



Das Lebensministerium

**Entwicklung einer wirtschaftlichen  
Prozesskette zur energetischen  
Nutzung von halmgut- und holzartiger  
Biomasse im Freistaat Sachsen**

Abschlussbericht  
6/2001-12/2002

Freistaat  Sachsen

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

## Impressum

**Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden  
**Internet:** WWW.LANDWIRTSCHAFT.SACHSEN.DE/LFL

**Redaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau  
Referat Nachwachsende Rohstoffe

**Projektbearbeiterin:** Frau Dipl.-Ing. Sophia Kiesewalter

**Projektleiter:** Herr Dr. habil. Chr. Röhricht  
Tel. 0341/9174-0 Fax 0341/9174-111  
e-mail: christian.roehricht@leipzig.lfl.smul.sachsen.de

**Redaktionsschluss:** 12/2002

## Danksagung

Allen Beteiligten an den Feld- und Parzellenversuchen sowie den Kooperationspartnern sei für ihre engagierte Mitarbeit gedankt.

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln des Sächsischen Staatsministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten gefördert.

### Rechtshinweis

Alle Rechte, auch die der Übersetzung sowie des Nachdruckes und jede Art der phonetischen Wiedergabe, auch auszugsweise, bleiben vorbehalten. Rechtsansprüche sind aus vorliegendem Material nicht ableitbar.

### Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	
<b>1 Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2 Feldversuche</b>	<b>3</b>
2.1 Ziel	3
2.2 Material und Methoden	3
2.3 Ergebnisse der Feldversuche zur Nutzung von Getreidestroh- und Ganzpflanzen als Brennstoffe	6
2.3.1 Prüfung verschiedener Getreidesorten	6
2.3.2 Einfluss der Getreidearten auf Ertrag und Brennstoffqualität	15
2.3.3 Einfluss der Anbauintensität auf Ertrag und Brennstoffqualität	26
2.3.4 Einfluss der Saatstärke auf Ertrag und Brennstoffqualität	30
2.3.5 Einfluss von Feldliegezeiten auf die Brennstoffqualität	31
2.4 Diskussion und Schlussfolgerung	37
<b>3 Pelletieren von Weizenstroh mit unterschiedlichen Bindemitteln und Zuschlagstoffen</b>	<b>39</b>
3.1 Ziel	39
3.2 Versuchsdurchführung	40
3.2.1 Ausgangsmaterial und Versuchsvarianten	40
3.2.2 Beschreibung von Pelletieranlage und -verfahren	43
3.2.3 Methodik der physikalischen und chemischen Untersuchungen	47
3.2.4 Anlagenbeschreibung und Methodik der Verbrennungsversuche	49
3.3 Versuchsergebnisse	52
3.3.1 Elementargehalte, Asche und Heizwert der Strohpellets und Ausgangsstoffe	52
3.3.2 Physikalische Qualitätsparameter der Strohpellets	55
3.3.3 Ascheschmelzverhalten der Strohpelletaschen	57
3.3.4 Ergebnisse der Abbrandversuche	61
3.3.5 Verbrennungaschen	66
3.4 Schlussfolgerungen	67
<b>4 Handlungsbedarf</b>	<b>69</b>
<b>5 Literaturquellen</b>	<b>70</b>
<b>6 Anlagen</b>	<b>72</b>

## Abkürzungen

BEFU:	Düngungsprogramm der Officialberatung in Sachsen (von Bestandesführung)
BImSchG:	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV:	Bundesimmissionsschutzverordnung
EP:	Ernteparzelle
FB:	Fachbereich
HLG:	Hektolitergewicht
Hu (wf):	unterer Heizwert, wasserfrei
LfL:	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
LVG:	Landesversuchsgut
Max.:	Maximum
Min.:	Minimum
PSM:	Pflanzenschutzmittel
Standardabw.:	Standardabweichung
TA Luft:	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TKM:	Tausendkornmasse
TS:	Trockensubstanz (i. d. TS = in der TS)
VTI:	Verfahrenstechnisches Institut

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Mit der Ratifizierung des Kyoto-Protokolls durch die EU-Kommission wird ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung der Freisetzung von Treibhausgasen und zur Schonung fossiler Ressourcen geleistet. Im Interesse des Klima- und Umweltschutzes haben sich die Europäische Union und die Bundesrepublik Deutschland das Ziel gesetzt, den Anteil Erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch bis zum Jahr 2010 auf mindestens 12 % zu verdoppeln. Dabei soll auch der Anteil von „Öko-Strom“ auf 22,1 % des gesamten Stromverbrauchs steigen (1997: 13,9 %). Es kann davon ausgegangen werden, dass vor allem die energetische Nutzung von Biomasse eine größere Rolle spielen wird. Dafür sprechen insbesondere die weltweite Verfügbarkeit.

Von den Biobrennstoffen wird derzeit im Bereich der Wärmeerzeugung vor allem Holz genutzt. Im Bereich der Stromerzeugung aus Biomasse spielt die Nutzung von Biogas eine große Rolle. Um jedoch die gesteckten Ziele zu erreichen und die energetische Biomassenutzung stärker auszubauen, ist es notwendig, neben den begrenzt vorhandenen biogenen Energieträgern Holz und Biogas, auch Stroh, Getreideganzpflanzen und andere halmgutartige Biomasse zu nutzen. Diese halmgutartigen Energieträger stellen ein erhebliches Potential dar.

In Deutschland stehen ca. 14,5 Mio. Tonnen Stroh pro Jahr (29 % der Gesamtstrohmenge 2001, nach Agrarbericht 2001) für eine energetische bzw. stoffliche Nutzung zur Verfügung. Das entspricht einem Heizöläquivalent von ca. 5,8 Mrd. l Heizöl/a.

Insbesondere in Sachsen, einem Bundesland mit ausgeprägter Landwirtschaft und geringer forstwirtschaftlich genutzten Fläche, könnte die Nutzung von halmgutartiger Biomasse einen bedeutenden Anteil zur Energie- und Wärmebereitstellung leisten. In Sachsen wurde z.B. ein jährliches Potential an Getreidestroh von ca. 700.000 t ermittelt, welches energetisch genutzt werden könnte (RÖHRICHT, TWISTEL 2000).

Die Erzeugung und Verwertung landwirtschaftlicher biogener Brennstoffe können einen Beitrag zur Erhöhung der einzelbetrieblichen Wertschöpfung leisten sowie neue Einkommensmöglichkeiten und Arbeitsplätze im ländlichen Raum schaffen.

Derzeit ist die Nutzung von Stroh, Getreideganzpflanzen und anderer halmgutartiger Biomasse in Deutschland gering. Das ist damit zu begründen, dass diese Energieträger im Vergleich zu Holz verbrennungstechnisch ungünstige Eigenschaften aufweisen (Elementarzusammensetzung) und die vorhandene Feuerungstechnik einen an das Bundesimmissionsschutzgesetz gebundenen emissionsarmen Abbrand dieser Brennstoffe kaum gewährleisten.

Daraus folgt, dass Konzepte vom Anbau bis zur Verwertung dieser biogenen Energieträger entwickelt werden müssen. An den Landwirt wird die Forderung gestellt, einen möglichst

schmutz- und staubfreien trockenen Brennstoff mit geringen Gehalten an den emissionsrelevanten Inhaltsstoffen Stickstoff, Kalium, Schwefel, Chlor zu produzieren. Durch eine weitere Aufbereitung, z.B. dem Pelletieren oder Brikettieren, kann die Energiedichte erhöht werden. Damit werden Transport und Lagereigenschaften sowie das Handling für den Verbraucher verbessert. Es müssen Feuerungsanlagen in unterschiedlichen Leistungsklassen entwickelt werden, welche den gesetzlich festgelegten emissionsarmen Abbrand dieser halmgutartigen Brennstoffe gewährleisten. Daraus ergibt sich, dass es großer Anstrengungen bedarf, um die Voraussetzung zur Umsetzung der energiepolitischen Ziele zu schaffen.

Das vorliegende Projekt „Entwicklung einer wirtschaftlichen Prozesskette zur energetischen Nutzung von halmgut- und holzartiger Biomasse im Freistaat Sachsen“ soll einen Beitrag leisten, das in Sachsen anstehende Strohpotential einer effektiven energetischen Nutzung zuzuführen. Wichtige Schwerpunkte waren dabei die Untersuchung der Einflussparameter Getreidearten und -sorten, Anbauintensität (Düngung, Pflanzenschutzmittel) und Ernteverfahren auf Ertrag und Brennstoffqualität. Dabei wurde unter anderem eine Analyse der Bereitstellungskosten von Getreidestroh als Brennstoff durchgeführt.

Als Weiteres erfolgte das Pelletieren von Getreidestroh. Hier wurde geprüft, in wieweit die Festigkeit sowie die verbrennungstechnischen Eigenschaften der Strohpellets durch Beimischen von verschiedenen Bindemitteln und Zuschlagstoffen beim Pelletieren verbessert werden kann. Die Pelletierung stellt eine Möglichkeit dar, aus Stroh einen homogenen Brennstoff mit hoher Energiedichte, definierter Qualität und guter Logistik bereitzustellen.

## 2 Feldversuche

### 2.1 Ziel

Die energetische Nutzung von Getreide, sowohl der Ganzpflanzen als auch nur die Verwertung des Stroh, stellt andere Anforderungen an die Quantität und Qualität der Pflanzen als bei ihrer Verwendung im Nahrungs- und Futtermittelbereich. Wichtige Parameter bei der Brennstoffcharakteristik halmgutartiger Biomasse sind der Stroh- bzw. Ganzpflanzenertrag, Heizwert, Aschegehalt, Feuchte und der Gehalt an emissionsrelevanten und feuerungstechnisch kritischen Inhaltsstoffen (z.B. Stickstoff, Schwefel, Kalium, Chlor, Schwermetalle).

Im Rahmen verschiedener Feldversuche der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft wurden **Getreidearten und –sorten**, unterschiedliche **Anbauintensitäten** (Saatstärke, Düngung, Pflanzenschutzmittel) sowie spezielle **Ernteverfahren** mit Feldliegezeiten hinsichtlich ihrer Ertragswirkung und ihres Einflusses auf die Brennstoffeigenschaften geprüft.

### 2.2 Material und Methoden

Grundlage der Untersuchungen stellten ausgewählte Landessortenversuche und Versuche zu verschiedenen Anbauintensitäten der Fachbereiche Sortenprüfung und Integrierter Pflanzenbau dar. Die bereits bestehenden Versuche der Versuchsstationen Nossen, Pommritz und Spröda wurden in den Erntejahren 2001 und 2002 um die Untersuchung zur Eignung für die energetische Verwendung des Strohes erweitert. Die Prüfungen zum Ernteverfahren mit Feldliegezeiten erfolgten an einem Großversuch des LVG Köllitsch.

Die Versuchsstandorte stellen für Sachsen repräsentative Böden dar und werden in Tabelle 2/1 charakterisiert.

**Tab. 2/1:** Kennzeichnung der Versuchsorte

Versuchsfrage:	Sorten, Intensitäten			Ernteverfahren Feldliegezeiten
<b>Standort:</b>	Nossen	Pommritz	Spröda	Köllitsch
<b>Kreis:</b>	Meißen	Bautzen	Delitzsch	Torgau-Oschatz
<b>Standorttyp:</b>	Lö 4	Lö 4	D 4,	AI 3
<b>Bodenart:</b>	Lehm (L)	Lehm (L)- sandiger Lehm (sL)	anlehmiger Sand (Sl)	Lehm (L)
<b>AZ<sup>1)</sup>:</b>	65	61	35	59 (50-80)
<b>Niederschlag<sup>2)</sup>:</b>	643 mm	698 mm	547 mm	500 mm
<b>Temperatur<sup>2)</sup>:</b>	8,1° C	8,6 ° C	8,8° C	9,0° C
<b>Höhe über NN:</b>	255 m	230 m	120 m	87 m

1) nach Reichsbodenschätzung

2) langjähriges Mittel

Die Versuche erfolgten nach guter fachlicher Praxis und den einheitlichen „Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen“ des Bundessortenamtes. Die Landessortenversuche für Getreide wurden als Spaltanlage in zwei Intensitätsstufen (ohne und mit Fungizid) und jeweils zwei Wiederholungen angelegt. Bei den anderen Versuchen handelt es sich um Blockanlagen mit je vier Wiederholungen. Tabelle 2/2 zeigt einen Überblick der Versuche und Prüfmerkmale.

Die Untersuchungen der Elementargehalte führte die LUFA Leipzig durch.

Die Verrechnung und Analyse der Versuchsdaten erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS. Auf Grund des ein- bis zweijährigen Datenmaterials war eine Varianzanalyse nicht sinnvoll.

**Tab. 2/2:** Versuchsplan 2001/2002

Versuchsstandorte	Versuchsfrage	Versuchsf Frucht (Jahr)	Untersuchung/ Probenahme
<b>Nossen</b>	Sortenprüfung	Wintergerste (2001) Wintertriticale (2001/2002) Winterweizen (2001)	Ertrag (Korn, Stroh): je Prüf glied 4 Wiederholungen (EP) Feuchte (Korn, Stroh): je Prüf glied eine Mischprobe Inhaltsstoffe: je Prüf glied eine Mischprobe
		Winterraps	Inhaltsstoffe: je Prüf glied eine Mischprobe
	Komplexversuch (N-Düngung, PSM)	Wintergerste (2001/2002) Wintertriticale (2001/2002) Winterweizen (2001/2002)	Ertrag (Korn, Stroh): je Prüf glied 4 Wiederholungen (EP) Feuchte (Korn, Stroh): je Prüf glied eine Mischprobe Inhaltsstoffe: je Prüf glied eine Mischprobe
<b>Pommritz</b>	Sortenprüfung	Winterweizen (2002)	Ertrag (Korn, Stroh): je Prüf glied 4 Wiederholungen (EP) Feuchte (Korn, Stroh): je Prüf glied eine Mischprobe Inhaltsstoffe: je Prüf glied eine Mischprobe
<b>Spröda</b>	Sortenprüfung	Wintergerste (2001/2002) Winterroggen (2001/2002) Wintertriticale (2001/2002)	Ertrag (Korn): je Prüf glied 4 Wiederholungen (EP) (Stroh): je Prüf glied eine Probe (EP) Feuchte (Korn, Stroh): je Prüf glied eine Mischprobe Inhaltsstoffe: je Prüf glied eine Mischprobe
	Komplexversuch (N-Düngung, Fungizid, Wachstums- regulatoren)	Winterraps	Ertrag (Korn, Stroh): je Prüf glied 4 Wiederholungen (EP) Feuchte (Korn, Stroh): je Prüf glied eine Mischprobe Inhaltsstoffe: je Prüf glied eine Mischprobe
		Winterroggen (2001) Wintertriticale (2001/2002)	Ertrag (Korn): je Prüf glied 4 Wiederholungen (EP) (Stroh): je Prüf glied eine Probe (EP) Feuchte (Korn, Stroh): je Prüf glied eine Mischprobe Inhaltsstoffe: je Prüf glied eine Mischprobe
<b>Köllitsch</b>	Ernteverfahren mit Feldliegezeit	Winterweizen- Ganzpflanzen(2001/2002)	Feuchte und Inhaltsstoffe: je Prüf glied 4 Wiederholungen
		Winterweizen-Stroh (2001/2002)	Feuchte und Inhaltsstoffe: je Prüf glied 4 Wiederholungen

EP: Ernteparzelle

## **2.3 Ergebnisse der Feldversuche zur Nutzung von Getreidestroh- und Ganzpflanzen als Brennstoffe**

### **2.3.1 Prüfung verschiedener Getreidesorten**

An Hand der Landessortenversuche erfolgte die Prüfung verschiedener Sorten von Wintergerste, -triticale, -roggen und -weizen hinsichtlich Stroh- und Ganzpflanzenertrag und Strohqualität. Als weitere Parameter wurden der Kornertrag und das Korn/Stroh-Verhältnis erfasst. Die Ertragsparameter wurden jeweils für die Stufe 1 ohne Fungizideinsatz und die Stufe 2 mit Fungizideinsatz ermittelt, um die Behandlungsnotwendigkeit der einzelnen Sorten zu charakterisieren.

Um den Arbeitsaufwand für die Versuchsstationen zu begrenzen wurden einige Sorten aus dem umfangreichen Sortiment für die Versuchsdurchführung zur energetischen Nutzung von Getreidestroh ausgewählt. Es handelt sich bei den Ergebnissen um ein- bzw. zweijähriges Datenmaterial. In dem folgenden Abschnitt erfolgt die Charakterisierung der Sorten an Hand der oben genannten Ertragsparameter sowie der „Sorteninformation 2002- Ergebnisse der Landessortenversuche 1999/2001“ der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Letztere gibt eine Sortenempfehlung für sächsische Anbaubedingungen hinsichtlich Kornertragsniveau und -stabilität sowie Sorteneigenschaften (z.B. Lagerbildung, Krankheitsbefall) für die Verwendung als Marktfrucht im Nahrungs- und Futtermittelbereich. Im Hinblick einer energetischen Nutzung des Getreidestrohs werden für den Anbau Sorten empfohlen, welche sich durch hohe Stroherträge sowie gute Marktfruchtqualitäten (Kornertrag, -Qualität) auszeichnen.

#### Winterweizen

In Sachsen nimmt Winterweizen mit ca. 170 Tha im Jahr 2002 die größte Anbaufläche ein und erzielte einen durchschnittlichen Kornertrag von 64,6 dt/ha. Für den Anbau von Winterweizen sprechen die vergleichsweise hohen Deckungsbeiträge und die günstigen Marktbedingungen. Jedoch stellt Winterweizen an den Boden und die Wasserversorgung die höchsten Ansprüche und benötigt auch gute Vorfrüchte sowie eine rechtzeitige Aussaat.

Aus der Sicht des Marktes und der Anbaubedingungen liegt der Schwerpunkt in Sachsen in der Erzeugung von A-Qualitätsweizen (BEESE, BÖHME 2002).

In den Erntejahren 2001/2002 wurden an den Lö-Standorten Nossen und Pommritz in den zwei Anbaustufen verschiedene A-Weizensorten und je eine B- und C- Weizensorte geprüft. Die Erträge der ausgewählten Sorten stellt Tabelle 2/3 dar.

