

Bestimmung zweckmäßiger Lagerstandorte und -kapazitäten in landwirtschaftlichen Betrieben mit Hilfe von Materialflußanalyse und Transportoptimierung

Dr.-Ing. H.-G. Lehmann, KDT/Dr. agr. Liselotte Dumack
Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Problemstellung

Mit der Festlegung von Lagerstandorten und -kapazitäten in der Landwirtschaft werden für längere Zeitspannen der Transportaufwand und der Kraftstoffverbrauch wesentlich beeinflusst. Durch eine Objektivierung der Entscheidungsfindung bei der Standort- und Kapazitätsfestlegung von Lagern unter Anwendung hinreichend bekannter Methoden der Materialflußanalyse und Transportoptimierung können ohne zusätzlichen Investitionsaufwand der Transportaufwand und der Kraftstoffverbrauch gesenkt werden [1, 2, 3].

Mathematische Methoden und deren Anwendung nehmen Entscheidungen nicht ab. Sie sollten vor allem in Zweifelsfällen, bei Änderungen der Produktionsstruktur, bei größeren Lagerinvestitionen, aber auch zur jährlichen Festlegung der Lagerkapazitäten verwendet werden.

Besondere Bedeutung erhält die Standortbestimmung im Zusammenhang mit dem Programm zum Bau fester Lagerstätten für die Grünfuttersilierung [4]. Deshalb sollen einige Hinweise zur Anwendung praktikabler Methoden der Materialflußanalyse und Transportoptimierung gegeben werden. Diese Methoden sind auch auf andere Gutarten anwendbar.

2. Materialflußanalyse

2.1. Beschreibung der Methode

Unter Materialflußanalyse versteht man eine Analyse der Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse (TUL-Prozesse) in einer bestimmten strukturellen Einheit. Das Ziel der Materialflußanalyse besteht im Sichtbarmachen von Möglichkeiten zur effektiveren Gestaltung der TUL-Prozesse [3].

Der hohe Anteil materieller und finanzieller Aufwendungen für TUL-Prozesse an den Gesamtaufwendungen der Betriebe der Pflanzenproduktion zwingt zu stärkerer Rationalisierung gerade für diese „Hilfsprozesse“.

Die Materialflußanalyse dient dabei der wissenschaftlichen Charakterisierung des jeweiligen erreichten Ist-Standes und dem Ableiten begründeter Maßnahmen zur Rationalisierung der TUL-Prozesse.

Folgende Teile der Materialflußanalyse in Betrieben der Pflanzenproduktion können vorgeschlagen werden:

- Territoriale Struktur des Betriebs (Betriebskarte)
 - Art und Beschaffenheit der Verkehrswege
 - Gutarten, Anbauflächen und Erträge, Anwendungsflächen und Applikationsmengen
 - Anordnung der Fruchtfolge-Rotationsbereiche und Schläge
 - Art, Anordnung und Kapazitäten von Lager- und Produktionsstätten
- Standorte, Kapazitäten und technologische Anforderungen außerbetrieblicher Empfänger bzw. Absender (Tierproduktionsanlagen, VEB Getreidewirtschaft, Zuckerfabrik, ACZ u. a.)

Tafel 1. Erntemenge je Schlag (Siliergut)

Nr.	Schlagbezeichnung	Fläche A ha	Rotation	Silomais Flächenanteil K %	Fläche A _K ha	Futtermenge M _K t	Ackergras Flächenanteil K %	Fläche A _K ha	Futtermenge M _K t	Siliergut Menge t
0	AA	189	A	13,6	25,7	848	10,6	20,0	985	1834
1	AB	157	A	13,6	21,4	705	10,6	16,6	819	1524
2	AC	103	A	13,6	14,0	462	10,6	10,9	537	999
max.	EF	136	E	13,6	18,5	611	10,6	14,4	709	1320
50										
Summe		4711	—	—	—	20990	—	—	—	45520

K Flächenanteil in der Fruchtfolge oder entsprechend Anbauplan
A_K anteilige Schlagfläche $A_K = K \cdot A$
M_K anteilige Futtermenge $M_K = K \cdot A \cdot E$
E Ertrag in t/ha

- Guteigenschaften und Gutbewegung
 - Gutarten und ihre wichtigsten Eigenschaften bzw. Kennwerte
 - Gutbewegung, Transportwege und Entfernungen
 - Auftreten der einzelnen Bestandteile des TUL-Prozesses
 - zeitliche und mengenmäßige Verteilung der Gutbewegung bei Beachtung gleichartiger Gutarten (z. B. Heu/Stroh) und zeitlicher Parallelität (z. B. Silomais/Kartoffeln)
- technischer Zustand der vorhandenen Transport- und Umschlagmittel, Einsatzorganisation, erreichte Leistungsparameter
- Anzahl und Qualifikation der Arbeitskräfte, Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz
- technischer Zustand der Lagerstätten, Lagerorganisation
- Materialflußkosten.

