FORSCHUNGSBERICHT AGRARTECHNIK

des Arbeitskreises Forschung und Lehre der
Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG) **453**

Rustam Kialbekov

Produkt- und Prozessqualität in der Halmfutterernte ausgewählter GUS-Regionen

Dissertation
Berlin 2007

CUVILLIER VERLAG
GÖTTINGEN

PRODUKT- UND PROZESSQUALITÄT IN DER HALMFUTTERERNTE AUSGEWÄHLTER GUS-REGIONEN

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum agriculturarum
(Dr. rer. agr.)

eingereicht an der
Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät
der Humboldt-Universität zu Berlin

von Dipl. Ing. Rustam Kialbekov
geboren am 09.10.1979 in Tschernogorsk, Russland

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin
Prof. Dr. Christoph Markschies

Dekan der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät
Prof. Dr. Dr. h. c. Otto Kaufmann

Gutachter: 1. Prof. Dr. Jürgen Hahn, Berlin
2. Prof. Dr. Juri Blynski, Novosibirsk
3. Prof. Dr. Aleksander Klochkov, Gorki

Tag der mündlichen Prüfung: 26.01.2007

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.ddb.de abrufbar.
1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2007
Zugl.: Berlin, Univ., Diss., 2007

978-3-86727-454-8

Gefördert durch

CLAAS STIFTUNG

Walter Stauß-Stiftung

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2007
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.
1. Auflage, 2007
Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86727-454-8

**„UNSER WISSEN IST DAS RESULTAT UNSERER ERFAHRUNGEN,
UNSERE ERFAHRUNGEN SIND DAS RESULTAT UNSERER DUMMHEIT.“**

SACHA GUITRY (1885-1957)

DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit entstand am Fachgebiet Agrartechnik der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Jürgen Hahn, für seine Bereitschaft zur Annahme des Themas. Für seine jederzeit gewährte Unterstützung und die stets hilfsbereite Betreuung der Arbeit in allen Phasen sowie für die bereichernden Anregungen und vor allem für seine Geduld und Vertrauen bin ich sehr dankbar.

Herrn Prof. Dr. J. Blynski bin ich für die Mitgestaltung und Mitbetreuung des Themas sowie für die freundliche Übernahme des Koreferates und für die fachlichen Hinweise zur Dank verpflichtet.

Herrn Prof. Dr. A. Klochkov danke ich für seine Bereitschaft das Thema mitzubetreuen und für seine Gastfreundschaft während meines Forschungsaufenthaltes in Weißrussland. Nicht zuletzt gilt mein Dank für seine kurzfristige Zusage die Arbeit aus „weißrussischer“ Sicht zu begutachten.

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. Pfitzmann und Herrn Dr. Streßmann für die selbstlose Hilfe, die wertvollen konstruktiven Anregungen und die kritische Durchsicht der Arbeit trotz arbeitsintensiver Verpflichtungen. Bei Herrn Dr. Pfitzmann möchte ich mich besonders für seine unermüdliche Unterstützung und sein stets offenes Ohr für jede noch so kleine Frage bedanken.

Herrn Dr. R. Tölle und Herrn Dipl. Ing. agr. J. Häbler bin ich für die gewährten Einblicke in ihre Arbeit zu Dank verpflichtet.

Ferner möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Fachgebietes Agrartechnik der Humboldt-Universität zu Berlin bedanken, die mich bei der Durchführung der Versuche unterstützten und zur Erstellung der Arbeit beitrugen.

Für wertvolle Hilfe bei der Durchführung der Laboruntersuchungen sei Frau Gabrielle Sommer und Frau Hannelore Eigenwillig gedankt.

Mein Dank gilt auch Prof. Dr. L. Frerichs für seine wertvollen Anregungen zur Gestaltung der Untersuchungsmethoden.

Des Weiteren möchte ich mich bei dem Leiter des Instituts für Agrartechnik, Herrn Prof. Dr. W. Lücke, und seinen Mitarbeitern, insbesondere Herrn Dr. D. v. Hörsten, für die Überlassung der Anlagen und Gerätschaften und für die Hilfe bei der Durchführung von Untersuchungen mit Mikrowellen und Hochfrequenz sowie für die wertvollen fachlichen Hinweise bedanken.

Der CLAAS-Stiftung und der Walter-Stauß-Stiftung sei für die finanzielle Unterstützung des Projektes gedankt. Herrn Ralf Hedrich und Firma Hedrich Vacuum Systems danke ich für die finanzielle Unterstützung bei der Publikation der Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt meiner Frau Nataliya für die geschaffenen Freiräume und stetigen Rückhalt sowie für das Verständnis bei häufiger geistiger und körperlicher Abwesenheit. Meinem Sohn Anton danke ich für die liebenswerte Zerstreuung.

INHALTSVERZEICHNIS

1	**EINLEITUNG**	**1**
2	**ZIELSETZUNG**	**4**
3	**PRODUKT- UND PROZESSQUALITÄT**	**5**
3.1	**Definition**	**5**
3.2	**Produkt- und Prozessqualität in der Halmguternte**	**7**
4	**ERKENNTNISSTAND**	**10**
4.1	**Standortbeschreibung**	**10**
4.1.1	**Weißrussland**	**10**
4.1.2	**Novosibirsker Gebiet**	**12**
4.1.3	**Deutschland**	**14**
4.2	**Halmguternte**	**15**
4.2.1	**Übersicht und Definition zu den Verfahren**	**15**
4.2.2	**Organisationsformen der Halmguternte**	**18**
4.2.2.1	**Universal- und Spezialmaschinen**	**18**
4.2.2.2	**Eigenmechanisierung und überbetriebliche Maschinenverwendung**	**19**
4.2.3	**Halmguternte in Weißrussland**	**22**
4.2.4	**Halmguternte in Novosibirsker Gebiet**	**28**
4.2.5	**Halmguternte in Deutschland**	**31**
4.3	**Grundlagen der Halmgutaufbereitung**	**34**
4.3.1	**Halmgutaufbereitung**	**34**
4.3.1.1	**Übersicht und Definition**	**34**
4.3.1.2	**Mechanische Aufbereitung**	**35**
4.3.1.3	**Mehrdimensionale Schwadformung**	**36**
4.3.1.3.1	**Patentrecherche**	**36**
4.3.1.3.2	**Arcadenschwad**	**36**
4.3.1.3.3	**Bahnenschwad**	**37**
4.3.1.3.4	**Hüttenschwad**	**37**
4.3.1.3.5	**Prismaschwad**	**38**

4.3.1.3.6	Rohrschwad	38
4.3.1.3.7	Spiralschwad	39
4.3.1.3.8	Wellenschwad	40
4.3.1.3.9	Zusammenfassung zur mehrdimensionalen Schwadformung	40
4.3.1.4	Chemische Aufbereitung	42
4.3.1.5	Thermische Aufbereitung	44
4.3.1.6	Zusammenfassung	46
4.3.2	Mikrowellen- und Hochfrequenz- Trocknung	47
4.3.2.1	Eigenschaften von Mikrowellen und Hochfrequenz	47
4.3.2.2	Behandlungen mit Mikrowellen und Hochfrequenz	49
4.3.3	Silomanagement	52
4.3.3.1	Siliergutverdichtung	52
4.3.3.2	Verdichtungsmessung von Grassilage	55
5	PRÄZISIERTE AUFGABENSTELLUNG	56
6	MATERIAL UND METHODEN	58
6.1	Versuche mit dem Spiralschwad	58
6.1.1	Versuchsaufbau	58
6.1.2	Spiralschwad	59
6.1.3	Gazerahmen	59
6.1.4	Bestimmung des Trocknungsverlaufes	60
6.1.5	Qualitätsmessungen	62
6.1.6	Messung der Witterung	62
6.2	Versuche zur Vorbehandlung mit Mikrowellen und Hochfrequenz	63
6.2.1	Versuchsaufbau	63
6.2.2	Behandlung in stationärer Mikrowellenanlage	64
6.2.3	Behandlung in der Hochfrequenzanlage	65
6.2.4	Behandlung im Mikrowellentunnel	65
6.2.5	Trocknung unter Laborbedingungen	66
6.2.6	Qualitätsbestimmung	66
6.3	Versuche zur Volumenberechnung am Horizontalsilo	67

6.3.1	**Vermessung mit dem Theodoliten**	**67**
6.3.2	**Vermessung mit dem Messband**	**69**
7	**ERGEBNISSE**	**71**
7.1	**Versuche mit dem Spiralschwad**	**71**
7.1.1	**Erster Versuch**	**71**
7.1.1.1	**Witterungsverlauf**	**71**
7.1.1.2	**Trocknungsverlauf**	**73**
7.1.2	**Zweiter Versuch**	**74**
7.1.2.1	**Witterungsverlauf**	**74**
7.1.2.2	**Trocknungsverlauf**	**75**
7.1.3	**Dritter Versuch**	**76**
7.1.3.1	**Witterungsverlauf**	**76**
7.1.3.2	**Trocknungsverlauf**	**77**
7.1.3.3	**Qualitätsbestimmung**	**77**
7.1.4	**Vierter Versuch**	**78**
7.1.4.1	**Witterungsverlauf**	**78**
7.1.4.2	**Trocknungsverlauf**	**80**
7.1.4.3	**Qualitätsbestimmung**	**81**
7.2	**Versuche mit Mikrowellen und Hochfrequenz**	**82**
7.2.1	**Behandlung in stationärer Mikrowellenanlage**	**82**
7.2.2	**Behandlung in der Hochfrequenzanlage**	**82**
7.2.3	**Behandlung im Mikrowellentunnel**	**83**
7.2.4	**Trocknung unter Laborbedingungen**	**83**
7.2.5	**Qualitätsbestimmung**	**86**
7.3	**Versuche zur Volumenbestimmung**	**87**
7.3.1	**Erstes Silo**	**87**
7.3.2	**Zweites Silo**	**88**
7.3.3	**Drittes Silo**	**89**
8	**DISKUSSION**	**90**
8.1	**Versuche mit dem Spiralschwad**	**90**

8.2	**Versuche mit Mikrowellen und Hochfrequenz**	**92**
8.3	**Versuche zur Volumenberechnung am Silo**	**93**
9	**VORSCHLÄGE ZUR GEWÄHRLEISTUNG DER PROZESS- UND PRODUKTQUALITÄT**	**94**
9.1	**Bewertung des Iststandes**	**94**
9.1.1	**Mähen**	**94**
9.1.2	**Feldliegezeit**	**95**
9.1.3	**Bergen**	**95**
9.1.3.1	**Heu**	**95**
9.1.3.2	**Grassilage**	**96**
9.1.4	**Einlagern**	**96**
9.1.4.1	**Heu**	**96**
9.1.4.2	**Grassilage**	**96**
9.2	**Operative Vorschläge**	**97**
9.2.1	**Mähen**	**97**
9.2.2	**Feldliegezeit**	**97**
9.2.3	**Bergen**	**97**
9.2.3.1	**Heu**	**97**
9.2.3.2	**Grassilage**	**97**
9.2.4	**Einlagern**	**98**
9.2.4.1	**Heu**	**98**
9.2.4.2	**Grassilage**	**98**
9.3	**Nachhaltige Vorschläge**	**99**
10	**ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK**	**100**
11	**RUSSISCHE ZUSAMMENFASSUNG**	**102**
LITERATURVERZEICHNIS		**104**
VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN UND SYMBOLE		**114**
VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN		**115**
VERZEICHNIS DER TABELLEN		**118**
ANHANG		**120**

1 EINLEITUNG

Es sind mittlerweile 15 Jahre nach dem Zerfall der Sowjetunion vergangen. Es war der Zusammenbruch nicht nur der Politik, sondern auch der gesamten Wirtschaft. Die Landwirtschaft blieb auch nicht verschont, erwies sich aber noch als relativ stabil.

Der Transformationsprozess, der als Umwandlung von einer Plan- in eine Marktwirtschaft verstanden wird, dauert immer noch an (HAHN, 2002). Vor allem veraltete Technik und finanzielle Notlage werden als Hauptprobleme der Landwirtschaft in den GUS- Ländern genannt (HAHN, 2004; JAKSH et al., 1996). Die Produktion der landwirtschaftlichen Erzeugnisse ist zurückgegangen, nicht zuletzt durch die geschwächte Wettbewerbsfähigkeit der einheimischen Betriebe (NIKONOW & SCHULZE, 2004; RAMANOVICH & LAJTOS, 2004).

Das Übereinkommen über die Einrichtung der Gemeinschaft der Unabhängigen Staaten (GUS) wurde am 08.12.1991 in Minsk abgeschlossen. Die GUS besteht aus 12 Staaten: Armenien, Aserbaidschan, Georgien, Kasachstan, Kirgisistan, Moldawien, Russland, Tadschikistan, Ukraine, Usbekistan, Weißrussland. Im gegebenen Zusammenhang sind Russland, Ukraine, Weißrussland und Kasachstan wegen der Bodenressourcen und des großen Agrarpotentials hervorzuheben.

Aufgrund der Komplexität des Themas werden in dieser Arbeit nur zwei wirtschaftlich bedeutsame Regionen ausgewählt, die sich auch als Beispielsregionen eignen. Die Auswahl der Regionen wurde nicht zuletzt durch den Zugang zu den Daten beeinflusst.

Weißrussland war noch zu Sowjetzeiten eine der bedeutsamsten Regionen für Futteranbau und Tierproduktion. Der Region wird in dieser Arbeit als Beispielregion für den europäischen Teil der GUS ausgewählt.

Westsibirien ist neben Südrussland eine der bedeutendsten landwirtschaftlichen Regionen Russlands. Das Novosibirsker Gebiet spielt dabei nicht nur auf der sozial-politischen, sondern auch auf der industriellen und landwirtschaftlichen Ebene eine große Rolle. Das Novosibirsker Gebiet wird als Beispielregion für den asiatischen Teil der GUS ausgewählt.

Nach der Einschätzung der weißrussischen Regierung wird der Bedarf an Halmgutfutter in der Republik nur zu 75% gedeckt (WASKO, 2004). Dabei wurden in den letzten 10 Jahren nur 25-30% des Halmgutes der Qualitätsklasse 1 zugesprochen (KUKRESCH & KADYROV, 2005).

Halmgutfutter ist eine der wichtigsten Futterarten während der Winterperiode für Rinderbestände, Schafe und Pferde. Schwerwiegende qualitätsrelevante Nachteile, wie geringer witterungsbedingter Zeitfonds, hohe Verluste, eingeschränkte Mechanisierungsmöglichkeiten sowie insgesamt hohe Nährstoffkosten, waren immer wieder kritische Ansatzpunkte für die Suche nach neuen Verfahren der Halmgutaufbereitung, -lagerung und –fütterung.

Die Hauptprobleme der weißrussischen Nutztierhaltung sind die sehr hohen spezifischen Futterausgaben, die deutlich über die zootechnischen Normen hinausgehen. So sind für 1 kg Mastzunahme bei Rindern in Weißrussland im Jahre 2003 durchschnittlich 13,8 Futtereinheiten verbraucht worden. Der Normativwert liegt bei 7,5 Futtereinheiten. Für 1 kg Milch sind 1,4 Futtereinheiten verbraucht worden, bei einem Normativwert von 1,1 Futtereinheiten. Insgesamt sind die Kosten für die Futteraufbereitung in der gesamten weisrussischen Landwirtschaft fast doppelt so hoch wie die Kosten für Mineraldüngung, Pflanzenschutzmittel sowie Ölprodukten und Gas zusammen (NIKONTSCHIK, 1966).

Im Jahre 2001 wurden in Russland ca. 18 Mio. Tonnen Heu und ca. 43 Mio. Tonnen Grassilage produziert. Davon wurden in Novosibirsker Gebiet ca. 0,82 Mio. Tonnen Heu und ca. 1,43 Mio. Tonnen Grassilage produziert (TICHONKIN, 2003).

Tab. 1: Gesamtertrag der Halmgutfutterernte im Novosibirsker Gebiet in den Jahren 1998-2001 (TICHONKIN, 2003)

Futterart	Gesamtertrag, Mio. Tonnen			
	1998	1999	2000	2001
Heu	0,75	0,81	1,09	0,82
Grassilage	0,41	0,56	0,97	1,43

Der Übergang der landwirtschaftlichen Produktion zur Marktwirtschaft und die damit verbundenen Kosten für die Intensivierung zwingen zur Umstellung der Praxis, sowie zum Setzen von neuen Prioritäten. In den Vordergrund kommen nicht die Quantitäten, sondern die Wirtschaftlichkeit und Qualität der Produktion. Diese Anforderungen sind insbesondere aktuell für die Futterbereitstellung.

Die Qualität des Halmfutters ist im Wesentlichen von der botanischer Zusammensetzung, den Erntefristen, den angewendeten Verfahren sowie der Trocknungsdauer und der Dauer und den Bedingungen der Lagerung abhängig (ANDREEW, 1984).

Die Verfahren der Futterbereitstellung in Russland und Weißrussland sind immer noch durch zum Teil extrem hohe Substanz- und Wertigkeitsverluste gekennzeichnet (POPOV, 1998).

Für die stark witterungsbeeinflussten Verfahren der Heu- und Welkgutbereitung werden Verlustraten von 30 bis 60% genannt (BLAGOWESCHENSKIJ, 1990). Sie werden durch Bröckelverluste sowie durch biologische Prozesse in den Pflanzen nach der Mahd hervorgerufen (IVANOV et al., 1996). Die Verluste werden vor allem durch unangepasste Verfahren verursacht (BLYNSKI, 1991).

Die Verluste während der Halmgutaufbereitung führen nicht zuletzt zur Kostensteigerung sowohl des Futters als auch der Nutztiererzeugnisse. Es zwingt auch dazu, die Anbauflächen für Futterpflanzen zur erweitern, was sich bei den anderen Kulturen negativ widerspiegelt.

2 ZIELSETZUNG

Aufgrund der Komplexität des Themas wird die Problembetrachtung auf Weißrussland und das Novosibirsker Gebiet eingegrenzt.

Mit den steigenden Anforderungen an die Landwirtschaft der beiden ausgewählten Regionen ist es wichtig sich mehr der Produkt- und Prozessqualität zu widmen. Halmgut ist ein wichtiger Bestandteil der Futterrationen in der Tierproduktion. Die Verbesserung der Produkt- und Prozessqualität der Halmgutaufbereitung kann wesentlich dazu beitragen die landwirtschaftlichen Betriebe der GUS wettbewerbsfähiger zu machen.

Aus der Analyse des Iststandes in den betreffenden Regionen sollen Vorschläge zur Verbesserung der Qualität von Produkt und Prozess hervorgehen. Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen der Verfahrensoptimierung zur Ernte, Konservierung und Logistik sowie durch den Aufbau eines praktikablen Qualitätssicherungssystems in den betreffenden Transformationsländern soll zur Stabilisierung der Produkt- und Prozessqualität und damit zur anforderungsgerechten Versorgung von Wiederkäuerbeständen beigetragen werden. Günstige Auswirkungen auf Menge und Güte der heimisch erzeugten Veredlungsprodukte der Milchviehhaltung sind zu erwarten. Eine Übertragung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen auf andere Transformationsländer Mittel- und Osteuropas erscheint bei Vorliegen bestimmter Voraussetzungen möglich.

Mit den in dieser Arbeit vorgeschlagenen Lösungen und Verfahren kann ein verbessertes Qualitätsmanagement bei der Halmfutterbereitstellung entwickelt werden.

Das Forschungsvorhaben verfolgt die Absicht, für ausgewählte Verfahren der Halmfutterernte die Kategorien Produkt- und Prozessqualität zu definieren und durch die Analyse und Bewertung der verfahrenstechnischen Maßnamen zur Optimierung beizutragen.

Dabei ist eine durchgängige Betrachtung von der Mahd bis zum ersten Lagerungsort des Konservates vorgesehen. Die Schwerpunkte liegen in den Prozessabschnitten Feuchteabführung, Silierung und Qualitätsanalyse.

3 PRODUKT- UND PROZESSQUALITÄT

3.1 Definition

Der Begriff Qualität war schon im alten Rom bekannt. Mit dem lateinischen „qualitas“ wird die Beschaffenheit eines Gegenstandes ausgedrückt (GRAF, 2003).

Der Brockhaus definiert die Qualität als „die Güte, Beschaffenheit, Wertstufe, besonders im Gegensatz zur Quantität“. Nach DIN 8402 wird die Qualität definiert als „Gesamtheit von Merkmalen und Merkmalswerten einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, um festgelegte vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“.

So gesehen ist die Qualität die anhand von vorgegebenen Qualitätsnormen bzw. Standards, Zielvereinbarungen, handlungs- oder ergebnisorientierten Merkmalen gemessene Eigenschaft einer Einheit eines Produktes, eines Prozesses oder einer gesamten Organisation bzw. Organisationseinheit.

Die Qualität kann aus fünf verschiedenen Sichtweisen betrachtet werden: aus transzendenten, produktbezogenen, anwenderbezogenen, prozessbezogenen und Preis- Leistung- bezogenen (GARVIN, 1984). Demnach ist die Qualität absolut und universell erkennbar, präzise und messbar zu bestimmen. Die Unterschiede werden dabei durch bestimmte Eigenschaften und Bestandteile eines Produktes quantitativ widergespiegelt. Jede Abweichung führt zu einer Verminderung der Qualität. Hervorragende Qualität entsteht durch eine gut ausgeführte Arbeit, deren Ergebnis die Anforderung zuverlässig und sicher erfüllt.

Individuelle Konsumenten werden immer unterschiedliche Wünsche und Bedürfnisse haben. Die Qualität ist vor allem das Einhalten von Spezifikationen. Qualität kann auch durch Kosten und Preise ausgedrückt werden. Die Qualität muss eine bestimmte Leistung zu einem akzeptablen Preis erfüllen können.

Zu unterscheiden sind dabei Produkt- und Prozessqualität. Die Produktqualität wird durch die Eigenschaften bestimmt, die am Erzeugnis bzw. Endprodukt nachgewiesen und kontrolliert werden können. Die Prozessqualität wird durch die Produktionsart bzw. angewendeten Verfahren bestimmt. Prozessqualität wird auch von anderen Parametern wie rechtlichen Verordnungen, Sozialstandards und Eigenkontrolle beeinflusst. Sie bezeichnet auch das Verhältnis zum Umweltschutz und zur Nachhaltigkeit. Solche Eigenschaften können nicht direkt an dem Endprodukt nachgewiesen werden. Sie können jedoch dokumentiert und kontrolliert werden.

So kann man die Produktqualität durch vorgegebene Merkmale charakterisieren. Die Prozessqualität ist ein Werkzeug um die Produktqualität effektiv und effizient zu erreichen.

Die Begriffe Effektivität und Effizienz sind unmittelbar mit dem Begriff Qualität verbunden. Beide Begriffe werden in Zusammenhang mit Evaluation und Qualitätssicherung verwendet.

So leitet sich der Begriff Effektivität von Effekt (lat.) ab, was Wirkung bzw. Leistung bedeutet. Demnach misst die Effektivität den Zielrichtungsgrad einer im Vorfeld festgelegten Vereinbarung (ANGER, 1992).

Die Effizienz wird als die Wirksamkeit bzw. das Verhältnis der eingesetzten Mittel zum erreichten Ziel beschrieben (MERBECKS, 1997).

Der Begriff Effektivität ist eher der Effizienz unterzuordnen. Denn Effizienz bedeutet auch Effektivität unter Berücksichtigung der Kosten und kann somit als Maß der Wirtschaftlichkeit verwendet werden.

Produkt- und Prozessqualität sind die Bestandteile eines Qualitätsmanagementsystems. Zum Qualitätsmanagement gehören alle Maßnahmen, die zur Gewährleistung einer definierten Qualität herangezogen werden. Qualitätsmanagement umfasst alle Prozesse entlang bzw. innerhalb der Wertschöpfungskette. Die Prozesse tragen zur Planung, Sicherung und Verbesserung der qualitätsbestimmenden Bestandteile des Futters und zur Optimierung von Produktionsprozessen bei.

Es muss zuerst festgestellt werden, welche Leistungen für wen in welcher Weise erbracht werden sollen. Außerdem ist es zu bestimmen, was dafür notwendig ist und welche Ergebnisse zu erwarten sind (GRAF, 2003).

3.2 Produkt- und Prozessqualität in der Halmguternte

Um gute Qualität in der Halmguternte zu gewährleisten, sind hochwertige Pflanzenbestände, ihre Ernte im optimalen Entwicklungsstadium und sachgerechte Aufbereitung notwendig. Große Reserven gibt es bei der möglichst weitgehenden Erhaltung der Futterqualität von der Ernte bis zur Verfütterung.

Es sind hauptsächlich zwei Aufbereitungsverfahren der Halmfutter bekannt, die Heu- und Grassilagebereitung. Heu wird im Zuge der Konservierung durch Wasserentzug bereitgestellt. Grassilage wird als Produkt der Konservierung durch biologische Säurebildung (Gärung bzw. Silierung) bezeichnet.

Im Falle der Halmguternte gelten die Nutztiere mit ihren spezifischen Ansprüchen als Kunden, für die ein Qualitätsfutter bereitgestellt werden soll. Somit stehen tierphysiologische Anforderungen im Vordergrund der Futterqualität.

Die Qualität des Futters kann durch folgende Eigenschaften bzw. Bewertungskriterien beschrieben werden (WEIßBACH, 2001b):

- die Energiekonzentration,
- den Gehalt an spezifischen Nährstoffen sowie
- den Komplex von verzehrbestimmenden und fütterungshygienischen Merkmalen.

Einige der Bewertungskriterien der Halmfutterqualität sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2: Anforderungen an die Halmfutterqualität
(JÄNICKE, 2003a, 2003b; NUßBAUM, 2005)

Kriterium	Einheit	Grassilage	Heu
TS- Gehalt	%	35-40	>86
Netto- Energie- Laktation (NEL)	MJ/kg TM	> 6,0	5,5- 5,8
Rohprotein	% i. TM	14- 16	12- 14
Rohfaser	% i. TM	22 24	24- 26
Rohasche	% i. TM	6- 8	6- 8
Verdaulichkeit der organischen Substanz	%	70- 75	65- 70
Raumgewicht	kg TM/m^3	220- 250	-

Zu den verzehrsbestimmenden und hygienischen Merkmalen gehören Gärqualität, physikalische Form, Gehalt der Trockensubstanz, Verschmutzungsgrad und spezifische Geruchs- und Geschmacksstoffe. Für die Gärqualität der Grassilage sind unter anderem pH- Wert, Butter-, Essig- und Propionsäuregehalt und Verdichtung wichtig (Tab. 3).

Tab. 3: Anforderungen an Gärqualität der Grassilagen (NUßBAUM, 2005)

Kriterium	Einheit	Angaben
pH- Wert	-	je nach TS- Gehalt 4,2 bis 4,8
Milchsäure	% i. TM	Möglichst hoch, keine Vorgaben
Buttersäure	% i. TM	Buttersäurefrei, max. 0,3
Essigsäure	% i. TM	2,0 – 3,5
Propionsäure	% i. TM	keine Vorgaben

Qualitätssicherung bei der Halmgutaufbereitung bedeutet vor allem die Minderung der Verluste aller Art. In Tabelle 4 sind mögliche Verlustquellen beschrieben.

Tab. 4: Verlustquelle bei der Herstellung und dem Einsatz von Grassilage und Heu (GINDL, 2002; JÄNICKE, 2003a, 2003b; KIALBEKOV, 2001)

Ursache	Bewertung	Verlustspanne in % der Nettoenergie
Restatmung	unvermeidbar	1- 2
Bröckelverluste	unvermeidbar	bis zu 50%
Auswaschverluste	vermeidbar	bis zu 30 %
Vergärung	unvermeidbar	4- 10
Sickersaft	vermeidbar	0- 12
Fehlgärung	vermeidbar	0- 10
Nachgärung	vermeidbar	0- 15
Fehler bei der Fütterung	vermeidbar	0- 15

So sind zwar die Verluste durch die Restatmung und Bröckelverluste unvermeidbar, sie können aber durch die verbesserte Verfahrensführung und Witterungsanpassung auf ein Minimum reduziert werden. Die Auswaschverluste können durch Reduzierung des Witterungsrisikos vermieden werden. Diese Verluste können vor allem durch die Verkürzung der Feldliegephase bzw. der Beschleunigung der Trocknung gemindert werden.

Vergärungsverluste, Sickersaft, Fehlgärung und Nachgärung können durch den richtigen TS-Gehalt, Schnittlänge, Verdichtungsleistung, gute Abdeckung und richtige Bauweise der Silos weitgehend vermieden werden.

Bei der Qualitätssicherung der Grassilage spielt der Begriff „Langzeitstabilität“ eine große Rolle. Die Langzeitstabilität der Grassilage wird durch verschiedene Parameter wie TS- Gehalt, Schnittlänge, Verdichtung und Vorschub bei der Entnahme beeinflusst. Sind TS- Gehalt und Schnittlänge gut aufeinander abgestimmt, liegen gute Voraussetzungen für die Verdichtung vor (WAGNER et al., 2005a, 2005b).

Verbesserte Produkt- bzw. Futterqualität ist nur durch verbesserte Prozessqualität zu erreichen. So sind für jedes einzelne Verfahrensglied bestimmte Parameter zu erfüllen, die sich im Endeffekt in der Qualität des Endproduktes widerspiegeln.

Die Qualität des Futters kann in der ersten Linie durch die Verbesserung des Bestandes erreicht werden. Denn besser als das Ausgangsmaterial kann das Futter später nicht werden.
Beim Mähen sind Parameter wie Schnitthöhe, Schnittzeitpunkt und Schlagkraft zu berücksichtigen. Mit der richtigen Schnitthöhe wird eine Verminderung der Verschmutzung des Futters erreicht. Dadurch werden spätere Misserfolge im Gärverlauf vermieden. Richtige Schnitthöhe und -zeitpunkt nehmen vor allem auf den Ertrag und die Zusammensetzung der Nährstoffe des Futters Einfluss. Hohe Schlagkraft beim Mähen gewährleistet möglichst gleichmäßige Trocknung des Halmgutes und nimmt damit Einfluss auf die Gestaltung der späteren Verfahrenskette.
Anwelken soll so schnell wie möglich ablaufen, um die negative Einflüsse der Witterung zur minimieren. Durch rasches Anwelken können Bröckel-, Atmungs- und Auswaschverluste minimiert werden. Dabei soll das Gut so viel, wie notwendig und so wenig, wie möglich mechanisch bearbeitet werden.
Für das Bergen ist wichtig, das Futter so schnell wie möglich zum Lagerungs- bzw. Silierungsort zu bringen. Es ist vor allem sehr wichtig, dass die Transportleistungen auf die Leistungen der Bergungsmaschine (z.B. Häcksler bei Grassilageerntekette) abgestimmt werden, um unnötige Standzeiten zu vermeiden.
Um eine gute Einsilierung zu gewährleisten, sollen die Leistungen der Häcksler bzw. Ladewagen auf die Leistung der Verdichtungsfahrzeuge abgestimmt werden. Gute Verdichtung führt vor allem zur Minimierung bzw. Vermeidung der Fehl- und Nachgärung.
Das Silo muss fachgerecht und luftdicht abgedeckt werden. Nur so lässt sich die Nacherwärmung und Bildung der Buttersäure weitgehend vermeiden.
Der Gärungsverlauf ist sehr wichtig für die Silagequalität. Er ist gleichermaßen, wie der Energie- und Nährstoffgehalt, von Bedeutung für die Höhe der Futteraufnahme sowie für die Milchqualität (KAISER, 2004).
Bei Silageentnahme bzw. Verfütterung ist die Lufteinwirkung zu minimieren. Das gewährleistet die aerobe Stabilität der Silage und beugt der Entstehung von Toxinen und Krankheitserregern vor.
Nur die qualitative und hochwertige Ausführung aller Prozesse bzw. Glieder der Verfahrenskette kann eine hohe Produktqualität des Heus oder der Grassilage gewährleisten.

4 ERKENNTNISSTAND

4.1 Standortbeschreibung

4.1.1 Weißrussland

Weißrussland, auch Republik Belarus genannt, liegt in der Osteuropäischen Ebene und wird von Hügelketten der eiszeitlichen Endmoränen (Weißrussischer Höhenrücken) und breiten, naturbelassenen Flüssen durchzogen. Etwa 70% des Landes entwässern nach Süden zum Prypjat und zum Dnjepr, der weiter durch die Ukraine ins Schwarze Meer fließt. Weißrussland grenzt an Lettland, Litauen, Polen, Ukraine und Russland. Es umfasst 207.600 km^2 und hat 9,7 Mio. Einwohner. Die Hauptstadt ist Minsk (SADOWSKI et al., 2005; TIMMERMANN, 2005).

Abb. 1: Weißrussland. Quelle (MEYER, 2005)

Weißrussland besitzt ein ausgeprägtes kontinentales Klima mit kalten, schneereichen Wintern und trockenen Sommern. Die durchschnittlichen Temperaturen betragen im Januar -7°C und im Juli 17,9°C. Die durchschnittliche Niederschlagmenge beträgt 641 mm. Etwa ein Drittel davon fällt in der Vegetationsperiode (JAKSH et al., 1996).

Die durchschnittlichen Werte für Temperaturen, Luftfeuchtigkeit und Niederschlag während der Futterernte in Weißrussland sind in Tab. 5 dargestellt.

Tab. 5: Klima in Weißrussland während der Futterernte (ANONYMUS, 1989)

	durchschnittliche Temperatur, C°	Niederschlagsmenge, mm	rel. Luftfeuchtigkeit, %
Mai	11,6-14,6	50-60	68-72
Juni	15-17,5	70-75	76-72
Juli	17-19	65-95	70-76
August	15,5-18	60-85	Bis 70
September	10,5-13,5	40-65	78-84
Oktober	5-7,5	45-55	82-86

Die Böden Weißrusslands sind in Tab.6 dargestellt.

Tab.6: Hauptbodenarten in Weißrussland (SMEJAN & BOGDEVITSCH, 1996)

Bodenart	Anteil, %
Ton- und Lehmböden	37,6
lehmige Sandböden	42,5
Sandböden	13,6
Torfböden	6,3

In der Anbaustruktur dominiert Getreide mit 47% Anteil, es folgen Futterpflanzen mit 37%, Kartoffeln/Gemüse mit 13% und technische Kulturen mit 3%.

Die Futterproduktion ist in Weißrussland die dominierende Richtung der Landwirtschaft. Für die Futterproduktion werden etwa 75% der LF in Anspruch genommen. Bis zur 57% der LF werden für der Anbau der Rau- und Saftfutterproduktion genutzt (Tab.7**)**.

Tab.7: Anbaustruktur der Hauptfutterflächen (JAKSH et al., 1996)

	Fläche (1000 ha)
Wiesen	1.248
Weiden	1.792
Mehrjährige Futterpflanzen	1.354
Übriges Feldfutter	904

4.1.2 Novosibirsker Gebiet

Die Novosibirsker Gebiet (russ. Novosibirskaya Oblast) liegt im Süden des Westsibirischen Tieflandes zwischen den Flüssen Irtysch und Ob. Es ist meistens flach und steigt nur im Südosten etwas an. Im Gebiet liegen zahlreiche Seen, der größte ist der Tschanysee. Das Gebiet grenzt an Kasachstan, Altai Kraj und die Gebiete Kemerovo, Omsk und Tomsk. Mit einer Flächengröße von 178.200 km^2 und 2,7 Mio. Einwohner ist es relativ dünn besiedelt. Die Hauptstadt ist Novosibirsk (SPAAR & SCHUHMANN, 2000; WEIN, 1999).

Abb. 2: Novosibirsker Gebiet

In Novosibirsker Gebiet herrscht stark kontinentales Schneewaldklima vor. Das bedeutet sehr lange kalte Winter und kurze heiße Sommer. Die Übergangsperioden sind sehr kurz. Im Frühling steigen die Temperaturen sehr schnell. Die Spanne zwischen den Extremtemperaturen beträgt ca. 93°C. Die Jahresmitteltemperatur liegt für die Auswertungsperiode 1966-1986 bei 0,2°C (PRONIN, 2003). Der Niederschlag und die Temperaturwerte (Mittelwerte) während der Vegetationsperiode sind in Tab.8 dargestellt.

Tab.8: Witterung Novosibirsk (PRONIN, 2003)

Monat	Niederschlag (mm)	Temperatur (°C)
	Mittelwert	Mittelwert
Mai	32,0	13,6
Juni	64,0	16,9
Juli	55,8	19,2
August	68,6	17,6
September	33,6	9,8

Die Dauer der frostfreien Periode beträgt ca. 120 Tage. Der Frühfrost kommt schon in der zweiten oder dritten Septemberdekade. Die Dauer der Schneeperiode beträgt ca. 155 Tage. Die meisten Niederschläge fallen im Sommer (Tab.9).

Tab.9: Extremwerte und vegetationsbezogene Klimaangaben Novosibirsk (KOSCHYNSKIJ, 1979)

Klimaelemente	Maßeinheiten
Sonnenscheindauer im Jahr	2077 h
Sonnenscheinlose Tage	67 d
Mittlere Jahrestemperatur	0,2 °C
Absolute maximale Lufttemperatur	40 °C
Absolute minimale Lufttemperatur	-53 °C
Dauer der frostfreien Periode	120 d
Dauer der Periode mit der mittleren Tagestemperatur	
> 5 °C	158 d
> 10 °C	122 d
> 15 °C	77 d
Temperatursumme >10 °C	1920 K
Niederschlagsumme	
Warme Periode (April-Oktober)	330 mm
Kalte Periode (November- März)	95 mm
Vegetationsperiode	205 mm
Jahr	425 mm

Die Bodentypen des Novosibirsker Gebiets sind in Tab.10 dargestellt. Es sind vorwiegend Schwarzerden vertreten (PRONIN, 2003; SMOLENTSEVA, 2002).

Tab.10: Böden der Ackerflächen in Westsibirien (SMOLENTSEVA, 2002)

Bodenart	Anteil, %
Schwarzerden	56,0
Graue Waldböden	13,6
Wiesenschwarzerden	9,0
Schwarzerdesolonetzboden	6,1
Kastanoseme	5,6
Wiesen- und Waldboden der Waldsteppen- und Steppenzone	3,1
Rasenpodsolboden	2,4
Rest	4,2

Im Novosibirsker Gebiet werden vor allem Sommergetreide, Zuckerrüben, Sonnenblumen, Silomais, Lein, Kartoffeln und Gemüse angebaut. Milchproduktion und Imkerei sind stark entwickelt (JAKSH et al., 1996). Die Futterproduktion ist neben dem Getreideanbau die zweitwichtigste Richtung der Landwirtschaft.

4.1.3 Deutschland

Die Daten zu landwirtschaftlichen Standort Deutschaland sind in folgenden Literaturquellen zu finden:

- Klima (ROCZNIK, 1995)
- Bodennutzung (ANONYMUS, 2005d)
- Allgemeine Daten zur Landwirtschaft in Deutschland (ANONYMUS, 2005c; PASCHER et al., 2005)

4.2 Halmguternte

4.2.1 Übersicht und Definition zu den Verfahren

Unter der Bezeichnung halm- und stengelförmiges Gut (Halmgut) sind Bestandteile von Pflanzen, im Besonderen die Sproßachsen, zusammengefasst (CLAUß, 2002). Zum Halmgut zählen unter anderem Weizen, Gerste, Mais, Luzerne, sowie Knaulgras und Heubestände wie Gänseblümchen, Taubnessel und Klee, wobei bereits auf Halmgut für Futterzwecke eingeschränkt wird.