**Tab. 2/3:** Erträge der Winterweizensorten (bei 86 % TS) an den Lö-Standorten Nossen (2001) und Pommritz (2002)

Sorte	Jahr Fungizid	Kornertrag dt/ ha				Strohertrag dt/ ha				Gesamtertrag dt/ ha				Verhältnis Korn (1) : Stroh			
		2001		2002		2001		2002		2001		2002		2001		2002	
		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	mit	ohne	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Ludwig	A (l+)	86,7	97,5	<b>78,5</b>	<b>99,8</b>	<b>95,5</b>	<b>84,3</b>	<b>60,6</b>	<b>70,4</b>	<b>182,2</b>	<b>181,8</b>	<b>139,1</b>	<b>170,2</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>
Asketis	A (l)	<b>91,7</b>	<b>104,7</b>			<b>101,0</b>	<b>83,3</b>			<b>192,7</b>	<b>187,9</b>			<b>1,1</b>	<b>0,8</b>		
Batis	A (l)	87,0	98,7	71,3	82,8	<b>93,5</b>	<b>87,4</b>	58,4	<b>73,2</b>	<b>180,4</b>	<b>186,1</b>	129,7	156,1	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>
Applaus	A (m)	83,5	92,4			<b>88,2</b>	78,4			171,7	170,8			<b>1,1</b>	<b>0,8</b>		
Kontrast	A (m)	85,3	91,0			83,2	65,7			168,5	156,7			<b>1,0</b>	0,7		
Drifter	B (m)	<b>91,9</b>	<b>110,9</b>	<b>78,4</b>	<b>105,4</b>	82,4	<b>86,7</b>	<b>61,2</b>	<b>70,4</b>	174,3	<b>197,6</b>	<b>139,6</b>	<b>175,9</b>	0,9	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>
Cardos	A (k)	<b>90,3</b>	95,9	74,3	87,3	76,5	73,8	58,9	64,8	166,8	169,7	133,2	152,1	0,8	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>
Tarso	A (k)	75,0	94,8	71,8	<b>97,0</b>	83,2	<b>98,8</b>	<b>63,2</b>	68,9	158,3	<b>193,6</b>	135,0	<b>165,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,0</b>	0,9	<b>0,7</b>
Certo	C (k)	<b>93,6</b>	<b>104,8</b>			84,5	<b>82,8</b>			<b>178,1</b>	<b>187,6</b>			0,9	<b>0,8</b>		
	<b>Min:</b>	75,0	91,0	71,3	82,8	76,5	65,7	58,4	64,8	158,3	156,7	129,7	152,1	0,8	0,7	0,8	0,7
	<b>Max:</b>	93,6	110,9	78,5	105,4	101,0	98,8	63,2	73,2	192,7	197,6	139,6	175,9	1,1	1,0	0,9	0,9
	<b>Mittel:</b>	<b>87,2</b>	<b>98,9</b>	<b>74,9</b>	<b>94,5</b>	<b>87,6</b>	<b>82,4</b>	<b>60,5</b>	<b>69,5</b>	<b>174,8</b>	<b>181,3</b>	<b>135,3</b>	<b>164,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>
	<b>Standardabw.:</b>	5,7	6,6	3,5	9,2	7,7	9,3	1,9	3,1	10,0	13,1	4,2	9,8	0,1	0,1	0,0	0,1

fett gedruckt: Werte  $\geq$  Mittelwert

Pflanzenlänge: (k)urz, (m)ittel, (l)ang

Die Stroherträge lagen im Mittel der zwei Versuchsjahre bei 60-88 dt/ha. Überdurchschnittliche Stroherträge erzielten die geprüften langstrohigen A-Weizensorten Ludwig, Asketis, Batis und die mittellange B-Weizensorte Drifter an diesem Lö-Standort in beiden Versuchsjahren und tendenziell in beiden Intensitätsstufen.

Die Sorten Ludwig (A) und Drifter (B) werden auf Grund des hohen Ertragspotentials und stabiler Qualitäten in der jeweiligen Qualitätsgruppe für den Marktfruchtanbau auf Lö-Standorten empfohlen. Die Behandlungsnotwendigkeit mit Halmstabilisatoren ist bei diesen Sorten mittel. Die Sorte Ludwig wird auch für den ökologischen Anbau empfohlen.

Asketis (A) und Batis (A) bringen zwar ebenfalls hohe Erträge jedoch nur mäßige Marktfruchtqualitäten (Rohproteingehalt, Fallzahl). Auf Grund der schlechteren Standfestigkeit ist eine hohe Behandlungsnotwendigkeit mit Halmstabilisatoren erforderlich. Diese Sorten werden bevorzugt für den Anbau auf mittleren und leichten Standorten sowie bei reduzierter Anbauintensität empfohlen. Für diese Standorte kann keine Aussage zum Strohertragsniveau gemacht werden.

Das Korn/Stroh-Verhältnis lag im Durchschnitt aller geprüften Sorten bei ca. 1 : 0,7-1,0.

### Wintergerste

Unter sächsischen Standortbedingungen zählt Wintergerste zu den leistungsstärksten Getreidearten und umfasst nach dem Winterweizen die zweitgrößte Anbaufläche in Sachsen mit ca. 100 Tka. Ertragsvorteile gegenüber anderen Getreidearten ergeben sich besonders in Trockenjahren durch die Frühreife von Wintergerste (BEESE, BÖHME 2002). In der Praxis wird die Wintergerste vor allem wegen ihrer arbeitswirtschaftlichen Vorteile geschätzt. Auf Grund des frühen Erntezeitpunktes ist sie besonders gut als Vorfrucht für Winterraps und Sommerzwischenfrüchte geeignet.

In Tabelle 2/4 und 2/5 sind die Ertragsdaten der geprüften Wintergersten-Sorten auf dem Lö-Standort bzw. D-Standort der Erntejahre 2001/2002 zusammengestellt. Es handelt sich bei diesen Sorten um mehrzeilige Wintergersten, welche ein höheres Leistungspotential versprechen als zweizeilige Sorten.

Auf dem Lö-Standort zeigen, wie erwartet, alle Wintergersten-Sorten ein höheres Ertragspotential (Korn, Stroh, Gesamt) als auf dem leichten D-Standort. Der Strohertrag lag im Mittel auf dem Lö-Standort bei 52-62 dt/ha und auf dem D-Standort bei nur 28-38 dt/ha. Auffällig sind an beiden Standorten die niedrigen Korn-Stroh-Verhältnisse von durchschnittlich 1: 0,5-0,7.

In der Literatur (FNR 2000; LFL 1997) wird bei Wintergerste ein Korn/Strohverhältnis von 1:1 als Bemessensgrundlage für die Nährstoff- und Humusbilanzierung sowie Düngungsempfehlung angegeben.

**Tab. 2/4:** Erträge mehrzeiliger Wintergerstensorten am **Lö-Standort** Nossen, Erntejahr 2001

Sorte	Fungizid	Kornertrag dt/ ha		Strohertrag dt/ ha		Gesamtertrag dt/ ha		Verhältnis Korn (1) : Stroh	
		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Cornelia	(l)	88,2	116,2	46,7	60,6	134,9	176,7	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>
Theda	(l)	<b>107,3</b>	<b>127,8</b>	<b>59,7</b>	<b>74,1</b>	<b>167,1</b>	<b>201,9</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
Tilia	(l)	<b>100,8</b>	111,5	<b>62,9</b>	<b>75,1</b>	<b>163,7</b>	<b>186,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>
Alissa	(m)	98,4	<b>124,3</b>	47,1	58,7	145,5	<b>183,0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
Candesse	(m)	99,9	117,7	50,6	57,3	150,5	174,9	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
Carola	(m)	<b>109,6</b>	<b>121,3</b>	<b>57,6</b>	<b>65,5</b>	<b>167,2</b>	<b>186,8</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>
Fee	(m)	98,4	<b>121,8</b>	42,5	49,1	140,9	171,0	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
Franziska	(m)	<b>101,1</b>	<b>118,3</b>	46,0	59,1	147,1	177,3	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>
Ludmilla	(m)	<b>103,3</b>	111,9	<b>54,1</b>	<b>65,9</b>	<b>157,4</b>	177,7	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
Sahrah	(m)	<b>101,2</b>	111,8	<b>59,8</b>	61,7	<b>161,0</b>	173,5	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
Theresa	(m)	97,7	115,5	<b>52,9</b>	59,8	150,6	175,3	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
Silke	(k)	99,1	116,7	45,1	57,2	144,2	173,9	0,4	0,4
<b>Min:</b>		88,2	111,5	42,5	49,1	134,9	171,0	0,4	0,4
<b>Max:</b>		109,6	127,8	62,9	75,1	167,2	201,9	0,6	0,7
<b>Mittel:</b>		<b>100,4</b>	<b>117,9</b>	<b>52,1</b>	<b>62,0</b>	<b>152,5</b>	<b>179,9</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
<b>Standardabw.:</b>		5,3	5,1	6,8	7,3	10,7	8,6	0,1	0,1

Pflanzenlänge: (k)urz, (m)ittel, (l)ang  
**fett** gedruckt: Werte  $\geq$  Mittelwert

Im Erntejahr 2001 konnten auf dem **Lö-Standort** von den Sorten Carola, Ludmilla, Theda und Tilia überdurchschnittliche Stroherträge in beiden Intensitätsstufen erzielt werden. Die Sorten mit mittlerer Halmlänge Carola, Ludmilla und die langstrohigen Sorten Theda, Tilia weisen eine geringe Behandlungsnotwendigkeit mit Halmstabilisatoren auf. Von den genannten Sorten werden Carola und Ludmilla auch für den Marktfruchtanbau auf diesem Standorttyp empfohlen. Diese Sorten zeichnet ein sehr hohes und stabiles Ertragsniveau aus.

Überdurchschnittliche Korn-, Stroh- sowie Gesamterträge ermittelte man am **D-Standort** in den zwei Versuchsjahren und zwei Anbaustufen bei der Sorte Carola (Tabelle 2/5). Diese Sorte zählt zu den Leistungstärksten und wird insbesondere für mittlere und bessere Böden favorisiert (BEESE, BÖHME 2002). Die Sorten Lomerit, Theda und Theresa zeigten in der einjährigen Prüfung ebenfalls in beiden Anbauintensitäten hohe Stroherträge. Hier wird die Sorte Theresa für den Marktfruchtanbau auf diesem Standort empfohlen (BEESE, BÖHME 2002).

Für den ökologischen Anbau eignen sich von den beschriebenen strohertragsstarken Wintergersten-Sorten die Sorten Ludmilla, Carola und Theresa.

**Tab. 2/5:** Erträge mehrzeiliger Wintergerstensorten am **D-Standort** Spröda, Erntejahre 2001,2002

Sorte	Jahr Fungizid	Kornertrag dt/ ha				Strohertrag dt/ ha				Gesamtertrag dt/ ha				Verhältnis Korn (1) : Stroh			
		2001		2002		2001		2002		2001		2002		2001		2002	
		ohne	mit	ohne	mit	ohne	ohne	mit	ohne	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Anoa	(l)	59,4	64,7			34,4	<b>46,2</b>			93,8	<b>110,9</b>			<b>0,6</b>	<b>0,7</b>		
Theda	(l)	55,0	64,4			<b>44,5</b>	<b>42,0</b>			99,4	106,4			<b>0,8</b>	<b>0,7</b>		
Tilia	(l)	60,5	67,9			37,4	35,1			97,9	103,0			<b>0,6</b>	<b>0,5</b>		
Alissa	(m)	<b>62,1</b>	<b>79,2</b>	<b>43,2</b>	<b>49,3</b>	<b>41,0</b>	36,2	<b>29,5</b>	25,0	<b>103,1</b>	<b>115,4</b>	<b>72,7</b>	74,3	<b>0,7</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	0,5
Candesse	(m)	<b>62,6</b>	69,8	40,1	45,5	37,5	30,7	23,5	28,8	<b>100,1</b>	100,5	63,6	74,4	<b>0,6</b>	0,4	0,6	<b>0,6</b>
Carola	(m)	<b>65,1</b>	70,8	<b>42,2</b>	46,2	<b>50,8</b>	<b>41,0</b>	<b>30,6</b>	<b>38,7</b>	<b>115,9</b>	<b>111,8</b>	<b>72,9</b>	<b>85,0</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>
Fee	(m)	<b>62,5</b>	<b>72,8</b>	39,2	48,5	35,1	<b>40,1</b>	<b>29,4</b>	29,0	97,6	<b>112,9</b>	68,7	77,5	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>
Franziska	(m)	<b>65,9</b>	<b>73,6</b>	<b>42,6</b>	<b>49,9</b>	29,3	33,3	24,8	29,8	95,3	106,9	67,3	<b>79,7</b>	0,4	<b>0,5</b>	0,6	<b>0,6</b>
Lomerit	(m)			<b>51,6</b>	<b>57,6</b>			<b>32,9</b>	<b>33,8</b>			<b>84,6</b>	<b>91,4</b>			0,6	<b>0,6</b>
Ludmilla	(m)	<b>64,6</b>	<b>77,8</b>	<b>43,2</b>	<b>49,9</b>	38,0	<b>38,3</b>	25,1	<b>33,3</b>	<b>102,6</b>	<b>116,0</b>	68,3	<b>83,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	0,6	<b>0,7</b>
Theresa	(m)	<b>67,3</b>	68,0	37,9	48,4	<b>44,7</b>	<b>38,7</b>	27,3	29,6	<b>112,0</b>	106,7	65,3	78,0	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>
Sahrah	(m)	<b>63,4</b>	<b>77,4</b>	39,0	43,7	35,8	<b>42,6</b>	<b>31,3</b>	23,7	99,3	<b>119,9</b>	70,3	67,3	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	0,5
Silke	(k)	49,7	68,4			30,0	28,5			79,8	96,8			<b>0,6</b>	0,4		
Min:		49,7	64,4	37,9	43,7	29,3	28,5	23,5	23,7	79,8	96,8	63,6	67,3	0,4	0,4	0,6	0,5
Max:		67,3	79,2	51,6	57,6	50,8	46,2	32,9	38,7	115,9	119,9	84,6	91,4	0,8	0,7	0,8	0,8
Mittel:		<b>61,5</b>	<b>71,2</b>	<b>42,1</b>	<b>48,8</b>	<b>38,2</b>	<b>37,7</b>	<b>28,3</b>	<b>30,2</b>	<b>99,7</b>	<b>108,9</b>	<b>70,4</b>	<b>79,0</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>
Standardabw.:		4,9	5,0	4,1	3,9	6,2	5,2	3,3	4,6	9,0	6,8	6,1	7,0	0,1	0,1	0,1	0,1

Pflanzenlänge: (k)urz, (m)ittel, (l)ang  
**fett gedruckt:** Werte  $\geq$  Mittelwert

### Winterroggen

Der Anbau von Roggen erfolgt vorzugsweise auf leichten Standorten, da er im Gegensatz zu den anderen Getreidearten auch auf diesen Böden hohe Kornerträge sowie eine hohe Ertragsstabilität erzielt. Dies zeigt sich auch in den stabilen Anbauflächen der letzten Jahre von 45-50 Tha in Sachsen mit einem durchschnittlich Ertrag von 59 dt/ha. Um das Überangebot auf dem Roggenmarkt einzuschränken, wurden die Interventionskriterien durch die EU-Agrarkommission verschärft. In den nächsten Jahren wird die Roggenintervention stufenweise reduziert bzw. entfällt. Daraus folgt, dass nur durch eine hohe Brotroggenqualität Wirtschaftlichkeit erreicht werden kann. Demzufolge sollten vorrangig Sorten mit geringem Qualitätsrisiko angebaut werden. Die Verwendung des Strohs bzw. der Ganzpflanzen als Brennstoff könnte jedoch eine neue Alternative sein, bei der auch Winterroggensorten und -chargen mit geringer Kornqualität eingesetzt werden können.

Die Untersuchungen der Sorteneignung für den Anbau zur energetischen Nutzung erfolgten auf dem D-Standort Spröda. In Tabelle 2/6 sind die Erträge der Erntejahre 2001/2002 ausgewählter Sorten zusammengestellt.

Bei den Sorten Nikita, Amilo, Born, Canovus, Cilion, Warko, Walet, Matador handelt es sich um Populationsroggen, bei Avanti, Fernando, Picasso, Gamet, Novus, Treviso um Hybridroggen. Letztere weisen in der Regel auf Grund einer höheren Kornzahl pro Ähre ein höheres Kornertragsniveau als Populationsorten, aber auch eine höhere Anfälligkeit gegenüber Blattkrankheiten und Ährenkrankheiten (vor allem Mutterkorn) auf.

Die Stroherträge lagen auf dem leichten D-Standort im Mittel bei 46-54 dt/ha mit einem Korn/Stroh-Verhältnis von 1 : 0,8-1,1.

Überdurchschnittlich hohe Stroh- und Ganzpflanzenerträge konnten bei den Populationsorten Walet, Nikita, Born und der Hybridsorte Novus in beiden Anbaustufen gemessen werden. Diese Sorten sind durch eine mittellange bis lange Halmlänge gekennzeichnet.

Von den genannten Sorten wird nur Nikita für den Marktfruchtanbau auf leichten Standorten empfohlen. Nikita weist eine gute Ertragsfähigkeit und eine gute Verarbeitungsqualität auf. Die Sorte Born ist für den Anbau auf sehr leichten D-Standorten (D1/2) geeignet. Beide Sorten werden für den ökologischen empfohlen.

Roggensorten sind lageranfällig. Es gibt nur relativ geringe Sortenunterschiede. Der Einsatz von Wachstumsregulatoren ist auf allen Standorten, ausgenommen sehr leichten, grundwasserfernen Böden (D 1/2), erforderlich. Eine etwas bessere Standfestigkeit weisen von den oben genannten Sorten die Populationsorte Walet und die Hybridsorte Novus auf. Die Sorten Nikita und Born erfordern einen mittleren bzw. hohen Einsatz von Halmstabilisatoren (BEESE, BÖHME 2002).