Je nach Zielstellung der Rationalisierung kann die Analyse auf bestimmte Teile eingegrenzt werden.

2.2. Anwendungsbeispiel

An einem Beispiel soll die Anwendung von Teilen der Materialflußanalyse für die Vorbereitung der Rechnungen zur Transportoptimierung demonstriert werden. Die Transportoptimierung dient hierbei zur Standortfestlegung und Kapazitätsbemessung von Grünfuttersilos.

Tafel 1 beinhaltet die Erntemengen (Siliergut) je Schlag. Dabei wird von der anteiligen Futtermenge auf diesem Schlag ausgegangen, die sich aus dem Anteil in der jeweiligen Fruchtfolge oder dem Anteil entsprechend dem Anbauplan, dem Ertrag und der Schlagfläche ergibt. Damit wird der jährliche Wechsel der Anbauflächen nach der Fruchtfolge berücksichtigt, und es ergeben sich mittlere Mengen über mehrere Jahre.

Die Empfängerliste (Tafel 2) beinhaltet die

Bedarfmengen an Siliergut für die einzelnen Stallanlagen. Eine Untergliederung in verschiedene Gutarten ist möglich.

Ein weiterer Arbeitsschritt erfolgt mit dem Aufstellen der vorhandenen Silostandorte und deren Kapazitäten (Tafel 3). Die aufgestellten Schläge, Lager und Empfänger werden in eine maßstabgerechte Betriebskarte eingezeichnet. Neue Standorte der Lager zur Ergänzung fehlender Lagerkapazität werden nach sachlichen Gesichtspunkten ausgewählt [4].

Das Messen der Entfernungen von jedem Schlag zu jedem Silostandort (Tafel 4) und von jedem Silostandort zu jedem Verbraucher (Tafel 5) erfolgt mit Hilfe eines Kurvimeters. Von der Genauigkeit dieses Arbeitsschrittes hängt wesentlich die Genauigkeit des Ergebnisses ab. Beim Festlegen der Transportstrecken sind solche Gegebenheiten wie Fahrbahnzustand, Fernverkehrsstraßen mit starkem Verkehr, Behinderungen durch Eisenbahnübergänge u. a. zu berücksichtigen.

3. Transportoptimierung

3.1. Methode

Für die Lösung von Problemen der Transportoptimierung steht eine Vielzahl von Möglichkeiten der mathematischen Optimierung zur Verfügung [1, 2]. Dem Anwender bereitet deshalb die Auswahl Schwierigkeiten. Für die Bearbeitung derartiger Aufgaben aus verschiedenen Wirtschaftsbereichen in den zentralen Rechenzentren der Bezirke existiert ein verfahrensorientiertes Programmpaket für Transportoptimierung des VEB Kombinat Robotron [5]. Müller-Welde und Lorenz [6] schlagen eine einfache Methode von Hand zur Standortbestimmung und Transportoptimierung für Grünfuttersilos vor, bei der die Transportentfernungen von den Schlägen zu den Silos und von diesen zu den Stallanlagen für jede Trans-

Tafel 2. Empfängerliste

Nr.	Ort, Stallanlage	Bedarf Siliergut t
0	a	3 633
1	b	4 557
2	c	2 310
.	.	.
.	.	.
max. 20	t	1 788

portstufe getrennt nach einem Näherungsver-
fahren minimiert werden.

Unter der Voraussetzung, daß die Trans-
portoptimierung auch für die anderen Gutarten
im Betrieb verwendet wird und diese Rech-
nungen möglichst jährlich zur Bestimmung der
notwendigen Transport- und Lagerkapazitäten
und zur exakten Einsatzplanung für die Trans-
port- und Umschlagmittel dienen, ist es zweck-
mäßig, einfache, leicht zu handhabende Re-
chenprogramme zu verwenden und beide
Transportstufen bei der Optimierung der La-
gerstandorte zu berücksichtigen.