Halmguternte ist das Gewinnen und Sammeln von Halmgut zur Verfütterung an Tiere. Nach der Art der Verwertung bzw. des Konservierungsverfahrens sind Stroh, Heu sowie Gras- und Maissilage bekannt. In dieser Arbeit werden nur Heu und Grassilage behandelt, um den witterungsbeeinflussten, qualitätsrelevanten Stoffwandlungsprozessen während der Ernte die gebührende Aufmerksamkeit widmen zu können.

Nach der Art der Mechanisierung wird die Halmguternte in Ballenkette, Langgutkette und Häckselkette unterteilt (Abb. 3). Bei der Mechanisierung der Halmguternte wird nach den Verfahrensabschnitten Mahd, Halmgutwerbung und Halmgutbergung unterschieden.

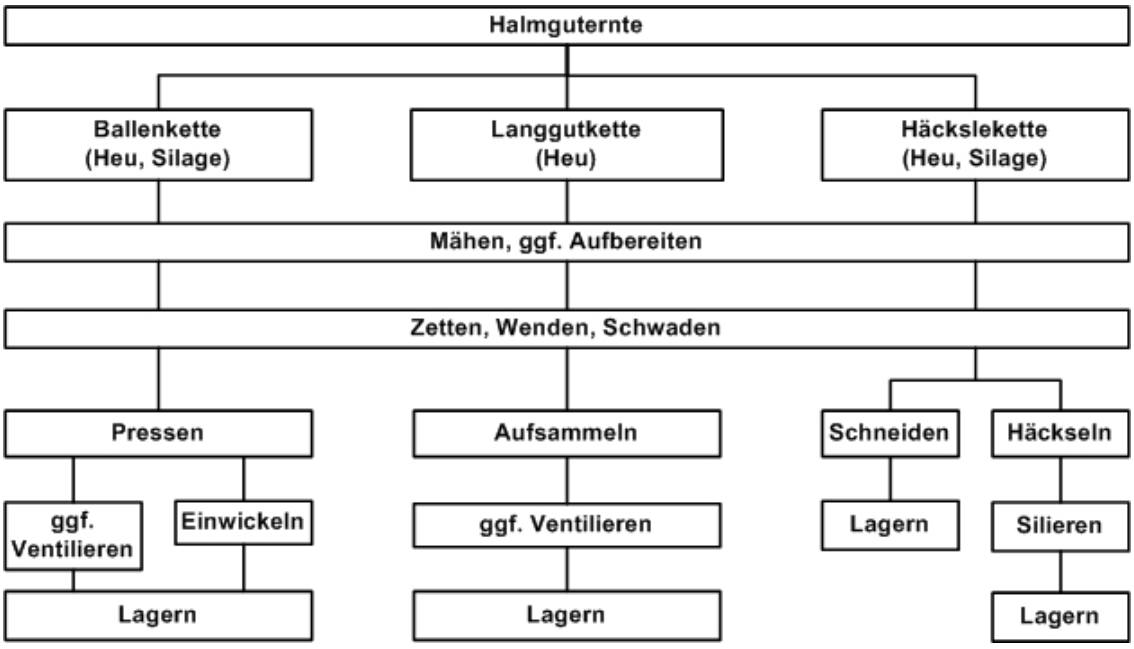


Abb. 3: Halmguternte

Bei der Mechanisierung kann ferner zwischen Eigenmechanisierung und Überbetrieblicher Maschinenverwendung (ÜMV) unterschieden werden. Aufgrund ihrer zunehmenden Bedeutung bei der Futterernte wird die ÜVM im nächsten Kapitel ausführlicher behandelt.

Als Heu bezeichnet man eine auf mindestens 80% Trockensubstanz (TS) getrocknete Futterpflanze, wie Gras, Leguminosen oder Feldfutter. Nach der Trocknungsart wird zwischen Boden- und Belüftungsheu unterschieden. Heuerntekette ist in Abb. 4 dargestellt.

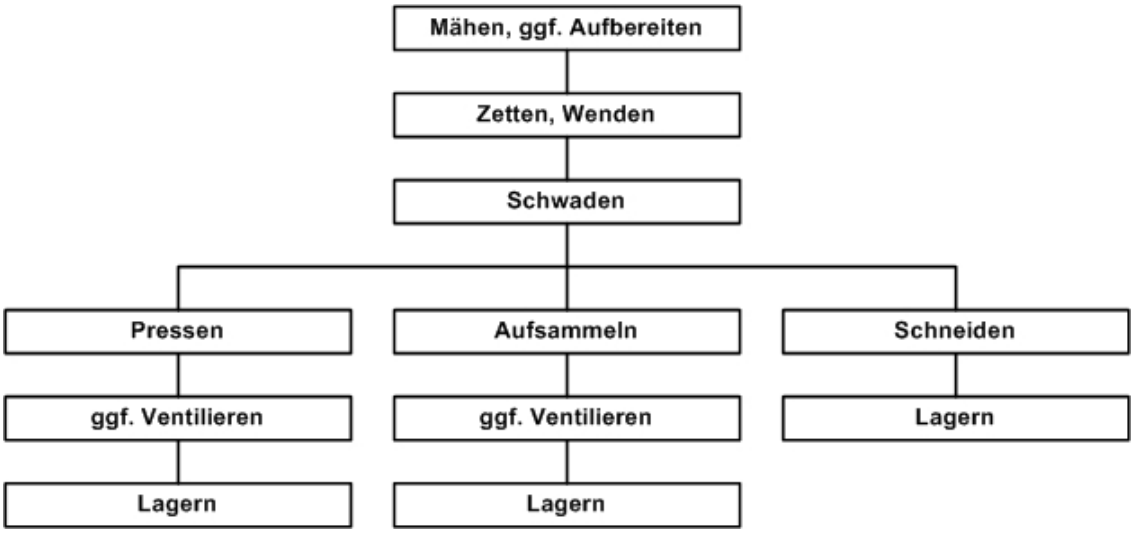


Abb. 4: Heuernte

Grassilage ist ein unter Luftabschluss durch Milchsäuregärung aus Gras gewonnenes Futter. Grassilageerntekette ist in Abb. 5 dargestellt.

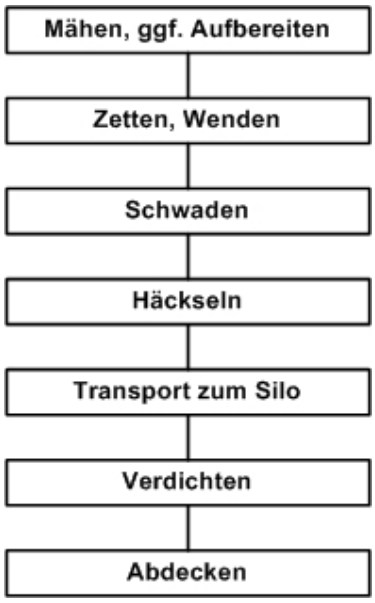


Abb. 5 :Grassilageernte

Aufgrund des größeren Witterungsrisikos und der höheren Aufwendungen je Mengeneinheit wird immer weniger Heu produziert. Die Grassilage dominiert. In bestimmten Bereichen wie z.B. Bergkäseregionen oder Pferdefütterung kann auf das Heu nicht ganz verzichtet werden. In Tab. 11 sind Vor- und Nachteile der Heubereitung gegenüber dem Silierverfahren dargestellt.

Tab.11: Heubereitung im Vergleich zum Silierverfahren
(erweitert, nach GINDL, 2002)

Vorteile	Nachteile
Das gut strukturierte Futter unterstützt den Speichelfluss und die Pansenmotorik der Tiere	Höheres Wetterrisiko
Positive Beeinflussung des Milchfettgehaltes	Geringere Verfahrenskapazität
Auch mit bester Silage gefütterte Tiere nehmen noch zusätzlich Heu auf	Mögliche Qualitätsverluste durch einen natürlich bedingten späteren Schnittzeitpunkt
Geringere Verschmutzungsgefahr bei offener Grasnarbe	Höhere Anlage- und laufende Betriebskosten
Verwendung bestehender Einrichtungen und Nutzung vorhandener Bergeräume	

4.2.2 Organisationsformen der Halmguternte

4.2.2.1 Universal- und Spezialmaschinen

Im Zusammenhang mit der Mechanisierung werden Maschinen grundsätzlich in vielseitig einsetzbare Universalmaschinen und speziell für einen bestimmten Arbeitsgang und/oder eine Kulturart konzipierte Spezialmaschinen unterteilt.

Generell gilt, dass die Spezialmaschinen nur für wenige oder gar einen einzigen Arbeitsgang eingesetzt werden. Eigenmechanisierung lohnt sich dabei erst ab einem größeren Umfang. Ab welchem Umfang sich eine eigene Spezialmaschine gegenüber der vertraglich in Anspruch genommenen Maschinenleistung rechnet, hängt auch vom Investitionsumfang ab.

Andererseits ist die Nutzung der Spezialmaschine in Form von Eigenmechanisierung durchaus interessant, wenn es sich dabei um eine preisgünstige Maschine handelt. Ist die Spezialmaschine dagegen teuer, so ist die vertragliche Nutzung von Maschinendienstleistungen in Erwägung zu ziehen. Typische Beispiele für Spezialmaschinen sind Feldhäcksler und Schwader. Fast die gesamte Halmguterntekette ist mit Spezialmaschinen ausgestattet. Inzwischen wird ihr Einsatzumfang jedoch häufig dadurch erweitert, dass sie in Verfahren der Landschaftspflege eingesetzt werden (PROCHNOW, 2000).

Die Universalmaschinen werden meistens für Eigenmechanisierung genutzt, es sei denn, dass die Anschaffung erhebliche Kosten mit sich bringt. Dann könnten auch hier Maschinendienstleistungen zum Einsatz kommen. Typisches Beispiel für Universalmaschinen sind Traktoren in mittleren Zugkraftklassen. Dagegen können schwere Zugtraktoren für die Grundbodenbearbeitung wiederum eher zu den Spezialmaschinen gezählt werden.

4.2.2.2 Eigenmechanisierung und überbetriebliche Maschinenverwendung

Wirtschaftliche Mechanisierung setzt voraus, dass ein gewisser Mindestumfang an zu bearbeitender Fläche vorhanden ist. Dennoch ist es so, dass viele Betriebe alleine nicht über die Mindestfläche für die ökonomische Nutzung bestimmter Maschinen verfügen. Eine Alternative stellt die Nutzung von fremden Maschinen (überbetriebliche Maschinenverwendung) dar.

Die Form des überbetrieblichen Maschinen- und Geräteeinsatzes ist auf allen Stufen der Mechanisierung in vielen Ländern sehr verbreitet. Sie dient als Instrument einer selektiven Mechanisierung in Betrieben (besonders bei kleinen Betrieben), wo der Kauf von Maschinen (Kapitalverfügung) oder die Haltung von Zugtieren (Landknappheit) nicht immer möglich ist (AGBENOU, 1993; KLINGENSTEINER, 1984).

Je nach den betriebswirtschaftlichen Bedingungen (Höhe, Verlauf und Struktur der Kosten) eines Betriebes, sind verschiedene Organisationsformen des überbetrieblichen Maschineneinsatzes zu erkennen (Tab.12). Die wichtigsten Merkmale sind Eigentum und Nutzungsform der Arbeitsmittel (HÖCHSTETTER, 1960; ISERMEYER, 1965).

Sie können in Eigen-, Gemeinschafts- und Lohnarbeitsnutzung unterteilt werden, wobei die Eigennutzung nicht auf den Einsatz auf den eigenen Flächen beschränkt ist, sondern Lohnarbeiten auch in Nebenerwerbstätigkeit erledigt werden. Die Kosten und Verwaltung der Maschinen werden vom Besitzer selbst übernommen.

Bei der Gemeinschaftsnutzung werden alle Kosten und Entscheidungen durch die gemeinsamen Besitzer getragen. Die Maschinen werden hauptsächlich in ihren Betrieben individuell eingesetzt und können von jedem selbst bedient werden. Je nach Art des Zusammenschlusses der Mitglieder und anhand des Eigentums der Flächen der beteiligten Betriebe unterscheidet man Kooperativen mit gemeinsamen Flächen und Maschinen, Nachbarschaftshilfen, als gegenseitiger Austausch von Dienstleistungen mit oder ohne Entgelt, sowie Maschinengemeinschaften und Maschinenringe, wo die gemeinsame Maschinennutzung durch einen Geschäftsführer koordiniert wird (EICHHORN, 1999; ISERMEYER, 1965; KLINGENSTEINER, 1984)

Lohnunternehmer werden als Dienstleistungsbetriebe bezeichnet. In einigen GUS Ländern, wo der Staat mit direktem Einfluss und intensiver Förderung der landwirtschaftlichen Produktion beteiligt ist, werden auch staatliche Ausleihstationen als Lohnunternehmer betrieben. Sie stellen die Maschinen gegen Entgelt zu Verfügung. Die Entstehung eines überbetrieblichen Maschineneinsatzes ist an drei wichtige Bedingungen gebunden: die technische Ausstattung, die bewusste Zusammenarbeit der Beteiligten und die Wirtschaftlichkeit (HÖCHSTETTER, 1960). Das Vorhandensein der Bedingungen sollte bereits durch sozioökonomische Erhebungen von der Gründung festgestellt werden (KLINGENSTEINER, 1984).

Die ÜMV ist solange die günstigere Alternative, solange die Kosten je Stunde der eigenen Maschine über dem Preis je Stunde für fremde Maschinen liegen. Dies gilt jedoch nur bis zu einem bestimmten Umfang, denn dann steigen die Kosten bedingt durch einen erheblichen Anstieg der Grenzkosten (z.B. durch Anschaffung einer weiteren Maschine) drastisch an (ELLIS, 1996).
Der Hauptvorteil der ÜMV ist vor allem die Arbeitsentlastung, verbunden mit geringeren Festkosten und einer besseren Nutzung der agrotechnisch günstigeren Arbeitsspannen. Mit dem Einsatz von ÜMV werden bessere Arbeitsqualität und Zuverlässigkeit, dank modernen Maschinen, erreicht. Die ÜMV vereinfacht den Zugang zu Precision Agriculture und zu teueren Spezialmaschinen.
Der Hauptnachteil der ÜMV ist das Terminrisiko und damit verbundene Wartekosten. Wartekosten umfassen alle Gewinnverluste eines Betriebes, die durch eine unfreiwillige Verschiebung eines Arbeitsprozesses verursacht wurden.

Tab.12: Systematik der überbetrieblichen Maschinenverwendung (ORTEGA, 2000)

Nachbarschaftshilfe	**Maschinengemeinschaft**	**Landwirtschaftliche Lohnunternehmen**
Betriebseigene Maschinenhaltung im Einzelbesitz mit teilweise überbetrieblicher Verwendung	Maschinenhaltung im anteiligen Besitz mehrere Landwirte zur überbetrieblichen Verwendung	Lohnmaschinenhaltung durch dritte zur überbetrieblichen Verwendung

1. Ursprüngliche Nachbarschaftshilfe (gegen unbare Gegenleistungen)
- Gelegentliche Not- bzw. Aushilfe
- Ständige Hilfe (2-4 Betriebe) gegen Handarbeitsleistungen
- Ständige Hilfe (2-6 Betriebe) durch Maschinenaustausch- Nutzungsgemeinschaften
 	
2. Erweiterte Nachbarschaftshilfe (mit Entgelt)
- Gegen Verrechnung vom Staat festgelegter Kostensätze
- Organisierter gegenseitiger Maschinenaustausch (>6-50 Betriebe) gegen Verrechnung von den Teilnehmer beschlossener Kostensätze ohne Nebenkosten für die Vermittlung (z.B. Maschinenringe auf Dorfebene)
	1. Maschinen- Kleingemeinschaften (2-5 Landwirte schließen sich ohne bzw. mit schriftlichen Vereinbarung um eine oder wenige Maschinen zusammen)
	
	2. Maschinengroßgemeinschaften (mehr als 5 Landwirte schließen sich mit schriftlichen Vereinbarungen bzw. Statuten um einen vielseitigen Maschinenpark zusammen)
	- Gesellschaften
	- Spezial- Genossenschaften (mindestens 7 Teilhaber)
	- Vereine eingetragen e. V. (mindestens 7 Teilhaber)
	- Nicht eingetragene Vereine
		1. Landwirtschaftliche Lohnunternehmen im Haupterwerb (Einzelperson oder Privatgesellschaften mit >50 % aller Umsätze aus Lohnmaschinenarbeit)
		- Unabhängige landwirtschaftliche Lohunternehmen
		- Gebundene landwirtschaftliche Unternehmen (z. B. durch Verträge mit Genossenschaften)
		
		2. Landwirtschaftliche Lohnmaschinenhaltungen (Umsätze aus Lohnmaschinenarbeit <50 %)
		- Als Nebenerwerb
		  - Auf Gegenseitigkeit (>50 Betriebe, mit Nebenkosten für die Vermittlung z. B. von Maschinenringen mit Geschäftführern)
		  - Auf Gegenseitigkeit (2-10 Betriebe) „Nutzungsgesellschaften“
		- Als Nebenerwerb nichtlandwirtschaftliche Betriebe (z. B. Dorfhandwerker, Landhändler usw.)
		- Im Nebenbetrieb von Genossenschaften (meist >10 Betriebe)
		- Im Nebenbetrieb von Verbänden (z.B. Wasser- u. Bodenverbände)
		- Im Nebenerwerb der Öffentlichen Hand (z. B. Gemeinden)

4.2.3 Halmguternte in Weißrussland

In Weißrussland wurden im Jahr 2002 ca. 1,5 Mio. Tonnen Heu und 4,6 Mio. Tonnen Grassilage produziert. Die Tendenz zur Grassilage ist steigend. Das Heu wird zu 50% lose gelagert und zu 50% gepresst. Das Heu wird meistens auf dem Feld getrocknet. Sehr selten wird auf die Unterdachtrocknung zurückgegriffen (SCHELJUTO et al., 2005; SCHLAPUNOV & ABRASKOWA, 2003). Die in Weißrussland üblichen Verfahren der Halmguternte sind in Abb. 6 dargestellt. Die dabei eingesetzten Maschinen und ihre wesentlichen Merkmale sind im Anhang abgebildet.

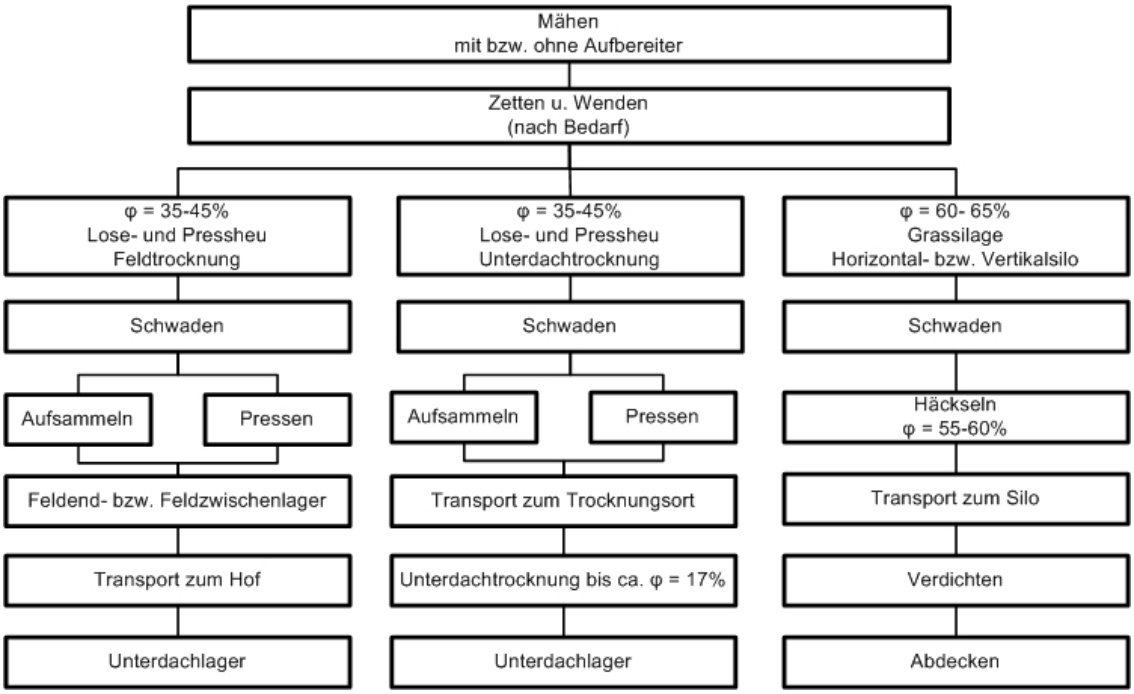


Abb. 6: Das Verfahren der Halmguternte in Weißrussland
(eigene Darstellung nach (KOWALEW, 2004; KUSMIN et al., 2004)

Das Gras wird mit verschiedenen Mähwerken, zum großem Teil angehängten, mit oder ohne Aufbereiter mit einer relativ kleinen Mähbreite von meistens 3,6 m abgemäht. Wegen der Unebenheit und dem Besatz der Felder mit Fremdkörpern kommen breitere Mähwerke selten zum Einsatz. Die Mähwerke werden entweder mit Traktoren Typ MTZ aggregiert oder kommen als selbstfahrende Mähwerke, z.B. der Schwadmäher E 301 (Abb. 7) zum Einsatz. Es werden alle Fabrikate angewendet, sowohl einheimische als auch ausländische Mähwerke. Die Entscheidung ist meistens von Finanzlage, Serviceleistungen und früheren Erfahrungen abhängig.

Abb. 7: Selbstfahrendes Mähwerk E 301 im Einsatz

Während der Feldliegezeit wird nach Bedarf gezettet und gewendet. Es kommen unterschiedliche Zetter und Wender zum Einsatz. Am häufigsten jedoch der Zettwender GWR-630/420 von einheimischen Landtechnikproduzenten (Abb. 8). Es wird leider nicht selten zu trockenes Material gezettet bzw. gewendet, was zu wesentlichen Verlusten sowohl an der Trockensubstanz als auch an den Nährstoffen führt (KOROTKEWITSCH, 1991; PIUNOWSKIJ, 2002).

Abb. 8: Der Zettwender GWR- 630/420 im Einsatz

Die Feldliegezeit dauert meistens für das Heu 3 bis 5 Tage und für Grassilage 2 Tage.
Nach dem Erreichen des entsprechenden Feuchtegehaltes (vergleiche Abb. 6) wird geschwadet und nach Bedarf mehrere Schwade zusammengezogen. Dabei werden häufig die Schwader GR-700 eingesetzt, wobei die Importgeräte eine bessere bzw. sauberere Arbeit leisten (KLOCHKOV & KIALBEKOV, 2004).
Bei dem Loseheuverfahren wird bodengetrocknetes Gras mit Schiebegabel in kleineren Haufen zusammengeschoben und mit dem Heustapler zu einer Heumiete gestapelt (Abb. 9).

Abb. 9: Heustapler und Schiebegabel im Einsatz

Bei diesem Verfahren entstehen erhebliche Aufsammel- und Lagerungsverluste. Im Falle der endgültigen Feldlagerung werden Verlustraten von bis zu 30% genannt (BORISENKO & DENISEWITSCH, 1991). Aufsammelverluste werden auf 10% geschätzt (KLOCHKOV, 2006).
Bei den Pressheuverfahren kommen Sammelpressen Typ PRF zur Einsatz (Abb. 10). Dabei findet nicht selten auf dem Feld eine Zwischenlagerung und sogar Endlagerung statt. In einigen Betrieben kommen Sammelverluste bei den Pressen auf Grund der Veraltung der Technik zustande.

Abb. 10: Sammelpressen Typ PRF, aggregiert mit Traktoren Typ MTZ

Für die Grassilage werden meistens mehrere Grasarten gemischt. Dadurch wird der Nährwert gesteigert. Es ist auch ein gutes Instrument, um den TS- Gehalt der Grassilage steuern zu können (CHOCHRIN, 2004).
Gehäckselt wird sowohl mit selbstfahrenden als auch mit angebauten und gezogenen Häckslern. Am meisten sind selbstfahrender Feldhäcksler verbreitet. Interessant ist der Einsatz des Universalfahrzeugs Typ POLES`E mit angebauter Häckslereinheit (Abb. 11). Der Maschinenträger

kann auch mit anderen landwirtschaftlichen Geräten, wie z.B. Bodenbearbeitungsgeräte aggregiert werden.

Abb. 11: Anbauhäcksler mit dem Universalfahrzeug Typ POLES`E im Einsatz

Alle Transportarbeiten erfolgen meistens mit einem Aggregat auf der Basis von MTZ-Traktoren und Anhängern von Typ PIM. Es werden auch Lastkraftfahrzeuge Typ ZIL und GAZ eingesetzt. Alle Transporteinheiten verfügen über ein relativ kleines Ladevolumen (Abb. 12).

Abb. 12: Transporteinheit Traktor Typ MTZ mit Anhänger Typ PIM

Siliert wird zum größten Teil in Horizontalsilos, die bis zu 3 m tief in die Erde gesenkt bzw. mit Erde isoliert sind (Abb. 13).

Abb. 13: Horizontalsilo in Weißrussland

Es wird auch häufig ein so genannter „Kurgan“ als Siloform verwendet. Dabei wird auf die Erde eine Schicht von ca. 1 m Stroh abgelegt. Das Stroh dient dabei als Schutzschicht und zur Aufnahme von Sickersaft. Das einzusilierende Gut wird aufgeschüttet, anschließend verdichtet und abgedeckt (Abb. 14). Selten werden Vertikalsilos gewählt. Noch seltener wird in Schläuchen und Ballen siliert.

Abb. 14: Silieren in „Kurgan“

Verdichtet wird meistens mit einem bzw. zwei Traktoren Typ K-701 mit einem Gesamtgewicht von 12 Tonnen (Abb. 15). Es werden auch Traktoren Typ K-702 mit einem Gesamtgewicht von 24 Tonnen eingesetzt. Es ist auch ein Beispiel bekannt, dass in einem Betrieb ein umgebauter Panzer zum Verdichten verwendet wurde.

Abb. 15: K-701 beim Verdichten

Abgedeckt wird mit einer ca. 1 m dicken Schicht Erde oder Stroh mit bzw. ohne Folie (Abb. 16). Beim Abdecken ohne Folie werden die entstehenden Verluste bewusst im Kauf genommen (ČERNIK et al., 2000).

Abb. 16: Abdecken mit Stroh

Überbetrieblicher Maschineneinsatz kommt auf Grund der durchschnittlichen Betriebsgröße und relativ geringen Ertragsmengen von ca. 110 dt/ha bei mehrjährigen Gräsern (KADYROV & KUKRESCH, 2005) sehr selten in Frage. Die vorhandenen Maschinentechnischen Stationen sind fast ausschließlich für Reparaturen der Landtechnik zuständig. In wenigen Fällen sind es ein oder zwei Betriebe, für die die Maschinenstationen direkt tätig sind. Mit den eventuell steigenden Erträgen wäre der Einsatz von ÜMV durchaus möglich und sinnvoll (ANONYMUS, 2004).

4.2.4 Halmguternte in Novosibirsker Gebiet

Im Jahre 2003 wurden im Novosibirsker Gebiet ca. 0,7 Mio. Tonnen Heu und ca. 1,1 Mio. Tonnen Grassilage produziert (GOSKOMSTAT, 2003). Circa 60% des aufbereiteten Heus wird gepresst (IVANOV et al., 1996). Die Tendenz zur Grassilage ist steigend. Moderne Verfahren, wie Grassilage in Ballen und Schläuchen finden zunehmend auch ihre Anwendung (KONDRATOW, 2001; NASAROV & SINKEWITSCH, 1990; OSOBOV & PETROV, 1998). Die Auswahl der Verfahren ist von den Bedingungen des Betriebes, den Wetterbedingungen und der Verfügbarkeit der technischen Mittel abhängig.

Die im Novosibirsker Gebiet üblichen Verfahren der Halmguternte unterscheiden sich kaum von denen in Weißrussland. Die dabei eingesetzten Maschinen und ihre wesentlichen Merkmale sind im Anhang abgebildet.

Das Gras wird mit verschiedenen Mähwerken, wie z.B. vom TYP KS-2,1; KFP-4,2 u.a. mit oder ohne Aufbereiter gemäht und auf Schwad gelegt. Die Arbeitsbreite ist mit ca. 3,6 m relativ gering. Die Mähwerke werden meistens mit Traktoren Typ MTZ aggregiert. Die Grasbestände mit niedrigen Erträgen werden mit breiteren Mähwerken ZWN-6A mit einer Arbeitsbreite von 6 m gemäht.

In der Trocknungszeit auf dem Feld wird das Gras mit Zettwender GWK-6,0 gezettet bzw. gewendet.

Abb. 17: Loseheuverfahren im Novosibirsker Gebiet

Das Loseheuverfahren ist in der Abb. 17 dargestellt. Beim Erreichen der Feuchtigkeit von 25-27% wird das bodengetrocknetes Gras mit Maschinen Typ PKS-1,6 u.a. in kleinen Haufen aufgesetzt. Danach wird das Heu mit der Schiebegabel Typ WNŜ-3 und mit dem Schoberstapler

Typ KUN-10, PKS-1,6 zu Heumieten zusammengeführt und später mit Heustapler Typ SNU-550, SŜR-550 und anderen zusammengestapelt (KIALBEKOV, 2001).

Lagerung oder Zwischenlagerung finden sehr oft im Freien statt. Obwohl es empfohlen wird, das Heu unter Dach zu lagern, machen es nur wenige Betriebe. Der Grund für die Zwischenlagerung im Feld ist vielfach der Mangel an Transportkapazitäten während der Erntezeit. Ein weiterer Grund für die Entscheidung zur Lagerung im Feld ist das Nichtvorhandensein von Möglichkeiten zur Unterdachtrocknung von Gras.

In einigen Betrieben wird auch ein Fliessverfahren angewendet, wobei die bis zu 18-19% Restfeuchtigkeit getrocknete Masse mit Aufsammler Typ PKU-0,8-3 aufgenommen und mit Traktorenanhängern zum Lagerungsort transportiert wird, wo sie unter Dach in Heulagern gestapelt wird. Dieses Verfahren senkt die Produktionskosten um 20-25%, der Bedarf an Arbeitskräften sinkt um 50% (SCHEGLOV & BOJARSKIJ, 1991).

Bei den Pressheuverfahren kommen verschiedene Sammelpressen, wie z.B. vom Typ PRP-1,6 zur Einsatz. Bei der Feuchtigkeit des Gutes in Ballen von 25-30% werden diese im Freien bis zu 15-17% getrocknet. Bei einer Feuchtigkeit von 20-22% werden die Ballen meistens gleich zum Lagerungsort transportiert. Nicht selten findet auch eine Zwischenlagerung und sogar Endlagerung im Feld statt.

Gepresstes Heu hat in Vergleich zu Loseheu mehrere Vorteile. Die Arbeitskosten werden um mehr als 50% gesenkt, die Transportmittel werden besser ausgelastet und die mechanischen Verluste werden gemindert (BLYNSKI et al., 1998). Das Pressheuverfahren verfügt über wesentlich weniger Verfahrensglieder gegenüber dem Loseheuverfahren, was vor allem zur Kostensenkung führt. Nichtmechanisierte Arbeiten werden dabei auf ein Minimum reduziert oder überhaupt nicht angewendet. Außerdem beansprucht auf diese Weise gewonnenes Futter fast 50% weniger Lagerkapazitäten (OSOBOV, 1994).

Von einigen Autoren wird es empfohlen das Heu bzw. Halbheu mit einer Feuchtigkeit von ca. 25% in einer Folie zu wickeln (ACHLAMOV & SCHEWZOV, 1999; BONDAREV, 2002; KLINDJUK et al., 2004).

Für Grassilage werden, wie in Weißrussland, meistens mehrere Grasarten gemischt.

Gehäckselt wird sowohl mit selbstfahrenden als auch mit angebauten und gezogenen Häckslern. Am meisten sind selbstfahrende Feldhäcksler verbreitet. Es werden sowohl Importmaschinen als auch Maschinen von einheimischen Produzenten eingesetzt, wie z.B. vom TYP KSK-100. Alle Transportarbeiten erfolgen meistens mit gleichen Fahrzeugen und Anhängern, wie in Weißrussland (vergleiche Kapitel 4.2.3).

Horizontalsilo ist die meist verbreitete Siloform. Die Silos werden mit Erde isoliert bzw. bis zu 3 m tief eingegraben. Wie in Weißrussland wird auch in einen „Kurgan“ siliert. Es werden Verlustraten von 15 bis zu 25 cm von der Oberschicht bei den 500-600 Tonnen der Gesamtmasse genannt. Die Qualität von Silage aus dem „Kurgan“ ist wesentlich schlechter als die von Horizontalsilos (BONDAREV, 2006).

Beim Verdichten werden gleichfalls Traktoren vom Typ K-700 der KIROWETZ- Werke eingesetzt. Hinzu kommen häufig Raupenschlepper vom Typ T-150 u. a. Um dem Einfrieren der Silage entgegenzuwirken wird Speisesalz bei Silierung gestreut.

Abdeckung erfolgt, wie in Weißrussland, mit einer ca. 1 m starken Schicht Erde oder Stroh mit bzw. ohne Folie (Abb. 18). Verluste werden dabei bewusst in Kauf genommen. Es besteht aber die Möglichkeit Stroh mit Grassilage für die Verfütterungszwecke zu vermischen. Die Qualität des Futter sinkt dabei wesentlich (LÖSCH & PUTZ, 1993b).

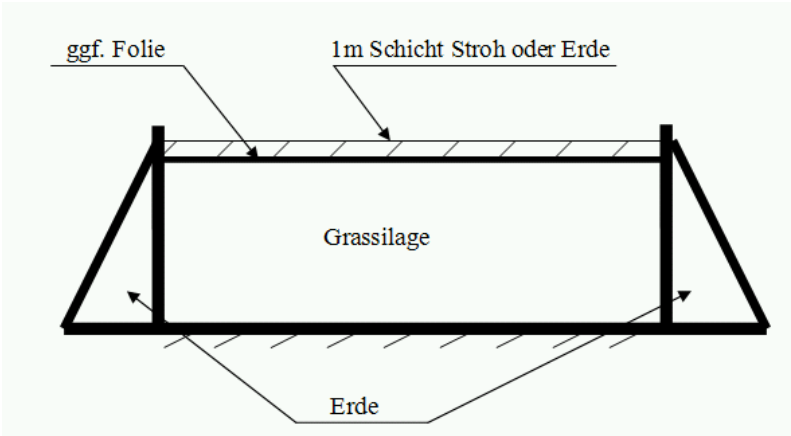


Abb. 18: Schichtaufbau der Silo (eigene Darstellung)

Überbetrieblicher Maschineneinsatz kommt bei der Halmguternte sehr selten in Frage. Bei der Getreideernte kommt wegen des größeren Flächenumfangs Nachbarschaftshilfe zum Einsatz. Das Netz von Maschinentechnischen Stationen (MTS) ist noch aus Sowjetzeiten geblieben. Die MTS befassen sich aber mehr mit Reparaturen der Landtechnik. Das Anbieten von lohnunternehmerischen Leistungen ist im Kommen.

4.2.5 Halmguternte in Deutschland

Nach Angaben des Bundesstatistikamtes wurden im Jahre 2004 ca. 37 Mio. Tonnen Raufutter produziert. Die Tendenz zur Grassilage ist steigend (NYDEGGER, 2004).
Die in Deutschland üblichen Verfahren sind in Abb. 19 dargestellt.

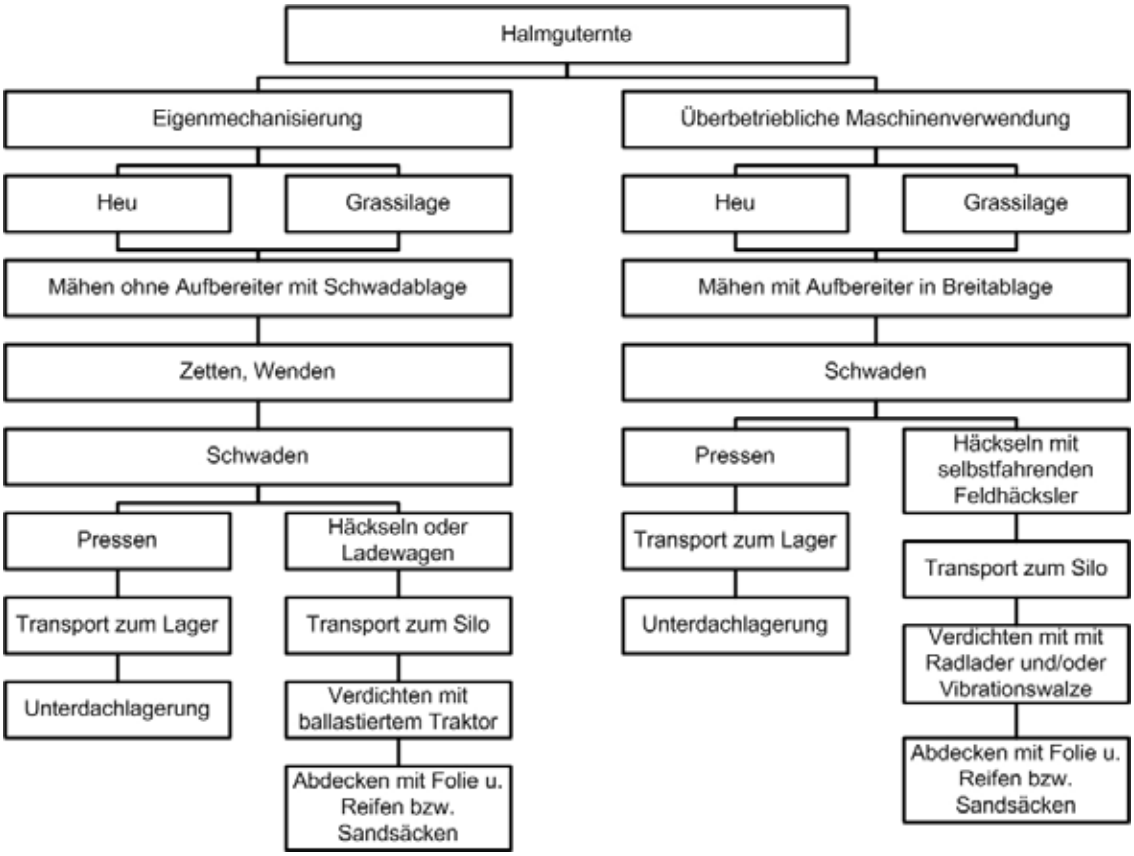


Abb. 19: Das Verfahren der Halmguternte in Bundesrepublik Deutschland, verändert nach (LIGOCKI, 2004)

Die durchschnittliche Größe landwirtschaftlicher Betriebe in Deutschland von 24 ha rechtfertigt die Tendenz zur überbetrieblichen Halmguternte und sogar zur Übergabe der ganzen verfahrenstechnischen Kette in dritte Hände (DÖRPERMUND, 2003; LIGOCKI, 2003). Daher sollte bei der Halmguternte in Deutschland grundsätzlich zwischen Eigenmechanisierung und überbetrieblichen Maschinenverwendung unterschieden werden. Im Gegensatz zur ÜMV wird bei der Eigenmechanisierung meistens ohne Aufbereiter gemäht und als Ablage die Schwadablage gewählt. Bei der ÜMV kommt meistens ein Aufbereiter zum Einsatz und es wird eine Breitablage bevorzugt. In der weiteren Verfahrenskette werden bei Eigenmechanisierung meist Kreiselzettwender ausgewählt. Bei dem Maschinenring kommt auf Grund der Breitablage kein Zettwender zum Einsatz.