**Tab. 2/6:** Erträge verschiedener Winterroggensorten (bei 86 % TS), Erntejahr 2001

Sorte	Jahr Fungizid	Kornertrag dt/ ha				Strohertrag dt/ ha				Gesamtertrag dt/ ha				Verhältnis Korn (1) : Stroh			
		2001		2002		2001		2002		2001		2002		2001		2002	
		ohne	mit	ohne	mit	ohne	ohne	mit	ohne	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Amilo	(l)	58,0	63,5	<b>42,1</b>	<b>58,1</b>	<b>55,3</b>	49,3	42,9	46,6	<b>113,3</b>	112,8	85,0	104,7	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	1,0	0,8
Born	(l)	<b>59,4</b>	64,4	37,7	<b>57,8</b>	<b>50,0</b>	<b>54,0</b>	<b>55,4</b>	53,0	<b>109,4</b>	118,4	<b>93,1</b>	110,7	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>1,5</b>	<b>0,9</b>
Nikita	(m/l)	54,3	64,3	<b>46,1</b>	55,7	<b>49,7</b>	<b>66,7</b>	<b>54,5</b>	<b>69,5</b>	104,0	<b>130,9</b>	<b>100,6</b>	<b>125,2</b>	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>
Walet	(m/l)	<b>60,2</b>	<b>68,6</b>	<b>47,8</b>	<b>61,6</b>	<b>60,0</b>	<b>81,3</b>	<b>52,0</b>	<b>53,2</b>	<b>120,2</b>	<b>149,9</b>	<b>99,8</b>	<b>114,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>
Warko	(m/l)	56,9	<b>67,9</b>			39,3	<b>59,7</b>			96,3	<b>127,5</b>			0,7	<b>0,9</b>		
Canovus	(m)	<b>60,5</b>	66,5			46,3	<b>59,3</b>			<b>106,8</b>	<b>125,8</b>			<b>0,8</b>	<b>0,9</b>		
Cilion	(m)	52,5	55,9	33,2	52,2	<b>53,0</b>	<b>52,7</b>	42,0	46,7	105,5	108,5	75,2	98,9	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>1,3</b>	<b>0,9</b>
Matador	(m)	55,5	<b>70,2</b>	40,2	52,0		48,0	42,4	47,2		118,2	82,6	99,2		0,7	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>
Ø Populationssorten		57,2	65,2	41,2	56,2	44,2	58,9	48,2	52,7	101,4	124,0	89,4	108,9	0,8	0,9	1,2	0,9
Novus	(m/l)	53,9	67,1	39,5	<b>62,0</b>	<b>57,3</b>		<b>50,6</b>	<b>61,7</b>	<b>111,2</b>		<b>90,1</b>	<b>123,7</b>	<b>1,1</b>		<b>1,3</b>	<b>1,0</b>
Avanti	(m)	<b>63,9</b>	<b>72,1</b>	42,0	<b>62,2</b>	46,7	<b>55,3</b>	37,6	50,6	<b>110,6</b>	<b>127,4</b>	79,6	<b>112,8</b>	0,7	<b>0,8</b>	0,9	0,8
Treviso	(m)	<b>61,0</b>	<b>70,7</b>	39,0	<b>63,4</b>	<b>53,0</b>	38,0	40,4	<b>67,0</b>	<b>114,0</b>	108,7	79,4	<b>130,4</b>	<b>0,9</b>	0,5	1,0	<b>1,1</b>
Fernando	(k)	57,5	<b>70,9</b>	35,4	56,2	-	40,3	41,5	44,9		111,2	76,8	101,1		0,6	<b>1,2</b>	0,8
Picasso	(k)	<b>61,0</b>	<b>70,3</b>	<b>41,2</b>	54,4	31,7	41,3	<b>47,2</b>	53,1	92,6	111,7	<b>88,4</b>	107,5	0,5	0,6	<b>1,1</b>	<b>1,0</b>
Gamet	(k)	<b>61,4</b>	<b>73,0</b>			34,0	33,7			95,4	106,6			0,6	0,5		
Ø Hybridsorten		59,8	70,7	39,4	59,6	37,1	37,9	43,4	55,5	96,9	108,6	82,9	115,1	0,6	0,5	1,1	0,9
<b>Min:</b>		52,5	55,9	33,2	52,0	31,7	33,7	37,6	44,9	92,6	106,6	75,2	98,9	0,5	0,5	0,9	0,8
<b>Max:</b>		63,9	73,0	47,8	63,4	60,0	81,3	55,4	69,5	120,2	149,9	100,6	130,4	1,1	1,2	1,5	1,2
<b>Gesamtmittel:</b>		<b>58,3</b>	<b>67,5</b>	<b>40,4</b>	<b>57,8</b>	<b>48,0</b>	<b>52,3</b>	<b>46,0</b>	<b>54,0</b>	<b>106,6</b>	<b>119,8</b>	<b>86,4</b>	<b>111,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>
<b>Standardabw.:</b>		3,3	4,5	4,2	4,1	9,0	12,9	6,2	8,5	8,3	12,3	8,8	10,9	0,2	0,2	0,2	0,1

Pflanzenlänge: (k)urz, (m)ittel, (l)ang

**fett gedruckt:** Werte ≥ Mittelwert

### Wintertriticale

Die Anbaufläche von Wintertriticale in Sachsen nahm seit 1992 kontinuierlich zu. Derzeit werden ca. 35 T ha bei einem durchschnittlichen Kornertrag von ca. 59 dt/ha angebaut. Für den Anbau von Triticale sprechen das hohe Kornertragspotential, die gute Futterqualität und Krankheitsresistenz. Jedoch wurde mit der Anbauausdehnung ein zunehmender Krankheitsbefall beobachtet (BEESE, BÖHME 2002). Die artspezifische Auswuchsneigung bei feuchter Witterung in der Reifezeit ist negativ zu bewerten. Triticale weist im Vergleich zu Weizen geringere Standortansprüche auf, kann aber in der Anspruchslosigkeit und Trockentoleranz mit Roggen nicht konkurrieren. Auf Grund der Einschränkung der Intervention bei Winterroggen und der genannten Eigenschaften ist mit einer weiteren Anbauausdehnung von Wintertriticale zu rechnen.

In Tabelle 2/7 sind die Erträge ausgewählter Wintertriticale-Sorten der Versuchsstandorte Nossen und Spröda der Erntejahre 2001/2002 zusammengestellt.

Auf dem Lö-Standort werden, wie erwartet, in beiden Erntejahren höhere Erträge erzielt. Der Strohertrag lag auf diesem Standort bei 65-85 dt/ha und auf dem leichten D-Standort bei nur 49-66 dt/ha. Zwischen den Erntejahren liegen ebenfalls deutliche Ertragsunterschiede vor.

Auf dem Lö-Standort erzielten die Sorten Vitalis, Lamberto, Mundo, Trinidad und Tricolor überdurchschnittliche Stroherträge, jedoch meist nur in einem Versuchsjahr. Infolge dessen kann nur eine eingeschränkte Aussage zur Anbaueignung gemacht werden. Die neue langstrohige Sorte Vitalis erzielte in der Stufe ohne Fungizideinsatz in beiden Erntejahren überdurchschnittliche Korn-, Stroh- sowie auch Ganzpflanzenerträge. Sie scheint daher von den geprüften Sorten auf diesem Standort sehr aussichtsreich für eine alternative Nutzung.

Überdurchschnittliche Stroherträge wurden bei den langstrohigen Sorten Modus und Lupus sowie der mittellangen Sorte Trinidad in beiden Intensitäten auf dem D-Standort beobachtet. Die Sorten Lupus und Trinidad weisen eine mittlere und die Sorte Modus eine hohe Behandlungsnotwendigkeit für Halmstabilisatoren im Anbau auf.

Von den genannten (tendenziell) strohertragsstarken Sorten werden für den Marktfruchtanbau auf Lö- und D-Standorten die Sorten Lamberto, Trinidad und Mundo empfohlen. Diese Sorten sind durch sehr hohe und stabile Kornerträge gekennzeichnet.

Die Daten der Stroherträge und Ganzpflanzenerträge lagen in einem großen Schwankungsbereich, was sich auch in der Standartabweichung von ca. 12 – 18 dt/ha widerspiegelt.

Tab. 2/7: Erträge verschiedener Wintertriticale-Sorten (bei 86 % TS); Erntejahre 2001/2002

Sorte	Jahr Fungizid	Kornertrag dt/ ha				Strohertrag dt/ ha				Gesamtertrag dt/ ha				Verhältnis Korn (1) : Stroh			
		2001		2002		2001		2002		2001		2002		2001		2002	
		ohne	mit	ohne	mit	ohne	ohne	mit	ohne	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
<b>Lö-Standort Nossen</b>																	
Modus	(l)	88,1	<b>114,0</b>	75,5	82,5	78,1	<b>95,8</b>	59,9	61,8	166,2	<b>209,8</b>	135,4	144,3	0,9	<b>0,8</b>	0,8	0,7
Vitalis	(l)	<b>100,1</b>	<b>111,4</b>	<b>89,9</b>	81,6	<b>115,0</b>	<b>87,0</b>	<b>70,0</b>	51,4	<b>215,1</b>	<b>198,4</b>	<b>159,8</b>	132,9	<b>1,1</b>	<b>0,8</b>	0,8	0,6
Lupus	(l)	79,7	<b>108,1</b>			<b>88,3</b>	71,3			168,0	179,4			<b>1,1</b>	0,7		
Kitaro	(m)	<b>89,5</b>	106,0	<b>79,9</b>	<b>88,3</b>	65,2	78,8	67,8	<b>67,1</b>	154,7	184,7	<b>147,7</b>	<b>155,4</b>	0,7	0,7	0,8	<b>0,8</b>
Lamberto	(m)	<b>98,5</b>	<b>112,2</b>	69,9	<b>87,0</b>	63,8	63,9	<b>71,1</b>	<b>77,8</b>	162,3	176,0	141,0	<b>164,9</b>	0,6	0,6	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>
Mundo	(m)	91,8	<b>108,6</b>			<b>87,3</b>	<b>119,2</b>			<b>179,1</b>	<b>227,9</b>			<b>1,0</b>	<b>1,1</b>		
Trinidad	(m)	<b>99,2</b>	<b>108,5</b>	74,7	83,6	79,7	73,6	<b>72,1</b>	<b>67,9</b>	<b>178,9</b>	182,1	<b>146,8</b>	<b>151,5</b>	0,8	0,7	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>
Tricolor	(k)	63,0	92,1			<b>103,8</b>	<b>88,2</b>			166,7	180,3			<b>1,6</b>	<b>1,0</b>		
<b>Min:</b>		63,0	92,1	69,9	81,6	63,8	63,9	59,9	51,4	154,7	176,0	135,4	132,9	0,6	0,6	0,8	0,6
<b>Max:</b>		100,1	114,0	89,9	88,3	115,0	119,2	72,1	77,8	215,1	227,9	159,8	164,9	1,6	1,1	1,0	0,9
<b>Mittel:</b>		<b>88,7</b>	<b>107,6</b>	<b>78,0</b>	<b>84,6</b>	<b>85,1</b>	<b>84,7</b>	<b>68,2</b>	<b>65,2</b>	<b>173,9</b>	<b>192,3</b>	<b>146,2</b>	<b>149,8</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>
<b>Standardabw.:</b>		12,5	6,8	7,5	2,9	17,7	17,3	4,9	9,7	18,5	18,3	9,1	12,0	0,3	0,2	0,1	0,1
<b>D-Standort Spröda</b>																	
Modus	(l)	75,2	80,3	36,2	44,6	<b>72,3</b>	<b>54,7</b>	<b>50,8</b>	<b>65,3</b>	<b>147,5</b>	134,9	87,0	<b>109,8</b>	<b>1,0</b>	<b>0,7</b>	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>
Vitalis	(l)	<b>84,8</b>	<b>95,5</b>	<b>50,2</b>	<b>54,0</b>	<b>67,0</b>	39,7	<b>56,6</b>	53,4	<b>151,8</b>	135,1	<b>106,8</b>	<b>107,4</b>	<b>0,8</b>	0,4	1,1	1,0
Lupus	(l)	79,8	82,0			<b>66,7</b>	<b>65,0</b>			146,5	<b>147,0</b>			<b>0,8</b>	<b>0,8</b>		
Kitaro	(m)	<b>85,7</b>	<b>90,2</b>	<b>40,6</b>	<b>54,2</b>	43,7	36,7	31,1	44,2	129,3	126,9	71,7	98,4	0,5	0,4	0,8	0,8
Lamberto	(m)	<b>81,5</b>	<b>88,1</b>	36,1	48,6	<b>70,7</b>	43,0	<b>58,4</b>	54,3	<b>152,1</b>	131,1	<b>94,5</b>	102,8	<b>0,9</b>	0,5	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>
Trinidad	(m)	<b>81,6</b>	80,9	<b>44,3</b>	<b>54,7</b>	<b>94,7</b>	<b>63,0</b>	<b>51,6</b>	<b>63,8</b>	<b>176,3</b>	<b>143,9</b>	<b>95,9</b>	<b>118,6</b>	<b>1,2</b>	<b>0,8</b>	1,2	<b>1,2</b>
Tricolor	(k)	74,7	83,8	24,8	47,7	47,7	<b>61,0</b>	43,3	52,3	122,4	<b>144,8</b>	68,1	100,0	0,6	<b>0,7</b>	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>
<b>Min:</b>		74,7	80,3	24,8	44,6	43,7	36,7	31,1	44,2	122,4	126,9	68,1	98,4	0,5	0,4	0,8	0,8
<b>Max:</b>		85,7	95,5	50,2	54,7	94,7	65,0	58,4	65,3	176,3	147,0	106,8	118,6	1,2	0,8	1,7	1,5
<b>Mittel:</b>		<b>80,5</b>	<b>85,8</b>	<b>38,7</b>	<b>50,6</b>	<b>66,1</b>	<b>51,9</b>	<b>48,6</b>	<b>55,5</b>	<b>146,6</b>	<b>137,7</b>	<b>87,3</b>	<b>106,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>
<b>Standardabw.:</b>		4,3	5,6	8,6	4,3	16,9	11,9	10,1	7,9	17,4	7,6	15,0	7,5	0,2	0,2	0,4	0,2

Pflanzenlänge: (k)urz, (m)ittel, (l)ang  
**fett gedruckt:** Werte  $\geq$  Mittelwert

### 2.3.2 Einfluss der Getreidearten auf Ertrag und Brennstoffqualität

Im vorangegangenen Teil wurden die Sorten der vier Getreidearten Winterweizen, -gerste, -roggen und -triticale auf ihre Anbaueignung für den Marktfruchtanbau sowie eine alternative Nutzung des Stroh als Brennstoff charakterisiert. Im folgenden Abschnitt werden nun die einzelnen Getreidearten gegenübergestellt und an Hand des Ertragspotentials (Korn, Stroh, Ganzpflanze) sowie den inhaltstofflichen Gehalten gekennzeichnet.

#### Einfluss der Getreideart auf die Ertragsparameter

In Tabelle 2/8 sind die Erträge der geprüften Getreidearten für die einzelnen Standorte zusammengefasst.

**Tab. 2/8:** Ertragsparameter der Getreidearten an den Versuchsstandorten

Standort (Versuchsjahr) <i>Fungizideinsatz</i>		Kornertrag dt/ ha		Strohertrag dt/ ha		Gesamtertrag dt/ ha		Verhältnis Korn/Stroh	
		<i>ohne</i>	<i>mit</i>	<i>ohne</i>	<i>mit</i>	<i>ohne</i>	<i>mit</i>	<i>ohne</i>	<i>mit</i>
<b>Winterweizen</b>									
Lö-Standorte <sup>1)</sup> (2001/2002)	Min:	71	83	58	65	130	152	0,8	0,7
	Max:	94	111	101	99	193	198	1,1	1,0
	<b>Mittel:</b>	<b>83</b>	<b>97</b>	<b>78</b>	<b>78</b>	<b>161</b>	<b>175</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>
<b>Wintergerste</b>									
Lö-Standort (2001)	Min:	88	112	42	49	135	171	0,4	0,4
	Max:	110	128	63	75	167	202	0,6	0,7
	<b>Mittel:</b>	<b>100</b>	<b>118</b>	<b>52</b>	<b>62</b>	<b>152</b>	<b>180</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
D-Standort (2001/2002)	Min:	38	44	23	24	64	67	0,4	0,4
	Max:	67	79	51	46	116	120	0,8	0,8
	<b>Mittel:</b>	<b>53</b>	<b>62</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>87</b>	<b>96</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>
<b>Winterroggen</b>									
D-Standort (2001/2002)	Min:	33	52	32	34	75	99	0,5	0,5
	Max:	64	73	60	81	120	150	1,5	1,2
	<b>Mittel:</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	<b>47</b>	<b>53</b>	<b>97</b>	<b>116</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>
<b>Wintertriticale</b>									
Lö-Standort (2001/2002)	Min:	63	82	60	51	135	133	0,6	0,6
	Max:	100	114	115	119	215	228	1,6	1,1
	<b>Mittel:</b>	<b>85</b>	<b>99</b>	<b>79</b>	<b>77</b>	<b>163</b>	<b>176</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>
D-Standort (2001/2002)	Min:	25	45	31	37	68	98	0,5	0,4
	Max:	86	95	95	65	176	147	1,7	1,5
	<b>Mittel:</b>	<b>61</b>	<b>70</b>	<b>58</b>	<b>54</b>	<b>119</b>	<b>123</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>

<sup>1)</sup> Versuchsstandorte: 2001 Nossen, 2002 Pommritz

Die **Lö-Standorte** (Nossen, Pommritz) sind, wie erwartet, im Ertragspotential dem D-Standort (Spröda) deutlich überlegen. Die an diesem Standorttyp geprüften Getreidearten Winterweizen, -gerste und -triticale erzielten durchschnittliche Ganzpflanzenerträge von ca. 15 – 18 t/ha. Der Unterschied im Ganzpflanzenertrag zwischen den Getreidearten ist gering. Sie unterscheiden sich jedoch in der Verteilung des Ertrages auf die Ertragsparameter Korn

und Stroh. Während Winterweizen und –triticale in etwa gleiche Korn- und Stroherträge bei einem Korn/Strohverhältnis von 1:0,8-0,9 erzielen, ist bei Wintergerste der Anteil an Stroh am Gesamtertrag geringer. Das Korn/Strohverhältnis liegt bei Wintergerste nur bei 1:0,5.

Winterweizen und -triticale erreichten an diesen Standort Stroherträge von ca. 8 t/ha und Wintergerste von ca. 6 t/ha.