Für diese Zwecke eignet sich ein Rechenpro-
gramm von Baganz[7] für die zweistufige
Transportoptimierung (Schlag—Lager—Emp-
fänger oder Absender—Lager—Schlag). Damit
wird das Minimum des Transportaufwands in
t·km für den zweistufigen Transport ermittelt.
Die Berechnung erfolgt mit dem relativ schnel-
len Näherungsverfahren nach Vogel.

Tests haben für das ermittelte Transportopti-
mum eine maximale Abweichung von 5% vom
absoluten Minimum nachgewiesen. Die Ge-
nauigkeit ist für die betrachteten Aufgaben
ausreichend. Das Programm gestattet eine
maximale Belegung von 50 Absendern
(Schläge), 50 Lagern oder Zwischenlagern und
20 Empfängern (z. B. Stallanlagen). Grundlage
für die Rechnungen bilden die Ergebnisse aus
der Materialflußanalyse (Tafeln 1 bis 5). Bei
Nutzung des Kleinrechners KRS 4200 können
Gesamtkosten bis zu 100 M je Rechnung ent-
stehen.

Ein Reduktionsfaktor für die Transportmenge
der zweiten Transportstufe bietet die Möglich-
keit, auftretende Gutverluste oder Welkpro-
zesse zu berücksichtigen oder die Entfernungen
der zweiten Transportstufe geringer zu be-
werten. Ein Reduktionsfaktor von 0,5 könnte
z. B. bedeuten, daß es vor allem auf eine Mini-
mierung des Transportaufwands der ersten
Transportstufe ankommt, um Transportarbeits-
spitzen zu vermeiden. Die Transportentfernung
der 1. Transportstufe erhält dann die doppelte
Wertigkeit. (In diesem Fall ist aber zu berück-
sichtigen, daß die ermittelten Werte des Trans-
portaufwands in t·km nicht den tatsächlichen
entsprechen.)

Tafel 4. Entfernungen von den Schlägen zu den Silostandorten in km

Schlag	Silo				
	0	1	2	...	max. 50
0	5,9	7,4	7,6	...	4,9
1	5,1	6,4	7,0	...	4,2
2	4,0	5,5	6,4	...	3,0
.
.
max. 50	14,5	12,4	12,8	...	15,5

Tafel 3. Silostandorte

Nr.	Standort	Kapazität	
		vorhandene Kapazität ¹⁾ t	berechnete Kapazität I. Ergebnis Endergebnis
0	AC	—	
1	b	1 800	
2	c	1 200	
.	.	.	.
.	.	.	.
max. 50	EF	—	

1) wenn nicht ausgefüllt, möglicher neuer Standort

Mit dem Programmpaket DISKO[5] für die
Lösung von Problemen der diskreten Optimie-
rung sind, aufbauend auf den Ausgangsdaten
der Materialflußanalyse, Optimierungsrech-
nungen in den meisten VEB Datenverarbei-
tungszentrum der Bezirke möglich. So können
z. B. Vertragsabschlüsse für die Rechnungen
mit dem VEB Datenverarbeitungszentrum
Potsdam, Abt. Absatz, erfolgen. Die Kosten
betragen bis zu 1000 M für die Standortfest-
legung und Kapazitätsbemessung der Lager
einer Gutart. Die Kosten vermindern sich bei
Durchführung von Rechnungen für mehrere
Gutarten.

Nach Einschätzung von Cornelius[8] sind
durch Anwendung der Transportoptimierung
Einsparungen der Fahrkilometer bis zu 20%
möglich. Der konkrete Wert hängt von den im
Betrieb bereits errichteten Ausgangswerten ab.
Besonders vorteilhaft wirkt sich die Einsparung
während der Transportarbeitspitzen aus.

3.2. Standortfestlegung und Kapazitätsbemessung

Das Programmpaket DISKO und das Rechen-
programm zur zweistufigen Transportoptimie-
rung lassen sich je nach betrieblichen Erfor-
dernissen für die Standortfestlegung von La-
gern mit Kapazitätsbemessung oder bei aus-
reichend vorhandenen festen Standorten nur
für die Kapazitätsbemessung anwenden.