Beim Heuernteverfahren werden Sammelpressen eingesetzt. Bei der Bereitung von Grassilage werden bei Eigenmechanisierung häufiger Ladewagen und bei der ÜMV fast ausschließlich leistungsstarke selbstfahrende Häcksler eingesetzt.

Der Ladewagen wird als Alternative zum Häcksler für kleinere Hof-Feld-Entfernungen verwendet (GERIGHAUSEN, 2001). Ab einer Entfernung von 8 km kommen Silageballen in Frage. Der Hauptvorteil besteht in der Reduzierung des Transportvolumens und in der Unabhängigkeit der Transport- und Ernteprozesse voneinander (AUMANN, 2003; LATSCH et al., 2003b, 2003a).

Verdichtet wird bei der Eigenmechanisierung mit einem ballastierten Traktor und in Großbetrieben oder bei der ÜMV mit Radlader oder Vibrationswalze (LIGOCKI, 2004). Durch die Leistungssteigerung der Häcksler werden zunehmend die Probleme mit der Verdichtung am Silo größer, nicht zuletzt durch das Fehlen geeigneter Verfahren zur Verdichtungsbestimmung (GALLER, 2004; KAISER, 2004). Das Verdichten im Silo und das Zetten bei der Feldtrocknung werden als kritische Stellen in beiden Verfahren betrachtet (CIELEJEWSKI, 2003; FÜBBERKER, 2003; THAYSEN & HOLZ, 2002).

In maschinentechnischer Hinsicht ist die Tendenz zur größeren Arbeitsbreiten und selbstfahrenden Maschinen zu erkennen (BERNHARDT, 2006; BRÜSER, 2006; PÜTZ, 2005; WALLMANN & HARMS, 2003; ZÄH, 2003). So sind selbstfahrende Mähwerke mit der Arbeitsbreite von bis zu 14 m bekannt (BERNHARDT, 2005). Im Bereich der Häcksler wird zu größeren Leistungen tendiert. So hat Firma Krone auf der Ausstellung AGRITECHNIKA 2005 einen Häcksler mit 1000 PS vorgestellt (ANONYMUS, 2005a). Krone verfügt auch über den Prototyp des selbstfahrenden Schwaders (LIGOCKI, 2004).

Zu Optimierung der Ernteprozesse wird zunehmend auf Simulationsprogramme zurückgegriffen. Die bisher durchgeführten Modellrechnungen sind auf Grund der Komplexität der Prozesse für die Lösung anspruchsvoller Aufgaben nicht mehr ausreichend. Der Einsatz von ereignisorientierten, objektbezogenen Simulationssystemen erscheint daher als eine logische Fortführung. Die Suche nach dem verfahrenstechnischen Optimum, die Ausschaltung von Schwachstellen in der Verfahrensgestaltung und das Auffinden des optimalen Managements verlangt eine Darstellung des Iststandes unter Einbeziehung der Interaktionen der beteiligten Maschinen. Die dynamische Abbildung realer Ernteprozessketten kann es ermöglichen, die technologischer Kapazitäten vorauszuberechnen und neue Ernteverfahren zu gestalten (SONNEN et al., 2006).

Es wird auch verstärkt auf die Instrumente der Precision Agriculture zurückgegriffen (EHLERT, 2004; GÜNTER et al., 2004; HEINRICH et al., 2005; NOACK, 2004), um beispielsweise die

Inhaltsstoffe noch auf dem Feld zu bestimmen, die Qualität der Produkte und Prozesse zu verbessern oder dem Fahrer die Arbeit zu erleichtern.

4.3 Grundlagen der Halmgutaufbereitung

4.3.1 Halmgutaufbereitung

4.3.1.1 Übersicht und Definition

Aufbereitung vom Halmgut ist die gezielte Veränderung seiner physikalischen und zum Teil auch seiner biologischen und chemischen Beschaffenheit zur Verbesserung des Trocknungsverhaltens. Sie kann vor der Mahd (im Bestand), während oder unmittelbar nach der Mahd erfolgen. Es sind vor allem mechanische, thermische und chemische Methoden bekannt. Mechanische und thermische Methoden kann man unter physikalischen Methoden zusammenfassen. Elektrische Methoden gehören auf Grund der gleichen Wirkungsweise zu den thermischen Methoden (Abb. 20).

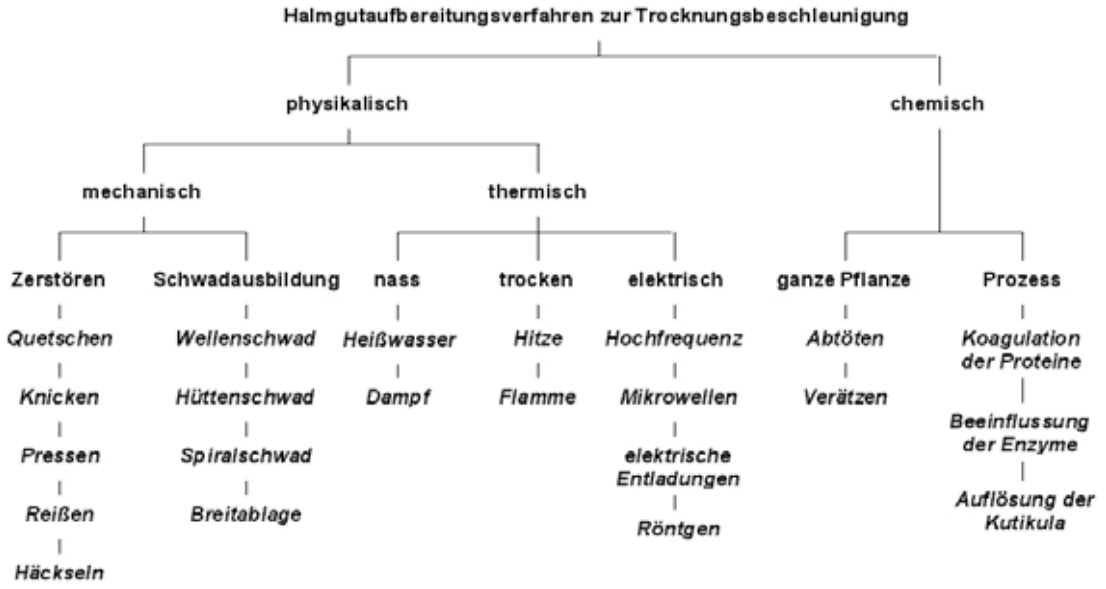


Abb. 20: Halmgutaufbereitungsverfahren. Quelle (KIALBEKOV et al., 2004)

Die Aufbereitungsmethoden werden mit dem Aspekt der bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse näher betrachtet.

4.3.1.2 Mechanische Aufbereitung

Die mechanische Aufbereitung des Futters erfolgt während der Mahd. Durch knickende, quetschende, schabende, reibende oder schlagende Werkzeuge werden vornehmlich die äußeren Blatt- und Halmstrukturen zerstört, so dass die verdunstungshemmende Wirkung der Kutikula und Epidermis weitgehend aufgehoben wird und die Zellen der tiefer liegenden Gewebeschichten der Trocknungsluft zugänglich sind (DERNEDDE, 1968, 1969; HEINTGES, 2000; HETTASCH, 1995; ÖZTEKIN, 1990; SHINNERS et al., 1982; WALTHER, 1991; WIENEKE & DERNEDDE, 1966).

Der Umfang und die Intensität der mechanischen Aufbereitung sind so zu bemessen, dass eine möglichst hohe Beschleunigung der nachfolgenden Feldtrocknung erreicht wird, ohne zusätzliche Bröckelverluste durch die mechanischen Bearbeitung hervorzurufen und die Schutzwirkung gegen Wiederbefeuchtung allzu stark herabzusetzen.

Angestrebt wird besonders die Aufbereitung der relativ schlecht trocknenden Stängel, um eine weitgehende Angleichung der Trocknungsgeschwindigkeit von Blättern und Stängeln zu erreichen und im Zusammenhang damit höhere Blattverluste durch Abbröckeln zu verhindern.

Die durch die Aufbereitung verbesserte Wasserabgabefähigkeit des Gutes kann jedoch nur dann effektiv genutzt werden, wenn die Behandlungsmaßnahmen unmittelbar im Anschluss an das Mähen erfolgen und das Mähgut in breiten und lockeren Schwaden abgelegt wird. Die meisten in der Praxis eingesetzten Halmgutaufbereitungseinrichtungen sind deshalb auch mit dem Mähwerk gekoppelt.

Es sind auch Verfahren zur mehrdimensionalen Schwadformung bekannt. Auf diese Verfahren wird im nächsten Kapitel näher eingegangen.

4.3.1.3 Mehrdimensionale Schwadformung

4.3.1.3.1 Patentrecherche

Nach bisherigem Kenntnisstand sind folgende Arten der mehrdimensionalen Schwadformung bekannt:

- Arcadenschwad (Patent Nr. DE 101 36880 A1),
- Bahnenschwad (Patent Nr. DE 4324686 A 1),
- Hüttenschwad (Patente Nr. DE 3512 300 A1, DE 101 36879 A1),
- Prismaschwad (Patent Nr. UdSSR Nr. 1281201 A 01),
- Rohrschwad (Patent Nr. DE 101 36886 A1),
- Spiralschwad (Patent Nr. RU 2040143 C1),
- Wellenschwad (Patent Nr. DE 4327592 A1).

4.3.1.3.2 Arcadenschwad

Beim Arcadenschwad wird direkt nach dem Mähen mit der Hilfe von zwei Walzen (3) das Mähgut leicht gepresst und weiter auf die Rutsche (4) gefördert. Durch die wesentlich höhere Geschwindigkeit des Halmgutauslaufes gegenüber der Geschwindigkeit der Maschine wird in Verbindung mit der um die Achse schwankenden Rutsche ein Arcadenschwad gebildet (Abb. 21). Eine mögliche Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens besteht aus einer Aufnahmeeinrichtung (1), einer Walzeinrichtung (3) sowie einer schwenkbaren Rutsche (4).

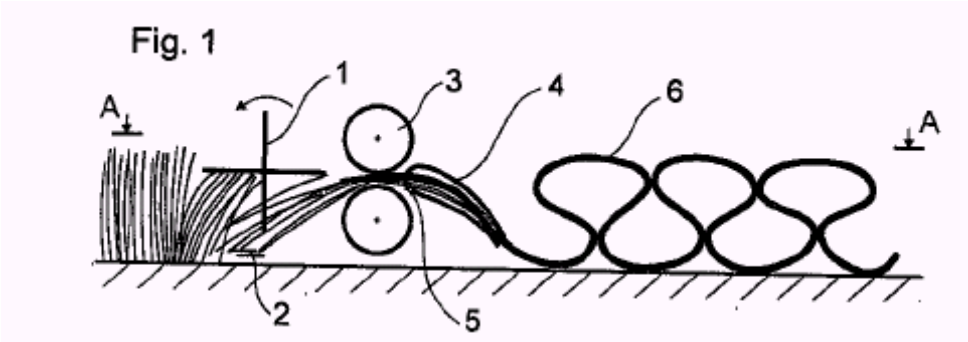


Abb. 21: Arcadenschwad

4.3.1.3.3 Bahnenschwad

Beim Bahnenschwad handelt es sich um eine Halmgutmatte, die vor dem Ablegen auf das Feld unter Vergrößerung Ihrer Dicke in mehreren nebeneinander liegende, zusammenhängende Bahnen aufgelockert wird. Die Bahnen werden gegeneinander versetzt abgelegt. Hierdurch entstehen zwischen einzelnen Bahnen (6a, 6b) linsenförmige Öffnungen (15) (Abb. 22).

Die Lockerungsvorrichtung besteht aus zwei Walzen, die synchron angetrieben werden, wobei sich eine Vielzahl von ineinander liegenden Zinken gegenübersteht. Da sich der Kreisradius der Zinken unterscheidet, wird die in den Walzenspalt eingeführte Halmgutmatte gegeneinander versetzt abgelegt.

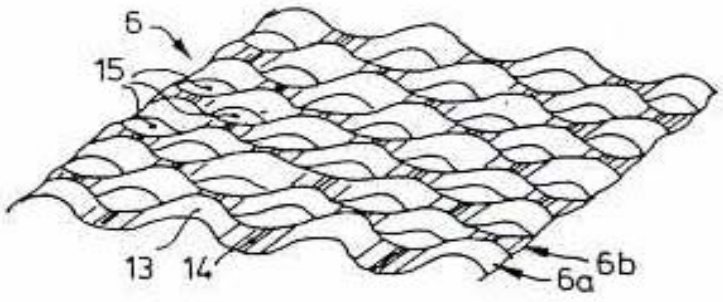


Abb. 22: Bahnenschwad

4.3.1.3.4 Hüttenschwad

Das Hüttenschwad nach Patent DE 3512 300 A1 wird mit Hilfe eines Zetters gebildet, wobei das Gut in einer Presseinrichtung verdichtet wird (Abb. 23). Der Zetter ist mit einem vorgeschalteten Mähwerk oder einer Aufnahmetrommel, mit einer Aufbereitungseinrichtung und einer Schwadablage versehen. Die Aufbereitungseinrichtung besteht aus einer Presseinrichtung mit Zinkenrotor und Presskanal.

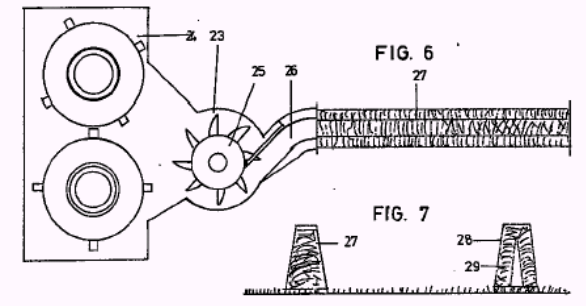


Abb. 23: Hüttenschwad. Patent DE 3512 300 A1

Beim Hüttenschwad nach dem Patent DE 101 36879 werden die Halme vor dem Mähen nach vorne vorgebogen, verletzt und verknüpft. Kurz danach werden die Halme mit dem Mähwerk abgemäht. Bei der Ablage entsteht ein Hüttenschwad (Abb. 24).

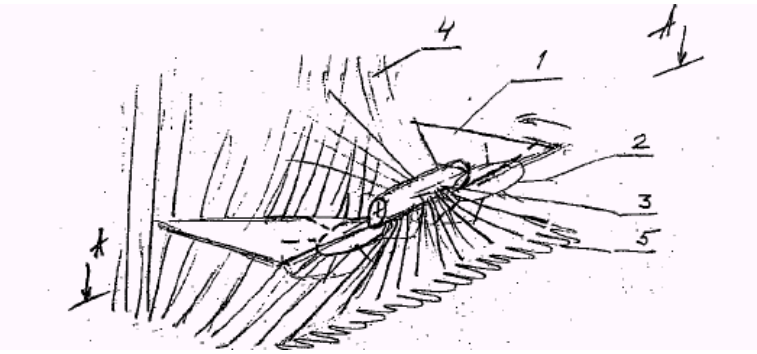


Abb. 24: Hüttenschwad. Patent DE 101 36879 A1

4.3.1.3.5 Prismaschwad

Der Prismaschwad wird mit Hilfe eines Schwadwenders gebildet (Abb. 25). Das angewelkte Gut wird in der Fahrtrichtung aufgenommen, weitergeleitet und mit Hilfe eines Dreieckes in Prismenform auf dem Feldboden abgelegt.

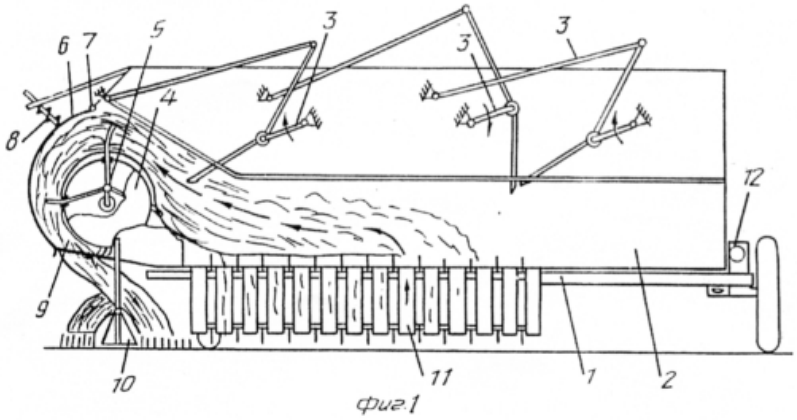


Abb. 25: Prismaschwad

4.3.1.3.6 Rohrschwad

Bei dem Rohrschwad wird das Gut direkt nach dem Mähen seitlich zusammengeführt und mit Hilfe eines Rotors (3), bestehend aus zwei Walzen (5), durch Reib- und Quetscheffekte verletzt, verknüpft, gepresst und ausgepresst. Am Auslauf des Rohres wird somit ein Rohrschwad gebildet (Abb. 26).

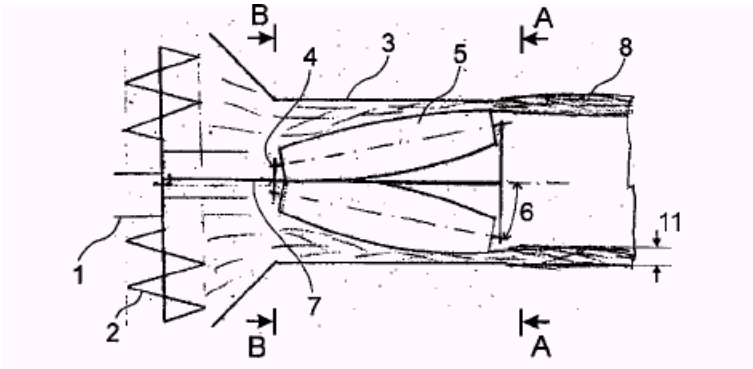


Abb. 26: Rohrschwad

4.3.1.3.7 Spiralschwad

Beim Spiralschwad wird das Halmgut unmittelbar nach dem Mähen mittels Knicken (Biegen) der Stängel in nur einer Richtung zu einer im Inneren hohlen endlosen Spirale verflochten, wobei das Mähgut zu einer Spirale mit oder ohne Abstand zwischen den einzelnen Windungen geformt werden kann (Abb. 27).

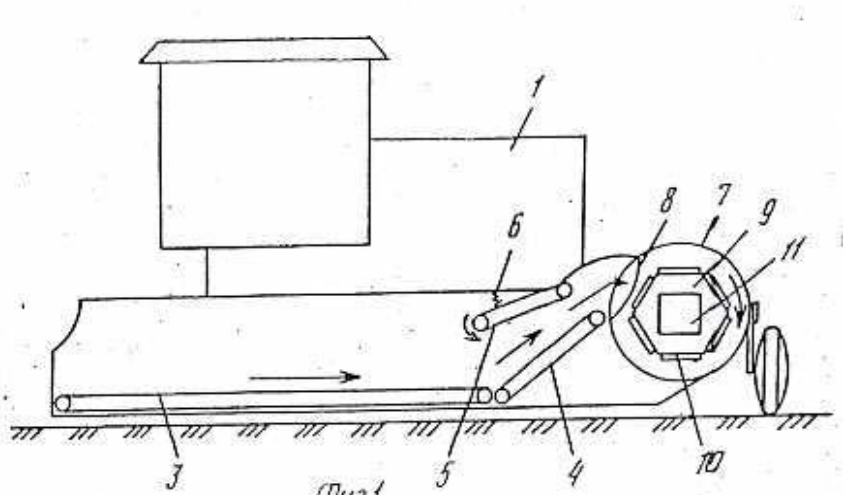


Abb. 27: Spiralschwad

Die Stängel sind durch ihre Biegfestigkeit bestrebt, sich beim Abwerfen in die Gegenrichtung des Aufwickelns aufzurichten. Dadurch wird eine leicht ventilierbare Struktur des spiralförmigen Schwades erreicht und dessen Zusammenfallen verhindert. Eine rasche Abtrocknung wird auch durch die wesentlich kleinere Kontaktfläche des Halmgutes mit dem Boden hervorgerufen.

4.3.1.3.8 Wellenschwad

Beim Wellenschwad handelt sich um eine mittels Pressvorrichtung gebildete Halmgutmatte mit einer ein- oder beidseitigen Wellenform (Abb. 28). Die Pressvorrichtung besteht aus mindestens zwei paarweise angeordneten Rollen. Dabei ist zumindest eine Rolle elastisch verformbar und deren Oberfläche ist profiliert ausgebildet. Durch den zwischen den Rollen gebildeten Pressspalt wird die Halmgutmatte hindurchgeführt.

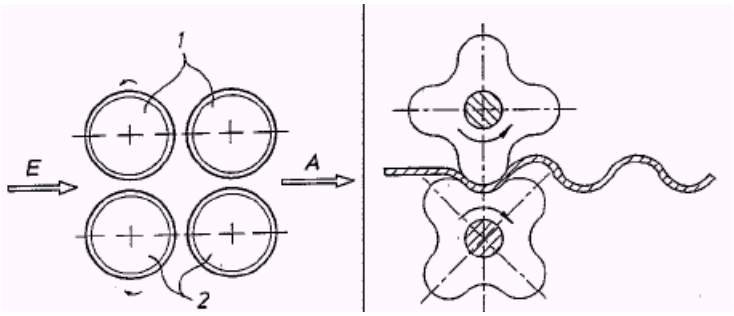


Abb. 28: Wellenschwad

4.3.1.3.9 Zusammenfassung zur mehrdimensionalen Schwadformung

Alle Wirkprinzipien sind geeignet, die Trocknungseigenschaften des Halmgutes zu verbessern. Den Beschreibungen zufolge dürfte dieser Effekt unterschiedlich gut ausgeprägt sein.

Ein wesentlicher Nachteil des Arcaden-, Bahnen- und Wellenschwades ist ihre Instabilität. Außerdem verfügen Bahnen- und Wellenschwad über eine große Kontaktfläche der Halmgutmatte mit der Erde. Durch das starke Pressen des Gutes beim Wellenschwad sind Verluste an Nährstoffen mit dem Presssaft denkbar. Es ist auch eine spätere Auswaschung der Nährstoffe durch Niederschläge nicht auszuschließen.

Bei dem Hütten- und beim Prismaschwad unterliegt die Ausbildung eines Ventilationskanals keinem strengen Gesetz, das heißt, dass die Kanalwände nicht gleich dick ausgebildet werden. Das Trocken der dünneren Wänden erfolgt schneller, und als Ergebnis wird das zu bergende Futter eine erhöhte TS aufweisen. Dies kann, je nach Trocknungszeit, entweder zu einem Qualitätsverlust oder zum Verlust von Blatt-Stängel-Masse beim Aufnehmen des Schwades führen.

Ein weiterer Nachteil des Prismaschwades ist die mechanische Einwirkung auf das Schwad, wenn das Erntegut schon teilweise trocken ist. Dabei sind Verluste unvermeidbar.

Das Pressen des Gutes beim Patent DE 3512 300 A1 (Hüttenschwad) erscheint auch wegen der möglichen Nährstoffverluste unvorteilhaft.

Ein großer Nachteil des Rohrschwades besteht darin, dass das Gut zusammengepresst wird. Das bringt nicht nur Nähstoffverluste, sondern es erschwert auch das rasche Abtrocknen des Gutes erheblich.

Das Spiralschwad verfügt über eine geringe Kontaktfläche mit dem Boden. Durch seine lockere Struktur ist es auch sehr gut ventilierbar. Als Nachteil gilt die geringere Stabilität des Schwades.

Die Berechnungen des Trocknungsverlaufes lassen deutliche Vorzüge des Spiralschwades gegenüber den anderen Arten der Schwadformung sowie der konventionellen Trocknung und der Breitablage erwarten (KLOCHKOV et al., 2001).

4.3.1.4 Chemische Aufbereitung

Mit der Applikation chemischer Substanzen auf stehende oder frisch gemähte Futterpflanzenbestände wird das Ziel verfolgt, über eine Verätzung der Pflanzenoberfläche bzw. eine Veränderung der osmotischen Verhältnisse eine gesteigerte Transpiration der Pflanzen und damit eine Trocknungsbeschleunigung zu erreichen.

Diesbezüglich durchgeführte Untersuchungen konzentrierten sich insbesondere auf den Einsatz solcher chemischen Substanzen, die hinsichtlich ihrer Anwendung für Mensch und Tier weitgehend unbedenklich sind und auch keine wesentliche Beeinträchtigung des Pflanzenwuchses bei weiteren Schnitten verursachen. Vor allem wurden organische Säuren und deren Salze, ammoniakhaltige Substanzen, Phosphorsäure und verschiedene Natrium- und Kaliumsalze eingesetzt (BECKHOFF, 1966, 1973; BEZANAR, 1980; DANIEL, 1971, 1973; PIRKELMANN, 1972; WIENEKE, 1972; ZIMMER, 1972).

Die Applikation der chemischen Mittel erfolgt allgemein in flüssiger Form. Hinsichtlich der Eingliederung in den Ernteprozess gibt es drei Verfahrenslösungen:

- Applikation und Trocknung im stehenden Futterbestand vor der Mahd,
- Applikation im stehenden Bestand unmittelbar vor der Mahd und Trocknung im Schwad,
- Applikation bei der Mahd und Trocknung im Schwad.

Die Angaben zum Trocknungserfolg sind sehr differenziert und zum Teil widersprüchlich. Die Ergebnisse variieren nach Applikationsmittel, Witterung und Pflanzenarten.

DANIEL (1971) kommt zum Schluss, dass stehend behandeltes und dann sofort gemähtes Gut relativ schnell trocknet. Nach 24 Stunden konnte ein TS- Gehalt von 48% erreicht werden. Das Schwad trocknete genauso schnell wie bei der mechanischen Aufbereitung.

Aus den Versuchen von PIRKELMANN (1972) ist zu entnehmen, dass nach 5-6 Stunden ein TS- Gehalt von 35- 40% erreicht werden kann. Der Trocknungsprozess verlief genauso schnell wie bei gemähtem Gut (unbehandelt).

BECKHOFF (1966) schätzt die mit Gramoxone erzielten Ergebnisse als völlig unbefriedigend ein. Günstigstenfalls wurde bei gutem Wetter eine TS- Erhöhung von 2% pro Tag erreicht.

Übereinstimmend wird auf den Mangel hingewiesen, dass der Erfolg der chemischen Aufbereitung sehr witterungsabhängig ist. Hohe Lufttemperaturen, trockenes Wetter, nach Möglichkeit bedeckter Himmel und wenig Wind sind Voraussetzungen für einen befriedigenden Aufbereitungserfolg.

Die besten Trocknungsergebnisse wurden bisher bei blattreichen Leguminosen ermittelt, weniger befriedigend ist die erreichte Trocknungsbeschleunigung bei Gräsern.
Die Verluste können speziell in der ersten Trocknungsphase gering gehalten werden, weil durch die meisten chemischen Aufbereitungsmittel die Atmungsintensität der Pflanzen gesenkt wird.
Folgende Faktoren können einen Ertragsverlust verursachen (SIMON, 1967):

- durch direkten Blattabfall,
- durch verstärkten Nährstoffabbau und -verlagerung in die Wurzeln,
- durch unterbrochene oder verminderte TS- Zunahme in der Zeit zwischen Applikation und Ernte,
- durch geschädigten Wiederaufwuchs bei mehrschnittigen Pflanzen.

An den Hauptnährstoffen und der Verdaulichkeit des Eiweißes sind keinerlei Verluste zu erkennen. Eine leichte Abnahme wurde bei Rohfett festgestellt (Auflösen der wachsartigen Kutikula). Ein starker Verlust trat bei Karotin ein. Es wurde fast vollständig zerstört (BECKHOFF, 1973; SIMON, 1967).
Die Applikationstechnik ist nicht zielgerecht entwickelt worden. Die Geräte wurden häufig aus dem Bereich Pflanzenschutz übernommen. Probleme gibt es vor allem mit der gleichmäßigen und verlustarmen Ausbringung, der teilweise ungenügenden Haftfähigkeit, der Aggressivität und Flüchtigkeit der Mittel.
Insgesamt ist die chemische Aufbereitung noch nicht entscheidend aus dem Forschungsstadium herausgekommen.

4.3.1.5 Thermische Aufbereitung

Zusammengefasste Darstellungen mit zum Teil ausführlichen Übersichten zu Wirkungsweise, technischen Lösungen, Verfahren und Ergebnissen der thermischen Aufbereitung enthalten die Arbeiten von (ENGEL & OBST, 1974; STROMEYER, 1974; WIENEKE, 1972).

Durch die Einwirkung "trockener Hitze", Wasserdampf oder Heißwasser schmilzt die wachsartige Kutinschicht der Blätter und Stengel ab und das Protein koaguliert, so dass die Zellen ein geringeres Wasserhaltevermögen aufweisen. Durch die Einwirkung hoher Temperatur wird der Dampfdruck in den Zellen so weit gesteigert, dass sie gesprengt werden. In diesem Fall ergeben sich ähnliche Verhältnisse wie beim mechanischen Quetschen. Mit dem Zersprengen von Zellen und Zellverbänden geht ein Nachverdampfen der freiwerdenden Feuchte einher, so dass bei intensiver Hitzeeinwirkung bereits in unmittelbarer Folge eine beachtliche Wasserabgabe eintreten kann.

Bisher wurden vor allem folgende Varianten untersucht:

- Abflammen im Bestand oder während bzw. nach der Mahd,
- Heißwasser- bzw. Heißdampfbehandlung des stehenden oder gemähten Futters,
- Quetschen mit beheizten Walzen beim oder unmittelbar nach dem Mähen.

Eine Kombination mit der mechanischen Aufbereitung während oder nach der Mahd ist bei allen drei Varianten möglich, bei der letzten Variante Bedingung.

Mit allen drei Behandlungsformen konnte ein trocknungsbeschleunigender Effekt nachgewiesen werden, der jedoch kaum die Wirkung des mechanischen Quetschens übertraf.

Übereinstimmend wird auf die im Vergleich zum erzielten Nutzen außerordentlich hohen Aufwendungen hingewiesen. Das ist zugleich der wesentliche Grund dafür, dass diese Aufbereitungsmethode bisher keine Praxiswirksamkeit erreicht hat.

Wie bei der chemischen und auch bei der mechanischen Aufbereitung konnten die besten Trocknungseffekte bei blattreichen Leguminosen ermittelt werden, wesentlich ungünstiger sind die Ergebnisse bei Gräsern.

Die ausgewerteten Versuche zeigen, dass sich eine Kombination von mechanischer und thermischer Aufbereitung von Grünfutter besonders positiv auf den Trocknungsverlauf auswirkt.

Grundlagenversuche haben ergeben, dass sich durch die Hitzeeinwirkung nicht nur die Wasserdurchlässigkeit in den Pflanzen erhöht, sondern in Verbindung mit der Inaktivierung der Enzyme auch die Nährstoffverluste in der nachfolgenden Trocknungsphase vermindert werden.

Die Witterungsabhängigkeit ist ähnlich hoch wie bei den anderen Aufbereitungsmethoden. Einer schnelleren Wasserabgabe bei gutem Trocknungswetter steht eine verstärkte Wasseraufnahme bei Niederschlägen gegenüber.
Unter den heutigen Bedingungen wäre ein Einsatz der thermischen Aufbereitung von Grüngut nicht denkbar.
Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Wasserabgabefähigkeit der Pflanzen durch gezielte Änderung des physikalischen und biologischen Zustandes des Pflanzenmaterials besteht in der thermischen Behandlung mit elektrischen Feldern und elektrischen Entladungen.
Solche Behandlung beeinträchtigt bzw. unterbricht die biochemische Tätigkeit des Protoplasmas, hemmt die enzymatischen Aktivitäten und vermindert die hydrolytischen und oxydierenden Umsetzungen. Vor allem zerstört der elektrische Strom die Zellverbände und begünstigt die Wasserabgabe aus der Zelle.
Untersuchungsergebnisse zur elektrischen Aufbereitung sind vor allem seit Ende der 60er Jahre aus der UdSSR, den USA, der DDR und der BRD bekannt (BEZANAR, 1980; JESCHE, 1975; WIENEKE, 1972).
Im FZM Schieben/Bornim durchgeführte Untersuchungen zur elektrischen Aufbereitung unter Nutzung der Lichtbogenentladung erbrachten Trocknungsbeschleunigung von ca. 10%. Ähnliche Werte wurden in Vergleichsuntersuchungen mit der mechanischen Aufbereitung erzielt.
Der spezifische Energieaufwand war jedoch mit 160... 850 kJ/kg Frischmasse außerordentlich hoch und rechtfertigte keine praktische Anwendung. In anderen Ländern ermittelte Ergebnisse zur Behandlung mit elektrischen Entladungen und elektrischen Feldern ließen ebenfalls keine befriedigende Effektivität erkennen.
Wie die chemische und thermische Aufbereitung befindet sich somit auch die elektrische Aufbereitung noch im Versuchsstadium. Praktisch nutzbare Ergebnisse sind zudem nur bei der Behandlung grobstängeliger Leguminosen bekannt geworden. Je älter und verholzter die Pflanzen sind, desto geringer ist die Wirkung.
BEZANAR gibt an, dass die Witterungsabhängigkeit gegenüber der chemischen und thermischen Aufbereitung geringer ist. Problematisch bleiben die technische Realisierung einer Feldeinrichtung und die Energiefrage.

4.3.1.6 Zusammenfassung

Von allen Halmgutaufbereitungsmethoden hat bisher nur die mechanische Behandlung eine größere praktische Bedeutung erlangt. Technische, technologische und ökonomische Vorteile sprechen zurzeit eindeutig für die Anwendung der mechanischen Halmgutaufbereitung.

Einige Arten der mechanischen Aufbereitung wie Pressen bzw. Auspressen sowie Quetschen können zu Verlusten während der Aufbereitung oder zur späteren Auswaschung der Nährstoffe führen.

Die mehrdimensionale Schwadformung erweist sich nach Vorausberechnungen als vorteilhaft gegenüber der konventionellen Trocknung im Schwad bzw. in Breitablage. Die aussichtsreichste Variante ist das Spiralschwad.

Die chemische und thermische (einschließlich elektrische) Aufbereitung sind bisher nicht aus dem Versuchsstadium heraus gekommen.

Durch die thermische Aufbereitung ist in kurzer Zeit eine erhebliche TS- Erhöhung zu erreichen, wobei eine Kombination der mechanischen und thermischen bzw. elektrischen Aufbereitung einen noch größeren Effekt hat. Bedenklich ist der erheblich höhere Energieaufwand gegenüber der mechanische Aufbereitung.

Der Trocknungserfolg bei der chemischen Aufbereitung ist sehr witterungsabhängig. Das Karotin als wertvoller Inhaltstoff des Futters wird fast vollständig zerstört, obwohl der Rohnährstoffgehalt und der Futterwert kaum verändert wurden.

Bei dickstängeligen Leguminosen werden bessere Ergebnisse als bei Gräsern erreicht.

4.3.2 Mikrowellen- und Hochfrequenz- Trocknung

4.3.2.1 Eigenschaften von Mikrowellen und Hochfrequenz

Mikrowellen liegen im Frequenzbereich zwischen Hochfrequenz und Infrarotstrahlung. Hochfrequenzstrahlen sind elektromagnetische Wellen mit einer Wellenlänge von 1 m bis 100 m. Sie zeichnen sich durch eine große Eindringtiefe von mehreren Dezimetern in das Produkt aus. Mit Hochfrequenz bezeichnet man in der Elektronik und der Nachrichtentechnik hohe Frequenzen des elektrischen Stroms und elektrischer und/oder magnetischer Felder. Die Zahlenwertangaben hierzu sind nicht festgelegt. Als untere Schwelle des Hochfrequenzbereichs werden Werte zwischen 10 kHz und 1 MHz angegeben. Unterhalb dieser Werte werden die Frequenzen meist als Mittelfrequenz definiert, die darauf folgende Grenze zur Niederfrequenz wird bei etwa 500–1000 Hz angesetzt (Abb. 29).

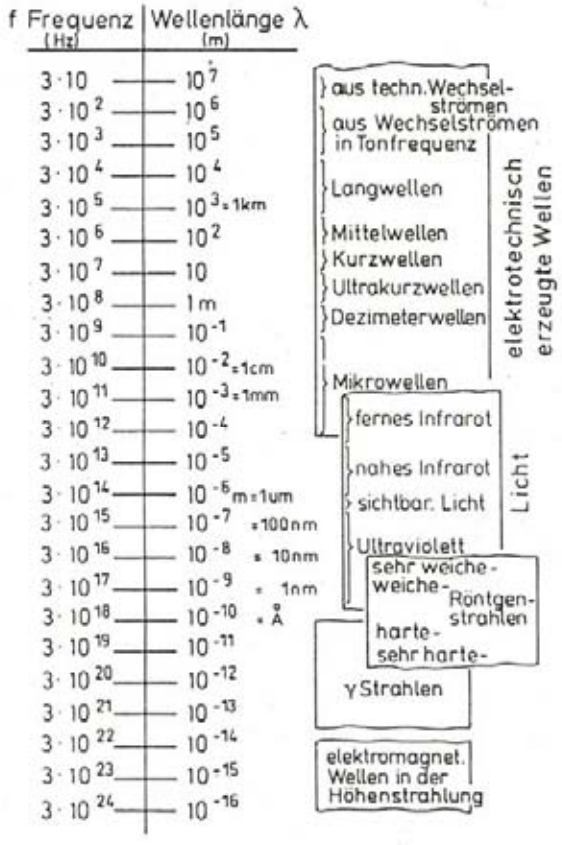


Abb. 29: Frequenzbereich der elektromagnetischen Wellen (SCHÄFER, 1994)

Während der Behandlung mit Mikrowellen und Hochfrequenz erfolgt eine dielektrische Erwärmung des Gutes. Praktisch bedeutsam ist die Tatsache, dass Mikrowellen Luft, Kunststoff, Porzellan und Glas durchdringen, von Metallen reflektiert, sowie von Wasser, Nahrungsmitteln oder landwirtschaftlichen Produkten (Dielektrika) im allgemeinen unter Freisetzung von Wärme absorbiert werden (LÜCKE, 1993).