Auf dem **D-Standort** konnte eine ähnliche Ertragsverteilung in den zweijährigen Versuchsreihen beobachtet werden. Hier zeigt sich jedoch auch ein deutlicher Unterschied zwischen den geprüften Getreidearten Wintergerste, -Roggen und –Triticale. Wintertriticale erreichte Ganzpflanzenerträge von ca. 12 t/ha, Winterroggen von 10-12 t/ha und Wintergerste von 9-10 t/ha. Während bei Winterroggen und Wintertriticale ein Korn-/Strohverhältnis von 1:0,8-1,0 ermittelt wurde, weist Wintergerste nur ein Verhältnis von 1:0,6 auf.

#### Einfluss der Getreideart auf die Brennstoffqualität

Die energetische Nutzung von Stroh und Ganzpflanzen stellt andere Anforderungen an die Qualität als die Verwendung von Getreide im Nahrungs- und Futtermittelbereich. Die Gehalte an emissionsrelevanten Elementen (Stickstoff, Schwefel, Chlor) bzw. verbrennungstechnisch ungünstigen Stoffen (Kalium, Chlor) sollten im Brennstoff möglichst gering sein.

Im Rahmen der Untersuchungen der verschiedenen Getreidearten und –sorten wurden an den zwei Lö-Standorten und dem D-Standort in den Erntejahren 2001/2001 Strohproben aller Sorten genommen und analysiert.

In den Diagrammen 2/1-2/11 sind die inhaltsstofflichen Gehalte sowie die Heizwerte von Winterweizen, -gerste, -triticale und –roggen unter den sächsischen Standort- und Anbaubedingungen abgebildet. Es zeigen sich deutliche Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung des Strohs der vier Getreidearten in den Versuchsreihen.

Die ermittelten Einzelwerte wurden in Boxplots (Kastendiagrammen) dargestellt, um die Verteilung der Werte zu kennzeichnen. Der Kasten (Box) gibt den Schwankungsbereich an, in dem 50 % der Werte liegen.

Die inhaltsstofflichen Gehalte in der Trockensubstanz des Strohs sind maßgeblich vom Standort, der Jahreswitterung sowie den Anbaumaßnahmen, wie Düngung, Einsatz von Pflanzenschutzmittel und Wachstumsregulatoren, abhängig. Die Versuche wurden unter „guter fachlicher Praxis“ durchgeführt und stellen somit eine aussagefähige Datengrundlage dar.

Als Vergleichswerte dienen die in Tabelle 2/9 angegebenen Elementargehalte der verschiedenen Brennstoffe nach KALTSCHMITT, HARTMANN 2001, FNR 2000.

**Tab. 2/9:** Gehalte an Hauptelementen (i.d. TS) in Getreidestroh im Vergleich zu Holz und Kohle (nach KALTSCHMITT, HARTMANN 2001; FNR 2000)

<b>Brennstoff</b>	<b>C</b> %	<b>N</b> %	<b>K</b> %	<b>Ca</b> %	<b>Mg</b> %	<b>P</b> %	<b>S</b> %	<b>Cl</b> %
Weizenstroh	45,6	0,48	1,01	0,31	0,10	0,10	0,08	0,19
Gerstenstroh	47,5	0,46	1,38	0,49	0,07	0,21	0,09	0,40
Triticalestroh	43,9	0,42	1,05	0,31	0,05	0,08	0,06	0,27
Roggenstroh	46,6	0,55	1,68	0,36	0,06	0,15	0,09	0,40
Steinkohle	79,4	1,5	0,09				1,0	< 0,2
Braunkohle	68,4	1,8	0,03				1,3	< 0,1
Fichtenholz	49,8	0,13	0,13	0,70	0,08	0,03	0,015	0,005
Pappelholz <sup>1)</sup>	47,5	0,42	0,35	0,51	0,05	0,10	0,031	0,004

1) im Kurzumtrieb

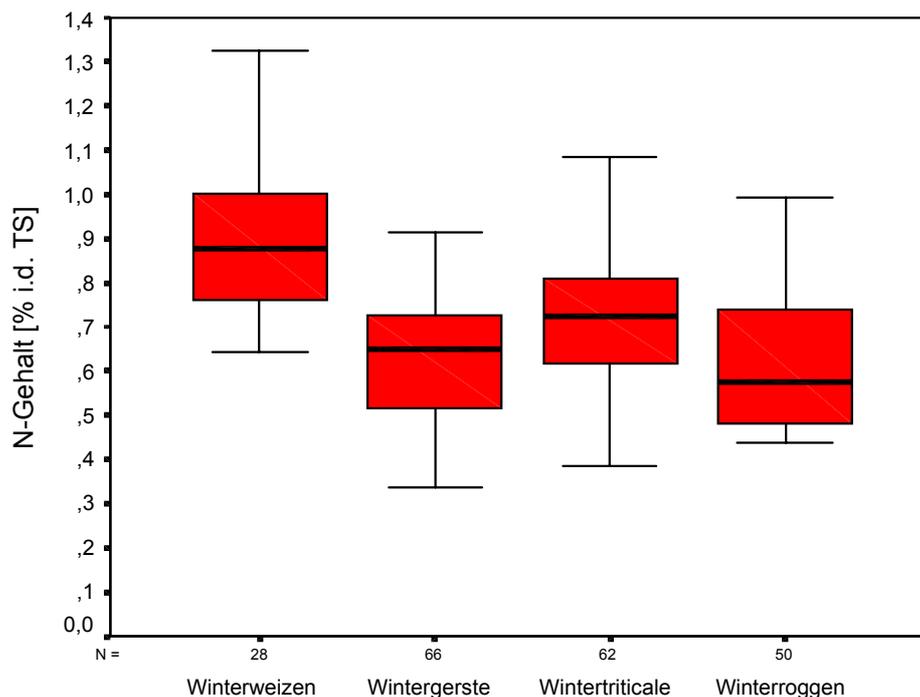
Stickstoffgehalt:

Der Gehalt an Stickstoff im Brennstoff sollte gering sein, da er die NO<sub>x</sub>-Emission bei der Verbrennung bedingt.

Winterweizenstroh weist in den Versuchsreihen den höchsten N-Gehalt im Stroh mit durchschnittlich 0,75-1,0 % i.d. TS auf (Abbildung 2/1).

An Qualitätsweizen werden hohe Anforderungen an den Rohproteingehalt im Korn gestellt. Um eine gute Qualität zu erzielen ist eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen von großer Bedeutung. Da bei Winterweizen in der Regel eine höhere N-Versorgung sichergestellt werden muss, sind auch die Gehalte an Stickstoff im Stroh höher als bei den anderen drei Getreidearten. Bei Wintergerste, -triticale und -roggen wurden N-Gehalte von ca. 0,5-0,8 % i.d. TS ermittelt.

Die mittleren N-Gehalte lagen bei allen Getreidearten über den in Tabelle 2/9 aufgezeigten Werten von 0,42-0,55 % N i.d. TS. Es zeigt aber auch, dass die N-Gehalte in den fossilen Brennstoffen um ein Vielfaches höher liegen als bei Getreidestroh.

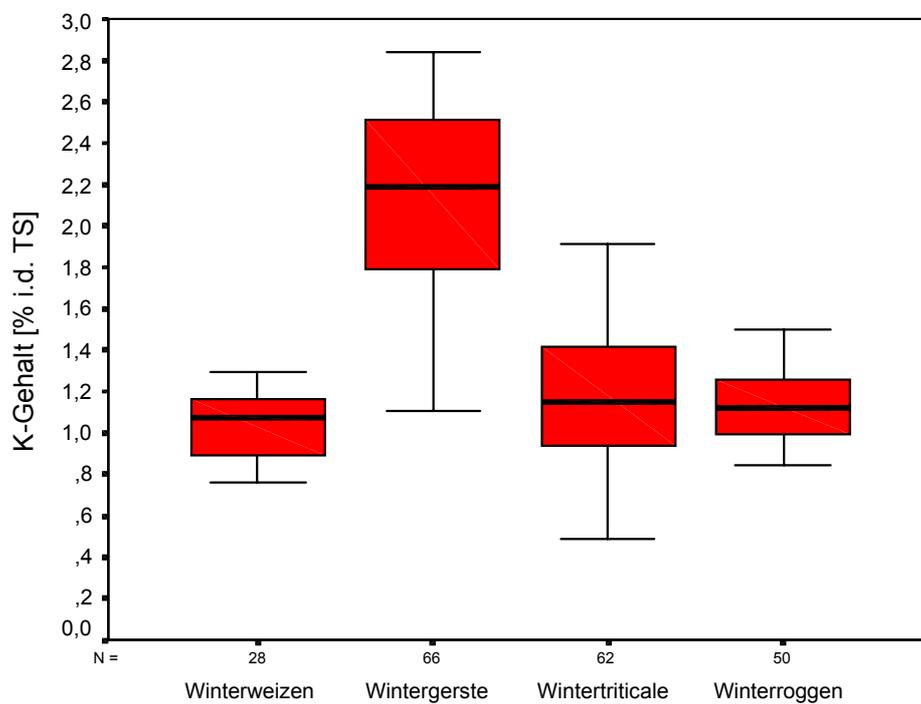


**Abb. 2/1:** Stickstoffgehalte im Stroh verschiedener Getreidearten

Kaliumgehalt:

Hohe Kaliumgehalte im Brennstoff weisen auf ein schlechtes Abbrandverhalten des Brennstoffs hin. Bedingt durch den hohen Gehalt an Kalium wird die Ascheschmelztemperatur des Brennstoffes verringert, so dass die Gefahr der Schlackenbildung bei der Verbrennung steigt.

Die Gehalte an Kalium lagen bei Winterweizen, -triticale und -roggen bei ca. 0,85-1,4 % i.d. TS (Abbildung 2/2). Im Stroh von Wintergerste wurden Gehalte von ca. 1,8-2,5 % i.d. TS ermittelt. Die Schwankungsbreite der Werte war groß. Die ermittelten Gehalte im Gerstenstroh liegen weit über denen in der Literatur (Tabelle 2/9) angegebenen Werten von ca. 1,4 % i.d. TS.

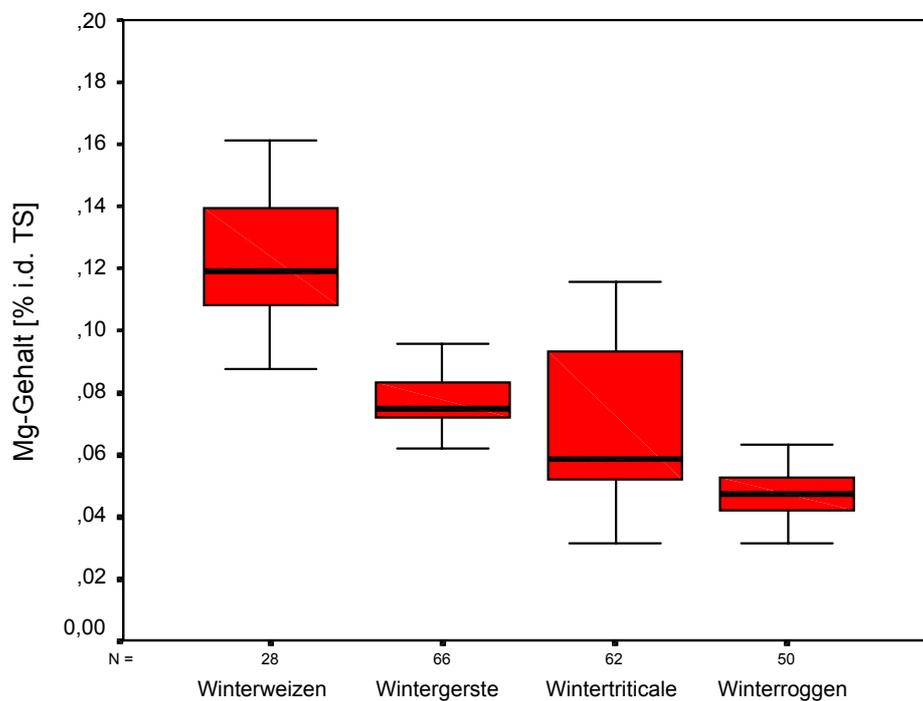


**Abb. 2/2:** Kaliumgehalte im Stroh verschiedener Getreidearten

Magnesiumgehalt:

Der Magnesiumgehalt in Brennstoffen nimmt Einfluss auf den Ascheschmelzpunkt. Nach KALTSCHMITT, HARTMANN 2001 soll Magnesium eine Absenkung der Schmelztemperatur verursachen, während OBERNBERGER 1998 eine ascheschmelzpunkterhöhende Wirkung des Magnesiums beschreibt.

Der Gehalt an Magnesium im Stroh schwankte zwischen den Getreidearten. Winterweizen wies den höchsten Gehalt mit 0,11-0,14 % Mg i.d. TS auf. Wintergerste erreichte Gehalte von 0,07-0,08 % Mg i.d. TS und Wintertriticale bei einer hohen Schwankung ca. 0,05-0,09 % Mg i.d. TS. Bei Winterroggen ermittelte man die niedrigsten Gehalte mit ca. 0,04-0,05 % Mg i.d. TS.

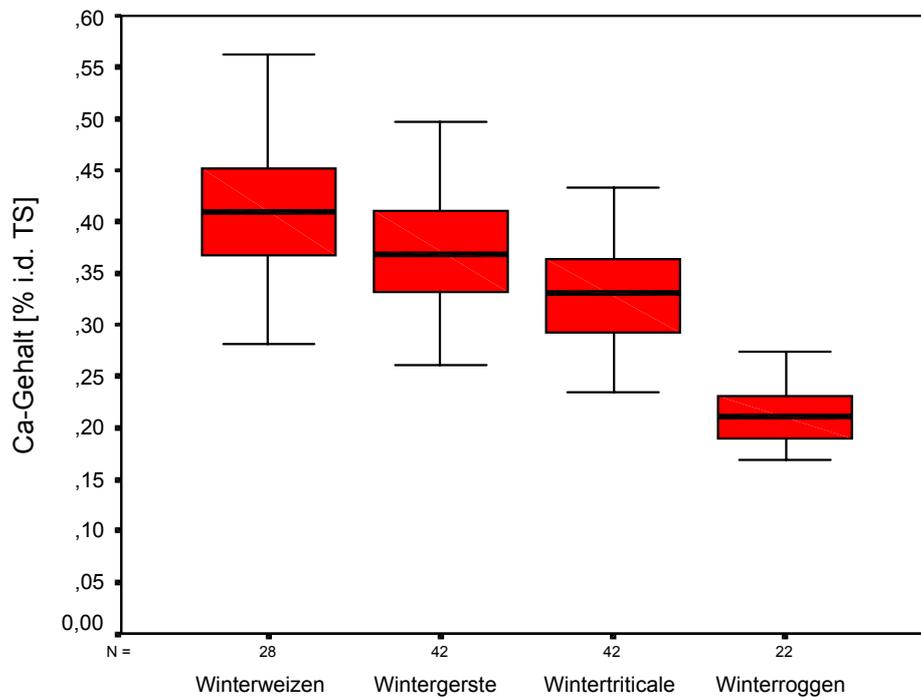


**Abb. 2/3:** Magnesiumgehalte im Stroh verschiedener Getreidearten

Kalziumgehalt:

Kalzium wirkt erhöhend auf den Ascheschmelzpunkt. Bei Brennstoffen mit ungünstigem Ascheerweichungsverhalten kann durch Verwendung von kalziumhaltigen Zuschlägen (Kalk) der Ascheschmelzpunkt erhöht werden.

Der Kalziumgehalt (Ca i.d. TS) lag bei Winterweizen bei 0,36-0,45 %, bei Wintergerste bei 0,32-0,4 %, bei Wintertriticale bei 0,3-0,36 % und bei Winterroggen bei nur 0,19-0,23 %.

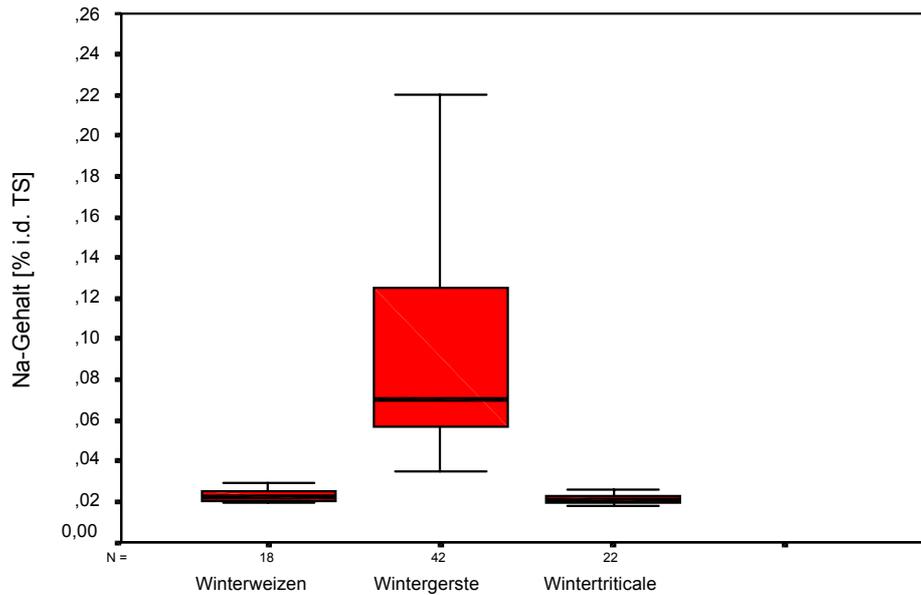


**Abb. 2/4:** Kalziumgehalte im Stroh verschiedener Getreidearten

#### Natriumgehalt:

Natrium wirkt ähnlich wie Kalium negativ auf das Ascheschmelzverhalten von Brennstoffen. Die Ascheschmelztemperatur wird verringert (OBERNBERGER 1997).

Bei Wintergerstenstroh wurden in den Versuchsreihen sehr hohe Gehalte von ca. 0,05-0,22 % Na i.d.TS festgestellt. Die Gehalte schwanken stark innerhalb dieser Getreideart. Bei den zwei anderen Getreidearten wurden ca. 0,02-0,03 % Na i.d. TS ermittelt. Für Winterroggen liegen keine Daten vor.