Bei der Standortfestlegung neu zu errichtender
Lagerkapazitäten wird, ausgehend von der
Materialflußanalyse, eine größere Anzahl sinn-
voller neuer Standorte zur Auswahl vorgege-
ben. Die Gesamtanzahl aus vorhandenen und
möglichen neuen Standorten darf maximal 50
Lagerstandorte betragen. Zweckmäßig ist dabei
die Einbeziehung aller Gutachten des Betriebs
in die Betrachtung, weil dann die Matrizen für
die Entfernungen von den Schlägen zu den
Lagern und von diesen zu den Empfängern bzw.
Absendern im Betrieb nur einmal aufgestellt zu
werden brauchen und für alle Gutarten sowie
für weitere Rechnungen in anderen Jahren
ständig wiederverwendet werden können (Ta-
feln 4 und 5).

Mit den ermittelten Daten erfolgt die erste
Optimierungsrechnung. Die Gutmengen der

Schläge werden auf die Lager verteilt, deren
Kapazität aufgrund des Bedarfs errechnet wird,
und die Lagergutmengen den Ställen zugeord-
net. In einer Beratung des Ergebnisses sind
„unterbelegte“ Standorte auszuscheiden.

Als „unterbelegt“ gilt ein Standort dann, wenn
die notwendige Mindestkapazität für einen
gewählten Lagertyp nicht erreicht wird. So sind
z. B. für die Maissilierung in einem Horizontal-
silo SH 3600 mit 60 m Länge mindestens 3600 t
Siliergut notwendig. Gleichzeitig erfolgt das
Streichen nicht belegter Standorte. Weiterhin
ist es möglich, aus zwei oder mehreren unter-
belegten Standorten, die territorial zusammen-
hängen, einen Standort mit in der zweiten Rech-
nung zu berücksichtigen. Aus der ersten Rech-
nung ergeben sich also die Lagerstandorte mit
dem geringsten Transportaufwand in t·km.

Die zweite Rechnung mit begrenzter Anzahl
ausgewählter Lagerstandorte dient der end-
gültigen Kapazitätsbemessung. Bei feststehen-
den Lagerstandorten oder jährlicher Festlegung
der Lieferbeziehungen genügt eine Rechnung
zur Kapazitätsbemessung. Das Rechenergebnis
gestattet folgende Auswertungen:

- günstigste Standorte für Lager
- Lagerkapazität für die einzelnen Standorte
- Liefermengen welcher Schläge über welche
Lager zu welchen Empfängern
- Transportentfernungen und Haupttrans-
portstrecken
- Transportaufwand in t·km.

Es ist bei der Auswertung angebracht, den
berechneten Transportaufwand mit dem bisher
vorhandenen zu vergleichen, um die Einspa-
rungen sichtbar zu machen. Die Ermittlung der
Haupttransportstrecken gestattet Schlußfolge-
rungen für die Instandhaltung und den Ausbau
des Wegenetzes.

Nicht berücksichtigt wird bei der beschriebenen
Art der Berechnung z. B. die Tatsache, daß von
einem angeschnittenen Grünfuttersilo meistens
alle von dem Betrieb der Pflanzenproduktion zu
beliefernden Stallanlagen versorgt werden.
Durch die Optimierung erhält man aber auf alle
Fälle solche Silostandorte, die sich auf kürze-
stem Wege vom Schlag zu den Hauptabneh-
mern befinden.

Tafel 5. Entfernungen von den Silostandorten zu den Stallanlagen in km

Silo	Stallanlage				
	0	1	2	...	max. 20
0	4,2	0,8	4,8	...	20,1
1	3,4	4,4	6,0	...	11,4
2	3,8	4,8	6,4	...	22,0
.
.
max. 50	11,8	14,5	13,0	...	29,4

4. Schlußfolgerungen

Aus durchgeführten Rechnungen zur Transportoptimierung in drei Pflanzenproduktionsbetrieben lassen sich einige grobe Richtwerte für die Einzugsgebiete von Lagern für verschiedene Gutarten ableiten. Für die Lagerung von Silage, Kartoffeln, Zuckerrüben, Mineraldünger und Getreide ergeben sich Einzugsgebiete von rd. 1000 ha. Die jeweilige Anbaufläche der Gutarten hängt vom Anbauanteil im Einzugsgebiet ab. Im günstigsten Fall stellt das Einzugsgebiet einen territorial zusammenhängenden Fruchtfolge-Rotationsbereich dar. Stroh und Stallung sind direkt an den jeweiligen Ernte- oder Applikations-Schlägen bzw. Schlagkomplexen zu lagern.