Treffen die Mikrowellen einseitig auf das Erwärmungsgut und werden im Gut absorbiert, so nimmt die Volumenleistungsdichte von der Oberfläche nach innen exponentiell ab. Das Eindringmaß wird verwendet, um die Tiefe zu kennzeichnen, in der die Volumenleistungsdichte auf 37% ihres Anfangswertes an der Oberfläche abgesunken ist (ANONYMUS, 2003).
Allgemein gilt, dass bei dielektrischer Erwärmung mit Hochfrequenzenergie sich die Wirkung mit zunehmender Frequenz erhöht (PEHL, 1993).
Mikrowellenenergie wird heute fast in allen Bereichen unseres Lebens eingesetzt. Die Anwendungsbeispiele reichen von der Industrie, etwa zum Temperieren von Gummi beim Vulkanisieren oder von Epoxydharzteilen zum Aushärten, bis zum Haushalt, wo die Mikrowellenenergie bei der Speisenzubereitung und -erwärmung verwendet wird. Neue Anwendungsgebiete kommen hinzu. Hochfrequenzstrahlung wird vor allem für die Trocknung im Bereich der faserherstellenden und faserverarbeitenden Industrie angewendet. So werden feuchte Ballen, Spulen, Bahnen und Fadenscharen mit Hochfrequenz getrocknet (SCHÄFER, 1994).
Weit reichende Möglichkeiten bestehen auch in der Land- und Ernährungswirtschaft. So benennt das All-Russian Institute for Mechanization and Electrification of Agriculture, wo der Mikrowelleneinsatz seit 1982 erforscht wird, mehr als 100 realisierte und potenzielle Anwendungsgebiete der Landwirtschaft (ANONYMUS, 2005b).

4.3.2.2 Behandlungen mit Mikrowellen und Hochfrequenz

In der Literatur werden verschiedene Versuche zur Anwendung der Mikrowellen und Hochfrequenz in der Landwirtschaft beschrieben. Ein großer Teil der durchgeführten Untersuchungen behandelt die Keimhemmung und das Trocknen von Materialien (BÖHM, 2004; HARTULISTIYOSO et al., 1998; HARTULISTIYOSO, 1999; HEINDL, 2005; LÜCKE, 1993; RUSLI & LÜCKE, 1997; V. HÖRSTEN, 1995).

RUSLI & LÜCKE (1997) haben mit der Kartoffelsorte SOLARA eine Versuchsreihe durchgeführt. Die Kartoffeln wurden in 2 und 6 mm dicke Scheiben mit einem Standarddurchmesser von 45 mm geschnitten. Unmittelbar vor der Behandlung wurden die Kartoffeln 3 min in kochendem Wasser blanchiert. Jede Probe enthielt 50g Frischmasse. In einer speziell dafür umgebauten Mikrowellenanlage wurden die Proben getrocknet. Als Kontrolle dienten zwei Varianten, und zwar Konvektions- und Mikrowellentrocknung (MW). Es wurden drei kombinierte Varianten behandelt. Der Ablauf aller Varianten ist in Abb. 30 dargestellt. Die Mikrowellentrocknung erfolgte entweder mit konstanter Sendeleistung von 600 Watt oder konstanter Guttemperatur (80°C).

Variante	Verfahrenskombination				
1	<---konvektiv--->				
2	<---MW--->				
3	<---konvektiv--->		<---MW--->	<--konvektiv-->	
4	<--konvektiv-->	<---MW--->	<---konvektiv--->		
5	<---MW--->	<---konvektiv--->			
	0,02	0,25	0,5	0,75	1,00

Relativer Feuchtegrad

Abb. 30: Schema der Versuchsdurchführung (RUSLI & LÜCKE, 1997)

Die Konvektionstrocknung erfolgte erwartungsgemäß am langsamsten und die Mikrowellentrocknung ermöglichte die schnellste Trocknung. Es wurde festgestellt, dass die Kombinationsverfahren (konventioneller mit Mikrowellentrocknung) größere Trocknungsgeschwindigkeit als die anderen Varianten aufwiesen. Die Hochfrequenzenergie wird besser durch eine stoßartige Applikation (impulsartige Behandlung mit Mikrowellenenergie) als bei ausschließlicher Mikrowellentrocknung umgesetzt.

Bei anderen Versuchen in der Universität Göttingen wurde Majoran zwecks Entkeimung mit Mikrowellenenergie behandelt. Dabei konnte beispielsweise durch eine fünfminütige Mikrowellenbehandlung eine Reduktion des Bakterienbesatzes um 1,5 Zehner- Potenzen ohne Beeinträch-

tigung des Ölgehaltes erreicht worden. Der Pilzbesatz wurde bereits nach 60 s vollständig abgetötet. Es wurde auch festgestellt, dass Mikrowellentrocknung im Vergleich zu der konvektiven Trocknung eine deutlich höhere Trocknungsgeschwindigkeit und einen höherer Ölgehalt erreicht. Die visuelle Qualität (Farbe) nach einer Mikrowellentrocknung war ebenfalls besser. Dabei war eine exakte Temperatursteuerung während der Behandlung von größter Bedeutung.

Bei den Versuchen am Mikrowellen-Tunneltrockner des Instituts für Agrartechnik der Universität Göttingen wurde mit Digitalisblättern im Hochintensitätsmodul (10 kW Sendeleistung) eine Trocknungsdauer von nur 18 s benötigt, während die Konvektionstrocknung ganze vier Tage in Anspruch nahm.

Alle Versuchsergebnisse an Pflanzenmaterial zeigen, dass mit einer Mikrowellenapplikation zur Trocknungsbeschleunigung bei beliebigem Feuchtegehalt begonnen werden kann und dass sich dabei im Vergleich zur reinen Konvektionstrocknung deutlich höhere Trocknungsgeschwindigkeiten ergeben können.

Versuche zum Trocknungsverhalten von Halmgut nach Mikrowellen- und Hochfrequenzbehandlung in Kombination mit mechanischer Aufbereitung sind nach derzeitigem Recherchestand noch nicht durchgeführt worden.

Für Mikrowellen- und Hochfrequenzbehandlung von Halmgut sind zwei Aspekten zu beachten. Laut "Verordnung über elektromagnetische Felder" auf der Grundlage des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) sollen die in Tab.13 dargestellte Schwellenwerte bei ortsgebundenen Sendeanlagen nicht überschritten werden.

Tab.13: Effektivwert der Feldstärke, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle nach Bundesanstalt für Strahlenschutz

Frequenz (f) [MHZ]	elektrische Feldstärke [V/m]	magnetische Feldstärke [A/m]
10 - 400	27,5	0,073
400 - 2000	$1{,}375\ f^{0,5}$	$0{,}0037\ f^{0,5}$
2000 - 300000	61	0,16

Das stellt hohe Anforderungen in Sicherheitsfragen an die mögliche Anlage. Bei nicht eingehaltenen Vorschriften können wirtschaftliche und sogar gesundheitliche Folgen auftreten.

Mit zugelassenen Sendeleistungen mobiler Sendeanlagen kann man kein befriedigendes Trocknungsergebnis erreichen. Der Trocknungsprozess muss daher in einem geschlossenen Raum erfolgen, was bei der Konstruktion der Anlage zu berücksichtigen ist.

Der zweite Aspekt ist der hohe Leistungsbedarf bei der Trocknung. Der variiert je nach dem erwünschten Trocknungsergebnis und liegt im kW- Bereich.

Somit muss die Anlage für Trocknung einerseits strengen Anforderungen des Bundesimmissionsschutzgesetzes entsprechen und andererseits eine hohe Energiemenge liefern können.
Es wäre aus Sicherheitsgründen leichter, eine Mikrowellenbehandlung im Inneren der Maschine durchzuführen als das Halmgut in stehenden Bestand zu behandeln.

4.3.3 Silomanagement

4.3.3.1 Siliergutverdichtung

Die verfahrenstechnischen und siliertechnischen Faktoren üben, neben den speziellen Mähguteigenschaften, einen großen Einfluss auf die Qualität und die Verluste von Silagen. Hierzu gehört in erster Linie das Verdichten des Siliergutes beim Einlagern (FÜRLL et al., 2005).

Der Verdichtungserfolg beeinflusst die Porosität des Futterstockes und somit die Geschwindigkeit des Gasaustausches. Der Gasaustausch nimmt wiederum Einfluss auf die Gärverluste und die aerobe Stabilität der Silage. Nicht zuletzt kann durch eine gute Verdichtungsarbeit eine optimale Ausnutzung des verfügbaren Siloraums erfolgen.

Bei unzureichender Berücksichtigung dieser Faktoren ist eine geringe anaerobe Stabilität die Konsequenz. Gärverluste auf Grund von Fehlgärungen, bedingt durch Einlagerungsfehler während der Verdichtung und Fehler bei der Entnahme, sind die Folgen.

RUPPEL (1992) hat die Trockenmasseverluste von Luzernesilage in Abhängigkeit von der Silagedichte dargestellt. Hoch verdichtete Silagen verzeichnen geringere Trockenmasseverluste. Tab.14 fast diese Ergebnisse zusammen.

Tab.14: Trockenmasseverluste in Abhängigkeit von der Silagedichte (RUPPEL, 1992)

Dichte [kg TM/m^3]	Trockenmasseverluste, 180 Tage [%]
150	20,2
213	16,8
227	15,9
243	15,1
273	13,4
330	10,0

Als Richtwerte für Einlagerungsdichten bei Grassilagen werden die Werte zwischen 450 (FREITAG, 1983) und 600 kg Frischmasse/m^3 (KNABE et al., 1986) bzw. 200-250 kg Trockenmasse/m^3 (HONIG, 1987) genannt. Für das Verdichten in Horizontalsilos werden bei Bergeleistungen bis 40 t/h Walzschlepper mit einer Masse von mindestens 10 t und über 60 t/h mit 15 t Eigenmasse empfohlen (GERIGHAUSEN & HÖNER, 2004).

Die Erkenntnisse über Faktoren, die auf die Dichte in Fahrsilos wirken, sind noch nicht ausreichend untersucht worden. Generelle Empfehlungen gehen in die Richtung, Schichten von 15 cm Dicke kontinuierlich durch schwere Traktoren mit Einzelbereifung zu verdichten.

In einem Versuch mit Luzerne in 25 Horizontalsilos hat RUPPEL (1995) festgestellt, dass das Traktorengewicht und die Verdichtungsmaschinenarbeitszeit die wichtigsten wirkenden Faktoren auf die Dichte im Silo sind. Allerdings sind die genannten Einflussfaktoren nicht alleinig aus-

schlaggebend zum Erzielen einer Qualitätssilage und erklären nur einen Teil des kausalen Beziehungsgefüges.
Zur Aufklärung der Wirkungsbeziehungen zum Erzielen einer optimalen Verdichtung stellt die Arbeit von HOLMES & MUCK (1999) die aktuellsten und ergiebigsten Ergebnisse auf diesem Gebiet dar. Dabei wurden in Wisconsin die Dichten in über 160 Horizontalsilos, die entweder Maishäcksel oder Grassilage mit einem hohen Anteil an Luzerne enthielten, gemessen.
Demnach hängt der Verdichtungserfolg von verschiedenen Parametern ab, die sich häufig wechselseitig beeinflussen:

- Masse und Anzahl der Maschinen,
- Schichtdicke,
- Höhe des Futterstocks,
- Massestrom der Originalsubstanz,
- Reifenbreite,
- Häcksellänge,
- Trockenmassegehalt.

Die Verdichtungswirkung nimmt ab mit der Verteilung der Masse auf mehrere Maschinen. Demnach lässt das durchschnittliche Gewicht der Verdichtungsmaschinen und somit die Verdichtung nach, wenn das Gewicht auf mehrere Maschinen verteilt wird. Höhere Verdichtungsleistungen werden somit beispielsweise durch einen Radlader von 12 t anstelle von zwei Radladern mit jeweils 6 t Masse erreicht.
HOLMES & MUCK sind durch ihre Untersuchungen zu dem Ergebnis gekommen, dass die Verdichtung mit der Höhe des Haufwerks oberhalb der Bohrpunkte positiv korreliert und somit ein Anzeichen für die Selbstverdichtung in Silos ist.
Die zu leistende Verdichtung des Siliergutes durch Maschinen ist direkt proportional abhängig vom Massestrom der angelieferten Substanz (t angelieferte Biomasse * h^{-1}). Somit bestimmt der Massestrom der Originalsubstanz den Kapazitätsanspruch und somit die Anzahl und Größe der benötigten Verdichtungsmaschinen für einen definierten Verdichtungsgrad.
Zusammen mit der Silogeometrie, der Lademasse je Transporteinheit und der Schüttdichte bestimmt der Massestrom die Dicke der gleichzeitig zu verdichteten Schicht (MÜLLER, 1969).
Der Einfluss der Reifenbreite wird als gering eingeschätzt (AMMANN & FRICK, 2005).
Der Einfluss der Häcksellänge konnte bisher nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden, obwohl theoretische Betrachtungen einen Einfluss auf die Verdichtbarkeit des Haufwerks unterstellen

(FÜRLL, 1972; WAGNER et al., 2004, 2005a). WAGNER (2005a) hat den Einfluss der theoretischen Häcksellänge auf die Verdichtbarkeit untersucht. Es wird zwischen den Gutarten Silomais und Grasanwelkgut unterschieden. Beim Silomais wurde der Einfluss der theoretischen Häcksellänge mit einheitlicher Siebweitenkorrektur auf die Verdichtbarkeit untersucht, beim Grasanwelkgut wiederum der Einfluss der theoretischen Schnittlänge und des Trockensubstanzgehaltes. Es ist jedoch zu erwähnen, dass Wagner Untersuchungen unter Laborbedingungen durchgeführt hat, so dass die Wirkung der Häcksellänge auf die Verdichtung nicht unmittelbar auf die Praxis übertragen werden kann. Es hat sich gezeigt, dass beim Grasanwelkgut im Gegensatz zur Maissilage verschiedene Schnittlängen nur minimale Unterschiede der Dichte eine Minute nach der Rückfederung bewirken. Auch die unterschiedlichen Trockensubstanzgehalte (hier 33% und 42%) bedingen nur geringfügige Unterschiede in den nach der Rückfederung gemessenen Dichten. Grasanwelkgut mit hohem Trockensubstanzgehalt besitzt zwar eine vergleichsweise geringere Dichte, jedoch wird diese im Vergleich zu geringeren Trockensubstanzgehalten durch den geringeren Wassergehalt nahezu ausgeglichen.

Der Trockenmassegehalt nimmt über verschiedene Wirkungen Einfluss auf die Verdichtbarkeit, was u.a. auf die unterschiedlichen Bindungsformen des Wassers zurückzuführen ist. Mit steigendem Trockenmassegehalt wird vor allem auf Grund der höheren Biegfestigkeit von Halmen und Blättern die erreichbare Lagerungsdichte geringer (FÜRLL, 1973; FÜRLL, 1975; WILLIAMS, 1994). Dadurch wird der Gasaustausch durch den Anstieg des Porenvolumens erhöht (RETTIG, 1972; WEISE, 1978). Einem Anstieg des Porenvolumens kann mit kürzerer Häcksellänge oder höherem Verdichtungsdruck entgegengewirkt werden.

Von russischen und weißrussischen Wissenschaftlern wird das Problem der Verdichtung am Silo nicht als wesentlich eingestuft. Es werden lediglich nur die Richtwerte angegeben (POBEDNOV, 2005).

Von mehreren Autoren wird vermutet, dass der Einsatz von unterschiedlichen und sogar für einzelne Kulturarten angepassten Silierhilfsmitteln alle Fehler beim Einlagern und Verdichten ausgleichen kann (BONDAREV & ANISIMOV, 2006; IDLER & FÜRLL, 2001; POBEDNOV, 2003; SCHPAKOV & BONDAREV, 2003; WEIßBACH, 2001a, 2002). Andere Autoren hingegen beharren nur auf der Zusatzrolle von Silierhilfsmitteln. Demnach sollen Silierhilfsmittel vor allem nur für Gras mit einem TS- Gehalt von 20 bis 30% sowie für Leguminosen mit 25- 35% des TS- Gehaltes und vor allem mit geringerem Zuckergehalt eingesetzt werden. Darüber hinaus wird die Anwendung als nicht zwingend erforderlich angesehen (MEINEN, 2001; THAYSEN, 2001).

4.3.3.2 Verdichtungsmessung von Grassilage

Unter Praxisbedingungen wird die Dichte durch die Entnahme von Bohrkernen untersucht. Die Probenannahme erfolgt nach 6- 8 Wochen oder im Zuge der Futterentnahme. Problematisch ist dabei die Bestimmung des entnommenen Volumens, das durch das Volumen des eingedrungenen Bohrer korrigiert werden muss. Zu diesem Zweck können die Bohrer über eine empirische Funktion kalibriert werden.

Die Lagerungsdichte kann auch durch Gammastrahlen radiometrisch bestimmt werden (EDNER, 1985). Dazu werden die an Proben bekannter Dichte kalibrierten Gammasonden verwendet.

Eine andere Möglichkeit ist, die Masse des eingelagerten Materials abzuwiegen und dessen Volumen nach der Verdichtung mittels optischer Messverfahren zu bestimmen. Diese Methode wird auch in der Beratung empfohlen.

Die Verfahren der Porenvolumenmessung oder der Messung der Biegefestigkeit für die Bestimmung des Verdichtungserfolges sind experimentell aufwendig und konnten sich in der Praxis bisher nicht durchsetzen.

Der überwiegende Teil der in der Literatur beschriebenen Untersuchungen zur Verdichtung bezieht sich auf durch Bohrung gewonnenen Proben nach Abschluss des Siliervorganges bzw. bei der Futterentnahme.

Verdichtungsmessungen sollen aber vor allem online passieren. Nur dann kann die gewonnene Information sinnvoll genutzt werden. Verdichtungsbestimmung nach dem Silieren kann nur dazu genutzt werden, den Verdichtungserfolg zu beurteilen. Eine Möglichkeit, den Erfolg der Verdichtung unmittelbar während der Einsilierung zu beeinflussen, besteht bei diesem Verfahren nicht. Das Ziel ist somit das möglichst frühere Eingreifen mit dem Ziel, die Verdichtung zu optimieren.

5 PRÄZISIERTE AUFGABENSTELLUNG

Das Hauptproblem der Halmguternte in GUS Ländern sind Verluste sowohl an Substanz als auch an Nährstoffen in der gesamten Verfahrenskette. Eine Verbesserung der Prozess- und Produktqualität gegenüber dem unbefriedigenden Iststand kann somit nur durch eine wesentliche Minderung der Verluste in allen Bereichen erreicht werden.

Die in der Arbeit dargestellten und beschriebenen Verfahren der Halmguternte sowohl in Weißrussland als auch im Novosibirsker Gebiet weisen mehrere Mängel auf.

In Anbetracht der überwiegend großen Schläge wäre der Einsatz von größeren Mähwerken sinnvoll.

Die Aufsammelverluste und Verluste beim Schwaden bzw. Wenden sind überwiegend auf den schlechten Zustand der Technik zurückzuführen.

Das Welkgut wird zum Teil mit einer Feuchtigkeit von mehr als 30% vorgepresst und anschließend unter Dach zur gewünschten Kondition getrocknet. Das führt nicht nur zur Kostensteigerung (NYDEGGER, 2001). Es kann sogar dazu führen, dass das Welkgut nicht vollständig und gleichmäßig getrocknet wird. Dies wiederum kann die Bildung von Schimmel mit allen möglichen „Nebeneffekten“ als Folge haben.

Allgemein gilt: je höher die Feuchtigkeit des Gutes bei der Bergung, desto geringer sind die TS-Verluste und desto höher sind die potenziellen Lagerungsverluste (KOROTKEWITSCH, 1991).

Auf Nachfrage in russischen und weißrussischen Forschungs- und Beratungseinrichtungen war festzustellen, dass weder Praxis noch Wissenschaft beim Verdichten und Hermetisieren von Siliergut Handlungsbedarf im Sinne der Qualitätssicherung sehen. Auch in den zutreffenden Publikationen überwiegt die Feststellung, dass sich Silierhilfsmittel zur Behebung technologischer Defekte hinreichend eignen. Dringend notwendige Verbesserungen zur Verkürzung der Feldliegephase, zur Optimierung der Transportprozesse, zur Verbesserung der Silierbedingungen und zum Aufbau einer anforderungsgerechten Informationslogistik werden daher nicht empfohlen.

Stark verlustbehaftet ist auch die Endlagerung im Feld bzw. am Feldrand. Ihre Anwendung ist zum Teil auf die knappe technische Ausstattung der Betriebe zurückzuführen.

Auf dieselbe Ursache sind vielfach auch die Verluste bei der Silage zurückzuführen. Die üblichen Abdeckungs- und Abdichtungsmethoden lassen die Vermutung zu, dass Verluste billigend in Kauf genommen werden.

Dem gegenüber ist festzustellen, dass zum Einwickeln von Heu in Folie sehr hohe Kosten akzeptiert werden, ohne dass ein wesentlicher Qualitätsgewinn zu erwarten ist.

Bisher wird auch der "Kurgan" als Silierform noch akzeptiert, obwohl diese Variante aufgrund überhöhter Verluste allenfalls noch vorläufig vorstellbar ist.

Die Hauptverlustquellen sind aber die Feldtrocknung bei der Heu- und Silagebereitung und die mangelnde Verdichtung bei der Silobefüllung.
Um die Verluste bei der Feldtrocknung zu verringern, soll die Feldliegezeit soweit wie möglich verkürzt werden. Es sind mehrere Methoden bekannt, um die Feldliegezeit zu beschleunigen. Vor allem haben sich die mechanischen Methoden auf Grund ihrer niedrigen Kosten und einfachen Durchführbarkeit behauptet. Nach bisherigen Vorausberechnungen bietet sich das Spiralschwad als eine viel versprechende Lösung für die Trocknungsbeschleunigung an.
Aufgrund dieser Bestandaufnahme stehen folgende Untersuchungen im Mittelpunkt der Arbeit.
Die Annahme, dass das Spiralschwad eine schnellere Trocknung des Gutes auf dem Feld ermöglicht, soll in dieser Arbeit geprüft werden.
Auf der Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse der Behandlung von Grüngut mit Mikrowellen und Hochfrequenz wird ferner angenommen, dass beide Behandlungsmethoden zur Trocknungsbeschleunigung auf dem Feld beitragen können. Dies ist zu prüfen.
Die Siliergutverdichtung spielt eine wesentliche Rolle bei der Erzeugung von qualitativ hochwertigen Silagen. Es fehlte aber bisher an Verfahren zur einfachen und rechtzeitigen Bestimmung der Verdichtung. Auf Grund der eigenen Untersuchungen soll ein vereinfachtes Verfahren für die Berechnung der Siliergutverdichtung ausgearbeitet und vorgeschlagen werden.
Des weiteren sind Vorschläge zur operativen und nachhaltigen Erhöhung der Qualität von Halmgutfutter in GUS- Regionen anhand der dargestellten Situation zu erarbeiten.

6 MATERIAL UND METHODEN

6.1 Versuche mit dem Spiralschwad

6.1.1 Versuchsaufbau

Als Versuchsmaterial dient in den ersten drei Versuchen Wiesengras und im vierten Versuch Luzerne. Folgende Varianten ergeben sich:

- Spiralschwad,
- Breitablage auf Gazerahmen mit mechanischer Bearbeitung,
- Breitablage auf Gazerahmen ohne mechanische Bearbeitung.

Mechanische Bearbeitung wird durch Lockerung per Hand nach Bedarf und Witterung ersetzt. Die Varianten werden realen Witterungsbedingungen ausgesetzt und auf die Feuchtigkeit von 20% heruntergetrocknet. Das Ziel der Versuche besteht darin, einen möglichen Unterschied im Trocknungsverlauf und in der Qualität zwischen den Varianten festzustellen.
Der Übersicht der vier Versuchsreihen ist in Tab.15 dargestellt.

Tab.15: Übersicht der Versuchsreihen

Nr.	Varianten	Anzahl der Wiederholungen
1	Gazerahmenablage ohne mech. Bearbeitung, 1 m^2 Gazerahmenablage mit mech. Bearbeitung, 1m^2 Spiralschwad, 1 m lang	3 3 3
2	Gazerahmenablage ohne mech. Bearbeitung, 2 m^2 Gazerahmenablage mit mech. Bearbeitung, 2 m^2 Spiralschwad, 2 m lang	2 3 3
3	Gazerahmenablage mit mech. Bearbeitung, 2 m^2 Spiralschwad 2 m lang	3 3
4	Gazerahmenablage mit mech. Bearbeitung, 2 m^2 Spiralschwad, 2 m lang	3 3

6.1.2 Spiralschwad

Da es bisher keine funktionsfähige technische Lösung gibt, werden die spiralförmigen Schwade für Versuchszwecke künstlich erzeugt, indem das zu untersuchende Material zwischen zwei Rollen aus Maschendraht eingebracht wird (Abb. 31).

Abb. 31: Maschendrahtrollen für Erzeugung des Spiralschwades

Zur Erzeugung des Spiralschwades wird der Maschendraht mit dem Außendurchmesser von 400 mm flach auf den Boden gelegt. Die entsprechende Menge an Grünmasse wird auf dem Maschendraht gleichmäßig verteilt. Danach wird die Maschendrahtrolle mit Innendurchmesser von 300 mm darauf gelegt, das Ganze zusammengerollt und gebunden.

6.1.3 Gazerahmen

Das konventionelle Verfahren stellt eine Ablage auf Gazerahmen dar. Während der Feldliegezeit können auf Grund der mechanischen Bearbeitung Bröckelverluste auftreten. Um den Trocknungsverlauf unabhängig von diesen Verlusten zu bestimmen, werden die Proben von Varianten der Breitablage mit und ohne mechanische Bearbeitung auf gazebespannten Proberahmen ausgelegt. In der ersten Versuchsreihe sind die Gazerahmen $1m^2$ groß und im zweiten, dritten und vierten Versuch $2m^2$ groß (Abb. 32).

Abb. 32: Gazerahmen (links $2m^2$, rechts $1m^2$)

6.1.4 Bestimmung des Trocknungsverlaufes

Für alle Versuchsreihen werden unmittelbar nach dem Mähen mindestens drei Ausgangsproben von ca. 200 g genommen, um den Anfangs-TS-Gehalt im Trockenschrank bei 105°C nach 24 Stunden der Behandlung bestimmen zu können.

Der Anfangs-TS-Gehalt (TS %) wird wie folgt berechnet:

$$TS_A = (m_E/m_A) \times 100\% \qquad (1)$$

wobei m_A – Anfangsmasse (g),

m_E- Endmasse (g) nach Trocknung bei 105°C bis zu Massekonstanz.

Vor der Anfertigung der Spiral- und Breitschwaden wird die Tara (im Fall des Breitschwades, Holzrahmen mit Gaze, und im Fall des Spiralschwades beide Maschendrahtrollen) gewogen.
Der Trocknungsverlauf wird mittels Zurückwiegen mit einem bestimmten Zeitabstand aufgenommen. Aufgrund der Massendifferenz kann dann auf den Trocknungsfortschritt geschlossen werden. Die Massen werden mit entsprechenden Formeln (2-5) in Feuchtgehalt umgerechnet.
Die Trockensubstanzmasse m_{TS} (g) wird nach der Formel:

$$m_{TS} = m_{OS} \times TS / 100\% \qquad (2)$$

wobei m_{OS} - Masse der Originalsubstanz (g)

TS – Trockensubstanzgehalt (%) sind,

ermittelt.

Die Masse an Feuchte m_f (g) wurde mit folgender Formel berechnet:

$$m_f = m_{OS} - m_{TS} \quad (3)$$

Der Feuchtegrad u ist der Quotient aus der Masse an Feuchte m_f (g) und der Trockensubstanzmasse m_{TS} (g).

$$u = m_f / m_{TS} \quad (4)$$

Den Zusammenhang zwischen dem Feuchtegehalt des Gutes φ (%) und dem Feuchtegrad u (g) beschreibt die Beziehung:

$$\varphi = 100 - 100 / (u+1) \quad (5)$$

Aus mehreren Wiederholungen wird ein Mittelwert gebildet. Durch Aneinanderreihen der Mittelwerte lässt sich der Trocknungsverlauf darstellen.
Diese Methode ist praxisüblich. Unter anderem GUSOVIUS (2002) und SUNDBERG (1991) verwendeten sie in ihren Freilandversuchen.

6.1.5 Qualitätsmessungen

Im dritten und vierten Versuch finden Qualitätsbestimmungen statt. In dritten Versuch werden Rohasche (RA), Rohprotein (RP) und NDF (Rohfasergehalt) bestimmt, mit dem Ziel einen möglichen Unterschied in der Endqualität bei allen Varianten festzustellen. Der Probenumfang für die Qualitätsuntersuchung beträgt 18 Proben. Für die Abschätzung des Rohfasergehaltes wird eine NDF-Analyse durchgeführt. Der Gehalt an Neutral-Detergentien-Faser ist bei pflanzlichen Futtermitteln ein Maß für den Gehalt an Zellwandgerüstsubstanzen (Hemicellulose, Cellulose, Lignin, Lignin-N-Verbindungen). Kieselsäure und Silikate (erdige Verunreinigungen) werden auch mit erfasst.

Im vierten Versuch wird jeweils eine Sammelprobe vom Spiralschwad und von der Variante auf Gazerahme mit mechanischer Bearbeitung dem Hohenheimer Futterwerttest unterzogen. Dabei werden vor allem Rohproteingehalt, Netto-Energie-Laktation (NEL), Energiedichte (ME) und Verdaulichkeit der Proben bestimmt.

Die Qualitätsbestimmung in beiden Versuchen erfolgt in einem externen Labor nach amtlichen Methoden.

6.1.6 Messung der Witterung

Während der Durchführung der Versuche werden Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windstärke, Sonnenscheindauer und Niederschläge mit Hilfe der in Abb. 33 dargestellten Wetterstation gemessen.

Abb. 33: Wetterstation

6.2 Versuche zur Vorbehandlung mit Mikrowellen und Hochfrequenz

6.2.1 Versuchsaufbau

Als Versuchsmaterial dient Luzerne. Varianten ergeben sich durch die Behandlung

- in einer stationären Mikrowellenanlage,
- in einer Hochfrequenzanlage sowie
- im Mikrowellentunnel.

Danach wird im Klimaschrank der Trocknungsverlauf unter kontrollierten Bedingungen aufgenommen. Anschließend findet die Qualitätsbestimmung mittels Hohenheimer Futterwertetest statt. Für den ersten Abschnitt der Versuche wird sowohl ungequetschtes als auch gequetschtes Material verwendet. Die mechanische Bearbeitung erfolgt mittels Flachsbrecher. Es werden folgende Varianten untersucht (Tab.16).

Tab.16: Untersuchte Varianten

Proben nummer	Variante	Mechanische Bearbeitung	Sendeleistung [kW]	Bearbeitungsdauer [s]
1	Stationäre Mikrowellenanlage	ungequetscht	1,2	60
2	Stationäre Mikrowellenanlage	ungequetscht	1,2	30
3	Stationäre Mikrowellenanlage	ungequetscht	1,2	15
4	Stationäre Mikrowellenanlage	gequetscht	1,2	60
5	Stationäre Mikrowellenanlage	gequetscht	1,2	30
6	Stationäre Mikrowellenanlage	gequetscht	1,2	15
7	Hochfrequenzanlage	ungequetscht	1,2	60
8	Hochfrequenzanlage	ungequetscht	1,2	30
9	Hochfrequenzanlage	ungequetscht	1,2	15
10	Hochfrequenzanlage	gequetscht	1,2	60
11	Hochfrequenzanlage	gequetscht	1,2	30
12	Hochfrequenzanlage	gequetscht	1,2	15
13	Hochfrequenzanlage	ungequetscht	2,4	15
14	Hochfrequenzanlage	gequetscht	2,4	15
15	Mikrowellentunnel	geschnitten	4,8	7,6
16	Mikrowellentunnel	geschnitten	4,8	10,0
17	Mikrowellentunnel	geschnitten	4,8	20,8
18	Mikrowellentunnel	geschnitten	4,8	41,6
19	Mikrowellentunnel	geschnitten	4,8	66,6
20	Mikrowellentunnel	geschnitten	8,4	20,8
21	Nullvariante an atmosphärischer Luft	ungequetscht	-	-
22	Nullvariante an atmosphärischer Luft	gequetscht	-	-

6.2.2 Behandlung in stationärer Mikrowellenanlage

Die stationäre Mikrowellenanlage ist ein modifizierter Haushaltsmikrowellenofen mit einem Resonanzraumvolumen von 27 Litern. Alle Bauteile, wie Einkopplung, Magne-tron, Spannungsversorgung usw. wurden durch angepasste Systeme ersetzt. Auf diese Weise ist eine Laborversuchsanlage mit hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messergebnisse geschaffen worden (Abb. 34).

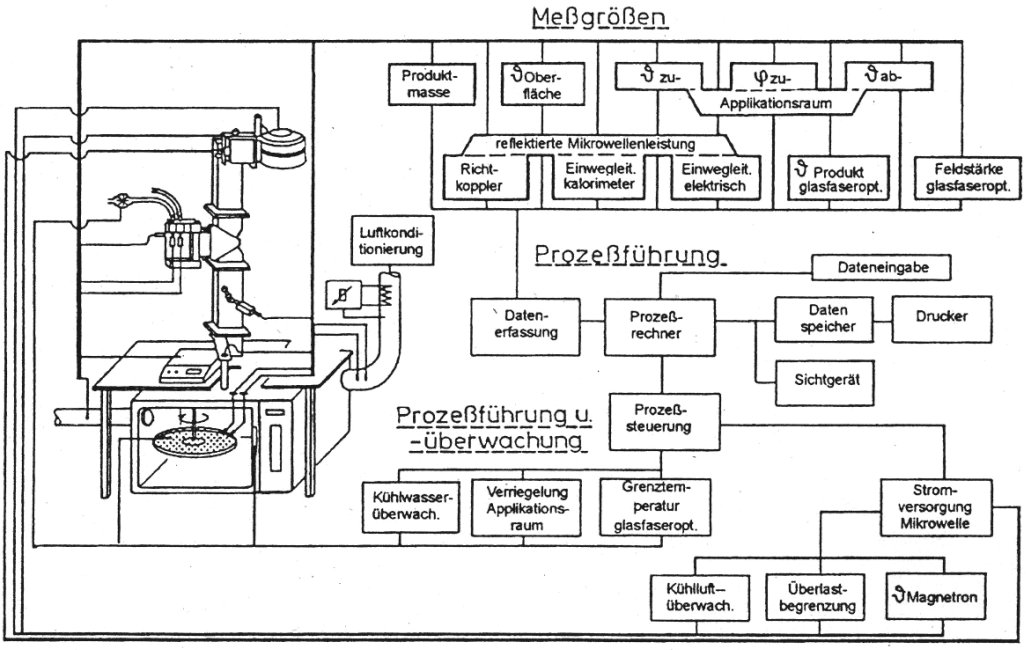


Abb. 34: Aufbau der stationären Mikrowellenanlage (KIALBEKOV et al., 2006)

In dieser Anlage werden ungequetschtes und gequetschtes Material behandelt. Die Masse der untersuchten Proben beträgt jeweils ca. 200 g. Die Behandlungszeiten variieren zwischen 15, 30 und 60 Sekunden. Die Sendeleistung des Magnetrons wird einheitlich mit 1,2 kW fixiert. Die Temperatur der Oberfläche wird während der Behandlung mit erfasst.

6.2.3 Behandlung in der Hochfrequenzanlage

Das Probenmaterial wird in einen 100 mm hohen Keramikring mit einem Durchmesser von 300 mm gefüllt und anschließend in die Hochfrequenzanlage zwischen zwei Metallplatten eingelegt (Abb. 35).

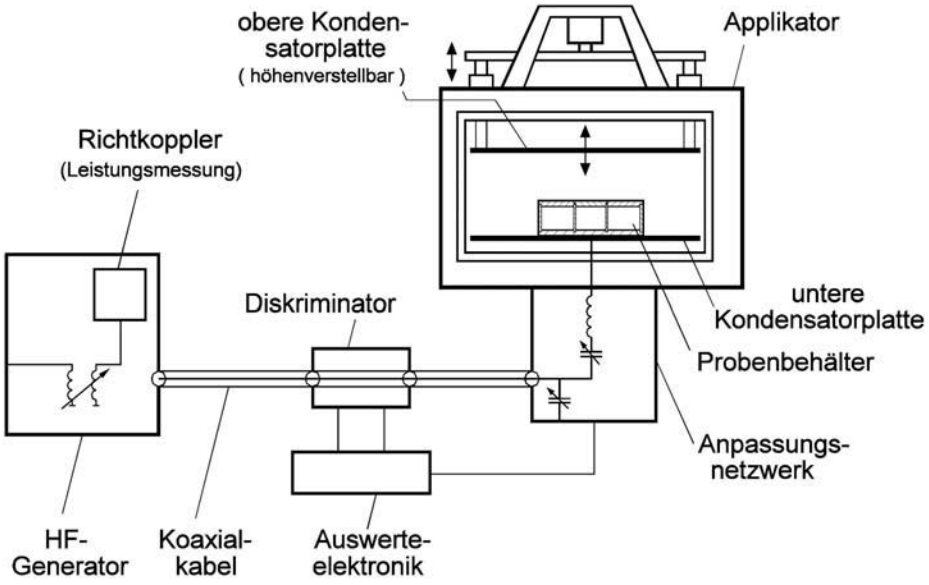


Abb. 35: Hochfrequenzanlage (KIALBEKOV et al., 2006)

Die Behandlung der Proben in der Hochfrequenzanlage erfolgt mit einer Frequenz von 27 MHz und Leistungen von 1,2 und 2,4 kW. Es werden ebenfalls Varianten mit ungequetschtem und gequetschtem Material untersucht. Für die Sendeleistung von 1,2 kW kommen Behandlungsdauervarianten von 15, 30 und 60 Sekunden; für die Sendeleistung von 2,4 kW kommen 15 Sekunden Behandlungsdauer zur Anwendung. Die Probenmasse beträgt jeweils ca. 200 g. Eine Temperaturmessung an der Oberfläche der Proben wird einbezogen.

6.2.4 Behandlung im Mikrowellentunnel

Im Mikrowellentunnel sind acht Magnetrons eingebaut, die einzeln, gruppenweise oder gleichzeitig eingeschaltet werden können. So konnte die Sendeleistung stufenweise von 1,2 bis 9,6 kW variiert werden. Die Geschwindigkeit des Laufbandes ist stufenlos von 0,015 bis 0,1 m/s variierbar.

Für die Behandlung im Mikrowellentunnel wird das Material auf Halmlängen von ca. 80 mm geschnitten. Die differenzierte Einwirkdauer wird durch Veränderung der Bandgeschwindigkeiten erreicht. Die ersten 5 Varianten werden einer Sendeleistung von 4,8 kW ausgesetzt. Die sechste Variante wird mit einer Sendeleistung von ca. 8,4 kW durchgeführt. In allen Varianten

wird die Probenmasse von ca. 500 g jeweils auf 1,4 m des Laufbandes gleichmäßig verteilt. Im Versuch wird die Temperatur der Oberfläche unmittelbar nach der Behandlung am Ausgang des Tunnels erfasst (Abb. 36).