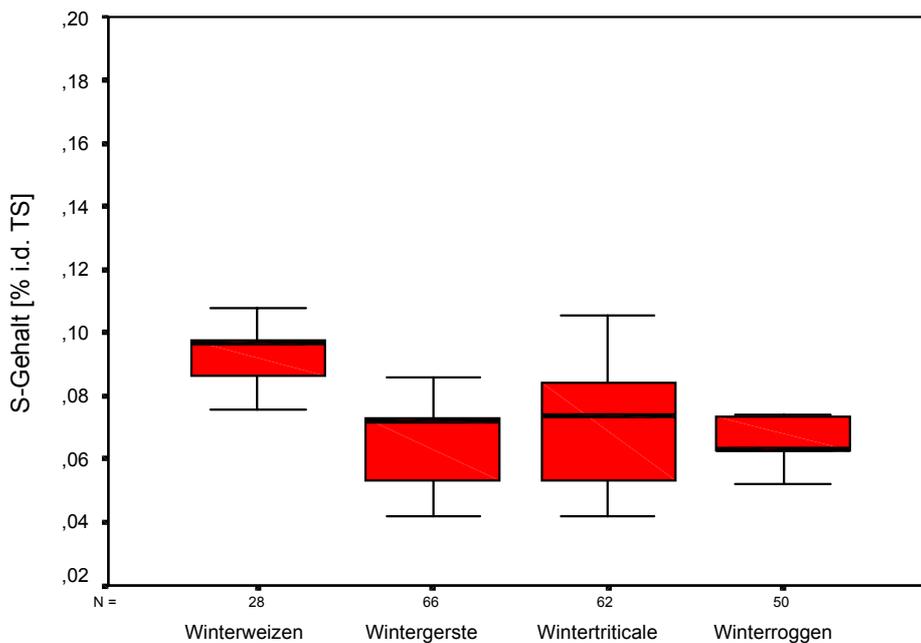
**Abb. 2/5:** Natriumgehalte im Stroh verschiedener Getreidearten

#### Schwefelgehalt:

Bei der Verbrennung bestimmt der Schwefelgehalt primär die SO<sub>x</sub>-Emission.

Die höchsten durchschnittlichen Gehalte an Schwefel wurden mit 0,08-0,09 % S i.d. TS im Winterweizenstroh ermittelt. Bei den Getreidearten Wintergerste, -triticale und -roggen lagen die Gehalte zwischen 0,05-0,08 % S i.d. TS.

In fossilen Brennstoffen (Kohle) ist der Gehalt an Schwefel um ein Vielfaches höher als bei Getreidestroh (Tabelle 2/9).



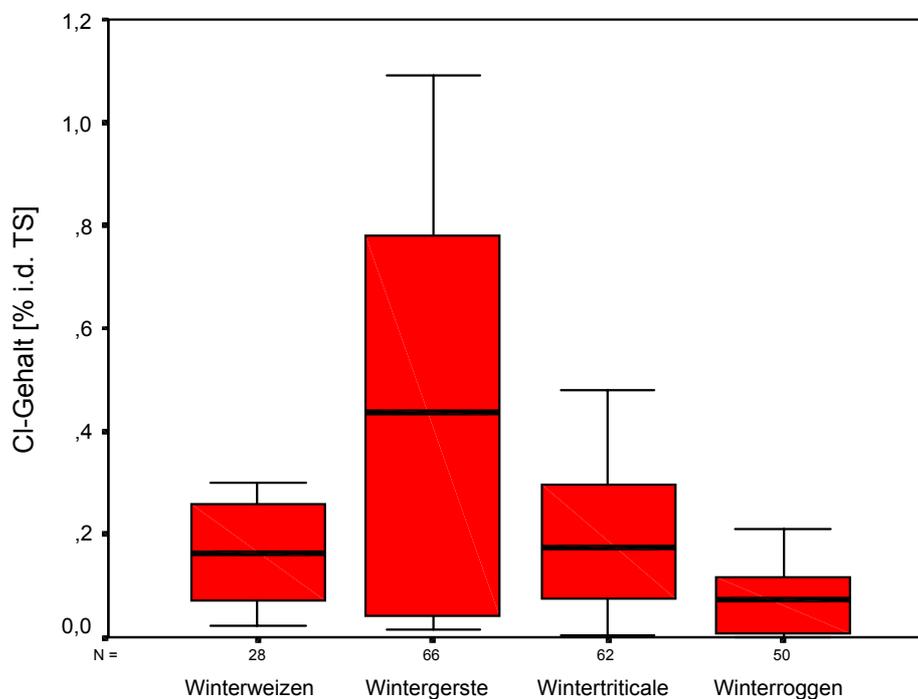
**Abb. 2/6:** Schwefelgehalte im Stroh verschiedener Getreidearten

Chlorgehalt:

Der Gehalt an Chlor im Brennstoff kann bei der Verbrennung zur Salzsäure (HCl)-Emission und somit zur Korrosion, insbesondere an Metallteilen, sowie zur Bildung von Dioxinen und Furanen führen.

Aus diesem Grund gelten chlorreiche biogene Brennstoffe als problematisch.

Eine sehr große Schwankungsbreite sowie ungewöhnlich hohe Gehalte an Chlor ermittelte man in den Versuchen bei Wintergerstenstroh mit ca. 0,005-0,8 % Cl i.d. TS. Bei Winterweizen lagen die Gehalte bei 0,07-0,26 % und bei Wintertriticale bei 0,08-0,3 % Cl i.d. TS. Winterroggenstroh wies die geringsten Chlorgehalte auf mit 0,01-0,1 % i.d.TS.

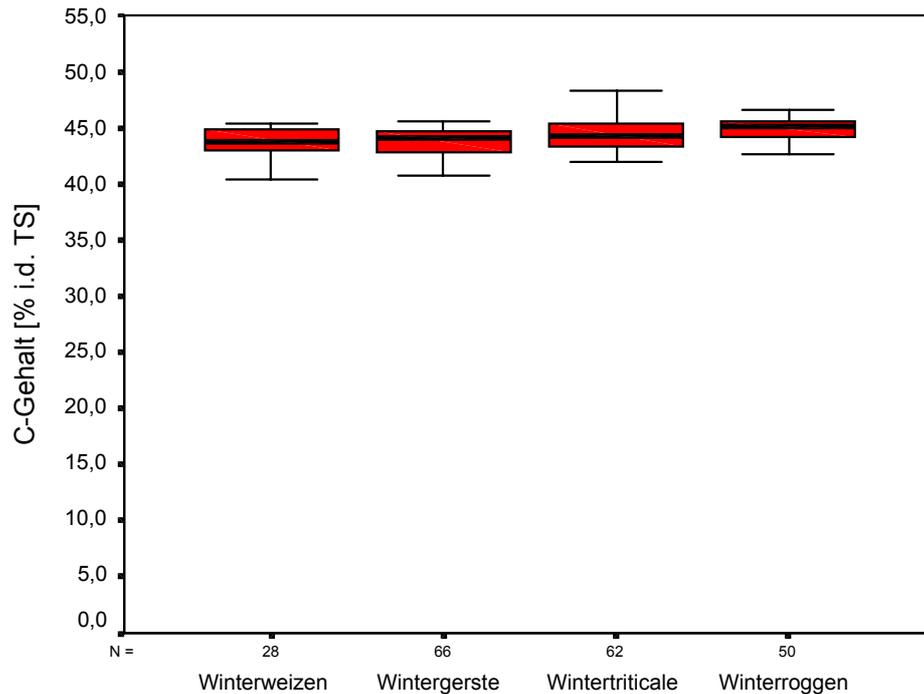


**Abb. 2/7:** Chlorgehalte im Stroh verschiedener Getreidearten

Kohlenstoffgehalt:

Der Kohlenstoffgehalt liefert durch seine Oxidation bei der Verbrennung den Hauptanteil der freigesetzten Energie.

Der Gehalt an Kohlenstoff im Stroh der Getreidearten lag im Mittel zwischen 42-46 % C i.d.TS.

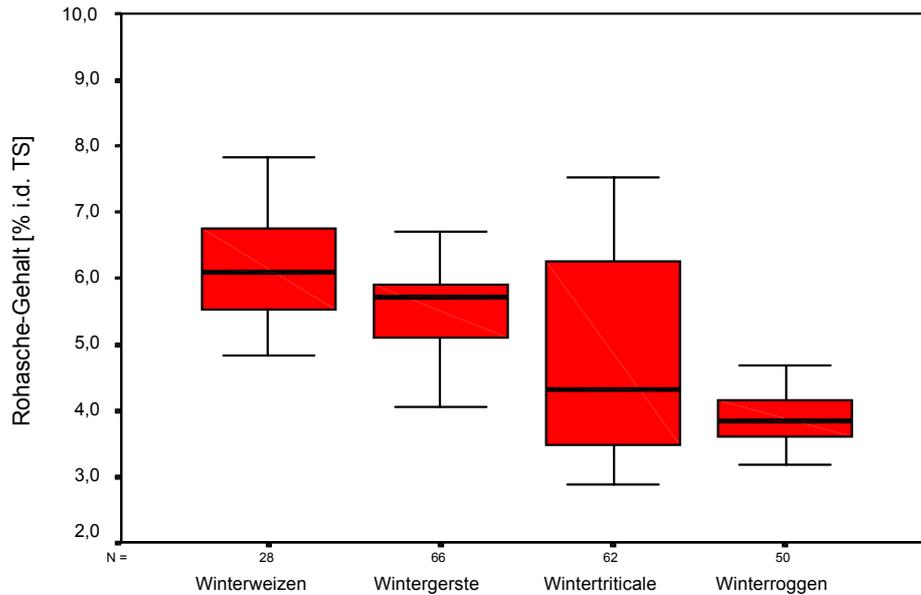


**Abb. 2/8:** Kohlenstoffgehalte im Stroh verschiedener Getreidearten

#### Rohaschegehalt:

Der Gehalt an Asche des Brennstoffs hat sowohl Auswirkung auf die technische Auslegung einer Feuerungsanlage als auch auf die Schadstoffemissionen. Mit zunehmenden Aschegehalt ist auch mit einer höheren Staubemission bei der Verbrennung zu rechnen (KALTSCHMIDT, HARTMANN 2001).

Bei Winterweizen wurden ein Aschegehalt im Stroh von 5,5-6,8 % und bei Wintergerste von 5,0-5,9 % ermittelt. Der Gehalt an Asche im Stroh von Winterroggen lag unter den Gehalten der anderen Getreidearten mit ca. 3,5-4,0 % i.d.TS. Bei Wintertriticale schwankten die Gehalte zwischen 3,5-6,3 % i.d. TS.

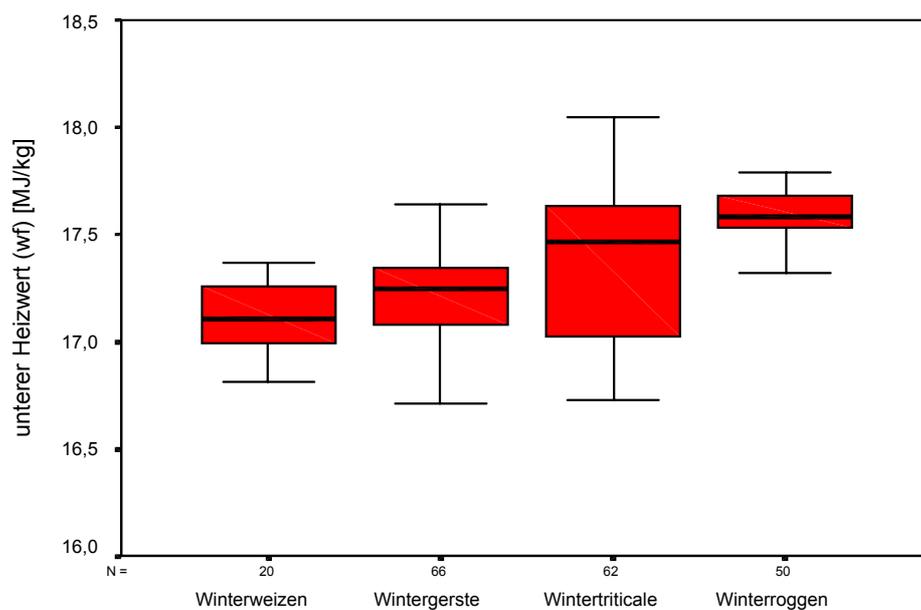


**Abb. 2/9:** Rohaschegehalte im Stroh verschiedener Getreidearten

unterer Heizwert (wasserfrei):

Der Heizwert des Brennstoffs ist stark vom Wassergehalt abhängig. Um einen höchstmöglichen Heizwert bei Getreidestroh zu erreichen, sollte die Feuchte im Erntegut gering sein.

Die höchsten Heizwerte beobachtete man bei Winterroggen mit 17,5-17,6 MJ/kg. Bei Wintergerste und Winterweizen betrug der Heizwert 17,0-17,4 MJ/kg und bei Wintertriticale mit einem höheren Schwankungsbereich 17,0-17,6 MJ/kg.



**Abb. 2/10:** Heizwerte des Strohs verschiedener Getreidearten

### 2.3.3 Einfluss der Anbauintensität auf Ertrag und Brennstoffqualität

Inwieweit sich bestimmte Behandlungsmaßnahmen und Intensitäten beim Anbau von Getreide für deren energetische Verwertung auf die Elementargehalte im Brennstoff auswirken, ist vor allem im Hinblick auf eine erwünschte emissionsarme Verbrennung von großer Bedeutung.

An Hand der bereits bestehenden Komplexversuche zu den verschiedenen Getreidearten wurden in den Versuchstationen Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Intensitätsstufen bei der N-Düngung und dem Einsatz von Fungiziden und Wachstumsregulatoren auf den Ertrag und die Elementargehalte durchgeführt.

In Tabelle 2/10 sind diese Ertragsdaten zu Wintergerste, -weizen, -roggen und -triticale zusammengestellt. Prüffaktoren der Versuche waren:

- N-Düngung: reduziert um 20 %; optimal nach BEFU und Nitratschnelltest
- Fungizidbehandlung: ohne; einmalig; zweimalig (nur bei Winterroggen getestet)
- Wachstumsregulatoren: ohne; einmalig; zweimalig (nur bei Winterroggen getestet).

**Tab. 2/10:** Ertragsdaten der Komplexversuche 2001/2002

Sorte	Ort (Jahr)	Behandlung			Korn-Ertrag		Stroh-Ertrag		Gesamt Verhält.	
		N	F	W	dt/ha	%	dt/ha	%	dt/ha	K (1) : S
<b>Wintergerste</b>										
Ludmila	Lö-Standort (2001)	red.	-	-	99,7	100	59,5	100	159,2	0,6
		opt.	1x	1x	104,9	105	61,1	103	166,0	0,6
Franziska	(2002)	red.	-	-	63,2	100	35,7	100	98,9	0,6
		opt.	1x	1x	80,7	128	41,7	117	122,4	0,5
		opt.	2x	1x	86,8	137	42,4	119	129,2	0,5
<b>Winterroggen</b>										
Nikita	D-Standort (2001)	red.	-	-	50,7	100	63,3	100	114,0	1,2
		opt.	1x	1x	61,2	121	57,3	91	118,5	0,9
		opt.	2x	2x	62,1	122	47,0	74	109,1	0,8
<b>Wintertriticale</b>										
Modus	D-Standort (2001)	red.	-	-	47,0	100	75,7	100	122,6	1,6
		opt.	1x	1x	61,7	131	32,0	42	93,7	0,5
Lamberto	(2002)	red.	-	-	42,1	100	34,8	100	76,9	0,8
		opt.	1x	1x	57,9	137	62,0	178	119,9	1,1
<b>Winterweizen</b>										
Altos	Lö-Standort (2001)	red.	-	-	86,7	100	104,4	100	191,1	1,2
		opt.	-	-	101,1	117	107,8	103	208,9	1,1
		opt.	2x	1x	103,2	119	105,7	101	208,9	1,0

N: N-Düngung

F: Fungizideinsatz

W: Wachstumsregulatoren

Der Einsatz von Fungiziden und Wachstumsregulatoren beim Anbau von Getreide wird mit der Option durchgeführt, Korn-Ertragsverluste durch Krankheitsbefall zu verringern bzw. die Standfestigkeit zu verbessern, um damit der Lagerbildung vorzubeugen. Durch eine optimale

Nährstoffversorgung soll das Ertragspotential unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit des entstehenden Mehraufwandes (Ertrag-Kosten-Funktion) voll ausgeschöpft werden.

Aus den Ergebnissen kann, wie erwartet, bei steigender Intensität eine Tendenz zu steigenden Kornerträgen und dabei sinkenden bzw. geringfügig steigenden Stroherträgen ermittelt werden. Daraus folgt die mit dem Einsatz der Behandlungen in der Praxis erwünschte Veränderung des Korn/Stroh-Verhältnisses zu Gunsten des Korns. Bei der Betrachtung für die energetische Verwertung des Stroh sind zwar hohe Stroherträge wünschenswert, aber nur dann, wenn auch die Kornerträge in einem wirtschaftlichen Verhältnis dazu liegen.

Eine weit größere Bedeutung hat jedoch die Anbauintensität bei dem Einfluss auf die emissions- und feuerungstechnischen Eigenschaften des Brennstoffs Stroh. In Tabelle 2/11 sind die Analyseergebnisse der Strohproben zusammengestellt.

Fungizide bestehen meist aus schwefel- oder chlorhaltigen Verbindungen, aber auch Phosphor, Stickstoff, Zinn, Zink, Mangan können Bestandteile sein. Bei Wachstumsregulatoren handelt es sich ebenfalls um chlorhaltige Verbindungen, Ammonium-Verbindungen oder Carbonsäure-Derivate (AKKAN, FLAIG, BALLSCHMITER 2002).

Die Steigerung der Anbauintensität führte nach den Ergebnissen zu einer deutlichen Erhöhung des Kaliumgehaltes und auch zu einer geringen Steigerung des Chlorgehaltes, was sich ungünstig auf die verbrennungstechnischen Eigenschaften auswirkt. Bedingt durch die Reduzierung des Kohlenstoffgehaltes kommt es auch zu einer leichten Abnahme des Heizwertes und durch den Anstieg nichtbrennbarer Minerale zu einer Zunahme des Gehaltes an Asche.

Da die Landessortenversuche in zwei Intensitätsstufen (ohne und mit Fungizid) angebaut werden, können an Hand der Analyseergebnisse der Strohproben Aussagen zur Wirkung von Fungiziden auf die Elementargehalte gemacht werden (Tabelle 2/12).

