanalysen auf der Basis der durchgeführten Untersuchungen

im Rahmen weiterer Untersuchungen erarbeitet werden.

Die Qualität des Mischens bestimmt in entscheidendem Maß die Präzision der statistischen Aussagen. Da es nicht vertretbar ist, ohne

den Einsatz von Mechanisierungsmitteln für das Auswerten die Gesamtprobe von mindestens $10 \cdot 40 \text{ g} = 400 \text{ g}$ Trockensubstanz auszuzählen, muß eine Reduzierung der Probe durch n-fache Teilung vorgenommen werden. Auf der Basis der durchgeführten Untersuchungen beim gehäckselten Futterroggen können für verschiedene Genauigkeitsanforderungen erforderliche Stichprobengrößen anhand von Bild 2 angegeben werden. Da eine Stückzahl von Häckselteilen schwer abzuschätzen ist, wurde aufgrund des gewonnenen Zahlenmaterials eine Berechnungsgleichung zur Bestimmung der Probenmasse entwickelt.

Die erforderliche Masse der Gesamtstichprobe $m_{\text{ges erf}}$ kann in Abhängigkeit von einer im voraus überschlägig geschätzten Häcksellänge, vom TS-Gehalt und von der erforderlichen Stichprobengröße nach der Gleichung

$$m_{\text{ges erf}} = \frac{100 n_{\text{erf}}}{TS} (0,4363 L_m^* - 1,204 L_m^{*2} - 0,00109) \quad (7)$$

errechnet werden (vgl. Bild 5). Einschränkend muß bemerkt werden, daß Gl. (7) nur eine Gültigkeit für Häckselgemische besitzt, die dem analysierten ähnlich sind. Für wesentlich andersartige Halmfutterpflanzen (Mais, Luzerne, Klee) und Zerkleinerungsbedingungen müssen weiterführende analoge Untersuchungen durchgeführt werden.

4. Zusammenfassung

Ein aus gehäckseltem Futterroggen bestehendes Haufwerk wurde hinsichtlich seiner statistischen und biologischen Parameter analysiert. Aus den Untersuchungen wurden Aussagen über die Präzision von Mittelwertangaben und über durchzuführende Probenahmen getroffen sowie noch offenstehende Probleme dargestellt.

Literatur

- [1] Golikov, V. A.; Abilzanov, T.: Klassifikator izmel'čennych grubych kormov (Klassifikator für zerkleinertes Grobfutter). Mechaniz. i elektrif. social. sel'skogo choz., Moskva (1975) H. 10, S. 49—50.
- [2] Möller, F.: Determination of Particle Length in Cobs and Wafers. Transactions of the ASAE (1975) S. 950—951.
- [3] Müller, M.: Mechanisierung der Futterernte und Gärfutterbereitung; Teilthema 3.4., Teil 1: Technologische Kennzeichnung von Häckselgemischen. Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim, Forschungsbericht 1969 (unveröffentlicht).
- [4] Häusser, L.; Kraut, L.: Klassierung von Häckselgemischen durch Absieben. Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim, Belegarbeit 1972 (unveröffentlicht).
- [5] Kramer, H.: Absieben von Häckselgemischen. Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim, Belegarbeit 1974 (unveröffentlicht).
- [6] Oberbarscheidt, B.; Wünsche, G.: Häckselgemischzusammensetzungen beim selbstfahrenden Exaktfeldhäcksler E 280. Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim, Forschungsbericht 1971 (unveröffentlicht).
- [7] Fiala, J.: Methodik zur Bewertung der Häcksellängen bei der Konservierung von Futterpflanzen in Hochsilos. Prag, Forschungsbericht 1968 (unveröffentlicht).