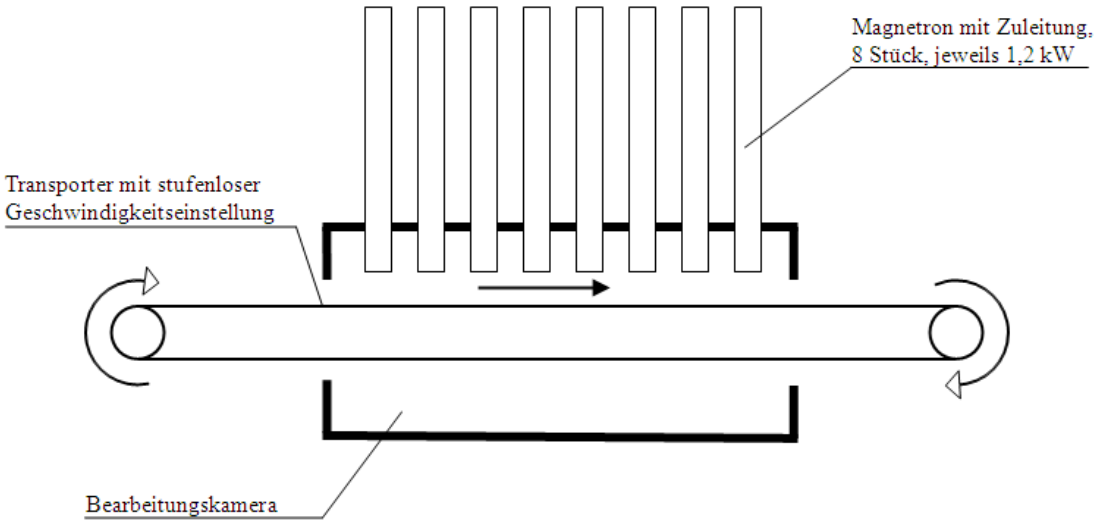


Abb. 36: Mikrowellentunnel (eigene Darstellung)

6.2.5 Trocknung unter Laborbedingungen

Alle in Tab.16 dargestellten Varianten werden im Klimaschrank bei ca. 40°C und ca. 40% relativer Luftfeuchtigkeit getrocknet. In einem vorgewählten Zeitintervall von 1 bzw. 2 Stunden erfolgt die Massebestimmung für alle Proben. Damit kann der zeitliche Verlauf der Trocknung erfasst werden. Ein Erreichen der Massekonstanz wird nicht beabsichtigt.

6.2.6 Qualitätsbestimmung

Für die Qualitätsbestimmung werden 11 Proben ausgewählt: Proben Nr.: 1, 4, 7, 10, 13-15, 19-22 (Tab.16). Alle Proben werden dem Hohenheimer Futterwerttest unterzogen. Dabei werden Qualitätsparameter wie Gehalt an Rohasche und Rohprotein sowie Verdaulichkeit, Energiemenge und Energiedichte bestimmt und anschließend miteinander verglichen. Die Qualitätsbestimmung erfolgt in einer externen Labor nach amtlichen Methoden.

6.3 Versuche zur Volumenberechnung am Horizontalsilo

Das Ziel des Versuches ist es ein praxisnahes Verfahren zur Volumenbestimmung zu erarbeiten. Dafür werden zwei Verfahren der Volumenbestimmung am Horizontalsilo verglichen. Es werden drei Silos sowohl in leerem, als auch in gefülltem Zustand vermessen.

Bei dem ersten Verfahren wird das Silovolumen mit Hilfe des Theodoliten vermessen und anschließend mit einer Software errechnet. Dieses Verfahren wird in der Forschung angewendet und ist mit einem großen Arbeits-, Zeit- und Kostenaufwand verbunden.

Bei dem zweiten Verfahren wird das Silovolumen mit einem Messband vermessen und anhand einer Formel errechnet. Dieses Verfahren ist im Vergleich zu ersten Verfahren leicht zu handhaben und überschaubar. Dabei wird bei der Berechnung des Volumens die Form der Silo idealisiert. Aufgrund dessen entsteht ein Berechnungsfehler.

Diesem Fehler kann mit dem Einsatz von der Software AutoCAD (Computer Aided Design) entgegengewirkt werden. Bei diesem Verfahren wird die Siloform nicht so stark idealisiert. Das Verfahren ist aber mit einem größerem Zeit- und Arbeitsaufwand bei der Messung verbunden.

Anhand der errechneten Volumen und der Massenstromangaben kann die Verdichtung des Siliergutes bestimmt werden. Dabei handelt es sich um einer durchschnittlichen Verdichtung am Silo. Die Dichteentwicklung im Verlauf der Befüllung kann nicht beurteilt werden.

6.3.1 Vermessung mit dem Theodoliten

Als Messgerät zur optischen Vermessung dient ein Theodolit Leica TPS 1100 (Abb. 37).

Der Theodolit ist ein optisches Messinstrument, das mit Hilfe eines Lasers ein Objekt (vorzugsweise ein Prisma oder eine Reflektionsfolie) anpeilt, seine Entfernung misst und zwei Winkel des Objektes zu Referenzobjekten ermittelt. Für den Vertikalwinkel ist der Referenzpunkt genau über dem Theodoliten erforderlich. Für den Horizontalwinkel muss ein (Hz=0)-Objekt eingemessen werden.

Die drei Daten (Entfernung, Horizontalwinkel und Vertikalwinkel) erlauben es dem Gerät, die angepeilten Punkte in ein 3-D-Gitter anzuordnen (x-, y- und z-Wert).

Vor einer Messung muss das Gerät aufgestellt und ausgerichtet werden. Es wird auf ein Dreibein geschraubt und mittels der eingebauten Libelle genau ins Lot gebracht. Das Tachymeter wird aufgestellt und horizontal justiert. Danach wird der horizontale Winkel parallel zu den Silowänden auf Null gestellt.

Abb. 37: Theodolit Leica TPS 1100 bei der Vermessung

Nach dem Einmessen von mindestens 4 Fixpunkten an den Silowänden in 2 m Höhe, wird das leere Silo vermessen. Dabei läuft eine Person die Fläche des ungefüllten Silos mit einer 2m hohen Prismenstange ab. Zur Abschluss der Verdichtung wird die Oberfläche des gefüllten Silos eingemessen. In beiden Fällen sind jeweils mindestens 100 Punkte mit einem Abstand von ca. 5 m zu erfassen.

Auf der Basis der mit dem Theodoliten gewonnenen Daten wird das Volumen mit Hilfe der Software Surfer errechnet.

6.3.2 Vermessung mit dem Messband

Sowohl das leere als auch das volle Silo werden mit einem 50 m langen Messband (Abb. 38) vermessen.

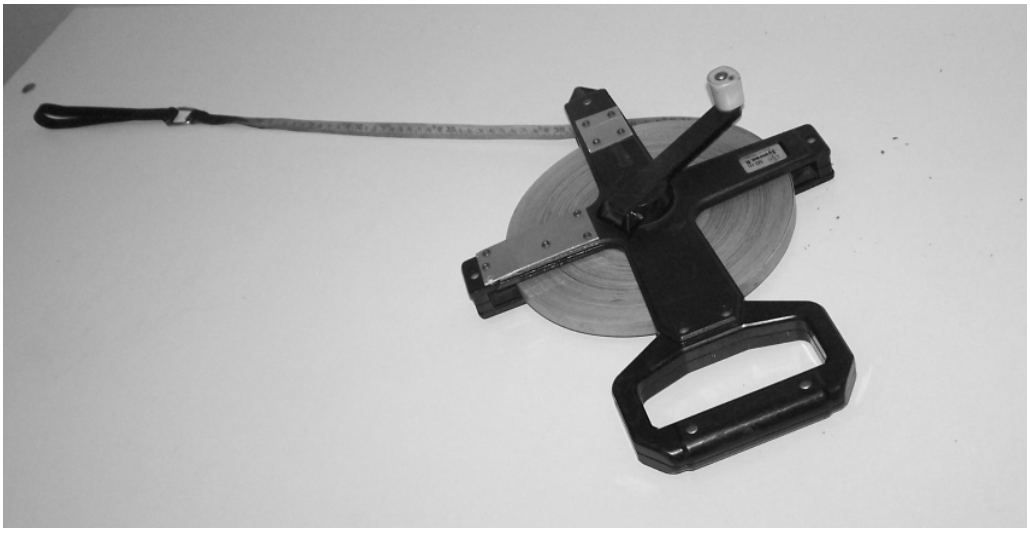


Abb. 38: Messband

Bei der Vermessung des leeren Silos werden Breite des gesamten Silos und Breite unten (B_{GS} und B_U), sowie Höhe der Silowände (H_{SW}) aufgenommen. Mit Hilfe der vermessenen Parameter wird tan α verrechnet:

$$\tan\alpha = \frac{2H_{SW}}{(B_{GS} - B_U)} \qquad (6)$$

Bei der Vermessung des vollen Silos werden die Länge oben und unten (L_O und L_U), sowie die Breite oben (B_O) aufgenommen. Die Höhe des Futterstockes wird mit folgender Formel berechnet:

$$H = \tan\alpha * \frac{(B_O - B_U)}{2} \qquad (7)$$

Mit Hilfe der aufgenommenen und berechneten Parameter wird das Volumen (V) ermittelt:

$$V = \frac{(L_O + L_U)}{2} * \frac{(B_O + B_U)}{2} * H \qquad (8)$$

Die aufzunehmenden und auszurechnenden Parameter sind in Abb. 39 dargestellt.

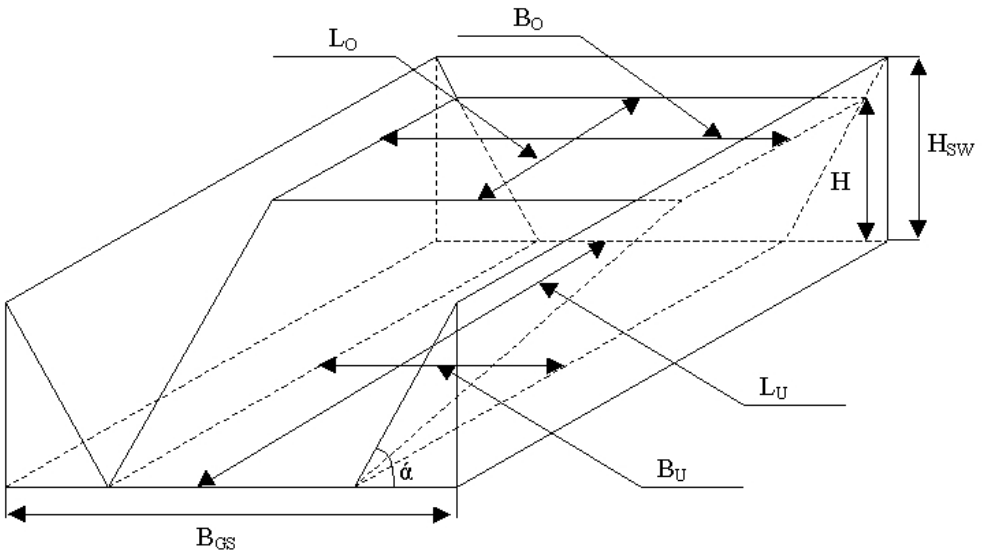


Abb. 39: Die Parameter des Silos

L_O – Länge oben, L_U – Länge unten, B_{GS} - gesamte Breite des Silos, B_O – Breite oben, B_U – Breite unten, H - Höhe, H_{SW} - Höhe der Silowände

7 ERGEBNISSE

7.1 Versuche mit dem Spiralschwad

7.1.1 Erster Versuch

Der erste Versuch wurde im Zeitraum vom 10.07.02 bis 23.07.02 durchgeführt. Die Versuchsflächen wurden mit einer Originalsubstanz von 2,4 kg/m^2 belegt, was einem Ernteertrag von 240 dt/ha entspricht. Das Mähgut bestand aus 5 Grasarten (Tab.17) und hatte eine durchschnittliche Wuchshöhe von 0,55 m. Der Anfangs-TS-Gehalt betrug ca. 37%.

Tab.17: Pflanzenbestand im ersten Versuch

Gemeine Quecke	Agropyron repens
Wiesenfuchsschwanz	Alopecurus pratensis
Gemeines Hornkraut	Cerastium holosteoides
Wolliges Honiggras	Holcus lanatus
Rohrglanzgras	Phalaris arundinacea
Wiesenrispengras	Poa pratensis

7.1.1.1 Witterungsverlauf

Während des Versuches fielen insgesamt 22,1 mm Niederschläge. Die größte Niederschlagsmenge gab es am 10.07.02 mit 11 mm. Die Verteilung der Niederschlagsmengen zeigt Abb. 40.

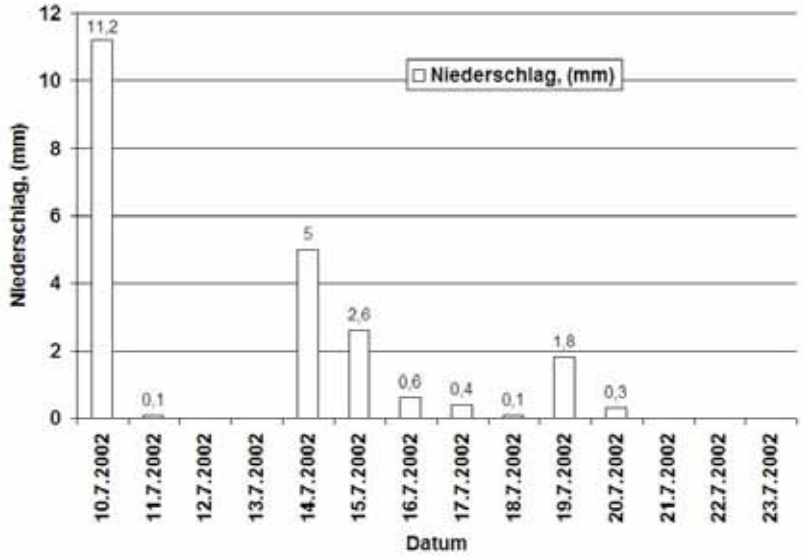
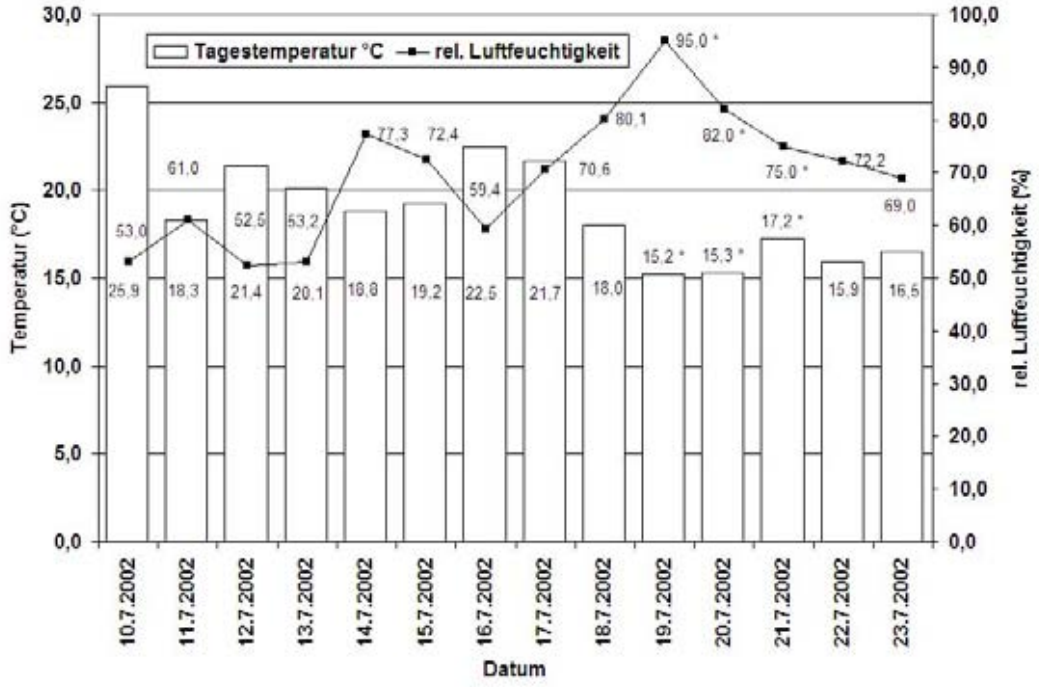


Abb. 40: Die Niederschlagsmenge während des ersten Versuches

Die Tagesmitteltemperatur lag zwischen 15,9° und 25,9°C. Die Werte der relativen Tagesluftfeuchtigkeit lagen zwischen 55,5 bis 80,1% (Abb. 41). Das Wetter ist allgemein als warm, feucht und niederschlagsreich zu bezeichnen.

Wegen technischer Probleme mit der Wetterstation konnten zwischen dem 19.07.02 und 22.07.02 keine Daten registriert werden.



*- Daten der Wetterstation Dahlem

Abb. 41: Tagesmitteltemperatur und relative Tagesluftfeuchtigkeit während des ersten Versuches

7.1.1.2 Trocknungsverlauf

Es sind deutliche Unterschiede zwischen den drei Abtrocknungskurven zu erkennen. An manchen Tagen betrug der Unterschied des Feuchtegehaltes zwischen der konventionellen Variante und dem Spiralschwad bis zu 25%.

Das Spiralschwad erreichte nach 4 Tagen den Lagerungsfeuchtegehalt von < 20%. Im Gegensatz zu den anderen Varianten wurden mit dem Spiralschwad bei weiteren Wiederbefeuchtung und Abtrocknung bessere Ergebnisse erreicht (erste Versuchsreihe). Das Spiralschwad hat mehrmals die 20% Grenze unterschritten, die beiden Varianten der Breitablage haben dagegen diese Grenze nicht erreicht. Bei Breitablage mit mechanischer Bearbeitung trocknete das Material schneller ab als bei Breitablage ohne mechanische Bearbeitung (Abb. 42).

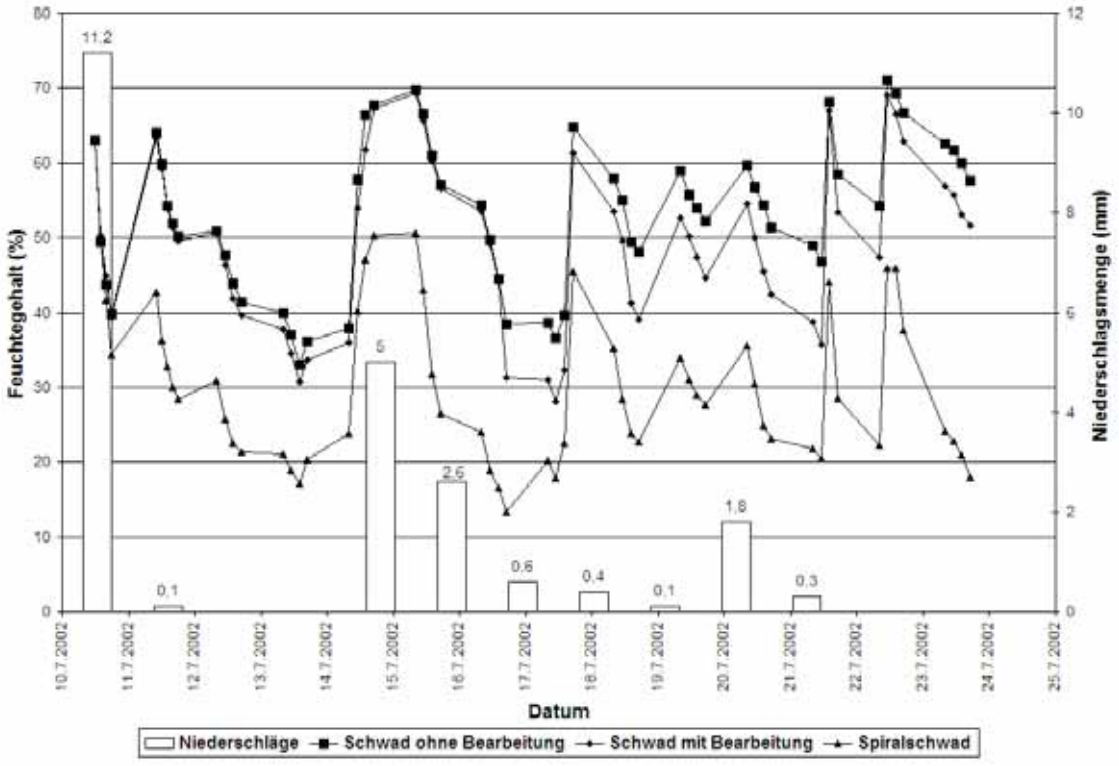


Abb. 42: Trocknungsverlauf und Niederschlag im ersten Versuch

7.1.2 Zweiter Versuch

Der zweite Versuch wurde vom 29.07.02 bis 01.08.02 durchgeführt. Die Versuchsflächen wurden mit einer Originalsubstanz von 2,4 kg/m^2 belegt, was einem Ernteertrag von 240 dt/ha entspricht. Das Mähgut bestand aus 4 Grasarten (Tab.18) und hatte eine durchschnittliche Wuchshöhe von 0,35 m. Der Anfangs-TS-Gehalt betrug ca. 22%.

Tab.18: Pflanzenbestand im zweiten Versuch

Wiesenrispe	Poa pratensis
Ausdauerndes Weidelgras	Lolium perenne
Kohldistel	Cirisium oleracium
Schlanksegge	Caris gracilis

7.1.2.1 Witterungsverlauf

Während des Versuches sind keine Niederschläge gefallen. Die Tagesmitteltemperatur lag im zweiten Versuch zwischen 25,2° und 27,8°C. Die relative Tagesluftfeuchtigkeit betrug im zweiten Versuch 42,4 bis 63,1% (Abb. 43). Das Wetter ist allgemein als trocken und warm zu bezeichnen.

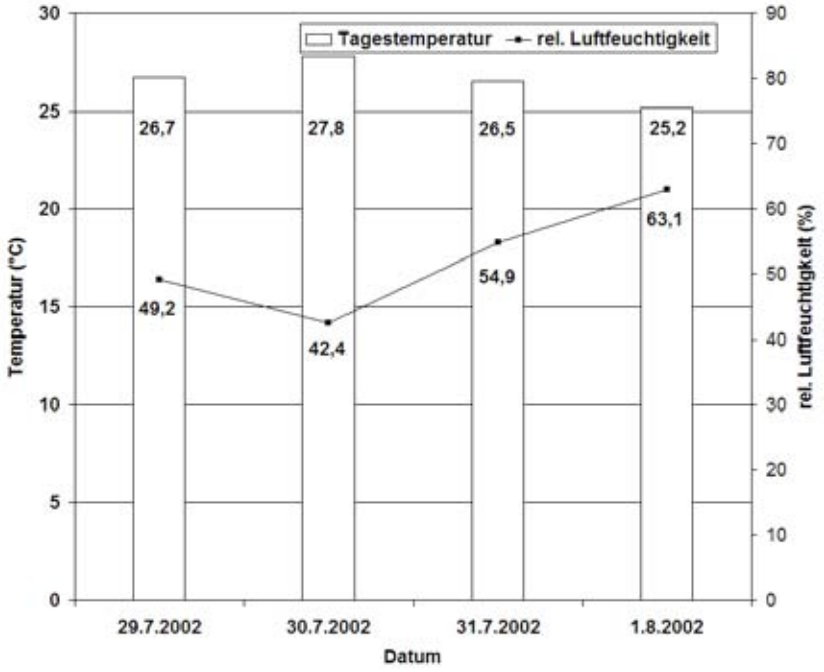


Abb. 43: Tagesmitteltemperatur und relativen Tagesluftfeuchtigkeit während des zweiten Versuches

7.1.2.2 Trocknungsverlauf

Die Unterschiede zwischen den zwei Trocknungskurven (Spiralschwad und Breitablage mit Bearbeitung) sind sehr gering. Beide Varianten erreichten den Lagerungsfeuchtegehalt von 20% am dritten Tag. Die Variante mit der Breitablage ohne Bearbeitung hat den gleichen Wert erst einen Tag später erreicht (Abb. 44).

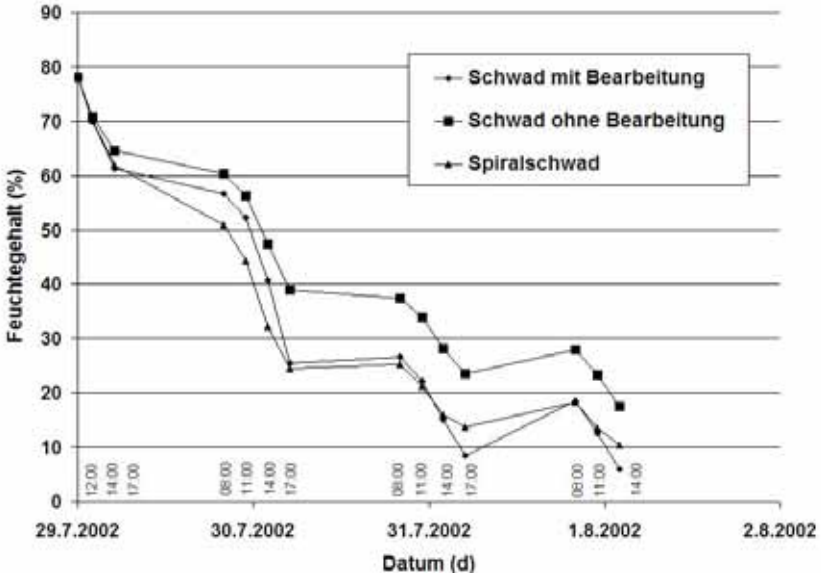


Abb. 44: Trocknungsverlauf im zweiten Versuch

7.1.3 Dritter Versuch

Der dritte Versuch wurde vom 02.06.03 bis 03.06.03 durchgeführt. Die Versuchsflächen wurden mit einer Originalsubstanz von 2,4 kg/m^2 belegt, was einem Ernteertrag von 240 dt/ha entspricht. Das Mähgut bestand aus 4 Grasarten (Tab.19) und hatte eine durchschnittliche Wuchshöhe von 0,40 m. Der Anfangs-TS-Gehalt betrug ca. 34,5%.

Tab.19: Pflanzenbestand im dritten Versuch

Wiesenrispe	Poa pratensis
Ausdauerndes Weidelgras	Lolium perenne
Kohldistel	Cirisium oleracium
Schlanksegge	Caris gracilis

7.1.3.1 Witterungsverlauf

Während des Versuches sind keine Niederschläge gefallen. Der Verlauf der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit ist in Abb. 45 dargestellt. Das Wetter ist allgemein als sehr trocken und sehr warm zu bezeichnen. Sogar in der Nacht fiel die Lufttemperatur nicht unter 18°C.

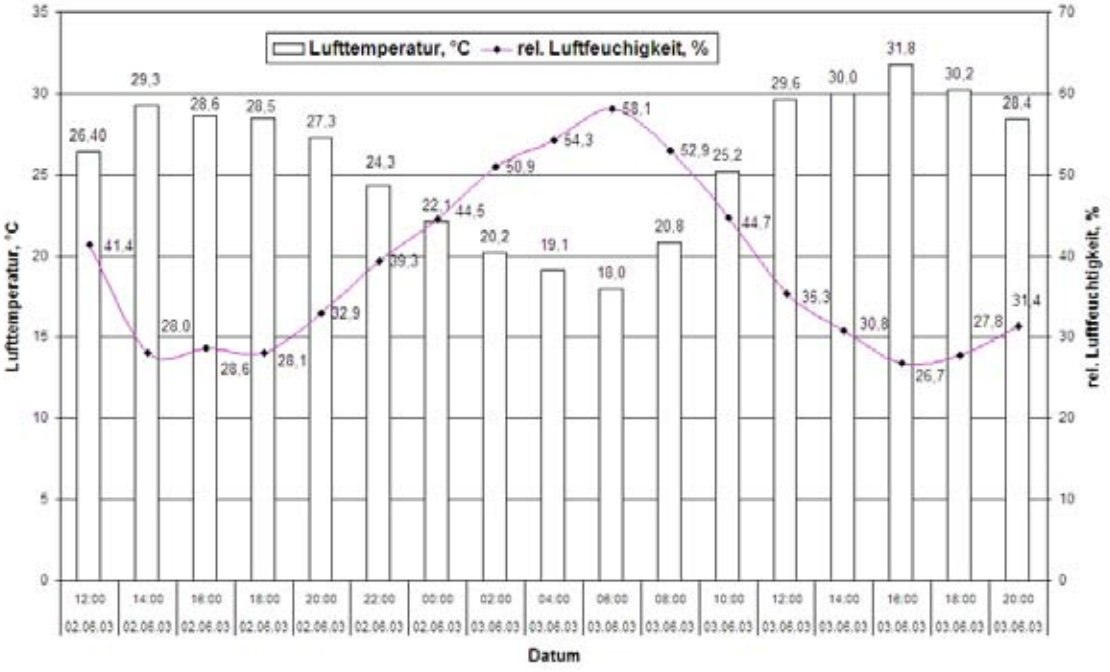


Abb. 45: Tagesmitteltemperatur und relative Tagesluftfeuchtigkeit während des dritten Versuches

7.1.3.2 Trocknungsverlauf

Günstiges Heuwetter führte bei beiden Aufbereitungsmethoden zu einer schnellen Trocknung. Die Breitablage mit mechanischer Bearbeitung erreichte die gewünschte Kondition ca. drei Stunden früher als Spiralschwad (Abb. 46).

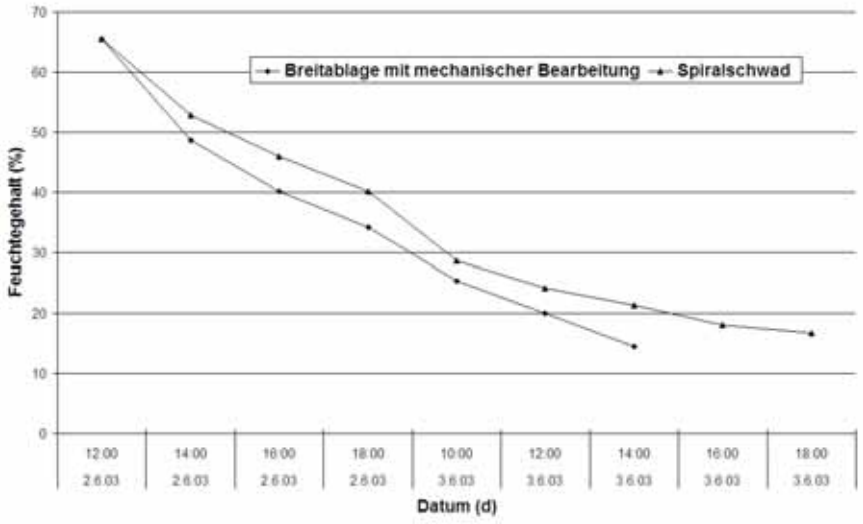


Abb. 46: Trocknungsverlauf im dritten Versuch

7.1.3.3 Qualitätsbestimmung

Um die Futterqualität beurteilen zu können, wurden 18 Proben einer Qualitäts-untersuchung unterzogen. Dabei wurden Gehalte an NDF, an Rohprotein (RP) und an Rohasche (RA) bestimmt. Es konnte in keinem den untersuchten Parameter ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden (Abb. 47).

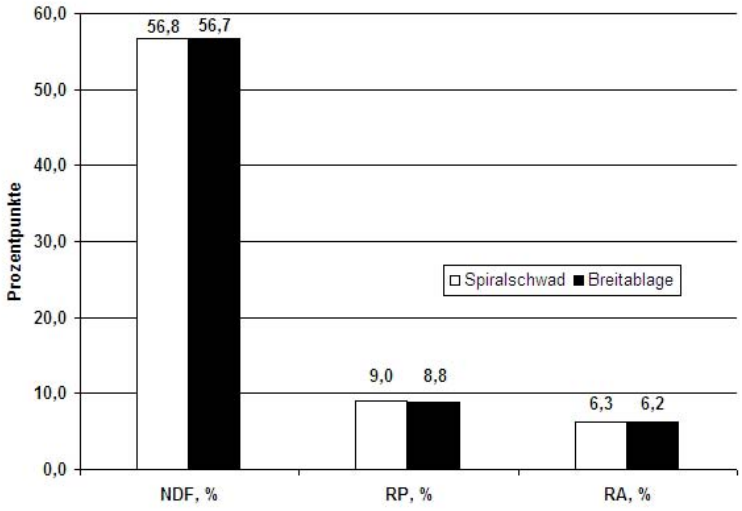


Abb. 47: Qualitätsbestimmung. Dritter Versuch

7.1.4 Vierter Versuch

Der vierte Versuch wurde vom 23.06.04- 03.07.04 durchgeführt. Die Versuchsflächen wurden mit einer Originalsubstanz von 2,0 kg/m^2 belegt, was einem Ernteertrag von 200 dt/ha entspricht. Das Mähgut bestand aus Luzerne. Der Anfangs-TS-Gehalt betrug ca. 16,8%.

7.1.4.1 Witterungsverlauf

Während des Versuches fielen insgesamt 33,7 mm Niederschläge. Die größte Niederschlagsmenge gab es am 23.06.04 mit 21,3 mm und am 01.07.04 mit 8,9 mm. Die Niederschlagsmengenverteilung zeigt Abb. 48.

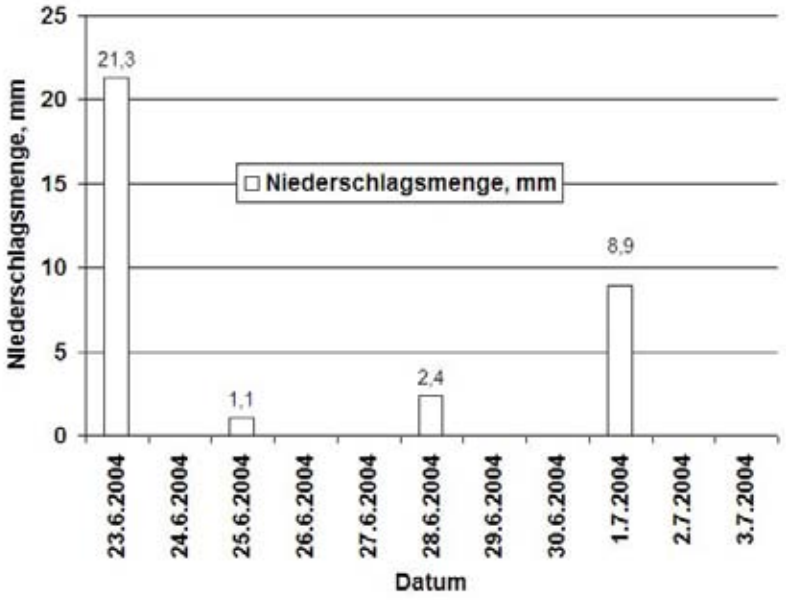


Abb. 48: Niederschlagsmenge im vierten Versuch

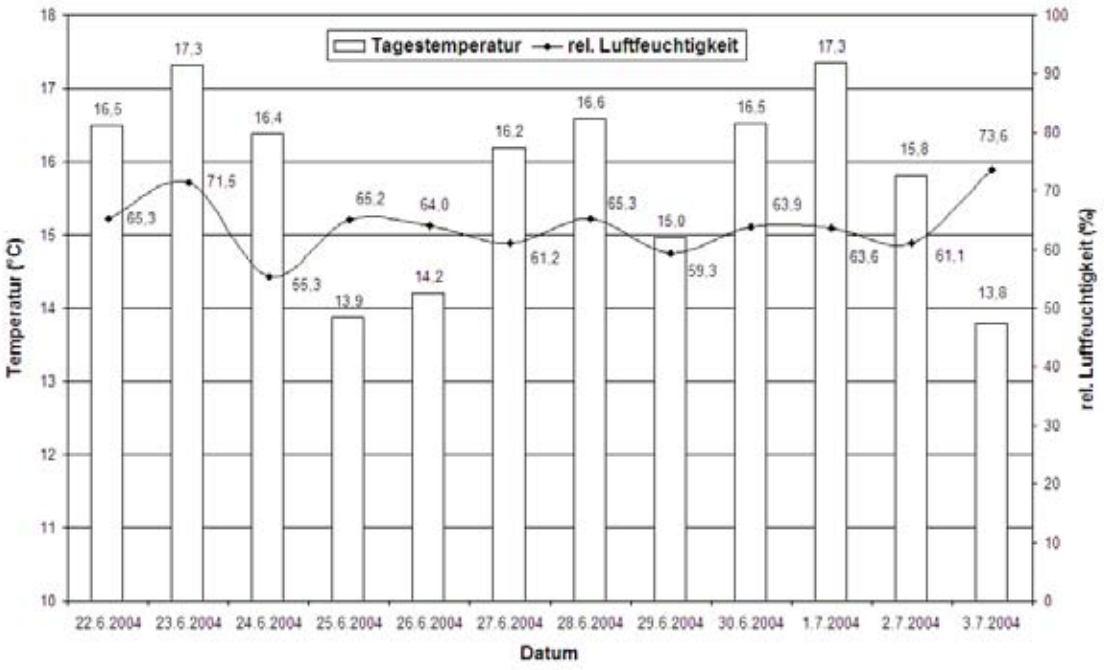


Abb. 49: Tagesmitteltemperatur und relative Tagesluftfeuchtigkeit während des vierten Versuches

Die Tagesmitteltemperatur lag zwischen 13,8° und 17,3°C. Die relative Tagesluftfeuchtigkeit betrug von 55,3 bis 73,6% (Abb. 49). Das Wetter ist allgemein als kühl, feucht und niederschlagsreich zu bezeichnen.

7.1.4.2 Trocknungsverlauf

Es sind deutliche Unterschiede zwischen den zwei Abtrocknungskurven zu erkennen. Die Variante mit dem Spiralschwad erreichte nach 8 Tagen den Feuchtegehalt von ca. 25%. Die Variante mit der Breitablage dagegen erst 2 Tage später. Wegen des anschließenden Qualitätstests und der erwarteten Dauer des Abtrocknens wurden die Varianten nicht weiter auf 20% Feuchtegehalt heruntergetrocknet. Das Spiralschwad zeigte bei weiterer Wiederbefeuchtung ein besseres Abtrocknungsverhalten als die Breitablage (Abb. 50).

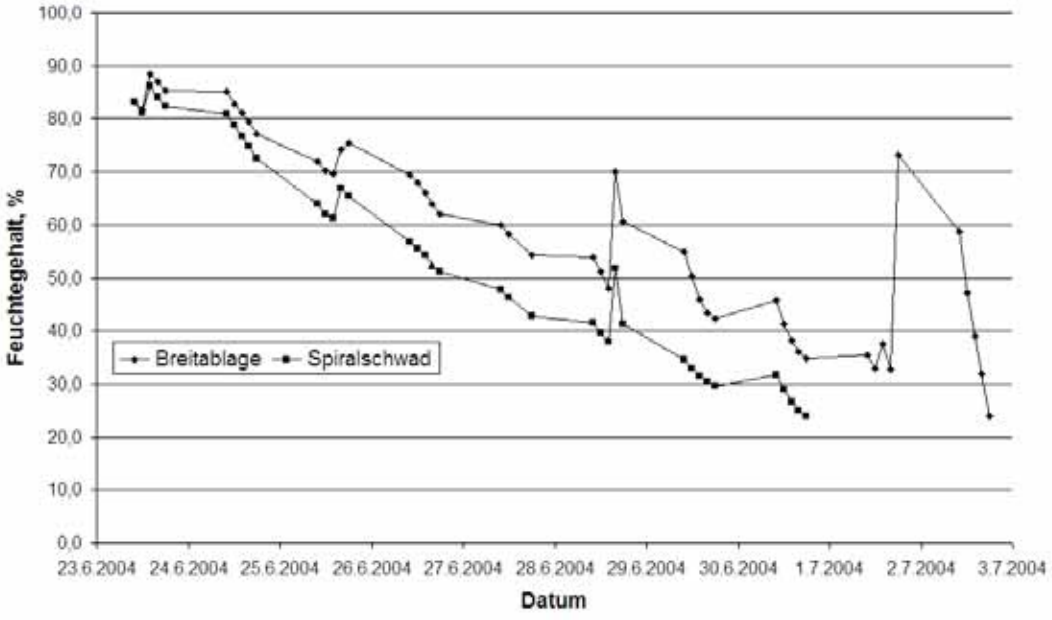


Abb. 50: Trocknungsverlauf im vierten Versuch

7.1.4.3 Qualitätsbestimmung

Um die Futterqualität beurteilen zu können, wurden die Sammelproben von beiden Varianten dem Hohenheimer Futterwertetest unterzogen. Dabei wurden Rohprotein- und Rohaschegehalt, sowie Netto-Energie-Laktation (NEL), Energiedichte (ME) und Verdaulichkeit (dOM) der Proben bestimmt.