In den vorangegangenen Untersuchungen der Getreidearten und -sorten zeigte sich, dass durch Einsatz von Fungiziden im Anbau der Ganzpflanzenertrag erhöht wird, was vor allem auf eine Erhöhung des Kornertrags zurückzuführen ist. Damit verringert sich das Korn-/Strohverhältnis durch den Fungizideinsatz.

**Tab. 2/11:** Elementargehalte (in d. TS) in Getreidestroh bei unterschiedlichen Anbauintensitäten

Sorte	Ort (Jahr)	Behandlung			N %	P %	K %	Mg %	Ca %	Na	S %	Cl %	C %	Asche %	Hu (wf) MJ/kg
		N	F	W											
<b>Wintergerste</b>															
Ludmila	Lö-Standort (2001)	red.	-	-	0,75	0,11	1,21	0,08	0,49	0,06	0,07	0,25	43,3	4,7	17,3
		opt.	1x	1x	0,67	0,08	1,71	0,09	0,37	0,09	0,07	0,78	42,7	6,2	16,9
Franziska	(2002)	red.	-	-	0,55	0,11	2,21	0,07	0,30	0,09	0,06	0,60	42,7	6,3	17,1
		opt.	1x	1x	0,49	0,12	2,60	0,09	0,37	0,11	0,07	1,03	41,6	8,1	16,6
		opt.	2x	1x	0,45	0,12	2,61	0,10	0,39	0,12	0,07	1,17	41,5	8,6	16,6
<b>Winterroggen</b>															
Nikita	D-Standort (2001)	red.	-	-											
		opt.	1x	1x	0,58	0,13	1,40	0,08			0,05	0,19	44,8	4,4	17,6
		opt.	2x	2x	0,58	0,14	1,31	0,08			0,05	0,17	43,9	4,4	17,6
<b>Wintertriticale</b>															
Modus	D-Standort (2001)	red.	-	-	0,64	0,10	0,83	0,06			0,06	0,05	44,0	3,3	17,7
		opt.	1x	1x	0,57	0,10	1,34	0,05			0,06	0,16	43,6	4,1	17,7
Lamberto	(2002)	red.	-	-	0,91	0,08	1,22	0,04	0,25		0,08	0,02	45,6	3,9	17,5
		opt.	1x	1x	0,71	0,13	1,80	0,04	0,25		0,08	0,03	41,7	5,1	17,4
<b>Winterweizen</b>															
Altos	Lö-Standort (2001)	red.	-	-	0,5	0,09	1,22	0,1	0,27	0,019	0,11	0,22	42,9	4,4	16,6
		opt.	-	-	0,5	0,09	1,15	0,11	0,29	0,019	0,11	0,18	42,9	4,2	16,5
		opt.	2x	1x	0,39	0,07	1,43	0,14	0,35	0,023	0,12	0,40	41,0	4,9	16,5
Altos	(2002)	red.	-	-	0,68	0,06	0,42	0,08	0,29		0,06	0,03	40,2	4,1	17,7
		opt.	-	-	0,88	0,07	0,85	0,08	0,32		0,09	0,15	41,0	4,9	17,3
		opt.	2x	1x	0,81	0,05	0,87	0,1	0,39		0,07	0,16	41,5	5,5	17,3

N: N-Düngung

F: Fungizideinsatz

W: Wachstumsregulatoren

**Tab. 2/12:** Mittlere Elementargehalte, Rohasche und unterer Heizwert der geprüften Getreidearten

Standort (Versuchsjahr) <i>Fungizideinsatz</i>	N %		P %		K %		Ca %		Mg %		Na %		S %		Cl %		C %		Rohasche %		Hu kJ/g	
	<i>ohne</i>	<i>mit</i>	<i>ohne</i>	<i>mit</i>	<i>ohne</i>	<i>mit</i>																
<b>Winterweizen</b>																						
Lö-Standort 2001	0,90	0,77	0,10	0,09	1,11	1,13	0,39	0,39	0,12	0,14	0,02	0,02	0,10	0,09	0,18	0,26	43,1	44,3	5,6	5,8	17,3	17,2
Lö-Standort 2002	1,11	0,90	0,14	0,12	0,90	0,86	0,45	0,47	0,11	0,11			0,10	0,09	0,05	0,06	43,1	43,6	7,0	7,3		
<b>Wintergerste</b>																						
Lö-Standort 2001	0,73	0,65	0,09	0,08	1,29	1,81	0,45	0,39	0,08	0,08	0,11	0,16	0,07	0,07	0,33	0,75	43,5	42,9	4,7	6,4	17,2	16,8
D-Standort 2001	0,56	0,40	0,08	0,06	2,47	2,60			0,08	0,06			0,06	0,05	0,58	0,88	44,7	44,5	5,8	5,9	17,4	17,2
D-Standort 2002	0,70	0,76	0,07	0,07	2,11	2,31	0,32	0,34	0,08	0,08	0,05	0,05	0,08	0,08	0,03	0,03	43,1	42,7	5,1	5,6	17,3	17,3
<b>Wintertriticale</b>																						
Lö-Standort 2001	0,76	0,70	0,14	0,13	1,42	1,53	0,36	0,35	0,10	0,09	0,02	0,02	0,09	0,09	0,31	0,40	44,0	43,3	6,1	6,8	17,0	16,9
Lö-Standort 2002	0,80	0,78	0,10	0,10	1,31	1,33	0,31	0,33	0,06	0,06			0,07	0,07	0,24	0,22	44,5	43,0	5,9	6,6		
D-Standort 2001	0,55	0,52	0,08	0,08	0,78	0,95			0,06	0,05			0,05	0,05	0,10	0,14	44,6	44,0	3,3	3,4	17,7	17,6
D-Standort 2002	0,97	0,83	0,10	0,08	1,05	1,07	0,27	0,31	0,04	0,05			0,08	0,07	0,01	0,01	45,4	45,4	3,6	3,6	17,6	17,6
<b>Winterroggen</b>																						
D-Standort 2001	0,50	0,50	0,11	0,13	1,00	1,14			0,05	0,05			0,06	0,06	0,09	0,14	44,6	45,4	3,7	4,1	17,6	17,6
D-Standort 2002	0,83	0,75	0,11	0,11	1,15	1,30	0,20	0,23	0,04	0,04			0,07	0,07	0,00	0,01	45,2	44,7	3,7	4,1	17,6	17,6

Aus den zusammengestellten Daten der Landessortenversuche können folgende Tendenzen abgeleitet werden. Durch Einsatz von Fungiziden im Anbau der vier geprüften Getreidearten wird der Gehalt an Stickstoff im Stroh verringert. Bei den Gehalten an Kalium und Chlor ist eine Erhöhung durch den Fungizideinsatz erkennbar. Kalium und Chlor haben auf die Verbrennung einen negativen Einfluss. Im Hinblick einer energetischen Verwendung ist demzufolge ein extensiver Anbau ohne Fungizideinsatz von Vorteil.

### 2.3.4 Einfluss der Saatstärke auf Ertrag und Brennstoffqualität

Aus Saatstärkenversuchen mit Wintertriticale ist bekannt, dass durch die Wahl der Saatstärke die Kornerträge und –qualitäten beeinflusst werden. Versuche ergaben, dass eine Reduzierung der üblichen Saatstärke von 350 Körner/m<sup>2</sup> auf 275 Körner/m<sup>2</sup> bei günstigen Anbaubedingungen auf Kornertrag, -qualität, Standfestigkeit und im Krankheitsbefall positiv wirkt. Auf guten Böden mit günstigen Ertragsbedingungen sind höhere Saatstärken eher nachteilig, da die Lagergefahr stark zunimmt und auch die Ertragsstruktur (TKM, Sortierung, HLG) negativ beeinflusst wird. Auch auf leichten Standorten ist von einer höheren Saatstärke abzuraten, da meist Wasser und Nährstoffe die Ernährung dichter Bestände begrenzen. In höheren und kühleren Lagen kann durch eine höhere Saatstärke die Bestandesdichte gesichert werden (BEESE, BÖHME 2001).

Im Jahr 2001 erfolgte im Saatstärkenversuch auf dem Löß-Standort Nossen zusätzlich die Strohertragsbestimmung sowie Strohanalytik der Prüfvarianten. Die Ergebnisse der Ertragsmessungen zeigt Tabelle 2/13.

**Tab. 2/13:** Erträge von Wintertriticale (Sorte Modus) in unterschiedlichen Saatstärken am Standort Nossen im Jahr 2001

Prüfglied	Kornertrag dt/ha	Strohertrag dt/ha	Gesamtertrag dt/ha	Verhältnis K (1) : S
350 Körner/ m <sup>2</sup>	106,6	100,5	207,1	0,9
275 Körner/ m <sup>2</sup>	108,7	110,7	219,4	1,0
200 Körner/ m <sup>2</sup>	109,4	121,8	231,2	1,1

Diese einjährigen Ergebnisse belegen die vorangegangenen Aussagen, dass auf diesem Löß-Standort, der in der Regel eine günstige Bestandesentwicklung erwarten lässt, eine Reduzierung der Saatstärke vorteilhaft ist. Ebenso wie der Kornertrag stieg auch der Strohertrag mit Senkung der Saatstärke von 350 Körner/m<sup>2</sup> auf 275 Körner/m<sup>2</sup> und 200 Körner/m<sup>2</sup> an.

In Tabelle 2/14 sind die Analysedaten der Strohproben zusammengestellt.

**Tab. 2/14:** Analyseergebnisse von Wintertriticalestroh des Saatstärkeversuches am Lö-Standort Nossen im Jahr 2001

Prüfglied	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Cl	C	Roh- asche	Hu
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	MJ/kg
350 Körner/ m <sup>2</sup>	0,86	0,15	1,65	0,27	0,08	0,02	0,08	0,32	43,1	5,7	17,1
275 Körner/ m <sup>2</sup>	0,65	0,13	1,58	0,32	0,10	0,02	0,08	0,36	40,9	6,3	17,0
200 Körner/ m <sup>2</sup>	0,60	0,12	1,54	0,32	0,10	0,02	0,07	0,36	43,0	5,9	17,2

Die Reduzierung der Saatstärken und die dadurch bedingte Zunahme der Erträge/ha bewirkte die Abnahme der Elementargehalte der Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium im Stroh. Bei den Gehalten an Kalzium, Magnesium und Chlor ist eine geringe Zunahme in der Trockensubstanz erkennbar. Auf den Gehalt an Asche sowie den Heizwert kann kein Einfluss der Saatstärke beobachtet werden.

### 2.3.5 Einfluss von Feldliegezeiten auf die Brennstoffqualität

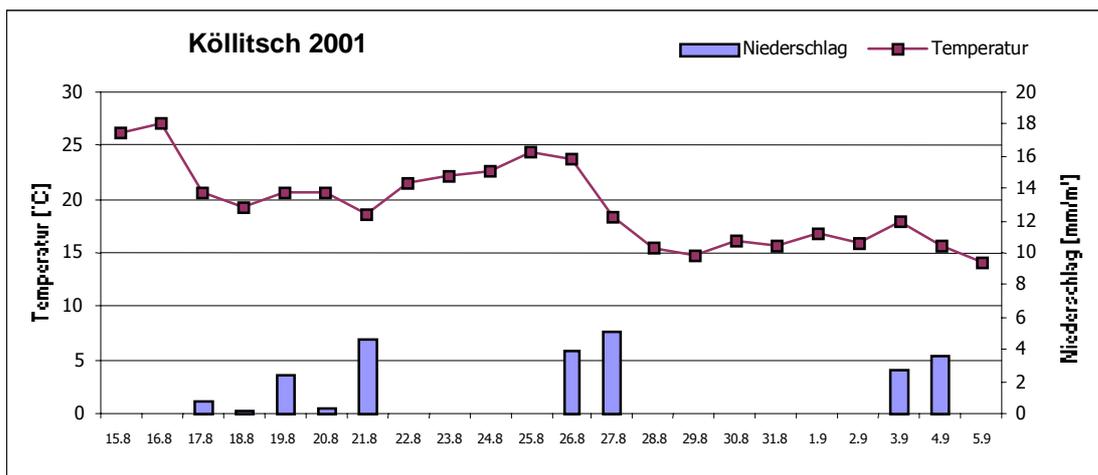
Die spezifischen Elementargehalte von Getreideganzpflanzen und Getreidestroh weisen auf die im Vergleich zu Holz besonderen feuerungstechnischen Eigenschaften hin. Vor allem die hohen Gehalte an Kalium und Chlor in diesen halmgutartigen Brennstoffen beeinflussen die Verbrennung negativ. Durch hohe Kalium-Gehalte wird die Ascheerweichungstemperatur herabgesetzt, was zu Verschlackungen im Feuerungsraum führt. Der Gehalt an Chlor im Brennstoff kann zu drei unerwünschten Effekten bei der Verbrennung führen. Dies wären die Korrosion, die Salzsäure-Emission und die Bildung von Dioxinen und Furanen. In der TA-Luft-Novelle wird eine Emissionsbegrenzung bei Strohfeuerungsanlagen größer 100 kW für HCl von 30 mg/m<sup>3</sup> und für PCDD/F von 0,1 ng/m<sup>3</sup> vorgegeben (WEISS 2001). Die brennstoffspezifischen Eigenschaften von Halmgütern erfordern einen großen technischen Aufwand bei der Feuerungsanlagengestaltung (z.B. wassergekühlte Roste, Filter).

Ziel der Untersuchungen war es, zu prüfen, in wie weit sich eine Feldliegezeit auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung des Erntegutes auswirkt, und ob dadurch die Gehalte an Kalium, Chlor und emissionsrelevanten Elementen verringert werden.

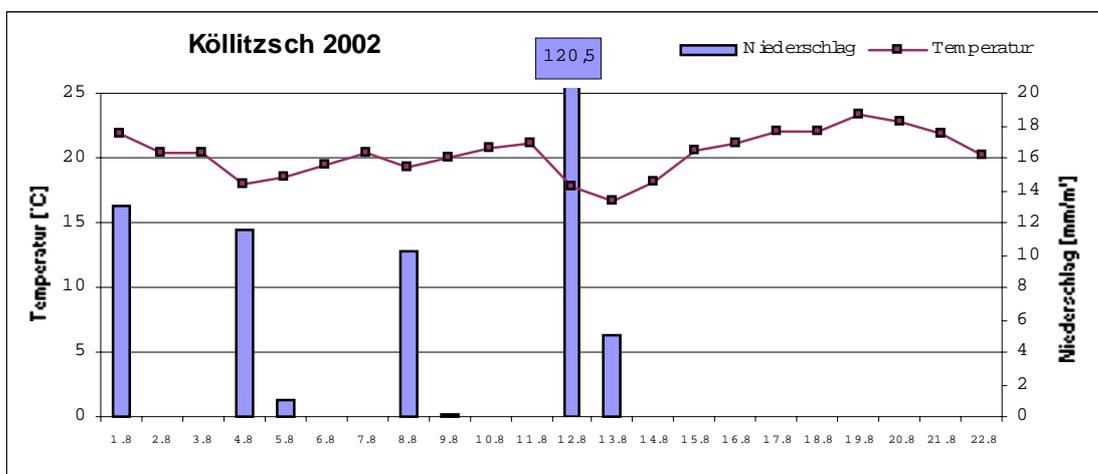
Die Versuche wurden 2001/2002 auf dem Praxisschlag „Katzen“ des LVG Köllitsch durchgeführt. Als Versuchsfrucht diente Winterweizen der Sorte Charger (A-Weizen). Zum einen wurden die Ganzpflanzen geschnitten und im Schwad abgelegt, zum anderen das Korn gedroschen (Mähdruschernte) und das Stroh im Schwad abgelegt. Zur Ernte und jeweils nach sieben Tagen Feldliegezeit erfolgten die Ertragsbestimmungen sowie die Probenahmen. Daten zur Durchführung der Kulturmaßnahmen sowie zur Witterung in den Versuchszeiträumen sind in den Tabellen 2/15 bzw. den Abbildungen 2/11 und 2/12 aufgeführt.

**Tab. 2/15:** Anbauspezifische Daten der Versuche zum Einfluss der Feldliegezeit, Köllitsch, Erntejahre 2001/2002

<b>Sorte:</b>	Charger (A)	Charger (A)
<b>Aussaat:</b>	am 16.10.00	am 26.10.01
<b>Pflanzenschutz</b>		
- Herbizide ( Frühjahr )	150g Husar + 1,0l/ha Loredo 25g/ha Pointer ( Disteln )	60g/ha Lexus class
- Fungizide (April) ( Mai )	0,5 kg/ha Unix + 0,5 l/ha Alto 0,7 l/ha Amistar	Juwel plus + CCC
- Insektizid	200 ml/ha Karate	
- Halmstabilisator	0,4 l/ha Moddus	1,0 l CCC 720
<b>N - Düngung</b>		
	29 kg N/ha 135 kg N/ha 164 kg N/ha	120 kg N/ha (NTEC) 60 kg N/ha KAS 180 kg N/ha
<b>ermittelter Ertrag</b>	am 17.08.2001	am 30.07.01
- Korn:	54,52 dt/ha	47,05 dt/ha
- Stroh:	35,81 dt/ha	18 dt/ha



**Abb. 2/11:** Witterungsdaten 2001 am Standort Köllitsch



**Abb. 2/12:** Witterungsdaten 2002 am Standort Köllitsch

Das Erntejahr 2002 war gekennzeichnet durch starke Niederschläge sowie durch Überschwemmungen. Die Versuche waren nicht direkt von der Überflutung betroffen. Infolge von Evakuierungsmaßnahmen konnten von der 2. Feldliegezeit (14 Tage) keine Proben genommen werden.

Um die durch die Feldliegezeit bedingten Verluste bei der Schwadablage der Ganzpflanzen zu kennzeichnen, wurde das Korn/Stroh-Verhältnis bestimmt (Tabelle 2/16). Aus den Ergebnissen 2001 konnten keine Kornverluste nachgewiesen werden. Jedoch waren nach Bergung der Ganzpflanzen nach 21 Tagen Feldliegezeit sehr deutlich die auf dem Feld verbleibenden Kornverluste sichtbar. An Hand der Korn-/Strohverhältnisse des Erntejahres 2002 ist zu erkennen, dass infolge längerer Feldliegezeiten mit Kornverlusten gerechnet werden muss.