Die ermittelten übereinstimmenden Einzugsgebiete für die genannten Gutarten unterstützen die Bestrebungen, feldnahe Lager für mehrere Gutarten als Ergänzung zu den bereits vorhandenen Lagern zu konzipieren.

Eine weitere Möglichkeit zur Anwendung der Transportoptimierung bei ausreichend vorhandenen Lagerkapazitäten im Betrieb besteht in der Auswahl der Variante der Fruchtfolgegestaltung oder Anbauplanung mit dem geringsten Transportaufwand.

5. Zusammenfassung

Mit den Methoden der Materialflußanalyse und der Transportoptimierung und deren Anwendungsmöglichkeiten wurden Hilfsmittel zur Entscheidung bei der Standortwahl für neue Lager, Zwischenlager oder Umschlagplätze sowie für die Kapazitätsbemessung von Lagern vorgestellt.

Die gründliche Vorbereitung optimaler Lagerstandorte und -kapazität trägt dazu bei, Investitionen rationell zu nutzen, Transportkapazität und Dieselkraftstoff einzusparen. Es kann empfohlen werden, die Optimierungsrechnungen zur Standortfestlegung und Kapazitätsbemessung in den VEB Datenverarbeitungszentrum durchführen zu lassen.

Literatur

- [1] Badewitz, S.: Mathematische Optimierung in der sozialistischen Landwirtschaft aus ökonomisch-technologischer Sicht. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1978.
- [2] Klenke, J.; Meißner, C.: Studienmaterial zur Transportoptimierung und ihre Anwendung in der Landwirtschaft. Institut für Ausbildung und Qualifizierung beim Ministerium für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft, Brieselang 1974.

- [3] Rationalisierung des Materialflusses. Technische Universität Dresden, Sektion Kfz-, Land- und Fördertechnik, Bereich Fördertechnik, 1971 (unveröffentlicht).
- [4] Empfehlungen zur Bewirtschaftung von Horizontalsilos und Hinweise zur Standortbestimmung beim Aufbau von Siloanlagen und zur Festlegung des erforderlichen Siloraums. Institut für Futterproduktion Paulinenaue, 1979.
- [5] Programmpaket DISKO für die Lösung von Problemen der diskreten Optimierung. Systemunterlagendokumentation E0031, VEB Kombinat Robotron, Dresden 1978.
- [6] Müller-Welde, H.; Lorenz, H.: Standortbestimmung für großvolumige Horizontalsilos in Betrieben der Pflanzenproduktion. Feldwirtschaft 17 (1976) H. 8, S. 375—378.
- [7] Baganz, K.: Programmbeschreibung zum Programm TRZ (Zweistufige Transportoptimierung). FZM Schlieben/Bornim, Januar 1979 (unveröffentlicht).
- [8] Cornelius, E.: Die Transportoptimierung im sozialistischen Landwirtschaftsbetrieb. Markkleeberg: Landwirtschaftsausstellung der DDR 1966, S. 62.

A 2751

Stoffkennwerte und Lagerverhalten von Mais-Stroh-Siliergut bei der Konservierung in Hochsilos

Dr.-Ing. C. Füll, KDT/Dipl.-Ing. V. Scholz,

Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Problemstellung

Beim Silieren von Mais in Hoch- und Horizontalsilos entsteht kurze Zeit nach dem Füllen Gärtsaft. Die Ursachen dieses Vorgangs liegen im Absterben der Pflanzenzellen und in der Wasserbildung beim Nährstoffabbau während der Gärung. Der Gärtsaft enthält nach Untersuchungen von Peters und Weißbach [1] große Mengen organischer Substanz, die beim unkontrollierten Abfließen oder gezielten Beseitigen Nährstoffverluste darstellen. Ein Verbleiben des Gärtsaftes im Futter ist nicht erwünscht, weil dadurch die Futterqualität negativ beeinflusst wird [1].

Aus technischer Sicht muß das Austreten von Gärtsaft verhindert werden, weil die darin enthaltenen aggressiven Säuren Korrosionsschäden an Beton und Stahl hervorrufen. Dadurch wird die geplante Lebensdauer der Silos in beträchtlichem Maß verkürzt.