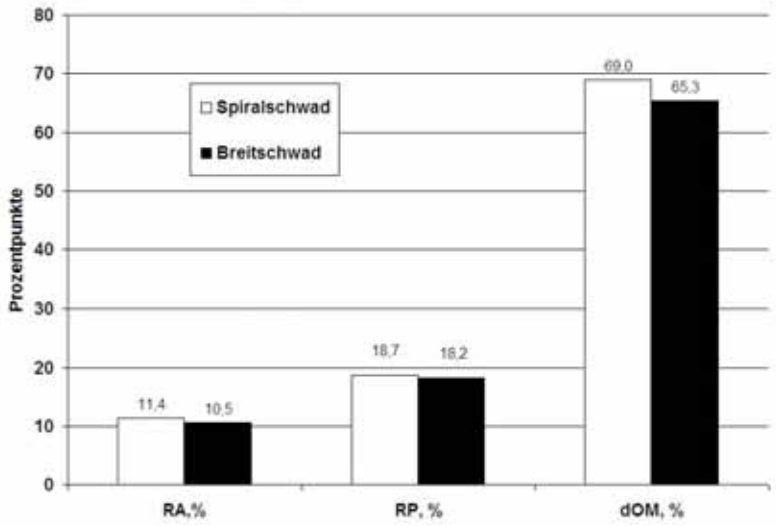


Abb. 51: Rohasche (RA), Rohprotein (RP) und Verdaulichkeit (dOM) im vierten Versuch

Das Spiralschwad zeigte bei Rohprotein, Verdaulichkeit, Netto-Energie-Laktation und Energiedichte bessere Ergebnisse. Bei der Rohasche zeigte die Breitablage bessere Ergebnisse (Abb. 51 u. Abb. 52).

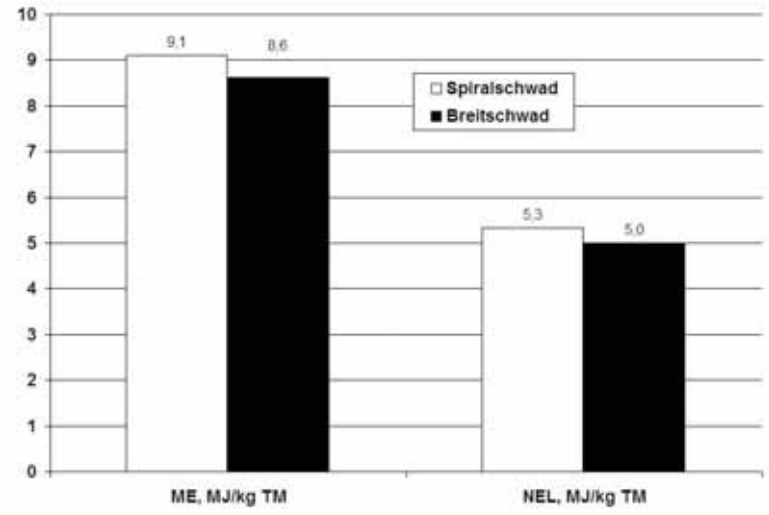


Abb. 52: Netto-Energie-Laktation (NEL) und Energiedichte (ME) im vierten Versuch

7.2 Versuche mit Mikrowellen und Hochfrequenz

7.2.1 Behandlung in stationärer Mikrowellenanlage

Mit zunehmender Behandlungsdauer stieg erwartungsgemäß die Oberflächentemperatur. Wesentliche Unterschiede bei der Feuchteabführung konnten dagegen für die Varianten mit gegebener Sendeleistung und -dauer nicht festgestellt werden. Um größere Unterschiede zu erzielen, müssten die Behandlungszeiten verlängert werden. Alle Proben wiesen nach der Behandlung eine angenehme Geruchs- und Farbqualität auf. Die Ergebnisse sind in Tab.20 dargestellt.

Tab.20: Behandlung in stationärer Mikrowellenanlage

Pr. Nr.*	1	2	3	4	5	6
Anfangsmasse [g]	200,3	200,0	200,3	200,0	200,5	200,6
Masse nach der Behandlung [g]	189,5	197,2	199,2	190,0	197,2	199,4
max. Oberflächentemperatur während der Behandlung [°C]	67,6	53,0	38,5	68,1	56,6	43,2

* - entsprechend Tab.16

7.2.2 Behandlung in der Hochfrequenzanlage

Zwischen den Varianten ist kein wesentlicher Unterschied in der Feuchteabführung festzustellen. Obwohl der Trocknungseffekt, wie im Versuch mit stationärer Mikrowellenanlage, mit zunehmender Sendeleistung und Behandlungsdauer anstieg, ist er bei gleicher Sendeleistung gegenüber der Mikrowellenanwendung kleiner (Tab.21). Alle Proben hatten nach der Behandlung einen unangenehmen Geruch und sahen teilweise verbrannt aus. Die Oberflächentemperatur des Materials konnte während des Versuchs nicht exakt gemessen werden.

Tab.21: Behandlung in der Hochfrequenzanlage

Pr. Nr.*	7	8	9	10	11	12	13	14
Anfangsmasse [g]	200,2	200,2	200,5	200,5	200,3	201,8	200,3	200,8
Masse nach der Behandlung [g]	195,7	197,4	199,5	194,7	198,5	200,6	197,8	198,3
max. Oberflächentemperatur während der Behandlung, [°C]	49,5	49,5	30,0	49,5	36,0	49,5	35,5	37,0

* - entsprechend Tab.16

7.2.3 Behandlung im Mikrowellentunnel

Die Oberflächentemperatur und der Trocknungseffekt stiegen mit zunehmender Sendeleistung und Behandlungsdauer. Der erzielte Trocknungseffekt war höher als in den beiden erstgenannten Versuchen. Das ist anteilig auf die größeren Sendeleistungen und die längeren Behandlungszeiten zurückzuführen. Interessant sind die Ergebnisse bei den Proben Nr. 18 und 19. Hier wurden 104 bzw. 176 g Wasser verdampft. Das entspricht einem Rückgang des Feuchtegehaltes von 85,3% auf ca. 81% bzw. 77%.

Nach der Behandlung im Mikrowellentunnel wiesen alle Proben eine sehr gute Farb- und Geruchsqualität auf. Die Ergebnisse sind in Tab.22 dargestellt.

Tab.22: Behandlung im Mikrowellentunnel

Pr. Nr.*	15	16	17	18	19	20
Anfangsmasse [g]	500,2	500,6	500,5	500,2	500,2	500,6
Masse nach der Behandlung [g]	490,3	480,8	457,2	396,3	324,4	423,5
Oberflächentemperatur nach der Behandlung [°C]	35-40	40-45	50	50	40-45	50-55

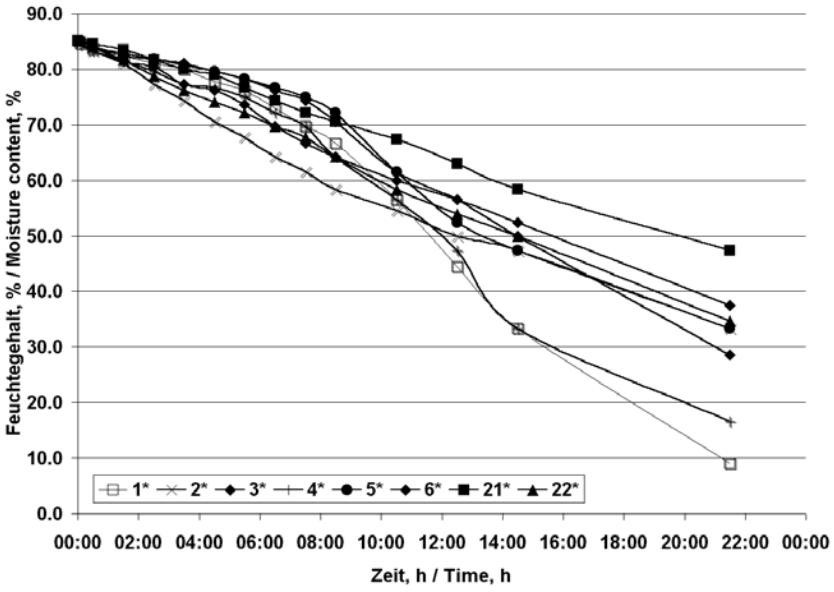
* - entsprechend Tab.16

7.2.4 Trocknung unter Laborbedingungen

Mit der Aufnahme der Abtrocknungskurven sollte der Einfluss der jeweiligen Vorbehandlung auf das nachfolgende Trocknungsverhalten überprüft werden. Als Vergleichsvarianten dienten die Nullvarianten mit bzw. ohne mechanische Bearbeitung (Pr. Nr. 21 und 22). Die mechanische Bearbeitung bewirkte auch ohne thermische Behandlung bereits den erwarteten Beschleunigungseffekt in der Feuchteabführung.

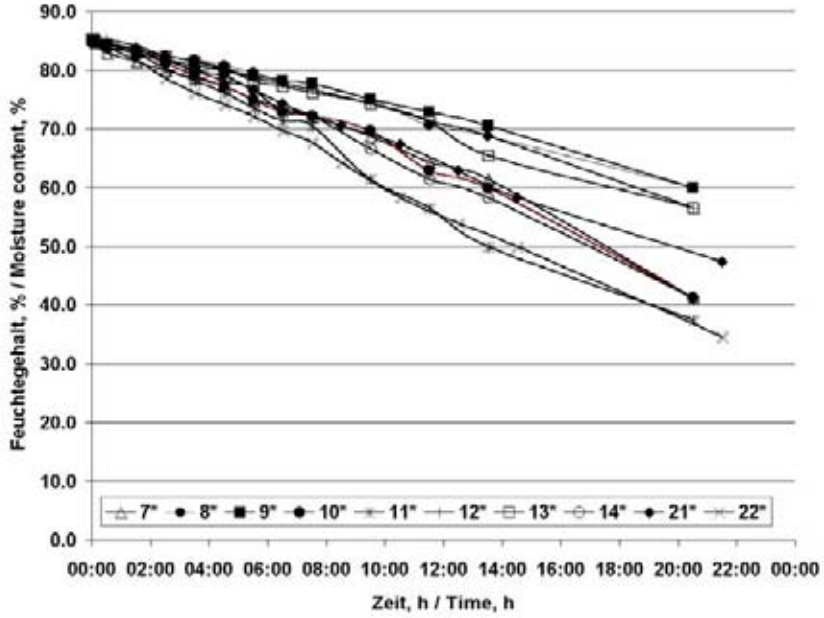
Fast alle in der stationären Mikrowellenanlage behandelten Proben erreichten größere Feuchtigkeitsabnahmen als die Vergleichsvarianten. Das beste Ergebnis wurde bei einer Behandlungsdauer von ca. 60 Sek. erzielt. Mit abnehmenden Behandlungszeiten sank auch die Trocknungsgeschwindigkeit (Abb. 53). Die zusätzlich mechanisch bearbeiteten Proben erzielten im Vergleich zu nicht aufbereiteten Proben gleiche bzw. bessere Ergebnisse.

Die Feuchteabführung der mit Hochfrequenz behandelten Proben war gleich bzw. schlechter als bei den Proben, die nur mechanisch bearbeitet wurden. Ein Unterschied zwischen mechanisch bearbeiteten und nicht aufbereiteten Proben konnte nur in zwei Fällen beobachtet werden (1,2 kW, 30 s Behandlungsdauer; 2,4 kW, 15 s Behandlungsdauer) (Abb. 54). Ein Nachteil bei zusätzlich bearbeiteten Proben konnte nicht festgestellt werden. Die Verdopplung der Sendeleistung führte zu besseren Ergebnissen, wobei die Variante mit alleiniger mechanischer Bearbeitung schneller trocknete.



*- entsprechend Tab.16

Abb. 53: Trocknungsverlauf der in stationärer Mikrowellenanlage behandelten Proben im Vergleich zu den Nullvarianten



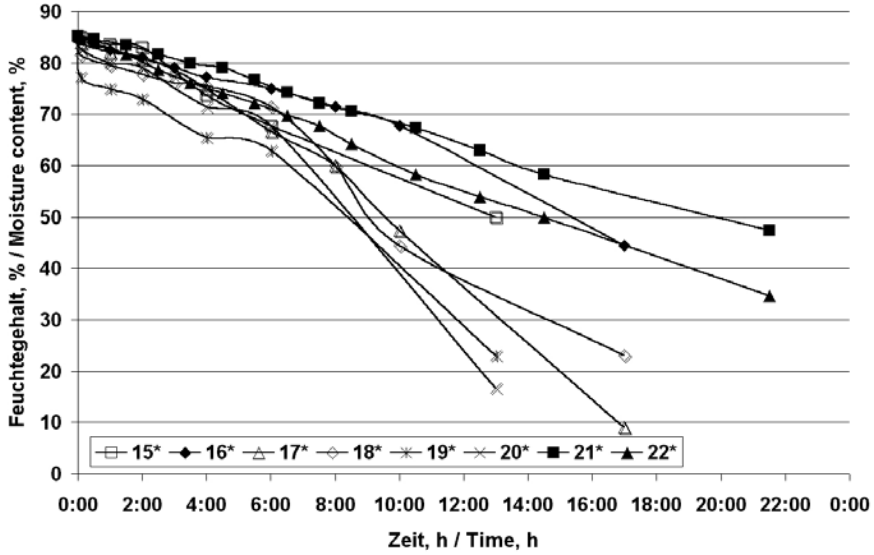
*- entsprechend Tab.16

Abb. 54: Trocknungsverlauf der in der Hochfrequenzanlage behandelten Proben im Vergleich zu den Nullvarianten

Die Behandlung im Mikrowellentunnel führte zu einer zum Teil deutlichen Trocknungsbeschleunigung, wobei sich die Varianten mit den kürzesten Behandlungszeiten kaum von der nur mechanisch bearbeiteten Variante unterschieden (Abb. 55).

Interessant ist auch der Vergleich zwischen den Proben Nr. 19 (4,8 kW, Behandlungsdauer 66,6 s) und Nr. 20 (8,4 kW, Behandlungsdauer 20,8 s) (Abb. 55). Obwohl die Sendeleistung bei

der Probe Nr. 20 fast doppelt so groß war, ist der Trocknungseffekt mit der Probe Nr. 19 infolge der dreifach höheren Behandlungszeit fast identisch.



*- entsprechend Tab.16

Abb. 55: Trocknungsverlauf der im Mikrowellentunnel behandelten Proben im Vergleich zu den Nullvarianten

7.2.5 Qualitätsbestimmung

Alle mit Mikrowellen behandelten Proben wiesen eine gute Farb- und Geruchsqualität auf. Proben aus der Hochfrequenzbehandlung hingegen rochen sehr stark nach verbranntem Material und wiesen auch farblich Hinweise auf Verbrennung während der Behandlung auf. Die Ergebnisse des Hohenheimer Futterwerttestes sind in Tab.23 dargestellt.

Nach der Auswertung des Futterwerttestes sind alle Proben in derselben Qualitätsklasse zu finden. Demnach sind keine wesentlichen Unterschiede in der Qualität zwischen den untersuchten Varianten feststellbar. Es sind auch keine negativen Auswirkungen der Behandlung mit Mikrowellen bzw. Hochfrequenz auf Nährstoffinhalte und Energiedichte bestätigt worden.

Tab.23: Ergebnisse des Hohenheimer Futterwerttestes

Pr. Nr.*	1	4	7	10	13	14	15	19	20	21	22
Rohaschegehalt [g/kg TM]	118,0	120,9	112,4	126,2	109,9	116,0	119,3	122,3	118,1	117,1	118,4
Rohproteingehalt [g/kg TM]	233,6	249,4	222,0	229,3	238,7	252,3	230,5	241,0	243,5	242,9	241,7
dOM** [%]	75,1	76,2	75,6	75,6	75,6	76,4	74,1	74,3	75,6	74,5	76,7
ME*** [MJ/kg TM]	9,9	10,0	10,0	9,9	10,0	10,0	9,7	9,7	9,9	9,7	10,1
NEL**** [MJ/kg TM]	5,9	5,9	6,0	5,9	6,0	6,0	5,8	5,7	5,9	5,8	6,0

*- entsprechend Tab.16
**- Verdaulichkeit der organischen Substanz
***- Umsetzbare Energie
****- Netto-Energie-Laktation

7.3 Versuche zur Volumenbestimmung

7.3.1 Erstes Silo

Das erste Silo wurde am 21.06.04 vermessen. Das Silo befindet sich im Fehrbellin (Landkreis Ostprignitz- Ruppin) und gehört der Agrargesellschaft Rhinmilch GmbH. Es ist ein Dreiseitensilo mit geraden Wänden (L- Bock).

Das mit dem Theodolit gewonnene Datenmassiv umfasst 57 Datensätze. Das mit der Software Surfer errechnete Volumen des eingelagerten Siliergutes beträgt 1.636,63 m^3 (Abb. 56).

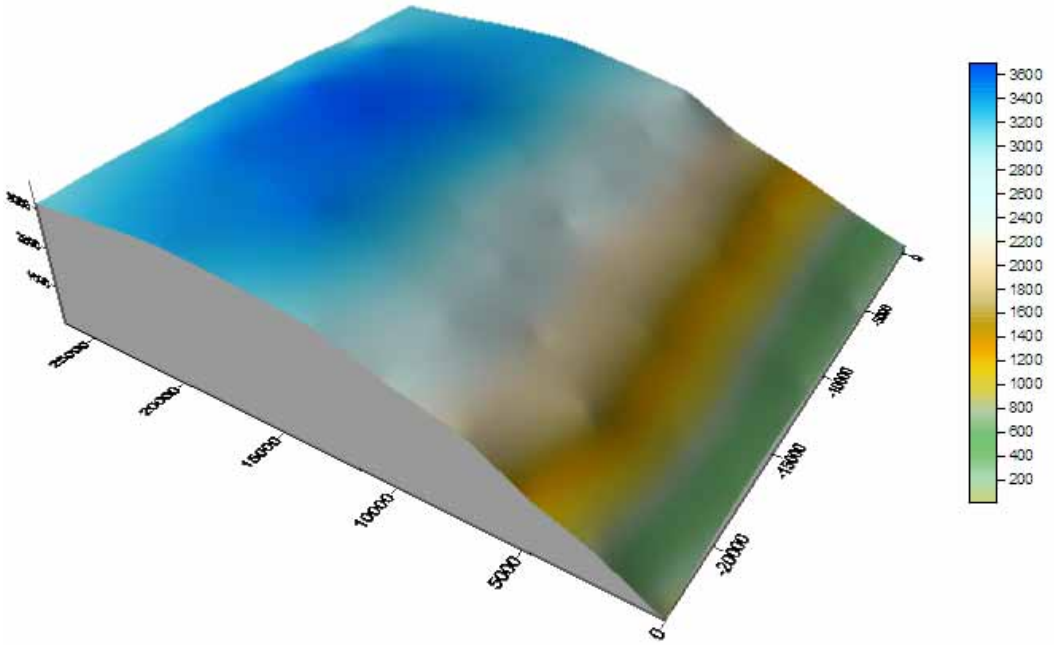


Abb. 56: Grafische Darstellung des gefüllten Silos 1 (Surfer)

Bei der Vermessung mit dem Messband aufgenommene Werte sind in Tab.24 dargestellt.

Tab.24: Mit dem Messband aufgenommene Werte (Silo 1)

Parameter	Werte
L_O [m]	13,7
L_U [m]	26,8
B_O [m]	22,9
H [m]	3,2

Das mit den Formeln 6- 8 errechnete Volumen beträgt 1.483,92 m^3. Der Unterschied zwischen zwei Volumen beträgt 152,71 m^3 absolut und 9,3% relativ.

7.3.2 Zweites Silo

Das zweite Silo wurde am 05.10.05 vermessen. Das Silo befindet sich in Kuhhorst (Landkreis Ostprignitz- Ruppin) und gehört Agrargesellschaft Rhinmilch GmbH. Es ist ein Dreiseitensilo mit wechselseitigen Wänden (L- und A- Bock).

Das mit dem Theodolit gewonnene Datenmassiv umfasst 137 Datensätze. Das mit der Software Surfer errechnete Volumen des eingelagerten Siliergutes beträgt 3.429,6 m^3 (Abb. 57).

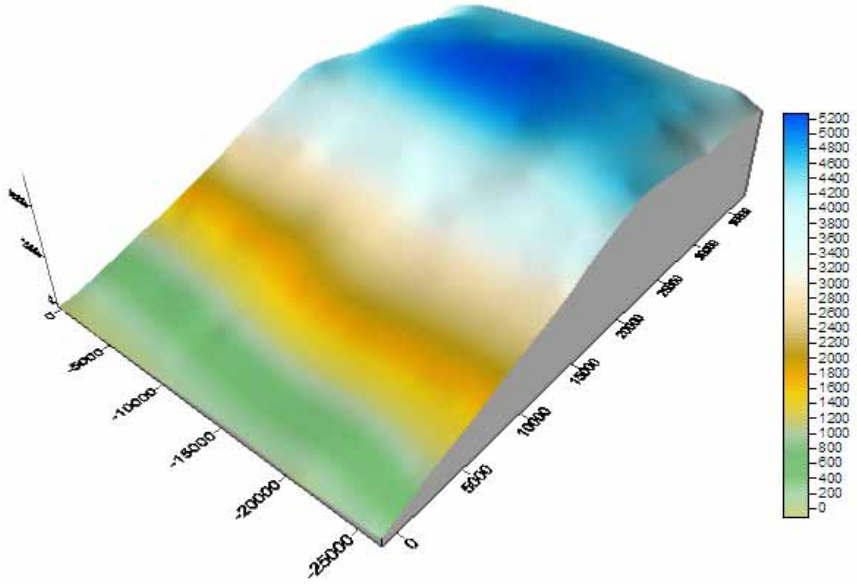


Abb. 57: Grafische Darstellung des gefüllten Silos 2 (Surfer)

Bei der Vermessung mit dem Messband aufgenommene Werte sind in Tab.25 dargestellt.

Tab.25: Mit dem Messband aufgenommene Werte (Silo 2)

Parameter	Werte
L_O [m]	21,9
L_U [m]	38,9
B_O [m]	26,5
H [m]	3,8

Das mit den Formeln 6- 8 errechnete Volumen beträgt 3.061,3 m^3. Der Unterschied zwischen zwei Volumen beträgt 368,4 m^3 absolut und 10,7% relativ.

7.3.3 Drittes Silo

Das dritte Silo wurde am 02.01.06 vermessen. Das Silo befindet sich in Golzow (Landkreis Märkisch Oderland) und gehört Landwirtschaft Golzow Betriebs GmbH. Es ist ein Fahrsilo mit geraden Wänden (L- Bock).

Das mit dem Theodolit gewonnene Datenmassiv umfasst 636 Datensätze. Das mit der Software Surfer errechnete Volumen des eingelagerten Siliergutes beträgt 4.861,8 m^3 (Abb. 58).

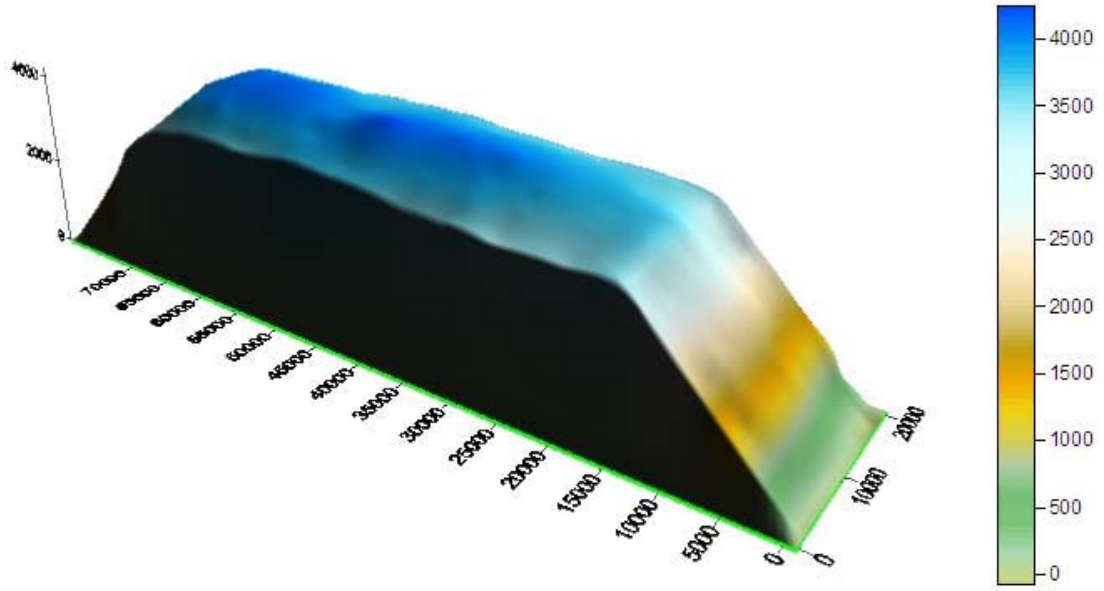


Abb. 58: Grafische Darstellung des gefüllten Silos 3 (Surfer)

Bei der Vermessung mit dem Messband aufgenommene Werte sind in Tab.26 dargestellt.

Tab.26: Mit dem Messband aufgenommene Werte (Silo 3)

Parameter	Werte
L_O [m]	49,2
L_U [m]	80,5
B_O [m]	20,6
H [m]	4,0

Das mit den Formeln 6- 8 errechnete Volumen beträgt 5.341,5 m^3. Der Unterschied zwischen zwei Volumen beträgt 479,7 m^3 absolut und 9,0% relativ.

8 DISKUSSION

8.1 Versuche mit dem Spiralschwad

Alle Versuchsreihen fanden bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen statt. Der erste Versuch hat wegen der hohen Niederschläge 14 Tagen gedauert. Der zweite Versuch dauerte bei guter Witterung (hohe durchschnittliche Tagestemperatur, niedrige durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit und keine Niederschläge) nur 4 Tage. Der dritte Versuch dauerte auf Grund des sehr warmen und trockenen Wetters nur 2 Tage. Der vierte Versuch dauerte wegen der großen Niederschlagsmenge und wegen des sehr feuchten und kalten Wetters 12 Tage.

Im ersten Versuch hat das Spiralschwad, trotz der schlechten Witterungsbedingungen, schon nach 4 Tagen den Lagerungsfeuchtegehalt von < 20% erreicht. Der Versuch wurde aber weiter durchgeführt**,** um das Verhalten aller Varianten auf Wiederbefeuchten zu studieren. Im Vergleich zur Breitablage wurden mit dem Spiralschwad bei weiterer Wiederbefeuchtung und Abtrocknung bessere Ergebnisse erreicht. Das Spiralschwad hat im Laufe der ersten Versuchsreihe mehrmals die 20% Grenze unterschritten, die beiden Breitablagen dagegen haben diese Grenze nicht erreicht. Der Effekt könnte durch eine bessere Zirkulation der Luft und die kleinere Kontaktfläche mit dem Boden erklärt werden. Da die Breitablage eine wesentlich größere Bodenkontaktfläche hat und die Halmgutschicht mit der Wiederbefeuchtung verdichtet wird, trocknet diese langsamer als das Spiralschwad. Dabei muss bemerkt werden, dass das Spiralschwad durch den Maschendraht in einer stabilen Form gehalten wurde, und sein natürliches Verhalten auf Wiederbefeuchtung weiterer Untersuchungen bedarf.

Bei guten Witterungsbedingungen während des zweiten Versuches war das Abtrocknungsverhalten der zwei Varianten (Spiralschwad und Breitablage mit mechanischer Bearbeitung) fast gleich. Die Breitablage ohne Bearbeitung benötigte bis zum Lagerungsfeuchtegehalt von 20% einen Tag länger.

Im dritten Versuch herrschte sehr gutes Heuwetter. Beide Varianten, das Spiralschwad und die Breitablage mit mechanischer Bearbeitung, erreichten den Lagerungsfeuchtegehalt von 20% schon am zweiten Tag. Das Spiralschwad brauchte allerdings ca. 3 Stunden länger, als die Breitablage. In anschließenden Qualitätstests wurden keine signifikanten Unterschiede in allen untersuchten Parametern festgestellt.

Im vierten Versuch erreichte das Spiralschwad den gewünschten Feuchtegehalt 2 Tage früher als die Breitablage. Das Spiralschwad zeigte, wie im ersten Versuch, nach einer weiteren Wiederbefeuchtung ein besseres Abtrocknungsverhalten. Bei den anschließenden Qualitätsuntersuchungen erreichte das Spiralschwad in fast allen Parametern bessere Ergebnisse. Der geringere Gehalt an Rohasche bei der Breitablage könnte dadurch erklärt werden, dass der Kontakt mit dem Boden

durch eine Gaze beeinflusst war. Das Spiralschwad hingegen verfügt zwar über einen geringeren aber direkten Kontakt mit dem Boden.

Es ist somit festzustellen, dass das zu Spiralschwad geformte Mähgut bei niederschlagsreicher Witterung eine deutlich bessere Feuchtigkeitsabgabe zeigte. Im Vergleich zur Breitablage wurden mit dem Spiralschwad auch bei Wiederbefeuchtung bessere Abtrocknungsergebnisse erreicht, was auf die geringere Feuchtenachführung vom Boden zurückgeführt wird.

Bei guten Witterungsbedingungen ohne Taufall und Niederschlag ist allerdings kein trocknungsbeschleunigender Effekt durch das Spiralschwadverfahren nachweisbar. Auch die vergleichenden Untersuchungen zu den Wertigkeitsverlusten brachten bei hohem Trocknungspotenzial der atmosphärischen Luft keine wesentlichen Unterschiede zwischen Spiralschwad und Breitablage. Bei niederschlagsreichen Bedingungen erreichten die Proben vom Spiralschwad nach dem Hohenheimer Futterwertetest eine bessere Qualität als die Proben von der Breitablage mit mechanischer Bearbeitung.

Das Spiralschwadverfahren erscheint nach bisherigen Befunden als Schlechtwettervariante vorteilhaft. Mit dem Einsatz des Spiralschwadverfahrens könnte die Feldliegezeit während der schlechten Witterung verkürzt werden. Mit der Verkürzung der Feldliegezeit wird eine verbesserte Qualität gewährleistet. Vorraussetzung ist, dass das Spiralschwad auch ohne eine Maschendrahtarmierung weitgehend formstabil bleibt.

8.2 Versuche mit Mikrowellen und Hochfrequenz

Durch die Trocknung aller Proben im Klimaschrank mit einer Lufttemperatur von 40°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 40% wurden vergleichbare Bedingungen hergestellt. Durch fehlende Luftzirkulation ist der absolute Feuchteentzug vergleichsweise gering. Dennoch sind die Vergleichswerte aussagefähig für den Trocknungsbeschleunigungseffekt bei Behandlung mit Mikrowellen und Hochfrequenz.

Mit längerer Behandlungsdauer und größeren Sendeleistungen sind bei der Behandlung mit Mikrowellen bessere Trocknungsbeschleunigungseffekte erzielt worden. Auch die mechanische Bearbeitung führte zur erwarteten Beschleunigung.

Der Effekt bei der Behandlung mit Hochfrequenz war gleich und in manchen Fällen sogar schlechter als bei "reiner" mechanischer Bearbeitung. Die Tatsache, dass nach der Behandlung mit Hochfrequenz das Grüngut unangenehm riecht und verbrannt aussieht, macht dieses Verfahren fragwürdig zur Futtermittelbereitung.

Interessant sind die Ergebnisse im Mikrowellentunnel. Hier wurde in zwei Varianten mit unterschiedlicher Sendeleistung fast der gleiche Trocknungsbeschleunigungseffekt erzielt. Ausschlaggebend war weniger die Sendeleistung, sondern vielmehr die Behandlungsdauer.

Es muss bemerkt werden, dass die Geschwindigkeiten des Laufbandes im Experiment sehr weit von realen Erntebedingungen entfernt waren. Mit diesen Geschwindigkeiten lassen sich nur vergleichsweise kleine Masseströme darstellen. Das heißt, bei realen Erntebedingungen muss mit viel größeren Sendeleistungen gearbeitet werden um den gleichen Effekt zu erzielen. Ein hoher spezifischer Energiebedarf ist die Folge. Daher werden diesem Verfahren für den mobilen Einsatz kaum Realisierungschancen eingeräumt.

Nach den Ergebnissen des Hohenheimer Futterwertetestes wurden alle untersuchten Varianten derselben Qualitätsklasse zugeordnet. Die sensorisch festgestellte Verbrennung des Gutes hat sich nicht in den Werten bestätigt.

Bei der Behandlung mit Mikrowellen wurden keine negativen Auswirkungen auf die Futterqualität festgestellt.

Die Kombination zwischen mechanischer Bearbeitung und Behandlung mit Mikrowellen erwies sich als sinnvoll und vorteilhaft für die Feuchteabführung.

8.3 Versuche zur Volumenberechnung am Silo

Zu allen drei Versuchen muss gesagt werden, dass das wirkliche Volumen sehr schwer zu ermitteln ist. Das Verfahren der Volumenbestimmung mit dem Theodolit liegt auf Grund seiner größeren Genauigkeit näher an dem wirklichen Volumen. Weniger genau ist die Volumenbestimmung mit dem Messband.

Natürliche Unebenheiten können mit der Software Surfer sehr gut berechnet und interpoliert werden. Die Silohülle enthält aber keine natürlichen Unebenheiten und kann besser mit der Software AutoCAD beschrieben werden. Eine Software, die beide Vorteile in sich vereint, ist bisher nicht bekannt. Aus diesem Grund wurden bewusst Silos mit geraden Wänden ausgesucht.

In allen drei Versuchen betrug der relative Unterschied zwischen den berechneten Volumen ca. 10%. Das Ausrechnen des Volumens anhand der Formeln scheint angesicht der relativ kleinen Abweichung zwischen den beiden Verfahren der Volumenbestimmung praxistauglich zu sein. Das Verfahren der Volumenbestimmung mit Messband und Formeln erfordert außerdem im Vergleich zum Verfahren der Volumenbestimmung mit dem Theodolit einen geringeren Zeit- und Kostenaufwand. Es ist allerdings anzumerken, dass dieses Verfahren nicht für die operative Bestimmung der Verdichtung geeignet ist.

Mit einem einfachen Verfahren zur Volumenbestimmung kann in Verbindung mit einer brauchbaren Masseabschätzung dazu beigetragen werden, dass die Verdichtung im Silo relativ schnell bestimmt werden kann. Somit kann die Verdichtung als einer der wesentlichen Prozessparameter für Silagequalität gesteuert und optimiert werden.

9 VORSCHLÄGE ZUR GEWÄHRLEISTUNG DER PROZESS- UND PRODUKT-QUALITÄT

In dem vorliegenden Kapitel werden Defizite in der Halmfutterbereitstellung in Weißrussland und in Novosibirsker Gebiet aufgenommen und konkrete Verbesserungsvorschläge aufgeführt. Als Grundlage der Bewertung dient der Erkenntnisstand aus den davor liegenden Kapiteln.

Das Mähen und die Feldliegezeit werden auf Grund ihrer identischen Abläufe sowohl bei Heu- als auch bei Grassilagebereitstellung zusammen bewertet. Das Bergen und Einlagern werden dagegen getrennt bewertet. Das Bergen schließt den Transport mit ein.

Das Ziel ist dabei *„eine möglichst große Menge von hochwertigem Futter mit geringeren Verlusten zu ernten und in einem lagerfähigen Zustand für die Winterfutterperiode bereitzustellen“* (LÖSCH & PUTZ, 1993a). Auf Grund der großen Verluste an Substanz und an Nährstoffen in den betroffenen Regionen bleibt die Reduzierung der Verluste in allen Prozessgliedern das Hauptziel.

Ein verfahrenstechnischer Vergleich mit Deutschland kann wegen der unterschiedlichen technischen Ausstattung und innerbetrieblichen Situationen nur eingeschränkt erfolgen. Die Halmfutterbereitstellung in Deutschland läuft auch nicht immer ideal ab. Dabei liegt die Problematik in Deutschland hauptsächlich in der Differenziertheit der Bedingungen sowie im logistischen Bereich. In Weißrussland und Novosibirsker Gebiet hingegen liegt das Problem zum größten Teil in den verfahrenstechnischen Fragen.

Die Verbesserungsvorschläge teilen sich in operative und nachhaltige. Denn es ist genau so wichtig, die erreichte Qualität zu erhalten, wie sie zu erreichen. Operative Vorschläge dienen der Verbesserung des Prozesses bzw. des Produktes. Nachhaltige Vorschläge sollen es ermöglichen, das erreichte Qualitätsniveau über die Zeit zu erhalten.

9.1 Bewertung des Iststandes

9.1.1 Mähen

Hohe Qualität bei der Arbeitsart Mähen setzt ebene, fremdkörperfreie Flächen voraus. Das ist in den betreffenden Regionen meist nicht der Fall. Die Felder sind uneben, was auf die schlechte Bodenbearbeitung zurückzuführen ist. Die Schläge haben auch zahlreiche Fremdkörper. Aus diesen Gründen erscheint der Einsatz von Mähwerken mit kleineren Arbeitsbreiten als Notwendigkeit. Auch größere Stoppelhöhen wären aus Sicht der Qualitätssicherung sinnvoll, führen aber zur Verringerung der Ernteerträge.

Der Einsatz von solchen Mähwerken führt aber zur Verringerung der Verfahrenskapazitäten. Dabei ist es wichtig, nicht nur rechtzeitig, sondern auch mit hohen Flächenleistungen zu mähen. Nur so kann der hohe Ausgangsgehalt an Nährstoffen gesichert werden.
Auf Grund der Unebenheiten auf dem Feld steigt auch der Verschmutzungsgrad des Futters. Dies kann später Probleme bei der Konservierung und Lagerung sowie bei der Stoffwandlung im Tiermagen verursachen.