**Tab. 2/16:** Korn/Stroh-Verhältnis der Winterweizen-Ganzpflanzen ohne und mit Feldliegezeiten, Köllitsch (AI), 2001/2002

Feldliegezeit	Korn/Stroh-Verhältnis	
	Jahr	
	<b>2001</b>	<b>2002</b>
ohne	1 : 1,0	1 : 1,1
7 Tage	1 : 0,8	1 : 1,2
14 Tage	1 : 1,2	n.b.
21 Tage	1 : 0,9	1 : 1,3

n.b.: nicht bestimmt

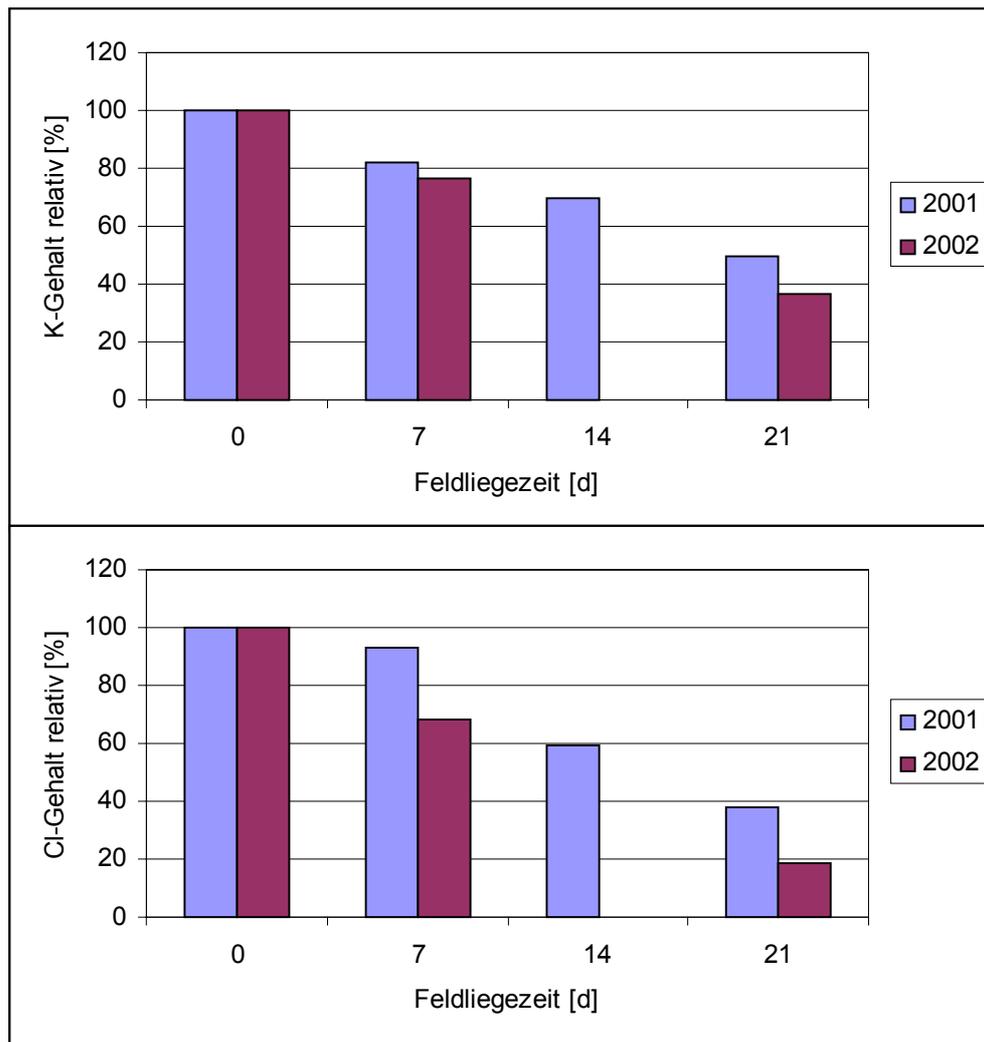
In Tabelle 2/18 sind die Analyseergebnisse der Ganzpflanzen- und Strohproben der unterschiedlichen Feldliegezeiten zusammengestellt.

Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen kann entnommen werden, dass es bereits nach 7 Tagen Feldliegezeit bei Ganzpflanzen und Stroh zu einer Auswaschung an Kalium und Chlor kam. Die Gehalte an Phosphor nahmen bei den Ganzpflanzen ebenfalls ab, während bei Stroh im Jahr 2001 eine Zunahme zu erkennen ist. Tendenziell ist auch eine Reduzierung des Aschegehaltes durch die Feldliegezeit zu verzeichnen.

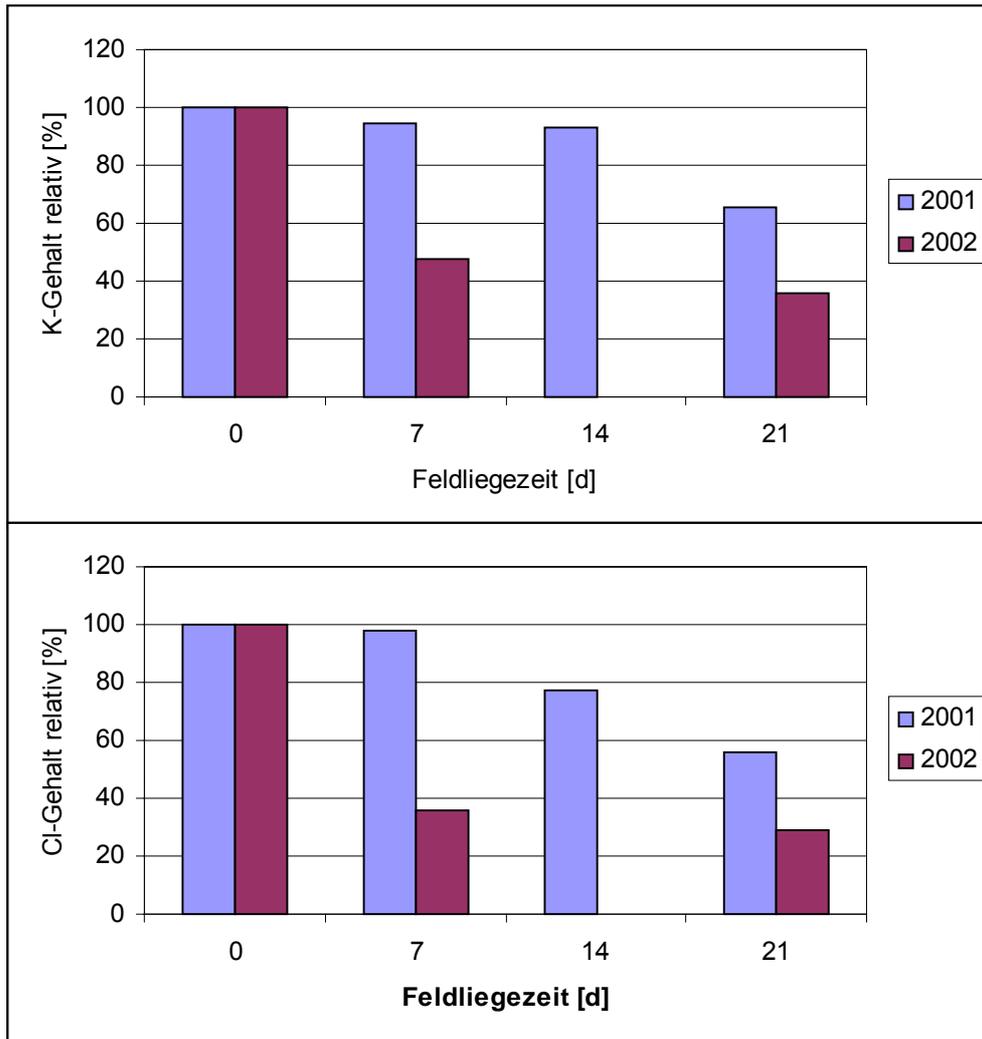
In den Abbildungen 2/13 und 2/14 sind die Gehalte an Kalium und Chlor nach den drei Feldliegezeiten relativ zum Gehalt zur Ernte dargestellt.

**Tab. 2/17:** Elementargehalte (i. d. TS) von Winterweizen-Ganzpflanzen und Stroh nach verschiedenen Feldliegezeiten

Feldliegezeit	Datum	Temp. ° C <sup>1)</sup>	Σ Temp. ° C <sup>1)</sup>	Nieder- schlag mm/m <sup>2</sup>	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %	Cl %	C %	Roh- asche %	Hu (wf) kJ/ g
<b>Ganzpflanzen</b>														
<b>2001</b>														
ohne	15.08.01	26,2			1,30	0,22	0,95		0,09	0,09	0,29	43,8	8,3	16,27
7 Tage	22.08.01	21,6	152,9	8,3	1,19	0,16	0,78		0,09	0,07	0,28	42,8	6,9	16,65
14 Tage	29.08.01	14,8	301,2	17,3	1,17	0,15	0,66		0,09	0,07	0,17	43,3	6,7	16,48
21 Tage	05.09.01	14,1	413,8	23,6	1,19	0,17	0,47		0,09	0,08	0,11	43,7	6,5	16,31
<b>2002</b>														
ohne	01.08.02	21,8			1,70	0,17	0,87	0,21	0,10	0,09	0,35	43,22	8,27	16,19
7 Tage	08.08.02	19,3	138,8	24,6	1,69	0,14	0,67	0,23	0,09	0,10	0,24	43,84	9,24	16,29
14 Tage	15.08.02													
21 Tage	22.08.02	20,1	446,5	160,4	1,70	0,13	0,32	0,26	0,10	0,09	0,07	39,82	8,41	16,08
<b>Stroh</b>														
<b>2001</b>														
ohne	15.08.01	26,2			0,65	0,14	1,45		0,09	0,07	0,53	40,1	13,3	15,9
7 Tage	22.08.01	21,6	152,9	8,3	0,70	0,15	1,37		0,10	0,08	0,52	40,7	13,1	15,9
14 Tage	29.08.01	14,8	301,2	17,3	0,73	0,16	1,35		0,10	0,10	0,41	41,6	11,8	16,0
21 Tage	05.09.01	14,1	413,8	23,6	0,67	0,14	0,94		0,11	0,08	0,29	41,8	11,0	16,0
<b>2002</b>														
ohne	01.08.02	21,8			0,94	0,11	1,70	0,26	0,08	0,10	0,81	40,63	11,27	16,1
7 Tage	08.08.02	19,3	138,8	24,6	1,01	0,11	0,81	0,25	0,08	0,08	0,29	41,80	10,40	16,2
14 Tage	15.08.02													
21 Tage	22.08.02	20,1	446,5	160,4	0,94	0,10	0,61	0,26	0,07	0,06	0,24	42,03	10,45	16,0



**Abb. 2/13:** Relative Gehalte an Kalium und Chlor in Winterweizenganzpflanzen nach unterschiedlichen Feldliegezeiten



**Abb. 2/14:** Relative Gehalte an Kalium und Chlor in Winterweizenstroh nach unterschiedlichen Feldliegezeiten

Es zeigte sich im Versuch eine deutliche Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren. In dem niederschlagsreichen Jahr 2002 war die Reduzierung an Kalium und Chlor durch die Feldliegezeit bedeutend höher als im Jahr 2001. Daraus folgt, dass vor Allem eine Auswaschung dieser Elemente stattfand.

Bei einer Feldliegezeit von einer Woche und Niederschlägen von 25 mm/m<sup>2</sup> (2002) wurde der Gehalt an Kalium in den Ganzpflanzen um ca. 24 % und im Stroh um ca. 52% reduziert. Der Gehalt an Chlor konnte in diesem Zeitraum bei Ganzpflanzen um 32 % und im Stroh um 65 % verringert werden.

Die Feldliegezeit stellt damit eine effektvolle Möglichkeit dar, die Qualität von Ganzpflanzengetreide und Stroh als Brennstoff zu verbessern. Diese positive Wirkung beschreibt auch HARTMANN 2000. In Feldliegezeit-Versuchen wurde eine hohe

Gehaltsminderung für die Elemente K, Cl und S festgestellt. Auf Grund der sinkenden Kaliumgehalte konnte ein Anstieg der Ascheerweichungstemperatur nachgewiesen werden.

#### **2.4 Diskussion und Schlussfolgerung**

Die dargestellten Ergebnisse haben gezeigt, dass die Brennstoffeigenschaften von Stroh bzw. Getreideganzpflanzen durch gezielte Auswahl der Kulturarten und –Sorten, der Anbauintensität und spezielle Ernteverfahren positiv beeinflusst werden können.

Im Hinblick einer energetischen Nutzung des Strohs sollten mittel-langstrohige Sorten mit guten Markfruchtqualitäten sowie hohen Stroherträgen für den Anbau ausgewählt werden.

Auf den Löß-Standorten erzielten Winterweizen und –triticale die höchsten Stroherträge mit ca. 80 dt/ha. Im Ganzpflanzenertrag unterschieden sich die Getreidearten nicht.

Am leichten D-Standort sind die Erträge deutlich niedriger. Den höchsten Ganzpflanzen- und Strohertrag erzielte hier Wintertriticale. Während Wintertriticale Stroherträge von ca. 55 dt/ha und Winterroggen 50 dt/ha erreichten, konnten bei Wintergerste nur Stroherträge von 35 dt/ha erfasst werden.

In den Versuchsreihen konnten Unterschiede im Korn/Strohverhältnis der Getreidearten beobachtet werden. Bei Wintergerste ist das Korn/Strohverhältnis mit 1:0,5-0,6 deutlich kleiner als bei den anderen drei Getreidearten mit 1:0,8-0,9.

An Hand der Analyseergebnisse kann auf ein unterschiedliches Verbrennungs- und Emissionsverhalten der Stroharten geschlossen werden. Bei Winterweizenstroh erfasste man höhere Stickstoffgehalte jedoch geringere Kaliumgehalte. Letzterer wirkt sich positiv auf das Ascheschmelzverhalten aus. Bei Wintergerstenstroh ist mit einem schlechteren Ascheschmelzverhalten zu rechnen sowie einer hohen Salzsäureemission (HCl). Die Gehalte an Kalium und Chlor waren mit ca. 1,8-2,4 % K i.d. TS und bis zu 0,7 % Cl i.d. TS ungewöhnlich hoch.

Der Anbau von Energiegetreide stellt andere Produktionsziele (Ertragsbestandteile, Brennstoffqualität) als der Marktfruchtanbau (Nahrungs- und Futtermittel). Pflanzenschutzmittelanwendungen sollten reduziert werden. Durch Einsatz von Fungiziden werden z.B. die Gehalte an Kalium und Chlor drastisch erhöht.

Die Reduzierung der Saatstärke bei Winterweizen auf einem Löß-Standort führte zu höheren Erträgen (Korn, Stroh) sowie zur Abnahme der Gehalte an Stickstoff, Phosphor und Kalium im Stroh.

Durch eine Feldliegezeit von Ganzpflanzen oder Stroh im Schwad werden emissionsrelevante und verbrennungstechnisch ungünstige Inhaltstoffe durch Rotte und Witterung abgebaut bzw. ausgewaschen. Bei Ganzpflanzen ist mit Kornverlusten zu

rechnen. Durch eine einwöchige Feldliegezeit und mittlere Niederschläge (25 mm/m<sup>2</sup>) werden die Gehalte an Kalium und Chlor um mind. 20 % bzw. 50 % reduziert.

Beim Anbau von Energiegetreide ist es möglich und ratsam, den Anbau zu extensivieren, da dadurch eine gute Brennstoffqualität gesichert werden kann. Im Anbau von Marktfruchtgetreide mit energetischer Nutzung des Reststoff Stroh sind die Sortenwahl und die Anbauintensität abhängig von den Anforderungen an Kornertrag und -qualität. Somit spielen Strohertrag und -qualität nur eine untergeordnete Rolle bei der Auswahl der Anbaumaßnahmen. Interessant sind in diesem Rahmen gezielte Maßnahmen, welche Kornqualität und -Ertrag nicht beeinflussen, jedoch eine positive Wirkung auf die Strohqualität hinsichtlich einer energetischen Verwendung haben, wie das Ernteverfahren mit Feldliegezeit.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Landwirt einen starken Einfluss auf die Brennstoffqualität hat und bereits beim Anbau die Verbrennungseigenschaften dieser biogenen Brennstoffe verbessert werden können.

### 3 Pelletieren von Weizenstroh mit unterschiedlichen Bindemitteln und Zuschlagstoffen

#### 3.1 Ziel

Im Freistaat Sachsen wurde ein Potential an Getreidestroh von ca. 700.000 t/a ermittelt, welches einer energetischen bzw. stofflichen Verwendung zugeführt werden könnte (TWISTEL, RÖHRICHT 2000). Erschwert wird die energetische Nutzung von Stroh durch die ungünstigen brennstoffspezifischen Eigenschaften sowie die aufwändigen schwer verständlichen Genehmigungs- und Förderungsverfahren. Die thüringischen Strohheizkraftwerke in Schköhlen und Jena haben gezeigt, dass eine effektive energetische Nutzung in Großanlagen, trotz einiger Probleme, möglich ist. Der Brennstoff wird bei diesen großen Anlagen in Form von Ballen zugeführt.

Für die energetische Nutzung von Getreidestroh außerhalb des landwirtschaftlichen Bereichs bzw. in Kleinfeuerungsanlagen ist es sinnvoll, den Brennstoff aufzubereiten. Das Pelletieren ist eine Alternative, den Brennstoff Stroh auch z. B. privaten Haushalten bedarfsgerecht zugänglich zu machen, zudem es noch einige Vorteile mit sich bringt. Die große Verdichtung des Strohs ermöglicht den wirtschaftlichen Transport, die platzsparende Lagerung, ein bequemes sauberes Handling und eine hohe Energiedichte. In Tabelle 3/1 sind zum Vergleich die Dichten verschiedener Aufbereitungsverfahren der Brennstoffe Holz, Getreidestroh und Getreideganzpflanzen zusammengestellt. Die Schüttdichte von Heizöl beträgt ca. 860 kg/m<sup>3</sup>.