Unkontrolliert in das Erdreich abfließender Gärtsaft führt zur Verschmutzung des Grundwassers und ist eine Belastung der Umwelt.

Eine Lösung des Gesamtproblems ist möglich, wenn durch Einmischen von Stroh der aus dem Mais austretende Gärtsaft sofort gebunden wird. Außerdem stellt diese Art der Strohverwertung das Konservierungsverfahren mit den geringsten Verfahrenskosten dar [2]. Über die Verfahrensgestaltung und Ergebnisse der Mais-Stroh-Silierung wurde bereits berichtet [3, 4].

2. Aufgabenstellung für Labor- und Praxisversuche

Erkenntnisse zum Lagerverhalten werden vor allem durch das Bestimmen der Kennwerte Schüttdichte, Lagerungsdichte und Saftaustritt gewonnen. Diese drei Größen sind abhängige

Variable der unabhängigen Variablen Trockensubstanzgehalt von Mais und Stroh, Strohanteil, Häcksellänge, Reifestadium, Lagerungshöhe und Lagerungsdauer. Das vollständige Erfassen der Gesamtzusammenhänge ist in Praxisversuchen allein durch die notwendige große Versuchsanzahl nicht möglich. Deshalb müssen Labor- und Praxisversuche mit folgender Ziel- und Aufgabenstellung durchgeführt werden:

— In Laborversuchen sind die Kennwerte der physikalischen Größen Schüttdichte und Lagerungsdichte sowie des Saftaustritts von Mais-Stroh-Siliergut in Abhängigkeit von Trockensubstanzgehalt, Masseanteil, Häcksellänge, Lagerungshöhe und Lagerungsdauer zu bestimmen.

— In Praxisversuchen sind die labormäßig bestimmten Zusammenhänge in natürlich begrenztem Maß zu überprüfen, so daß Schlußfolgerungen für das Anwenden der Laborergebnisse getroffen werden können.

3. Versuchsdurchführung und -ergebnisse

3.1. Schüttdichte

Die Schüttdichte wird in einem zylindrischen Behälter mit dem Volumen $V = 0,125 \text{ m}^3$ bestimmt. Um die Randeinflüsse zu minimieren, beträgt das Verhältnis von Behälterdurchmesser zur Behälterhöhe 1:1.

Der Schüttdichtebetrag ist bei konstanten Trockensubstanzgehalten von Mais $Tr_M = 16,0\%$ und Stroh $Tr_S = 67,0\%$ sowie bei konstanter Häcksellängenverteilung vom Strohmasseanteil k abhängig (Bild 1). Neben dem Strohmasseanteil beeinflusst vor allem der mittlere Trockensubstanzgehalt des

Mais-Stroh-Siliergutes die Schüttdichte (Bild 2). Aufgrund der unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften von Mais und Stroh vergrößern sich die Schüttdichtebeträge bei konstantem Strohanteil und konstanter Häcksellängenverteilung mit zunehmendem mittleren Trockensubstanzgehalt linear. Die Ergebnisse können durch folgende Regressionsgleichung ausgedrückt werden:

$$\rho_{STr} = 2,61 \cdot 10^{-2} [k Tr_S + (100 - k) Tr_M] - 1,61 k - 7,83 ;$$

Bestimmtheitsmaß $B^* = 0,90$

Gültigkeitsbereiche:

Strohmasseanteil $k = 0 \dots 20\%$

Trockensubstanzgehalt von Mais

$Tr_M = 15 \dots 21\%$

Trockensubstanzgehalt von Stroh

$Tr_S = 45 \dots 90\%$.

Nach dieser Gleichung vergrößert sich bei einem Trockensubstanzgehalt von Mais $Tr_M = 16\%$ die Trockensubstanzschüttdichte ρ_{STr} des Mais-Stroh-Siliergutes linear mit zunehmendem Strohmasseanteil k , wenn der Trockensubstanzgehalt der Strohkomponente $Tr_S > 77,6\%$ ist. Aus der Sicht der praktischen Anwendung sind deshalb möglichst hohe Trockensubstanzgehalte des Strohs anzustreben.

3.2. Lagerungsdichte

Laborversuche ermöglichen eine gezielte Untersuchung des Einflusses einzelner Stoffkenngrößen auf die Lagerungsdichte während der Silierdauer. Als Voraussetzung für das Berechnen der Lagerungsdichte in Silos müssen in