9.1.2 Feldliegezeit

Die Feldliegephase in betroffenen Regionen ist im Vergleich zu Deutschland zu lang. Das ist zum Teil auf fehlende bzw. ungenügende oder sogar falsche Aufbereitung des Gutes während bzw. nach dem Mähen zurückzuführen. Dabei gilt es, je kürzer die Feldliegephase, desto geringer sind die Verluste und das Witterungsrisiko.
Das abgemähte Gut wird oft in Schwaden getrocknet, was zu einem ungleichmäßigen und verlangsamten Trocknungsverlauf und zu den Futterverlusten führt. Der stark schwankende Trocknungssubstanzgehalt des Gutes kann zu Problemen beim Bergen und Einlagern führen.
Das Wenden und Zetten erfolgt oft an zu trockenem Material. Was zu Bröckelverlusten der wertvollsten Pflanzenbestandteile führen kann. Die angewendete Technik arbeitet beim Zusammenschwaden zum Teil nicht sauber. Es bleibt sehr viel Material auf dem Feld liegen. Das ist überwiegend durch die Veralterung der Technik zu erklären.
Auf Grund der oben erwähnten Unebenheit der Felder wird das Futter mit verhältnismäßig viel Schmutz belastet.

9.1.3 Bergen

9.1.3.1 Heu

Im Vergleich zu Deutschland wird viel mehr loses Heu geborgen, wobei dieses Verfahren mit großen Aufsammelverlusten behaftet ist. Die Bergung des Loseheues ist zugleich viel arbeitsintensiver und verfügt über geringere Verfahrenskapazitäten als Pressheuverfahren.
Beim Pressheuverfahren wird das Welkgut zum Teil mit einer Feuchtigkeit von mehr als 30% vorgepresst. Anschließend wird es unter Dach zur gewünschten Kondition getrocknet. Das hat nicht nur eine Kostensteigerung zur Folge, es führt sogar zur unvollständigen und ungleichmäßigen Trocknung der Heuballen. Dies wiederum führt zu den erheblichen Problemen während der Lagerung und kann im Extremfall Selbstentzündung verursachen.
Das Pressheuverfahren in den betroffenen Regionen ist auch mit Verlusten beim Aufsammeln behaftet. Es ist gleichfalls auf Überalterung der Technik zurückzuführen.

Das gelegentlich anzutreffende und sogar propagierte Verfahren des Einwickelns von Heu in Folie ist auf Grund des geringeren Nutzens für die Qualitätsverbesserung im Gegenzug zur hohen Kosten unbrauchbar.
Ein akuter Mangel an Transportfahrzeugen und deren geringere Transportkapazität soll auch angesprochen werden.

9.1.3.2 Grassilage

Das Welkgut wird zum Teil mit angehängten und angebauten Häcksler gehäckselt. Die Häcksler sind meistens leistungsschwach. Der Einsatz solcher Häcksler verschärft zugleich den akuten Mangel an Transportfahrzeugen. Eine interessante und auch kostengünstige Lösung ist hingegen der Einsatz des Universalfahrzeugs TYP „POLES`E".

9.1.4 Einlagern

9.1.4.1 Heu

Die Lagerung bzw. Zwischenlagerung des Heus, sowohl lose als auch gepresst, erfolgt zum größten Teil auf dem Feld. Es werden Verlustraten von bis zu 30% genannt. Eine der Ursachen für die Lagerung des Heues im Freien ist der akute Mangel an Transporteinheiten der Betriebe (Traktoren u. Anhänger) während der Erntezeit. Veralterung bzw. Nichtvorhandensein von Lagerungsorten zählen auch noch zu den Ursachen.
Das Aufschichten der Heuhaufen im Freien erfolgt zum Teil durch die Handarbeit und ist somit sehr arbeitsintensiv.

9.1.4.2 Grassilage

Das Einlagern des Welkgutes ist durch große Verluste gekennzeichnet. Hier entstehen Qualitätsverluste auf Grund der falscher bzw. fehlender Verdichtung und Abdeckung bzw. Hermetisierung. Dabei sehen weder Praxis noch Wissenschaft beim Verdichten und Hermetisieren von Siliergut Handlungsbedarf im Sinne der Qualitätssicherung.
Es herrscht verbreitet die vom Fachhandel unterstützte Überzeugung mit dem Einsatz von Silierhilfsmitteln alle verfahrenstechnische Fehler ausgleichen zu können. Oft ist der Einsatz aber übertrieben bzw. nicht gerechtfertigt, so dass die Produktionskosten eine enorme Steigerung erfahren.
Das „Kurgan"– Verfahren ist mit großen Verlusten verbunden. Diese Variante ist deswegen nur noch vorläufig vorstellbar.

9.2 Operative Vorschläge

9.2.1 Mähen

Mit dem Einsatz von breiteren Mähwerken kann eine deutliche Steigerung der Verfahrenskapazität erreicht werden. Durch den Einsatz von selbstfahrenden Mähwerken können Traktoren für andere Arbeitsgänge eingesetzt werden.
Eine deutliche Verbesserung der Bodenbearbeitung ist dafür unabdingbar. Mit einer ausreichenden Ebenheit der Feldfläche kann auch eine Verschmutzung beim Mähen und bei nachfolgenden Arbeitsgängen reduziert werden.

9.2.2 Feldliegezeit

Eine Verkürzung der Feldliegezeit kann durch den Einsatz von Aufbereitern erreicht werden. Schlägelaufbereiter haben dabei den Vorteil gegenüber den Walzenaufbereitern, im allgemeinem weniger fremdkörperempfindlich zu sein. Sie wirken aber eher nachteilig auf die Gutverschmutzung ein.
Eine Verkürzung der Feldliegephase kann auch mittels Breitablage erreicht werden.
Zetten, Schwaden und Aufsammeln sollten sauberer und schonender durchgeführt werden. Es kann vor allem durch eine richtige Einstellung und regelmäßige Wartung der Technik oder auch durch die Umstellung auf andere Maschinen erreicht werden. Das Wenden und Zetten darf nicht an einem zu trockenem Halmgut erfolgen.

9.2.3 Bergen

9.2.3.1 Heu

Das Loseheuverfahren sollte grundsätzlich vermieden werden. Eine deutlich bessere Alternative bietet das Pressheuverfahren. Abgesehen von geringeren Verlusten verfügt dieses Verfahren über einen größeren Mechanisierungsgrad und erfordert geringere Transport- und Lagerkapazitäten.
Transportkapazitäten sollten grundsätzlich durch den Zukauf oder überbetriebliche Maschinenverwendung (ÜMV) erweitert werden. Auch der Zugang zu teueren Spezialmaschinen kann durch ÜMV vereinfacht werden.

9.2.3.2 Grassilage

Aufgrund des Mangels an Transportmitteln bzw. Zugtraktoren sollen vermehrt selbstfahrende Feldhäcksler eingesetzt werden. Eine Alternative kann eine Universalmaschine, wie z.B. Typ „POLES`E“ darstellen.

9.2.4 Einlagern

9.2.4.1 Heu

Das Lagern von Dürheu im Freien sollte generell vermieden werden. Wenn es auf Grund der geringeren Transportkapazitäten nicht anders möglich ist, sollte es auf jeden Fall bei einer Zwischenlagerung im Freien bleiben. Die Baukosten für eine Lagerungsstätte unter Dach werden durch den Verbesserungseffekt der Heuqualität rasch kompensiert.
Das Welkgut sollte erst ab einer Feuchtigkeit von kleiner als 20% gepresst werden, damit keine technische Nachtrocknung im Lager notwendig wird.
Das Verfahren des Einwickelns von gepresstem Heu in eine Folie ist auf Grund des geringeren zusätzlichen Nutzens für die Qualitätsverbesserung im Vergleich zur deutlichen Kostensteigerung unakzeptabel.

9.2.4.2 Grassilage

Bei der Abdichtung der Silage sollten, wie das in Deutschland Standard ist, Folien zum Einsatz kommen.
Das „Kurgan“ - Verfahren sollte wegen den großen Verlusten vermieden werden. Falls es auf Grund der mangelnden Lagerungskapazitäten vorübergehend noch benötigt wird, ist es darauf zu achten, dass das Futter aus den „Kurganen“ zuerst verfüttert wird.
In den meisten Fällen kann auf den Einsatz von Silierhilfsmitteln bei der Silagezubereitung verzichtet werden. Es sollte dagegen den Fragen der Ver- und Abdichtung am Silo mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Mit dem in dieser Arbeit vorgeschlagenen einfachen Verfahren der Volumenbestimmung kann die Verdichtung am Silo in Verbindung mit einer Masseerfassung schnell ermittelt und gesteuert werden. Eine Verdichtungsbestimmung unmittelbar während der Einlagerung bleibt aber wünschenswert.

9.3 Nachhaltige Vorschläge

Um die Produktqualität nicht nur zu verbessern, sondern auch im angestrebten Niveau zu erhalten, sollte ein kontinuierlich weiter zu entwickelndes Qualitätsmanagement eingeführt werden. Es sollen vor allem klare Ziele definiert werden. Eines der Hauptziele sollte dabei die Minderung der Verluste sein. Mit dem Qualitätsmanagement soll eine ständige Verbesserung der Prozessabläufe verfolgt werden. Es sollen dabei nicht nur einzelne Verfahrensglieder, sondern das Verfahren als Ganzes betrachtet werden.

Es ist auch sehr wichtig, nicht nur Prozessabläufe zu verbessern, sondern auch die daran beteiligten Arbeitskräfte mehr einzubeziehen. Eine gute Ausbildung der Landwirte und Mechanisatoren ist angesichts des ständig steigenden Mechanisierungs- und Automatisierungsgrades der Prozesse sehr wichtig.

Das Qualitätsmanagement stützt sich auf ein Informationsmanagement. Aus einem guten Informationsmanagement kann mehrfach Nutzen gezogen werden.

Informationsmanagement kann vor allem als ein Übergang zur Simulation der Prozesse genutzt werden. Durch die Simulation der Arbeitsprozesse kann eine Schwachstellenanalyse erfolgen, die zyklisch dazu führt, die Prozess- und somit die Produktqualität zu verbessern.

Das digitale Informationsmanagement gilt als Vorreiter der Precision Agriculture. In vielen Belangen kann und muss Precision Agriculture dazu genutzt werden, um die Prozesssteuerung zu verbessern.

Aufgrund der unpräziser Arbeitsweise und vor allem der Veralterung der vorhandenen Landtechnik in den Betrieben der betroffenen Regionen ist zunächst aber nur ein begrenzter Einsatz der Präzisionslandwirtschaft möglich.

Dennoch können erste Ansätze der Precision Agriculture eingeführt und genutzt werden. Es können schon jetzt Schlag- und Betriebsdaten digitalisiert werden. Mit einer Ertragskartierung aus mehreren Jahren kann eine Applikationsschema für eine Grunddüngung erstellt werden. Die vorhandenen Erntemaschinen können in diesem Fall problemlos nachgerüstet werden.

Um den Zugang zu den verhältnismäßig teuren Werkzeugen der Precision Agricluture zu erleichtern, kann eine überbetriebliche Nutzung vereinbart werden. Es kann auch von einem externen Dienstleister angeboten werden.

10 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Halmguternte sowohl in Weißrussland als auch im Novosibirsker Gebiet ist mit großen Verlusten behaftet. Das Ziel dieser Arbeit war, mit der Verbesserung der Prozesse und der Erhöhung der Produktqualität einem überwiegend unbefriedigenden Istzustand gegenzusteuern.

Es sollte die Annahme überprüft werden, dass das Spiralschwad und die Behandlung des Grüngutes mit Mikrowellen und Hochfrequenz eine deutliche Reduzierung der Feldliegezeiten mit sich bringen. Ein einfaches und kostengünstiges Verfahren zur Verdichtungsbestimmung am Silo sollte erarbeitet werden. Eine Reihe von weiteren Lösungen sollte für Gewährleistung der Produkt- und Prozessqualität vorgeschlagen werden. Es sollte vor allem die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Mittel- und Osteuropäische Länder geprüft werden. Folgende Ergebnisse sind daraus abzuleiten.

Das Spiralschwad ermöglicht eine bessere Feuchteabgabe des Grüngutes bei niederschlagsreicher Witterung. Im Gegensatz zur Breitablage wurden mit dem spiralförmigem Schwad bei Wiederbefeuchtung und Abtrocknung bessere Ergebnisse erzielt. Als Ursache werden die bessere Durchlüftung des Grüngutes und die Verringerung der Bodenkontaktfläche angesehen. Bei guten Witterungsbedingungen ohne Niederschlag und Taufall ist kein trocknungsbeschleunigender Effekt beim spiralförmigen Schwad nachweisbar. Ein Unterschied in der Futterqualität ist nur bei schlechter Witterung festzustellen.

Wenn es gelingen sollte eine kostengünstige technische Lösung zur Herstellung der Spiralschwade zu finden, kann es als Verfahren für Gebiete mit hohem Witterungsrisiko eine gute Alternative zur Breitablageverfahren darstellen. Vorraussetzung dafür ist, dass das Spiralschwad auch ohne eine Maschendrahtarmierung weitgehend formstabil bleibt.

Die Behandlung von Halmgut mit Mikrowellen führt zu einer Trocknungsbeschleunigung. Mit längeren Expositionszeiten und größeren Sendeleistungen werden deutlich bessere Ergebnisse erzielt, wobei mit längerer Behandlungsdauer ein höherer Effekt als mit größerer Sendeleistung erreicht werden kann.

Die Behandlung mit Hochfrequenz ist sowohl bei den Trocknungsergebnissen, als auch aus der Sicht der Futterqualität keine brauchbare Alternative zur mechanischen Aufbereitung des Grüngutes. Die Kombination zwischen Mikrowellen- bzw. Hochfrequenzbehandlung und mechanischer Aufbereitung ist sinnvoll und vorteilhaft gegenüber der „reinen“ Behandlung.

Für reale Erntebedingungen sind beide Verfahren, Mikrowellen- und Hochfrequenzbehandlung, wegen des großen Energieaufwandes und der erforderlichen langen Behandlungsdauer kaum geeignet. Bei Hochfrequenzanwendung verschlechtert sich außerdem mit der Behandlung die Grüngutqualität.

Um genauere verfahrenstechnische Aussagen sowohl für das Spiralschwadverfahren als auch für die Behandlung des Grüngutes mit Mikrowellen treffen zu können, wäre in beiden Fällen eine den praktischen Erntebedingungen näher kommende Versuchsanstellung erforderlich.

Ein in dieser Arbeit vorgeschlagenes Verfahren zur Volumenbestimmung am Silo mit Hilfe eines Messbandes und Formeln zeigt, dass es auch mit einfachen Werkzeugen möglich ist verhältnismäßig genau zu arbeiten. Es ist allerdings wünschenswert, dass der Verdichtungsgrad unmittelbar während der Einlagerung d.h. Online bestimmt wird, mit dem Ziel der operativen Steuerung des Prozesses.

Es sind operative und nachhaltige Vorschläge zur Gewährleistung der Prozess- und Produktqualität in Weisrussland und Novosibirsker Gebiet erarbeitet worden. Das Hauptziel ist die Minderung der Verluste in allen Prozessgliedern. Dabei ist der Istzustand der Halmguternte sowohl in betroffenen Regionen als auch in Deutschland berücksichtigt worden.

Es wird vorgeschlagen einige veraltete und verlustbehaftete Verfahren zu vermeiden, bzw. durch besser angepasste zu ersetzen. Eine Verbesserung der Bodenbearbeitung und der Maschinennutzung ist dafür erforderlich. Weiterhin ist die Weiterbildung der Landwirte und Mechanisatoren notwendig.

Die Einführung eines Qualitäts- und Informationsmanagements kann es gewährleisten ein angestrebtes Niveau aufrecht zu erhalten. Mit der Einführung des digitalen Informationsmanagements können erste Schritte in Richtung präziser Landwirtschaft gemacht werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit können auf andere GUS- Regionen, die ähnliche Betriebsstrukturen und Ausgangssituationen aufweisen, übertragen werden.

11 RUSSISCHE ZUSAMMENFASSUNG

Уборка сена и сенажа в Белоруссии и Новосибирской области обременена существенными потерями. Целью данной работы являлось противопоставление улучшения процесса и повышения качества продукта при уборке сена и сенажа преимущественно неудовлетворительному состоянию данного вопроса в выше указанных регионах.

В связи с этим должно было быть проверено предположение о значительном сокращении времени сушки зеленой массы в поле после укладки в спиральный валок или обработки микроволнами и сверхвысокими частотами (СВЧ). С целью улучшения качества заготовки сенажа должна была быть найдена простая и малозатратная технология для определения степени утрамбовки сенажной массы. Для обеспечения качества процесса и продукта в исследуемых регионах должен был быть разработан ряд оперативных и долгосрочных мероприятий. Следовало также проверить возможность применения полученных результатов для других регионов Центральной и Восточной Европы. Были получены следующие результаты.

Спиральный валок обеспечивает лучшую влагоотдачу во время неблагоприятных погодных условий с наличием осадков. Он также показал лучшие результаты при повторном смачивании и сушке. Данный эффект может быть объяснен лучшей вентилируемостью и меньшим контактом с поверхностью почвы. При благоприятных погодных условиях без осадков и россы ускорение процесса сушки спирального валка не наблюдается. Разница в качестве полученного корма была установлена только во время неблагоприятных для сушки погодных условиях.

При наличии малозатратного технического средства для его укладки, спиральный валок может стать хорошей альтернативой при неблагоприятных погодных условиях во время уборки. Непосредственным условием для этого является сохранение абсолютно стабильной формы спирального валка без армирования проволочной сеткой.

Обработка массы микроволнами приводит к сокращению периода сушки. С увеличением времени и мощности обработки достигаются более высокие результаты. При этом с увеличением времени обработки можно достигнуть более высокого эффекта, чем при увеличении мощности.

Обработка СВЧ не является пригодной альтернативой механической обработке зеленой массы, как в целях ускорения процесса сушки, так и для улучшения качества полученного корма. Обработка зеленой массы микроволнами или СВЧ в комбинации с механической обработкой показала себя более рациональной и выгодной по сравнению с "чистой" механической обработкой.

Для реальных условий уборки обе технологии, как обработка микроволнами, так и СВЧ, не являются пригодными вследствие повышенного расхода энергии и потребности в сравнительно длительных периодах обработки. При этом после обработки СВЧ ухудшается качество зеленой массы.

Для более точной оценки обеих технологий, как спирального валка, так и обработки зеленой массы микроволнами и СВЧ, требуется опытная установка более близко приближенная к реальным условиям уборки.

Предложенная в этой работе технология по определению степени утрамбовки сенажной массы с помощью измерительной рулетки и формул показывает, что даже при использовании простых инструментов возможна относительно точная её оценка. Определение степени утрамбовки сенажной массы желательно, однако, проводить непосредственно во время закладки, т.е. онлайн, с целью оперативного вмешательства в процесс.

Был разработан ряд мероприятий для оперативного и долгосрочного обеспечения качества процесса и продукта в Белоруссии и Новосибирской области. Главной целью данных мероприятий является снижение потерь во всех звеньях процесса. При этом было учтено состояние вопроса, как в рассматриваемых регионах, так и в Германии.

Следует отказаться от некоторых устаревших и обремененных большими потерями технологий, или заменить их на более приспособленные. Для этого необходимы улучшения, как обработки почвы, так и использования машин. Также необходимо повышение квалификации фермеров и механизаторов.

Внедрение менеджмента качества и информационного менеджмента является гарантом поддержки желаемого уровня качества. При внедрении цифрового информационного менеджмента могут быть сделаны первые шаги в направлении точного земледелия.

Результаты данной работы могут быть также применены для других регионов СНГ со схожей ситуацией и производственной структурой.

LITERATURVERZEICHNIS

ACHLAMOV, J. D., SCHEWZOV, A. W. (1999): Zagotowka korma w rulonach. Kormoproiswodstwo, 7, S. 28- 29.

AGBENOU, E.-K. (1993): Strategieansätze für die Mechanisierungsplannung in bäuerlichen Betrieben Togos. Dissertation.

AMMANN, H., FRICK, R. (2005): Silierverfahren im Vergleich. FAT-Berichte, Nr. 627, S. 1-20.

ANDREEW, N. G. (1984): Lugowoe i polewoe kormoproiswodstwo. 2. Auflage, Moskwa.

ANGER, E. (1992): Der Brockhaus. Brockhaus GmbH, Mannheim.

ANONYMUS (1980): Schwadwender. UdSSR Nr. 1281201 A 01, 4 S.

ANONYMUS (1989): Priroda Belarusii. Populjarnaja enciklopedija. Minsk.

ANONYMUS (2003): Krone mit selbstfahrendem Schwader unterwegs. profi, 15, H. 1, S. 7.

ANONYMUS (2004): Optimizacija sostawa sredstw mehanizacii dlja rasteniewodstwa. Metoditscheskie ukazanija. Akademie der Wissenschaften der Belarus, Minsk.

ANONYMUS (2005a): 1000 PS und 14 Reihen. profi17, H. 4, S. 75.

ANONYMUS (2005b): Microwave Power in Agriculture. Zugriff am 06.06.05 unter http://vniptimz.by.ru/022_1.shtml.

ANONYMUS (2005c): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Wachstum und Ernte 2004. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

ANONYMUS (2005d): Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung 2003. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

AUMANN, H. (2003): Richtige Technik für Silagebereitung. Hann. Land und Forst, 156, H. 16, S. 25- 28.

BECKHOFF, J. (1966): Zur Anwendung von Gramoxone als Anwelkmittel für die Silagegewinnung. Das wirtschaftseigene Futter, 12/1996, S. 64 - 69.

BECKHOFF, J. (1973): Sikkation von Futterpflanzen mit Hilfe organischer Säuren und deren Einfluss auf nachfolgende Konservierungsverfahren sowie ihre Nachwirkung auf den Pflanzenbestand. Forschungsstelle für Grünland und Futterbau des Landes Nordrhein- Westfalen, Kleve- Kellen, Bericht Nr. 8.

BEIMLER, A. (2003a): Verfahren und Vorrichtung zur Halmkulturernte. DE 101 36880 A1, 4 S.

BEIMLER, A. (2003b): Verfahren und Vorrichtung zur Ernte von Langhalmkulturen. DE 101 36879 A1, 4 S.

BEIMLER, A. (2003c): Verfahren und Vorrichtung zur Ernte von Halmkulturen. DE 101 36886 A1, 6 S.

BERNHARDT, G. (2005): Halmgutmähen und Halmgutwerben. Jahrbuch Agrartechnik 2005, Landwirtschaftsverlag, Münster, S. 117- 120.

BERNHARDT, G. (2006): Halmgutmähen und Halmgutwerben. Jahrbuch Agrartechnik 2006, Landwirtschaftsverlag, Münster, S. 131- 134.

BEZANAR, G. S. (1980): Isledovanie prozessa elektroobrabotki massi rastenij peremenim tokom na kosilkach- pluszilkach. Dissertation, Landwirtschaftliche Akademie Kiew.

BLAGOWESCHENSKIJ, G. W. (1990): Seno, senazh, trawjanaja rezka. Moskowskij rabotschij, Moskau.

BLYNSKI, J. N. (1991): Intensifikatija uborki kormowych kultur besbunkernymi uborotschnymi maschinami. Technika w selskom chosjajstwe, 5, S. 37-39.

BLYNSKI, J. N., GUSKOV, J. A., GOLUB, S. A. (1992): Methode zur Ernte von Halmkulturen und Einrichtung für deren Realisierung. RU 2040143 C1, 4 S.

BLYNSKI, J. N., GUSKOV, J. A., TICHONKIN, I. W. (1998): Bystro wysuschit i effektiwno ubrat. Nowoe selskoe chosjajstwo, 2.

BÖHM, M. (2004): Qualitätsstabilisierung von Kräutern mittels Mikrowellentrocknung und Coating. Dissertation, VDI Fortschritt- Berichte, Reihe 14, Nr. 117, VDI Verlag.

BONDAREV, W. A. (2002): Problemy, sostojanie i ozhidaemye resultaty issledowanij po konserwirowaniju i chraneniju kormow. Kormoproiswodstwo, 11, S. 2- 6.

BONDAREV, W. A. (2006): O kurgannom silosowanii. Kormoproiswodstwo, 4, S. 28- 31.

BONDAREV, W. A., ANISIMOV, A. A. (2006): Polnee ispol`sowat silosowanie wysokobelkowych traw dlja prigotowlenija katschestwennogo korma. Kormoproiswodstwo, 5, S. 24- 28.

BORISENKO, E. F., DENISEWITSCH, L. A. (1991): Zagotowka sena po progressiwnym technologijam. Uradzhaj, Minsk, 64 S.

BRÜSER, C. (2006): Halmgutbergung. Jahrbuch Agrartechnik 2006, Landwirtschaftsverlag, Münster, S. 134- 141.

ČERNIK, P. K., PJATNIZA, D. S., DUBROVA, J. N., OSNOWIN, S. W. (2000): Puti sowerschenstwowanija technologij prigotowlenija trawjanych kormov. Mezhdunarodnyj agrarnyj zhurnal, 7, S. 26- 27.

CHOCHRIN, S. N. (2004): Kormlenie selskochozjajstwennych zhiwotnych. KolosS, Moskva, 692 S.

CIELEJEWSKI, H. (2003): Gute Silage nur mit hoher Schlagkraft. Hann. Land und Forst, 156, H. 45, S. 28 ff.

CLAUß, B. (2002): Beitrag zur Kompaktierung von unzerkleinertem Halmgut fur die energetische Nutzung. Dissertation, Univerität Chemnitz.

DANIEL, P. (1971): Anwendung chemische Mittel zum Vorwelken. Landtechnik, 26, S. 312 - 314.

DANIEL, P. (1973): Über die Anwendung chemischer Mitteln zum Vorwelken von Futterpflanzen. Das wirtschaftseigene Futter, S. 269 - 280.

DERNEDDE, W. (1968): Die Beschleunigung der Trocknung von Halmgut durch die mechanische Aufbereitung. Dissertation, Universität Göttingen.

DERNEDDE, W. (1969): Die Beschleunigung der Trocknung von Halmgut durch mechanische Aufbereitung. Dissertation, Universität Göttingen.

DÖRPERMUND, H.-G. (2003): Mehr Ladevolumen gefordert. Lohnunternehmen 58, H. 10, S. 42 ff.

EDNER, H. H. (1985): Die Verdichtung von Siliergut und die Lagerungsdichte von Grünfuttersilage. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, 125 S.

EGGENMÜLLER, A., BIRNKAMMER, H. (1986): Zetter zur Aufbereitung von Halmgut. DE 3512 300 A1, 10 S.

EHLERT, D. (2004): Erfassung der Pflanzenmasse mit dem Pendelsensor. In: Hufnagel, R., Herbst, A., Jarfe, A., Werner [Hrsg.]: Precision Farming - Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH Münster. KTBL-Schrift 419, S. 3.2 95-98.

EICHHORN, H. [Hrsg.] (1999): Landtechnik. Landwirtschaftliches Lehrbuch. 7. Auflage, Verlag Eugen Ulmer GmbH&Co, Stuttgart.

ELLIS, F. (1996): Peasant Economics. Farm households and agrarian development. Wye Studies in Agricultural und Rural Development. 2 Auflage, Cambridge University Press., New York, Melbourne (Australien).

ENGEL, A., OBST, H. (1974): Einwirkung hoher Temperaturen auf die Pflanze. Literaturbericht / WTZ für Landtechnik Schlieben.

FREITAG, H. (1983): Beitrag zum Bemessen und Bewerten von Prozessen der Grünfuttersilierung. 130 S.

FÜBBERKER, A. (2003): Grassilage richtig verdichten. Hann. Land und Forst, 156, H. 16, S. 29 ff.

FÜRLL, C. (1972): Spannungsrelaxation und Rückdehnverhalten von angewelktem Wiesengras bei Verdichtungsvorgängen. Deutsche Agrartechnik, 22 Jahrgang, S. 566-568.

FÜRLL, C. (1973): Rheologische Eigenschaften landwirtschaftlicher Halmgüter. In: Wissenschaftl. Zeitschr. Universität Rostock 22, S. 119-126.

FÜRLL, C. (1975): Physikalisch-mechanische Eigenschaften von angewelktem Siliergut - Bestimmungsmethoden und Ergebnisse. In: Wissenschaftl. Zeitschr. der Uni Rostock, Mathemat.-Naturw. Reihe 24, S. 523-533.

FÜRLL, C., K.J., S., KAISER, E., IDLER, C. (2005): Einflüsse durch das Verdichten und den äußeren Luftabschluss auf die Qualität von Grassilagen - Ergebnisse und Anforderungen. Hannover, S. 367-373.

GALLER, H. (2004): Logistiklösungen beim Einsatz starker Feldhäcksler in Süddeutschland. Tagungsband VDI/MEG Tagung Landtechnik für Profis. VDI- Berichte Nr. 1814, Magdeburg, S. 51-57.

GARVIN, D. A. (1984): What does Product Quality really mean? Sloan Management Review, S. 25 – 43.

GERIGHAUSEN, H.-G. (2001): Der Silagefresser. profi, 13, H. 9, S. 16-21.

GERIGHAUSEN, H.-G., HÖNER, G. (2004): Drei Fehler, die sich immer rechen. Top agrar 33 (4), S. 104-107.

GINDL, G. (2002): Zeitgemäße Heubereitung und Heuqualität in der Praxis. 8. Alpenlandisches Expertenforum, S. 67-71.

GOSKOMSTAT (2003): Sel`skoe chosjajstwo w Novosibirkoj Oblasti Zugriff am 06.05.06 unter http://www.gks.ru.

GRAF, B. (2003): Grundzüge und Überlegungen zum Qualitätsmanagement und zur Qualitätssicherung der Dienstlesitung Ernährungsberatung. Dissertation, Universität Giessen.

GÜNTER, A., HEINRICH, A., PFITZNER, C., BÖHLMEIER, R. (2004): Qualitätsermittlung von Feldfutter mittels Nahinfrarotspektroskopie bei der Ernte mit dem Feldhäcksler. VDI-MEG Tagung Landtechnik 2004, VDI Verlag, Düsseldorf, S. 497- 504.

GUSOVIUS, H.-J. (2002): Stoffwandlungen und Umwelteinflüsse in Verfahrensketten für Faserhanf. Dissertation, Humboldt- Universität zu Berlin.

HAHN, J. (2002): Agrartechnik in den Transformationsländern. Jahrbuch Agrartechnik, Düsseldorf, S. 203- 207.

HAHN, J. (2004): Agrartechnik in den Transformationsländern. Jahrbuch Agrartechnik, Landwirtschaftsverlag, Münster, S. 197-201.

HARTULISTIYOSO, E., RUSLI, M., LÜCKE, W. (1998): Nacherntetechnologie und Gewürzverarbeitung in Indonesien. Landtechnik, 53/4, S. 252- 253.

HARTULISTIYOSO, E. (1999): Untersuchungen zur Applikation von Mikrowellenenergie für die Entkeimung von Gewürzen: am Beispiel von Majoran (Majorana hortensis Moench). Dissertation, VDI-MEG 343.

HEINDL, A. (2005): Möglichkeiten der Keimreduzierung bei Arznei- und Gewürzpflanzen vor, während und nach der Trocknung mittels Dampf- und Mikrowellenapplikation. Zeitschrift Arznei- und Gewürzpflanzen 10, S. 100-105.

HEINRICH, A., GÜNTER, A., BERNHARDT, G. (2005): Bestimmung der Inhaltstoffe bei der Ernte mit dem Häcksler. Landtechnik, 60, H. 1, S. 20- 21.

HEINTGES, M. (2000): Einfluß der Feldentholzung auf das Trocknungsverhalten von Leinstroh. Dissertation, Universität Bonn.

HETTASCH, T. (1995): Mattenformung von intensiv aufbereitetem Wiesenaufwuchs und ihr Einfluß auf die Feldtrocknung. Dissertation, Universität Hohenheim.

HÖCHSTETTER, H. (1960): Die überbetriebliche Maschinenverwendung in der westdeutschen Landwirtschaft. In: Abel, W. [Hrsg.]: Die überbetriebliche Maschinenverwendung in der Landwirtschaft. Schriftreihe für ländliche Sozialfragen. Veröffentlichungen der Agrarsozialen Gesellschaft e.V. Göttingen. H. 32, Hahn- Druckerei Hannover, S. 5- 27.

HOLMES, B. J., MUCK, R. E. (1999): Factors af-fecting bunker silo densities. Zugriff am 06.05.2005 unter http://www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/BunkDens3.PDF.

HONIG, H. (1987): Gärbiologische Voraussetzungen zur Gewinnung qualitätsreicher Anwelksilage. Grünfutterernte und Konservierung. Darmstadt, KTBL-Arbeitspapier 318.

IDLER, C., FÜRLL, C. (2001): Halmgutkonservierung. Jahrbuch Agrartechnik, VDI, Münster, S. 121-123.

ISERMEYER, H.-G. (1965): Struktur und Umfang der überbetrieblichen Maschinenverwendung in der Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland. In: KTBL [Hrsg.]: Berichte über Landtechnik 88, München- Wolfratshausen Hellmut-Neureuter-Verlag, Frankfurt/Main.

IVANOV, A. F., CHURSIN, W. N., FILIN, W. I. (1996): Kormoproiswodstwo. Kolos, 400 S.

JAKSH, T., BORK, H.-R., DALCHOW, C., DRAGER, D. H. (1996): Landnutzung in Mittel- und Osteuropa. Natürliche Bedingungen Land- und forstwirtschaftliche Nutzungspotentiale Transformationsprozess und ländlicher Raum. Drager, D, ZALF Münchenberg, S. 303.

JÄNICKE, H. (2003a): Anforderungen an Grobfutterkonservate. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Dummerstorf, 1 S.

JÄNICKE, H. (2003b): Erzeugung hochwertiger Anwelksilagen - Einflussfaktoren und Maßnahmen. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Dummerstorf, 2 S.

JESCHE, R. (1975): Analyse der nichtmechanischen Verfahren zur Trocknungsbeschleunigung von Halmfutter. Diplomarbeit, TU Dresden.

KADYROV, M. A., KUKRESCH, L. W. (2005): Kormoproiswodstwo w Belarusi: sostojanie, problemy, reschenija. Zemljarobstwa i achowa raslin, Nr. 2, S. 3- 9.

KAISER, E. (2004): Einflussfaktoren auf die Silagequalität. Tagung Landtechnik für Profis 2004, VDI-Verlag, Magdeburg, S. 11-22.

KIALBEKOV, R. (2001): Projekt technologii zagotowki sena dlja selchosarteli im. Engelsa Nemezkogo rajona Altajskogo Kraja. Diplomarbeit.

KIALBEKOV, R., HAHN, J., FRERICHS, L. (2004): An alternative technique to accelerate the field drying of forage material. Tagung Landtechnik 2004. VDI- MEG, VDI- Verlag, Düsseldorf, S. 301- 306.

KIALBEKOV, R., V. HÖRSTEN, D., LÜCKE, W., HAHN, J., FRERICHS, L. (2006): Vorbehandlung von Halmgut mit Mikrowellen und Hochfrequenzstrahlung. Landtechnik 61, Heft 1, S. 22- 23.

KLINDJUK, A. M., KURDOGLJAN, A. A., BULATOV, A. P. (2004): Proiswodstwo kormow po nowym technologijam. Kormoproiswodstwo, 5, S. 29- 32.

KLINGENSTEINER, P. (1984): Überbetrieblicher Landmaschineneinsatz im Süden Brasiliens. Eschborn. (GTZ-Schriftenreihe 130).

KLOCHKOV, A., KIALBEKOV, R. (2004): Zagotowka kachestwennich kormow. Opyt i perspektiwy primenenija techniki firmi CLAAS. IOOO "Krasiko- Print", Minsk, 12 S.

KLOCHKOV, A. (2006): Persönliche Mitteilung am 21.06.2006. Belarus. Gorki.

KLOCHKOV, A. W., POPOV, W. A., ADAS, A. W. (2001): Zagotowka kormov zarubezhnymi maschinami. Gorki.

KLÖCKNER-HUMBOLDT-DEUTZ (1995): Erntemaschine zur Grünfutteraufbereitung. DE 4327592 A1, 4 S.

KNABE, O., FECHNER, M., WEISE, G. (1986): Verfahren der Silageproduktion. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

KONDRATOW, A. F. (2001): Tendenzii raswitija mechanisazii zagotowki kormow. Agraruniversitat Novosibirsk, Novosibirsk, S. 3-6.

KOROTKEWITSCH, A. W. (1991): Technologii i maschiny dlja zagotowki kormov iz traw i silosnych kultur. Uradzhaj, Minsk, 383 S. .

KOSCHYNSKIJ, S. D. (1979): Klimat Novosibirska. Gidrometeoizdat, Novosibirsk.

KOWALEW, J. N. (2004): Kormoproiswodstwo. Izdatelskij zentr "Akademija", Moskwa, 240 S.

KUKRESCH, L. W., KADYROV, M. A. (2005): Kormoproiswodstwo w Belarusii: agro-zooekonomitscheskij analiz. Zemljarobstwa i achowa raslin, Nr. 4, S.3- 10.

KUSMIN, N. A., NOWIKOV, N. N., IWSCHINA, E. M. (2004): Kormoproiswodstwo. KolosS, Moskau, 280 S.

LATSCH, R., PROCHNOW, A., BERG, W. (2003a): Verfahrensvergleich Futtererntetechnik: Ladewagen oder Feldhäcksler? dlz Agrarmagazin, 12, S. 30-34.

LATSCH, R., PROCHNOW, A., BERG, W. (2003b): Häcksler oder Ladewagen? Vergleich und Bewertung der Stärken und Schwächen beider Verfahren. Neue Landwirtschaft, 11, S. 54-57.

LIGOCKI, A. (2003): Halmgutmähen und Halmgutwerben. Jahrbuch Agrartechnik 2003, Landwirtschaftsverlag, Münster, S. 129- 135.

LIGOCKI, A. (2004): Halmgutmähen und Halmgutwerben. Jahrbuch Agrartechnik 2004, Landwirtschaftsverlag, Münster, S. 117- 123.

LÖSCH, M., PUTZ, B. (1993a): Untersuchunge zur Grundfutterkonservierung und Milcherzeugung auf Sowchosen in Magnitogorsk. Diplomarbeit, Universität Hohenheim.

LÖSCH, M., PUTZ, B. (1993b): Grundfutterkonservierung und Milcherzeugung auf Sowchosen in Magnitigorsk. Diplomarbeit.

LÜCKE, W. (1993): Mikrowellenbehandlung pflanzlicher Produkte. Eine Alternative zur konventionellen Konservierung. Landtechnik, 6-93, S. 323- 326.

MEINEN, D. (2001): In der Praxis bewährt - Silierhilfsmittelvergleich im Feldversuch. Deutsch Landwirtschaftliche Zeitschrift, 53, H. 4, S. 104- 108.

MERBECKS, M. (1997): Darstellung und Bewertung von Effizienzanalysen zur Prävention ernährungsabhängiger Krankheiten. In: Lehrstuhl für Betriebslehre in der Ernährungswirtschaft [Hrsg.]: Forschungsbericht Nr. 1/97.

MEYER, D. (2005): Belarus (Weißrussland) im Überblick. Der Bürger im Staat. Landeszentrale für politische Bildung Baden- Württemberg, 55. Jahrgang. Heft 4, S. 200- 201.

MÜLLER, M. (1969): Beitrag zur verfahrenstechnischen Grundlagen der Silagebereitung. Rostock, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock.

NASAROV, S. I., SINKEWITSCH, P. N. (1990): Kormouborotschnaja technika dlja krestjanskich chosjajstw i arendnych ferm. Minsk, 34 S.

NIKONOW, A. N., SCHULZE, E. (2004): Drei Jahrhunderte Agrarwissenschaft in Russland: Von 1700 bis zur Gegenwart. Studies on the Agricultural and Food Sector in Central and Eastern Europe. Bd. 27, Halle (Saale).

NIKONTSCHIK, P. I. (1966): Energetitscheskaja i ekonomitscheskaja effektiwnost` kormowych kultur, wozdelywaemych w sewooborotach. Wesci akademii agrarnych nauk Respubliki Belarus, Nr. 4, S. 54- 59.

NOACK, P. O. (2004): GPS gestützte automatische Lenksysteme. Landtechnik, 59, H. 5, S. 256-257.

NUßBAUM (2005): Silagebereitung. Zusammenstellung für das Bila- Seminar. Futterbau und Konservierung. Landwirtschaftsamt Altötting/Mühldorf, 16 S.

NYDEGGER, F. (2001): Schlagkräftiger heißt auch teurer. In: Schweizer Bauer, 09.06.2001.

NYDEGGER, F. (2004): Heutrocknung: Vergleich von 5 Verfahren. Zugriff am 06.07.2004 unter www.schweitzerbauer.ch/news/aktuell/artikel/o4592/artikell. html.

ORTEGA, M. (2000): Leitlinien für die Planung einer Strategie zur Mechanisierung der Landwirtschaft. Am Beispiel der Süd- Pazifik- Region Nicaragus. Dissertation.

OSOBOV, W. I. (1994): Maschiny dlja sagotowki grubych kormow po progressiwnym technologijam. Traktory i selskochosjajstwennye maschiny, 10, S. 7- 9.

OSOBOV, W. I., PETROV, A. I. (1998): Zagotowka trawjanych kormov w rulonach, upakowannych w plenku. Technika i oborudowanie dlja sela, 11-12, S. 6- 8.

ÖZTEKIN, M. S. (1990): Technische Möglichkeiten zur Konservierung von Luzerne durch Intensivaufbereitung in der Region Cukurova/Türkei. Dissertation, Universität Hohenheim.

PASCHER, P., HEMMERLING, U., BARTH, D., TESCH, I. (2005): Agrimente 2005. Zahlen, Daten und Fakten zur deutschen Landwirtschaft. i.m.a e.V., 74 S.

PEHL, E. (1993): Mikrowellen in der Anwendung : Funk, Radar, Erwärmung. Hüthig, Heidelberg.

PIRKELMANN, H. (1972): Die chemische Desikkation von Halmfutter im stehenden Bestand. Das wirtschaftseigene Futter, 18, S. 140- 153.

PIUNOWSKIJ, I. I. (2002): Kak snisit poteri pri sagotowke kormov is trav. Agropanarama, 3, S. 13- 16.

POBEDNOV, J. A. (2003): Problemy silosowanija prowjalennych traw. Kormoproiswodstwo, 5, S. 29- 32.

POBEDNOV, J. A. (2005): Wtorichnaja fermentazija i aerobnaja porcha silosa: prischiny wosniknowenija i sposoby ustranenija. Kormoproiswodstwo, 11, S. 24- 26.

POPOV, W. W. (1998): Retrospektiwa standartizacii sena i iskustwenno wysuschennych kormov. Kormoproiswodstwo, 11, S. 29- 31.

PROCHNOW, A. (2000): Bewertung von Technik und Verfahren für die großflächige integrierte Landschaftspflege in Brandenburg. Habilitation, Humboldt-Universität zu Berlin.

PRONIN, D. (2003): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren auf die vertikale Differezierung von Bodenkennwerten auf lehmigem Sand (Brandenburg) und auf Schwarzerde (Novosibirsk) sowie auf ausgewählte Pflanzenmerkmale. Dissertation, Humboldt Universität zu Berlin.

PÜTZ, M. (2005): Ladewagen wieder im Aufwind. Land und Forst, 158, H. 10, S. 34.

RAMANOVICH, M., LAJTOS, I. (2004): Milchproduktion und -verarbeitung in Weißrussland: Eine Analyse der Wettbewerbsfähigkeit. IAMO Discussion Paper No. 77, Halle (Saale).

RETTIG, H. (1972): Untersuchung des physikalischen Gasaustausches an Konservierungsbehältern. Dissertation, AdL der DDR.

ROCZNIK, K. (1995): Wetter und Klima in Deutschland : ein meteorologisches Jahreszeitenbuch mit aktuellen Wetterthemen ; mit 17 Tabellen. 3. Aufl., Hirzel, Stuttgart, 163 S.

RUPPEL, K. A. (1992): Effect of bunker silo management on hay crop nutrient management. M.S. Thesis, Cornell University, Ithaca.

RUPPEL, K. A., PITT, R. E., CHASE, L. E., GALTON, D. M. (1995): Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. J. Dairy Sci.. 78, S. 141-153.

RUSLI, M., LÜCKE, W. (1997): Mikrowellenunterstützte Konvektionstrocknung von Kartoffeln. Landtechnik 1997, VDI-Bericht 1356, S. 157- 160.

SADOWSKI, R., WIERZBOWSKA-MIAZGA, A., WIŚNIEWSKA, I. (2005): Belarus der Unbekannte Nachbar der Europäischen Union. Politische, gesellschaftliche und wirtschaftliche Lage Weißrusslands.

SCHÄFER, H. (1994): VDI-Lexikon Energietechnik. VDI-Verlag, Düsseldorf, 615 S.

SCHEGLOV, W. W., BOJARSKIJ, L. G. (1991): Korma, prigotowlenie, chranenie, ispolzowanie. Agropromisdat, Moskau.

SCHELJUTO, A. A., SCHLAPUNOV, W. N., PETROVITSCH, E. A. (2005): Technologii i effektiwnost proiswodstwa kormov. GU "Utschebno- metoditscheskij centr Minselchozproda", Minsk, 397 S. .

SCHLAPUNOV, W. N., ABRASKOWA, S. W. (2003): Technologii zagotowki i katschestwo trawjanych kormov. Zemljarobstwa i achowa raslin, 3, S. 11- 13.

SCHPAKOV, A. S., BONDAREV, W. A. (2003): Progressiwnie technologii proiswodstwa kormov iz mnogoletnich trav i problema ich oswoenija. Kormoproiswodstwo, 6, S. 27- 30.

SHINNERS, K. J., BARRINGTON, G. P., KOEGEL, R. G. (1982): Forming mats from macerated forages to accelerate drying rates. ASAE Paper No. 82-1531.

SIMON, F. (1995): Verfahren und Vorrichtung zum Aufbereiten von Halmgut. DE 4324686 A 1, 4 S.

SIMON, W. (1967): Erste Ergebnisse über die Sikkation von Futterpflanzen. Internationale Zeitschrift der Landwirtschaft, 11, S. 720- 723.

SMEJAN, N. I., BOGDEVITSCH, I. M. (1996): Potschwenobiologitscheskij potencial Belarusi. Unveröffentliches Material.

SMOLENTSEVA, E. E. A. (2002): Guide book of the annual soil-ecological excursion across Western Siberia. Novosibirsk.

SONNEN, J., TÖLLE, R., FRERICHS, L., HAHN, J. (2006): Die Ernte von Bits und Bytes, Modelbasierte Modellerstellung für Ernteprozessketten. SimVis 2006, S. 105-112.

SPAAR, D., SCHUHMANN, P. [Hrsg.] (2000): Natürliche Grundlagen der Pflanzenproduktion in den Ländern der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten und des Baltikums. Buchedition Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme.

STROMEYER, H. (1974): Nutzung der Abwärme der Gasturbine beim Einsatz mobiler Feldmaschinen am Beispiel der Futtererntemaschinen.

SUNDBERG, M. (1991): Drying Studies of Forage Mats in a Climate Chamber. No. 9203123.

THAYSEN, J. (2001): Wo Zusätze gegen Nacherwärmung etwas bringen. Deutsch Landwirtschaftliche Zeitschrift, 52, H. 7, S. 86- 88.

THAYSEN, J., HOLZ, W. (2002): Schlagkraft großer Häcksler erhalten. Lohnunternehmen, 57, H. 10, S. 12 ff.

TICHONKIN, I. W. (2003): Sbor i perewozka rulonov rastitelnoj massy s ispolzowaniem spezializirowannogo transportnogo sredstwa. Dissertation, Novosibirsker Staatlicher Agraruniversität.

TIMMERMANN, H. (2005): Belarus und Lukaschenko: Zwieschen Russland und EU. Der Bürger im Staat. Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg, 55. Jahrgang. Heft4, S. 191- 199.

V. HÖRSTEN, D. (1995): Einsatz von Mikrowellenenergie und anderen thermischen Verfahren zur Abtötung von Fusarium culmorum in Weizensaatgut. Dissertation, VDI-MEG 269.

WAGNER, A., LEURS, K., BÜSCHER, W. (2004): Einfluss der Häcksellänge auf Verdichtbarkeit, Silierung und Nacherwärmung von Silomais. Heft 4-6, S. 54- 61.

WAGNER, A., LEURS, K., BÜSCHER, W. (2005a): Konservierung von Silomais im Folienschlauch - Einfluss der Häcksellänge auf Dichte, Qualität und Stabilität der Silage. Hannover, S. 375-382.

WAGNER, A., LEURS, K., BÜSCHER, W. (2005b): Silomais - Einfluss der Häcksellänge auf Verdichtbarkeit, Silierung und Nacherwärmung. 1/2005, S. 22-23.

WALLMANN, G., HARMS, H.-H. (2003): Halmgutbergung. Jahrbuchagrartechnik 2003, Landwirtschaftsverlag, Münster, S. 136- 142.

WALTHER, K. (1991): Untersuchungen zur Mähaufbereitung von Wiesenaufwuchs durch Intensivaufschluß und Mattenformung. Dissertation, Universität Hohenheim.

WASKO, P. P. (2004): Mnogoletnie trawy- glawnyj reserw w proiswodstwe kormov. Zemljarobstwa i achowa raslin, Nr. 5, S. 14- 15.

WEIN, N. (1999): Sibirien: 86 Tabellen. 1.Aufl, Klett-Perthes, Gotha.

WEISE, G. (1978): Der Lufteinfluss bei der Grünfuttersilierung, Untersuchungen zu Ursache, Wirkung und Unterbindung. Dissertation, AdL der DDR.

WEIßBACH, F. (2001a): Anforderungen an die Qualität von Gras- und Maissilagen und Möglichkeiten zu ihrer Verbesserung. Praxisinformation Grünland und Futterwirtschaft, Heft 30.

WEIßBACH, F. (2001b): Anforderungen an die Qualität von Gras- und Maissilagen und Möglichkeiten zu ihrer Verbesserung. In: Landwirtschaftskammer Hannover [Hrsg.]: Top Silagen für Top Milchleistungen, Praxisinformation Grünland und Futterwirtschaft. Heft 30.

WEIßBACH, F. (2002): Grundlagen und Praxis der Produktion guter Grassilagen, S. 1- 6.

WIENEKE, F., DERNEDDE, W. (1966): Entwicklung und Forschung auf dem Gebiet des Quetschens und Knickens von Halmgut. Grundlagen der Landtechnik. Bd. 15, S. 65- 70.

WIENEKE, F. (1972): Verfahrenstechnik der Halmfutterproduktion. 607 S. , Verlag Prof. Dr. Ing. F. Wieneke, Göttingen.

WILLIAMS, A. G. (1994): The permeability and porosity of grass silage as affected by dry matter. Journal of agricultural engineering research, London, Academ. Press 59, S. 133 - 140.

ZÄH, M. (2003): Hauptsache Stabil. profi, 15, H. 4, S. 48- 51.

ZIMMER, E. (1972): Agrochemische Verfahren in der Halmgutaufbereitung und Halmgutkonservierung. Grundlagen der Landtechnik, S. 7 - 10.

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN UND SYMBOLE

Abb.	Abbildung	**ME**	Energiedichte [MJ/kg TM]
AutoCAD	Auto Computer Aided Design	**m_f**	Masse an Feuchte [g]
B_{GS}	Breite des gesamten Silos [m]	**Mio.**	Million
BImSCHV	Bundes Immissionsschutz Verordnung	**m_{OS}**	Masse der Originalsubstanz [g]
B_O	Breite oben [m]	**m_{TS}**	Trockensubstanzmasse [g]
BRD	Bundesrepublik Deutschland	**MTS**	Maschinentechnische Station
B_U	Breite unten [m]	**MW**	Mikrowelle
bzw.	Beziehungsweise	**NDF**	Neutral-Detergentien-Faser [%]
ca.	circa	**NEL**	Netto-Energie-Laktation [MJ/kg TM]
d	Tag	**Nr.**	Nummer
DDR	Deutsche Demokratische Republik	**pH**	pondus Hydrogenii (lat.)
DE	Deutschland	**Pr.**	Probe
DIN	Deutsche Institut für Normung e.V.	**RA**	Rohasche [g/kg TM]
dOM	Verdaulichkeit [%]	**rel.**	relative
e.V.	eingetragener Verein	**RP**	Rohprotein [g/kg TM]
FZM	Forschungszentrum für Mechanisierung	**RU**	Russland
ggf.	gegebenenfalls	**russ.**	russisch
GUS	Gemeinschaft der Unabhängigen Staaten	**TS**	Trockensubstanz
h	Stunde	**TS- Gehalt**	Trockensubstanzgehalt
H	Höhe [m]	**u**	Feuchtegrad
HF	Hochfrequenz	**u.**	und
H_{SW}	Höhe der Silowände [m]	**u.a.**	unter anderem
Hz	Horizontalwinkel [°]	**UdSSR**	Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken
lat.	latein	**ÜMV**	Überbetriebliche Maschinenverwendung
LF	Landwirtschaftliche Fläche	**USA**	United States of America
L_O	Länge oben [m]	**usw.**	und so weiter
L_U	Länge unten [m]	**V**	Volumen [m^3]
m	Masse	**z.B.**	zum Beispiel
m_A	Anfangsmasse [g]	**φ**	Feuchtegehalt [%]
m_E	Endmasse [g]		

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abb. 1:	**Weißrussland. Quelle (MEYER, 2005)**	**10**
Abb. 2:	**Novosibirsker Gebiet**	**12**
Abb. 3:	**Halmguternte**	**15**
Abb. 4:	**Heuernte**	**16**
Abb. 5:	**Grassilageernte**	**16**
Abb. 6:	**Das Verfahren der Halmguternte in Weißrussland**	**22**
Abb. 7:	**Selbstfahrendes Mähwerk E 301 im Einsatz**	**23**
Abb. 8:	**Der Zettwender GWR- 630/420 im Einsatz**	**23**
Abb. 9:	**Heustapler und Schiebegabel im Einsatz**	**24**
Abb. 10:	**Sammelpressen Typ PRF, aggregiert mit Traktoren Typ MTZ**	**24**
Abb. 11:	**Anbauhäcksler mit dem Universalfahrzeug Typ POLES`E im Einsatz**	**25**
Abb. 12:	**Transporteinheit Traktor Typ MTZ mit Anhänger Typ PIM**	**25**
Abb. 13:	**Horizontalsilo in Weißrussland**	**26**
Abb. 14:	**Silieren in „Kurgan“**	**26**
Abb. 15:	**K-701 beim Verdichten**	**27**
Abb. 16:	**Abdecken mit Stroh**	**27**
Abb. 17:	**Loseheuverfahren im Novosibirsker Gebiet**	**28**
Abb. 18:	**Schichtaufbau der Silo (eigene Darstellung)**	**30**
Abb. 19:	**Das Verfahren der Halmguternte in Bundesrepublik Deutschland, verändert nach (LIGOCKI, 2004)**	**31**
Abb. 20:	**Halmgutaufbereitungsverfahren. Quelle (KIALBEKOV et al., 2004)**	**34**
Abb. 21:	**Arcadenschwad**	**36**
Abb. 22:	**Bahnenschwad**	**37**
Abb. 23:	**Hüttenschwad. Patent DE 3512 300 A1**	**37**
Abb. 24:	**Hüttenschwad. Patent DE 101 36879 A1**	**38**
Abb. 25:	**Prismaschwad**	**38**
Abb. 26:	**Rohrschwad**	**39**
Abb. 27:	**Spiralschwad**	**39**

Abb. 28:	**Wellenschwad**	**40**
Abb. 29:	**Frequenzbereich der elektromagnetischen Wellen (SCHÄFER, 1994)**	**47**
Abb. 30:	**Schema der Versuchsdurchführung (RUSLI & LÜCKE, 1997)**	**49**
Abb. 31:	**Maschendrahtrollen für Erzeugung des Spiralschwades**	**59**
Abb. 32:	**Gazerahmen (links 2m2, rechts 1m2)**	**60**
Abb. 33:	**Wetterstation**	**62**
Abb. 34:	**Aufbau der stationären Mikrowellenanlage (KIALBEKOV et al., 2006)**	**64**
Abb. 35:	**Hochfrequenzanlage (KIALBEKOV et al., 2006)**	**65**
Abb. 36:	**Mikrowellentunnel (eigene Darstellung)**	**66**
Abb. 37:	**Theodolit Leica TPS 1100 bei der Vermessung**	**68**
Abb. 38:	**Messband**	**69**
Abb. 39:	**Die Parameter des Silos**	**70**
Abb. 40:	**Die Niederschlagsmenge während des ersten Versuches**	**71**
Abb. 41:	**Tagesmitteltemperatur und relative Tagesluftfeuchtigkeit während des ersten Versuches**	**72**
Abb. 42:	**Trocknungsverlauf und Niederschlag im ersten Versuch**	**73**
Abb. 43:	**Tagesmitteltemperatur und relativen Tagesluftfeuchtigkeit während des zweiten Versuches**	**74**
Abb. 44:	**Trocknungsverlauf im zweiten Versuch**	**75**
Abb. 45:	**Tagesmitteltemperatur und relative Tagesluftfeuchtigkeit während des dritten Versuches**	**76**
Abb. 46:	**Trocknungsverlauf im dritten Versuch**	**77**
Abb. 47:	**Qualitätsbestimmung. Dritter Versuch**	**77**
Abb. 48:	**Niederschlagsmenge im vierten Versuch**	**78**
Abb. 49:	**Tagesmitteltemperatur und relative Tagesluftfeuchtigkeit während des vierten Versuches**	**79**
Abb. 50:	**Trocknungsverlauf im vierten Versuch**	**80**
Abb. 51:	**Rohasche (RA), Rohprotein (RP) und Verdaulichkeit (dOM) im vierten Versuch**	**81**

Abb. 52: Netto-Energie-Laktation (NEL) und Energiedichte (ME) im vierten Versuch **81**

Abb. 53: Trocknungsverlauf der in stationärer Mikrowellenanlage behandelten Proben im Vergleich zu den Nullvarianten **84**

Abb. 54: Trocknungsverlauf der in der Hochfrequenzanlage behandelten Proben im Vergleich zu den Nullvarianten **84**

Abb. 55: Trocknungsverlauf der im Mikrowellentunnel behandelten Proben im Vergleich zu den Nullvarianten **85**

Abb. 56: Grafische Darstellung des gefüllten Silos 1 (Surfer) **87**

Abb. 57: Grafische Darstellung des gefüllten Silos 2 (Surfer) **88**

Abb. 58: Grafische Darstellung des gefüllten Silos 3 (Surfer) **89**

VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tab. 1:	**Gesamtertrag der Halmgutfutterernte im Novosibirsker Gebiet**	**2**
Tab. 2:	**Anforderungen an die Halmfutterqualität**	**7**
Tab. 3:	**Anforderungen an Gärqualität der Grassilagen (NUßBAUM, 2005)**	**8**
Tab. 4:	**Verlustquelle bei der Herstellung und dem Einsatz von Grassilage und Heu**	**8**
Tab. 5:	**Klima in Weißrussland während der Futterernte (ANONYMUS, 1989)**	**11**
Tab.6:	**Hauptbodenarten in Weißrussland (SMEJAN & BOGDEVITSCH, 1996)**	**11**
Tab.7:	**Anbaustruktur der Hauptfutterflächen (JAKSH et al., 1996)**	**11**
Tab.8:	**Witterung Novosibirsk (PRONIN, 2003)**	**12**
Tab.9:	**Extremwerte und vegetationsbezogene Klimaangaben Novosibirsk**	**13**
Tab.10:	**Böden der Ackerflächen in Westsibirien (SMOLENTSEVA, 2002)**	**13**
Tab.11:	**Heubereitung im Vergleich zum Silierverfahren**	**17**
Tab.12:	**Systematik der überbetrieblichen Maschinenverwendung (ORTEGA, 2000)**	**21**
Tab.13:	**Effektivwert der Feldstärke, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle**	**50**
Tab.14:	**Trockenmasseverluste in Abhängigkeit von der Silagedichte (RUPPEL, 1992)**	**52**
Tab.15:	**Übersicht der Versuchsreihen**	**58**
Tab.16:	**Untersuchte Varianten**	**63**
Tab.17:	**Pflanzenbestand im ersten Versuch**	**71**
Tab.18:	**Pflanzenbestand im zweiten Versuch**	**74**
Tab.19:	**Pflanzenbestand im dritten Versuch**	**76**
Tab.20:	**Behandlung in stationärer Mikrowellenanlage**	**82**
Tab.21:	**Behandlung in der Hochfrequenzanlage**	**82**
Tab.22:	**Behandlung im Mikrowellentunnel**	**83**

Tab.23: Ergebnisse des Hohenheimer Futterwerttestes 86

Tab.24: Mit dem Messband aufgenommene Werte (Silo 1) 87

Tab.25: Mit dem Messband aufgenommene Werte (Silo 2) 88

Tab.26: Mit dem Messband aufgenommene Werte (Silo 3) 89

ANHANG

Tabelle A 1: Maschinenpark bei der Halmguternte in Weißrussland und Novosibirsker Gebiet

Maschine	Hersteller	Merkmale
Mähen		
Mähwerk KS-2,1	RUPP Bobrujskagromasch	Arbeitsbreite 2,1 m
Mähwerk KTP-6,0	k. A	Arbeitsbreite 6,0 m
Mähwerk KFP-4,2	RUPP Bobrujskagromasch	Arbeitsbreite 4,2 m
Mähwerk ZWN-6A	k. A.	Arbeitsbreite 6,0 m
Schwadmäher E 301	Fortschritt	Leistung 47,8 kW (65 P.S.)
Zetten, Wenden, Schwaden		
Schwader GR-700	RUPP „Bobrujskagromasch“	Arbeitsbreite 4,5- 7,3 m
Zettwender GWR-630	RUPP „Bobrujskagromasch“	Arbeitsbreite 6,3 m
Zettwender GWR-420	RUPP Bobrujskagromasch	Arbeitsbreite 4,2 m
Zettwender GWK- 6,0	UP JAM- 401/2	Arbeitsbreite 6,0 m
Aufsammeln		
Aufsammler PKU-0,8-3	AO „Salkselmasch“	Ladekapazität 0,5 m^3
Heustapler SNU- 550	AO „Salkselmasch“	Ladekapazität 550 kg
Heustapler SŜR-550	AO „Salkselmasch“	Ladekapazität 500 kg
Schoberstapler KUN- 10	AO „Salkselmasch“	Ladekapazität 1000 kg
Schiebegabel WNŜ-3	k. A	Arbeitsbreite 3 m
Schoberstapler PKS- 1,6	OAO „Selmasch- Urjupinsk“	Volumen 1,6 m^3
Pressen		
Sammelpresse Typ PRF	RUPP „Bobrujskagromasch“	Arbeitsbreite 1,45- 1,65 m
Sammelpresse PRP- 1,6	k. A	Arbeitsbreit 1,6 m
Häckseln		
Feldhäcksler KSK- 100	PO „Gomselmash“	Leistung 147 kW (200 P.S.)
Komplex POLES`E	PO „Gomselmash“	Leistung 250-280 P.S.
Transport		
Anhänger Typ PIM	RUPP „Bobrujskagromasch“	Ladekapazität 40 m^3
LKW Typ ZIL	Zawod immeni I. A. Lichatschewa	Ladekapazität 6 Tonnen
LKW Typ GAZ	Gorkowski Avtomobilnij Zawod	Ladekapazität 4 Tonnen
Traktoren		
K- 701	ZAO “Peterburgskij Traktorny Zawod”	Leistung 221 kW (300 P.S.) Gesamtgewicht 13,4 Tonnen
K- 702 MA	ZAO “Peterburgskij Traktorny Zawod”	Leistung 172 kW (235 P.S.) Gesamtgewicht 23 Tonnen
MTZ 80	PO „Minskij Traktornyj Zawod“	Leistung 55 kW (75 P.S.)
T- 150 (Raupe)	OAO „Charkovskij Traktornyj Zawod“	Leistung 128,7 kW (175 P.S.) Gesamtgewicht 8 Tonnen

Tabelle A 2: Feuchtegehalt φ [%]. Versuch mit dem Spiralschwad Nr. 1

Tag	Uhrzeit	Feuchtegehalt des Breitschwades mit Bearbeitung, Mittelwerte φ [%]	Feuchtegehalt des Breitschwades ohne Bearbeitung, Mittelwerte φ [%]	Feuchtegehalt des Spiralschwades, Mittelwerte φ [%]
10.07.02	**12.00**	61,60	61,60	61,60
	14.00	50,26	49,39	50,40
	16.00	44,84	43,66	41,74
	18.00	39,34	39,73	34,44
11.07.02	**10.00**	63,38	63,99	42,66
	12.00	59,18	59,80	36,27
	14.00	53,98	54,22	32,80
	16.00	51,31	51,91	29,99
	18.00	49,65	50,15	28,38
12.07.02	**08.00**	50,61	50,90	30,89
	11.00	46,43	47,72	25,68
	14.00	41,78	43,83	22,49
	17.00	39,65	41,44	21,38
13.07.02	**08.00**	37,77	39,97	21,09
	11.00	34,52	37,02	18,88
	14.00	30,76	33,06	17,17
	17.00	33,62	36,19	20,36
14.07.02	**08.00**	36,01	37,84	23,85
	11.00	54,02	57,82	40,27
	14.00	61,72	66,46	47,10
	17.00	67,23	67,77	50,36
15.07.02	**08.00**	69,37	69,83	50,64
	11.00	65,68	66,48	43,01
	14.00	60,23	60,99	31,72
	17.00	56,53	57,10	26,40
16.07.02	**08.00**	53,48	54,42	23,99
	11.00	49,13	49,74	18,87
	14.00	44,03	44,42	16,54
	17.00	31,33	38,49	13,35
17.07.02	**08.00**	31,08	38,65	20,22
	11.00	28,12	36,57	17,80
	14.00	32,39	39,58	22,50
	17.00	61,24	64,75	45,47
18.07.02	**08.00**	53,48	57,86	35,20
	11.00	49,59	54,95	28,33
	14.00	41,24	49,37	23,82
	17.00	39,04	48,12	22,61
19.07.02	**08.00**	52,67	58,88	33,86
	11.00	50,16	55,71	30,95
	14.00	47,42	54,01	28,95
	17.00	44,63	52,25	27,64
20.07.02	**08.00**	54,54	59,72	35,49
	11.00	50,06	56,73	30,43
	14.00	45,54	54,38	24,91
	17.00	42,38	51,32	23,05
21.07.02	**08.00**	38,81	49,05	21,80
	11.00	35,68	46,73	20,51
	14.00	67,01	68,10	44,00
	17.00	53,43	58,50	28,48
22.07.02	**08.00**	47,42	54,25	22,22
	11.00	68,97	71,05	45,87
	14.00	66,53	69,30	45,95
	17.00	62,95	66,65	37,54
23.07.02	**08.00**	56,86	62,66	24,11
	11.00	55,75	61,75	22,76
	14.00	53,16	59,96	20,94
	17.00	51,65	57,67	17,94

Tabelle A 3: Feuchtegehalt φ [%]. Versuch mit dem Spiralschwad Nr. 2

Tag	Uhrzeit	Feuchtegehalt des Breitschwades mit Bearbeitung, Mittelwerte φ [%]	Feuchtegehalt des Breitschwades ohne Bearbeitung, Mittelwerte φ [%]	Feuchtegehalt des Spiralschwades, Mittelwerte φ [%]
29.07.02	**12.00**	76,90	76,9	76,9
	14.00	69,9	70,7	70,1
	17.00	61,2	64,5	61,9
30.07.02	**10.00**	56,6	60,3	50,9
	12.00	52,2	56,3	44,3
	14.00	40,7	47,5	32,1
	16.00	25,4	38,9	24,5
	18.00	26,5	37,4	25,2
31.07.02	**08.00**	22,2	33,9	21,2
	11.00	15,0	28,1	16,0
	14.00	8,6	23,5	13,8
	17.00	18,5	28,0	18,3
01.08.02	**08.00**	12,5	23,3	13,5
	11.00	6,0	17,5	10,5

Tabelle A 4: Feuchtegehalt φ [%]. Versuch mit dem Spiralschwad Nr. 3

Datum	Uhrzeit	Feuchtegehalt des Breitschwades mit mechanischen Bearbeitung, Mittelwerte φ [%]	Feuchtegehalt des Spiralschwades, Mittelwerte φ [%]
02.06.03	**12:00**	65,5	65,5
02.06.03	**14:00**	48,7	52,8
02.06.03	**16:00**	40,1	45,9
02.06.03	**18:00**	34,2	40,1
03.06.03	**10:00**	25,4	28,6
03.06.03	**12:00**	20,0	24,2
03.06.03	**14:00**	14,5	21,3
03.06.03	**16:00**	-*	18,1
03.06.03	**18:00**	-*	16,7

Tabelle A 5: Feuchtegehalt φ [%]. Versuch mit dem Spiralschwad Nr. 4

Datum	**Uhrzeit**	**Feuchtegehalt des Breitschwades mit Bearbeitung, Mittelwerte** φ [%]	**Feuchtegehalt des Spiralschwades, Mittelwerte** φ [%]
23.6.2004	**10:00**	83.2	83.2
	12:00	81.8	81.1
	14:00	88.5	86.1
	16:00	86.9	84.1
	18:00	85.4	82.3
24.6.2004	**10:00**	85.1	81.0
	12:00	82.9	78.8
	14:00	81.1	76.8
	16:00	79.4	74.8
	18:00	77.1	72.6
25.6.2004	**10:00**	71.9	63.9
	12:00	70.2	62.1
	14:00	69.7	61.3
	16:00	74.3	66.9
	18:00	75.4	65.4
26.6.2004	**10:00**	69.3	56.9
	12:00	68.0	55.6
	14:00	66.1	54.2
	16:00	64.0	52.5
	18:00	62.1	51.2
27.6.2004	**10:00**	59.9	47.
	12:00	58.2	46.4
	18:00	54.2	42.8
28.6.2004	**10:00**	53.9	41.6
	12:00	51.1	39.7
	14:00	48.1	38.0
	16:00	70.0	51.8
	18:00	60.6	41.3
29.6.2004	**10:00**	55.0	34.5
	12:00	50.3	32.9
	14:00	46.0	31.5
	16:00	43.3	30.3
	18:00	42.4	29.5
30.6.2004	**10:00**	45.6	31.6
	12:00	41.4	29.0
	14:00	38.2	26.6
	16:00	36.0	25.0
	18:00	34.9	24.0
1.7.2004	**10:00**	35.4	-*
	12:00	33.0	-*
	14:00	37.5	-*
	16:00	32.6	-*
	18:00	73.2	-*
2.7.2004	**10:00**	58.7	-*
	12:00	47.1	-*
	14:00	39.0	-*
	16:00	31.8	-*
	18:00	24.0	-*

*- *wurde nicht gemessen*

Tabelle A 6: Tagesmitteltemperatur, durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit und Niederschlagsmenge. Versuch mit dem Spiralschwad Nr. 1

Datum	**Tagesmitteltemperatur [°C]**	**durchchnitt. rel. Luftfeuchtigkeit [%]**	**Niederschlagmengen [mm]**
10.07.02	25,9	53,0	*11,2*
11.07.02	18,3	61,0	0,1
12.07.02	21,4	52,5	0
13.07.02	20,1	53,2	0
14.07.02	18,8	77,3	5
15.07.02	19,2	72,4	2,6
16.07.02	22,5	59,4	0,6
17.07.02	21,7	70,6	0,4
18.07.02	18,0	80,1	0,1
19.07.02	—*	—*	1,8
20.07.02	—*	—*	0,3
21.07.02	—*	—*	-*
22.07.02	15,9	72,2	-*
23.07.02	16,5	69,0	0

**- aus technischen Gründen nicht gemessen*

Tabelle A 7: Tagesmitteltemperatur, durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit und Niederschlagsmenge. Versuch mit dem Spiralschwad Nr. 2

Datum	**Tagesmitteltemperatur [°C]**	**durchchnitt. rel. Luftfeuchtigkeit [%]**	**Niederschlagmengen, [mm]**
29.07.02	26,7	49,2	0
30.07.02	27,8	42,4	0
31.07.02	26,5	54,9	0
01.08.02	25,2	63,1	0

Tabelle A 8: Tagesmitteltemperatur, durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit und Niederschlagsmenge. Versuch mit dem Spiralschwad Nr. 3

Datum	**Tagesmitteltemperatur [°C]**	**durchchnitt. rel. Luftfeuchtigkeit [%]**	**Niederschlagmengen [mm]**
02.06.03	27,2	33,0	0
03.06.03	25,2	41,2	0

Tabelle A 9: Tagesmitteltemperatur, durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit und Niederschlagsmenge. Versuch mit dem Spiralschwad Nr. 4

Datum	Tagesmitteltemperatur [°C]	durchchnitt. rel. Luftfeuchtigkeit [%]	Niederschlagmengen [mm]
22.6.2004	16,5	65,3	21,3
23.6.2004	17,3	71,5	0
24.6.2004	16,4	55,3	1,1
25.6.2004	13,9	65,2	0
26.6.2004	14,2	64,0	0
27.6.2004	16,2	61,2	2,4
28.6.2004	16,6	65,3	0
29.6.2004	15,0	59,3	0
30.6.2004	16,5	63,9	8,9
01.7.2004	17,3	63,6	0
02.7.2004	15,8	61,1	0
03.7.2004	13,8	73,6	0

Tabelle A 10: Qualitätsbestimmung. Versuch mit dem Spiralschwad Nr. 3

Probe	RP [%]	RA [%]	NDF [%]
SPS 1.1	9,27	6,56	55,52
SPS 1.1	9,02	6,09	56,86
SPS 1.2	9,30	6,48	55,58
SPS 1.2	9,44	6,04	58,13
SPS 2.1	8,72	5,65	58,39
SPS 2.2	9,10	7,41	55,68
SPS 2.2	9,13	6,58	56,48
SPS 3.1	8,80	6,46	55,57
SPS 3.2	8,64	6,14	55,99
SPS 3.2	8,33	5,59	59,46
GR 21	8,12	5,94	59,27
GR 21	8,11	5,83	59,60
GR 21	8,67	5,88	58,02
GR 23	8,73	6,35	55,29
GR 23	9,54	6,50	55,32
GR 23	8,99	6,65	54,18
GR 26	8,66	6,62	55,82
GR 26	9,24	6,04	55,98

Tabelle A 11: Qualitätsuntersuchung. Versuch mit dem Spiralschwad Nr. 4

Probe	RA [%]	RP [%]	dOM [%]	ME [MJ/kg TM]	NEL [MJ/kg TM]
Kontrolle	11,00	17,49	68,20	9,06	5,31
Spiralschwad	11,39	18,70	69,00	9,10	5,34
Breitschwad	10,52	18,19	65,30	8,62	5,00

Tabelle A 12: Feuchtegehalt φ [%] Mikrowellentunnel

Proben Nr.	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Vor der Behandlung	85,29	85,29	85,29	85,29	85,29	85,29
Nach der Behandlung	85,07	84,62	83,87	81,48	77,27	82,76
In 1 h	83,61	82,46	82,14	79,59	75,00	80,00
In 2 h	83,05	81,13	80,77	77,78	72,97	79,17
In 3 h	-*	79,17	78,72	76,19	-*	-*
In 4 h	73,68	77,27	75,00	75,61	65,52	71,43
In 6 h	67,74	75,00	66,67	71,43	62,96	67,74
In 8 h	-*	71,43	60,00	60,00	-*	-*
In 10 h	-*	67,74	47,37	44,44	-*	-*
In 13 h	50,00	-*	-*	-*	23,08	16,67
In 17 h	-*	44,44	9,09	23,08	-*	-*

Tabelle A 13: Feuchtegehalt φ [%] stationäre Mikrowellenanlage und Nullvariante

Proben Nr.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**21**	**22**
Vor der Behandlung	85,29	85,29	85,29	85,29	85,29	85,29	85,29	85,29
Nach der Behandlung	84,62	85,07	85,29	84,38	85,07	85,29	-*	-*
In 0,5 h	83,61	83,33	84,13	83,33	84,13	84,13	84,69	84,05
In 1,5 h	82,46	81,13	81,48	81,48	82,46	82,76	83,53	81,72
In 2,5 h	81,13	77,27	80,39	79,59	81,82	81,82	81,72	78,72
In 3,5 h	80,00	74,36	77,27	77,27	80,77	81,13	80,00	76,19
In 4,5 h	77,78	70,59	76,19	76,74	79,59	79,59	79,04	74,16
In 5,5 h	76,19	67,74	73,68	75,00	78,26	78,26	76,74	72,22
In 6,5 h	72,97	64,29	69,70	72,22	76,74	76,19	74,36	69,70
In 7,5 h	69,70	61,54	66,67	69,70	75,00	74,36	72,22	67,74
In 8,5 h	66,67	58,33	64,29	64,29	72,22	70,59	70,59	64,29
In 10,5 h	56,62	54,55	60,00	56,52	47,37	50,00	67,43	58,33
In 12,5 h	44,44	50,00	56,52	47,37	52,38	56,52	62,96	53,92
In 14,5 h	33,33	47,37	52,38	33,33	47,37	50,00	58,33	50,00
In 21,5 h	9,09	33,33	37,50	16,67	33,33	28,57	47,37	34,64

Tabelle A 14: Feuchtegehalt φ [%] Hochfrequenzanlage

Proben Nr.	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
Vor der Behandlung	85,29	85,29	85,29	85,29	85,29	85,29	85,29	85,29
Nach der Behandlung	84,85	85,07	85,29	84,85	84,85	85,29	85,07	85,07
In 0,5 h	83,05	84,62	84,62	83,87	83,87	85,29	84,62	84,13
In 1,5 h	81,48	83,61	82,76	83,05	82,76	84,13	83,33	82,76
In 2,5 h	80,00	82,46	81,82	81,13	80,39	82,46	82,46	81,82
In 3,5 h	78,72	81,82	80,77	79,17	78,26	81,48	81,48	80,00
In 4,5 h	77,27	80,77	80,00	77,27	76,19	80,00	80,39	78,26
In 5,5 h	75,00	79,59	79,17	75,00	73,68	78,72	78,26	76,74
In 6,5 h	73,68	78,26	78,26	72,97	71,43	77,78	77,27	72,97
In 7,5 h	72,22	77,78	77,78	72,22	70,59	76,74	76,19	72,22
In 9,5 h	68,75	75,00	75,00	69,70	61,54	74,36	74,36	66,67
In 11,5 h	64,29	70,59	72,97	62,96	56,52	71,43	71,43	61,54
In 13,5 h	61,54	68,75	70,59	60,00	50,00	68,75	65,52	58,33
In 20,5 h	41,18	60,00	60,00	41,18	37,50	56,52	56,52	41,18