Brennstoffdichten von Holz und Getreide nach verschiedenen Aufbereitungsverfahren

Aufbereitung	Holz [kg/m <sup>3</sup> ]	Getreide [kg/m <sup>3</sup> ]		
		Korn	Stroh	Ganzpflanzen
Meterholz	500			
Hochdruckballen			120	150
kubische Großballen			150	220
Rundballen			120	190
Compact Rolle			350	
lose Häcksel/ Körner	200	700	70	
Pellets	650		600	600
Briketts			450	

Quelle: nach KICHERER 1996

Die höchsten Brennstoffdichten werden bei den in Tabelle 3/1 genannten Brennstoffen von dem Getreidekorn und durch das Pelletieren erreicht. Durch diese Aufbereitungsform ist auch die Homogenisierung des Brennstoffes hinsichtlich Größe und Feuchte möglich.

Ziel des Versuches war es, durch das Pelletieren von Getreidestroh einen hochwertig qualitativen Brennstoff herzustellen. Es wurde geprüft, welchen Einfluss der Einsatz verschiedener Bindemittel und Zuschlagstoffe sowie vorheriges „Entstauben“ des Strohs auf die Qualität der Pellets haben.

### 3.2 Versuchsdurchführung

#### 3.2.1 Ausgangsmaterial und Versuchsvarianten

Es erfolgte die Entwicklung und Herstellung von zehn verschiedene Pellet-Varianten, ohne und mit verschiedenen Zusätzen. Die Strohpellet-Varianten verschiedener Zusammensetzungen werden in Tabelle 3/2 vorgestellt. Bei der Herstellung der Pellets kamen unterschiedliche Ausgangsstoffe zum Einsatz (Abbildungen 3/1-3/3).

Versuchsvarianten

Variante:	Beschreibung:
1	Weizenstroh ohne Bindemittel und Zuschlagstoffe
2	Weizenstroh + 3% Melasse
3	Weizenstroh + 3% modifizierte Stärke
4	Weizenstroh + 2% Kalkmehl
5	Weizenstroh + 4% Kalkmehl + 3% Melasse
6	Weizenstroh + 6% Kalkmehl + 3% Melasse
7	Weizenstroh + 2% Kalkbrechsand + 3% Melasse
8	Weizenstroh-Faserstoff ohne Bindemittel und Zuschlagstoffe
9	Weizenstroh-Faserstoff + 3% Melasse
(10)	Weizenstroh + 10 % Kleinkörner

Bei den nachfolgenden Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass die 10. Variante neben den Kleinkörnern auch Kalk enthielt. Wahrscheinlich ist es bei der Herstellung zu einer Verwechslung der Zuschläge gekommen.

Im Folgenden werden die verwendeten Zuschläge beschrieben.

#### Stroh:

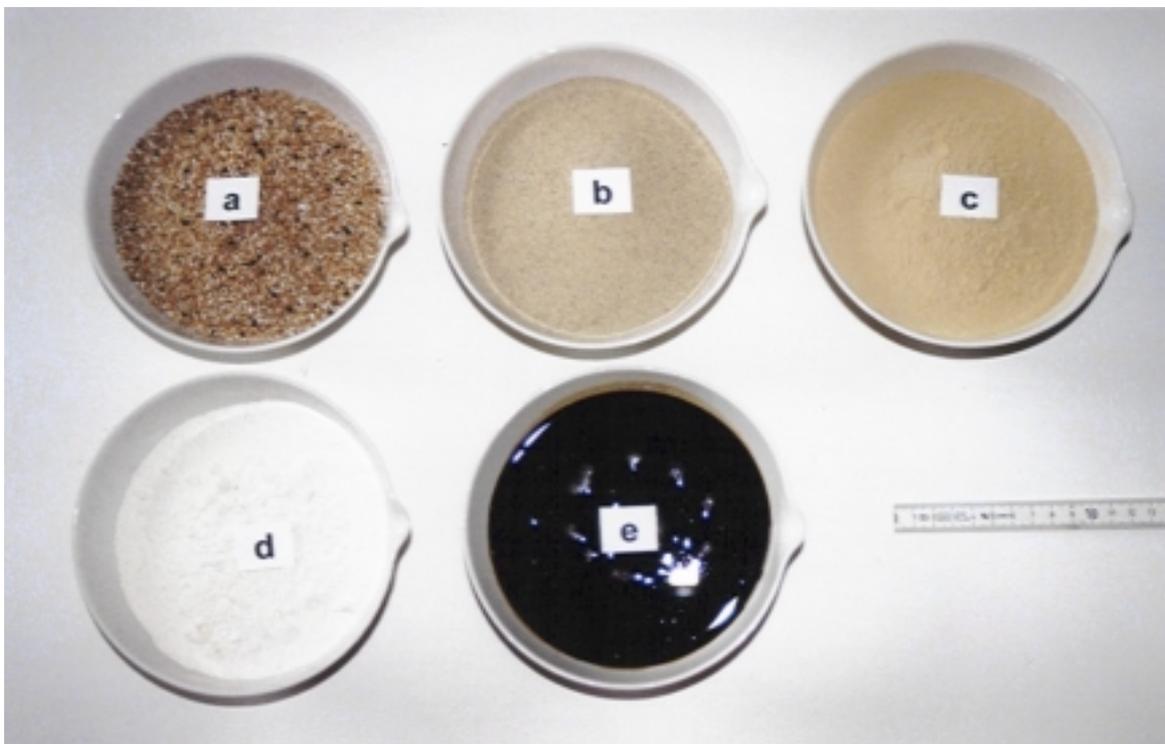
Als Grundstoff für die Herstellung der Pelletvarianten wurde Weizenstroh aus konventionellem Anbau einer sächsischen Agrargenossenschaft mit guter fachlicher Praxis verwendet. Das Stroh wurde in Quaderballen angeliefert.



**Abb. 3/1:** Weizenstroh (unbehandelt),  
Halmlänge 20 – 30 cm



**Abb. 3/2:** „entstaubtes“ Weizenstroh,  
Halmlänge 2 – 3 cm



**Abb. 3/3:** a) Kleinkörner; b) Dolomit-Brechsand; c) Dolomit-Feinkalk;  
d) modifizierte Stärke (MK 11.1.30.01); e) Melasse

#### Melasse und Stärke:

Der Einsatz dieser Bindemittel erfolgte mit dem Ziel, eine hohe Festigkeit der Pellets zu erreichen. Es wurden je eine Variante mit 3 % Melasse und 3 % Stärke hergestellt. Den „Kalkvarianten“ wurde teilweise auch Melasse zugegeben, um die Bindung zu verbessern. Melasse ist ein vielverwendetes Binde- und Futtermittel, wird zur Herstellung von Futterpellets verwendet und ist somit in den Futtermittel- und Trockenwerken leicht verfügbar. Das Trockenwerk Grimma stellte die Melasse für die Versuche zur Verfügung.

Als Stärke verwendete man das modifizierte (kationisch alkylierte) Getreidemehl MK 11.1.30.01 der Firma Ceresan GmbH in Markranstädt. Im Versuch wurden 20 kg Stärkemehl mit 15 l Wasser angerührt.

#### Kalk:

Bei der Verbrennung von halmgutartiger Biomasse, insbesondere Getreidestroh, muss auf Grund des hohen Kaliumgehaltes im Vergleich zu Holz und dem daher resultierenden niedrigen Ascheschmelzpunkt bei der Verbrennung mit Verschlackungen im Kessel sowie den Wärmetauschern gerechnet werden.

Um den Ascheschmelzpunkt zu erhöhen und somit einer Verschlackung entgegenzuwirken, erfolgte in vier Varianten die Zumischung von Kalk beim Pelletieren. Als Kalkprodukte wurden Dolomitkalke (18 % Ca, 11 % Mg) der Ostrauer Kalkwerke GmbH in verschiedenen Körnungen, Kalkmehl < 0,1 mm (Feinkalk) und Kalkbrechsand 0,1 –1 mm, verwendet.

Der Einsatz erfolgte in den Massenanteilen 2, 4 und 6 %..

Eine weitere Wirkung von Kalk besteht bei der Verbrennung, in der Einbindung von Schwefel und Chlor in die Asche (HARTMANN 2000).

#### Kleinkörner:

Bei den im Versuch eingesetzten Kleinkörnern handelt es sich um ein Mühlenabprodukt, welches nicht im Nahrungsmittelbereich genutzt werden kann. Die Kleinkörner wurden als Bindemittel bei der Pelletierung eingesetzt.

#### Strohfaserstoff:

Ein weiteres Problem bei der energetischen Nutzung von Stroh stellen die erhöhten Staubemissionen bei der Verbrennung dar. Mit der Option den Anteil an staubförmigen Emissionen im Rauchgas zu senken, wurde das Weizenstroh vor der Pelletierung, bei weiteren zwei Varianten, zerfasert und entstaubt.

Die Zerfaserung des Strohs erfolgte in einem speziell für die Herstellung von Faserstoffen (aus Holz, Hanf, Zylit, Stroh) entwickelten Verfahren von der Fa. Lehmann Maschinenbau GmbH (Abbildung 3/4). Dabei wird das Stroh über ein Förderband senkrecht in einen Doppelschneckenextruder gegeben. Bei Temperaturen zwischen 95 °C und 115°C sowie der Zugabe von Wasser in den Extruder entsteht durch die Dampfexplosion ein Faserstoff mit

einer Faserlänge bis 2 cm (Abbildung 3/2). Anschließend wird mit einem Sauggebläse der Staub aus dem Faserstoff abgezogen. Die Anlage wird mit einem Dieselmotor (20 l Diesel/h) betrieben bei einer Leistung von 180 kW. In einer Stunde konnten 4 m<sup>3</sup> Strohfaserstoff hergestellt werden. Die eigentliche Verwendung dieses hochwertig aufbereiteten Strohs liegt in der Pferdezucht und -haltung. Die Anlieferung des Strohfaserstoffs erfolgte in Big Pack's.



**Abb. 3/4:** Doppelschneckenextruder der Fa. Lehmann Maschinenbau GmbH in Jocketa

### 3.2.2 Beschreibung von Pelletieranlage und -verfahren

Das Herstellen der Prüfvarianten übernahmen die Landwirtschaftliche Trocknungs- und Dienstleistungs GmbH in Grimma.

Das Pelletieren des Weizenstrohs mit den verschiedenen Bindemitteln und Zuschlagstoffen wurde an einer Kollergang-Flachmatrizenpresse tschechischer Herkunft, Typ G 600, Baujahr 1968 durchgeführt (Abbildung 3/5). Der erneuerte Kollersatz sowie die Matrize stammen von der Fa. Kahl in Hamburg. Bei der Presse handelt es sich um eine Flachmatrizenpresse mit starrem Kollersatz und angetriebener Matrize. Im Versuch wurde eine Matrize mit 8mm Bohrungen eingesetzt. Die Leistung des Elektromotors beträgt 75 kW.

Außerhalb der Versuche werden pro Jahr rund 4.000 t Pellets an dieser Anlage hergestellt, hauptsächlich Grüngutpellets zu Futtermittelzwecken. Es wird ein Durchsatz von ca. 1,5 t /h erreicht. Bei der Herstellung der Versuchsvarianten lag der Durchsatz bei etwa 1,3 t/ha. Die

Energie zum Trocknen von Grüngut (direkte Trocknung) und zur Heizung wird aus Erdöl erzeugt.

Im Versuch musste das Auflösen des Ballen sowie die Aufgabe zum Häcksler von Hand erfolgen (Abbildung 3/6). Nach dem Häckseln durchläuft das Stroh eine Hammermühle (Siebeinsatz 8 mm). Das Mahlgut wird mit einem Saug-Druck-Gebläse zur Presse transportiert. Hierbei können über eine Dosiereinrichtung automatisch Bindemittel, Zuschlagstoffe und ca. 10 % Wasser zugeführt und mit dem Mahlgut vermischt werden. Danach erfolgt das Herstellen der Pellets mit 8 mm Durchmesser. Das vorzerkleinerte, angefeuchtete und mit Bindemitteln oder Zuschlagstoffen vermischte Gut wird von oben der Presse zugeführt. Durch die angetriebene Matrize und sich dadurch drehenden Koller-Pressrollen wird das Gut in die Bohrungen der Matrize gedrückt. Durch ständiges Nachschieben des Gutes entstehen Pressstränge, welche durch ein an der Presse befestigtes Messer in gewünschter Länge abgeschnitten werden. Die Pellets haben nach Verlassen der Presse eine Temperatur von 60 – 80 °C. Über ein Förderband laufend, werden sie auf ca. 30 °C abgekühlt und schließlich über eine Wägeeinrichtung in Säcke abgepackt. Für die weiteren Untersuchungen lagerte man die Versuchspellets trocken ein. Der Verfahrensablauf des Pelletierens ist in Abbildung 3/7 dargestellt.

Zwischen den Varianten wurde die Presse mit Maiskörnern gefahren, um das Aushärten des in den Bohrungen befindlichen Gutes und dadurch bedingtes Zusetzen der Matrize zu verhindern.

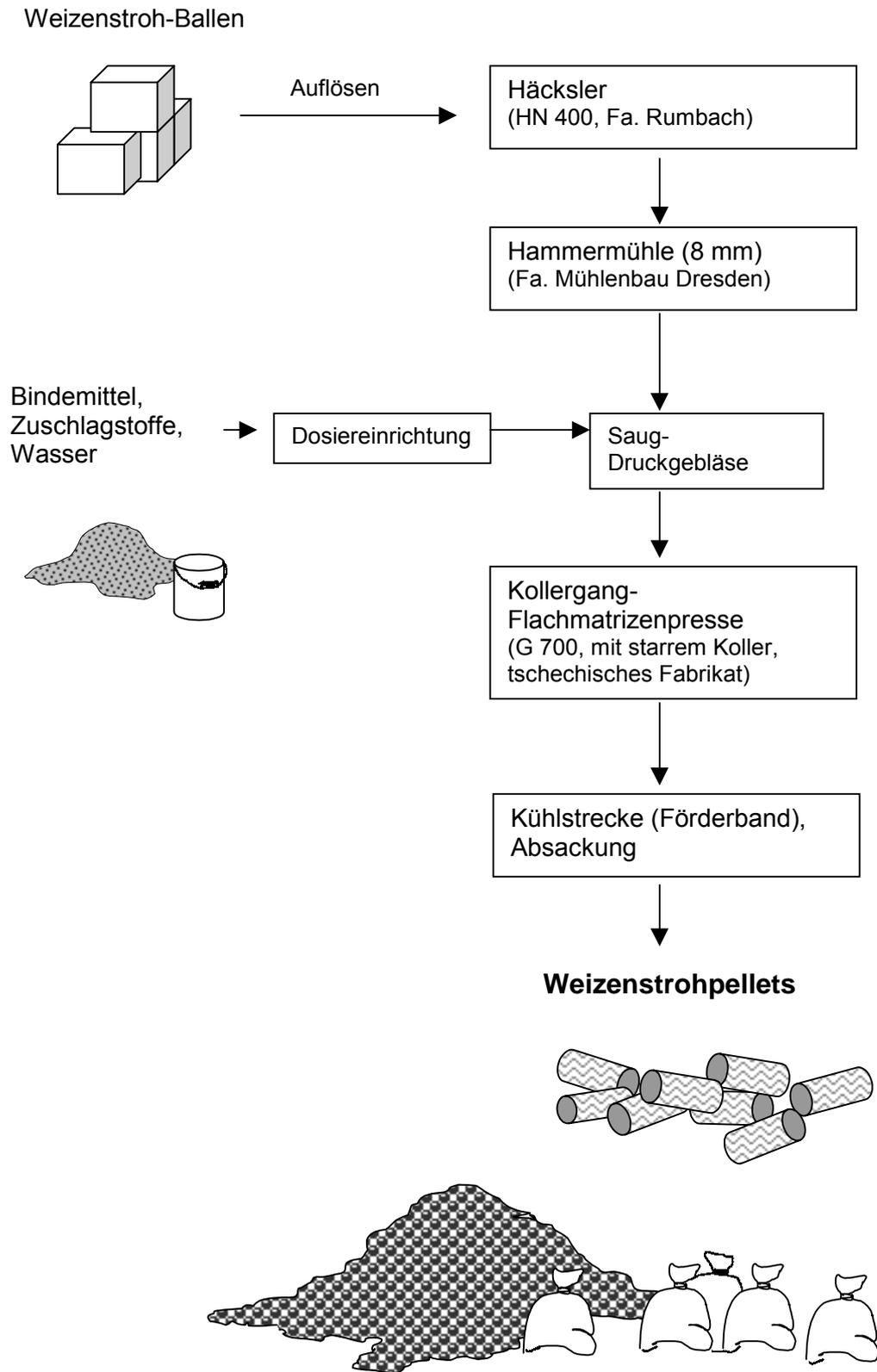
Die Herstellung der Pellets erfolgte ohne Dampferzeuger. Die Landwirtschaftliche Trocknungs- und Dienstleistungs- GmbH plant die Anschaffung eines solchen Gerätes, um die Festigkeit von Pellets zu erhöhen.



**Abb. 3/5:** Kollergang-Press (rechts) mit Elektromotor (mitte) und Schaltzentrale (links); Landwirtschaftliche Trocknungs- und Dienstleistungs GmbH Grimma



**Abb. 3/6:** Aufgabe des Stroh zum Häcksler; Landwirtschaftliche Trocknungs- und Dienstleistungs GmbH Grimma



**Abb. 3/7:** Verfahrensschema der Pelletierung von Weizenstroh mit verschiedenen Bindemitteln und Zuschlagstoffen

### 3.2.3 Methodik der physikalischen und chemischen Untersuchungen

Für die Charakterisierung der hergestellten Strohpellets erfolgte die Untersuchung der folgenden Qualitätsparameter:

- Feinanteil,
- Druckfestigkeit,
- Abriebfestigkeit,
- Schüttdichte,
- Gehalt an verbrennungstechnischen und emissionsrelevanten Inhaltstoffen (N, S, K, Cl),
- Asche- und Energiegehalt,
- Ascheschmelz- und Abbrandverhalten,
- Emissionen (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, ges. C, HCl, Staub).

Die Bestimmung des **Feinanteils** in den Pelletvarianten erfolgte durch die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Dabei wurden je Variante vier Säcke (je 25 kg) mit einer Maschenweite von 5 mm gesiebt. Der Anteil < 5 mm wird als Feinanteil bezeichnet.

Das **Schüttgewicht** wurde in Anlehnung an die DIN 53466 bestimmt. Das verwendete Messgefäß hatte ein Volumen von 10 dm<sup>3</sup>. Es wurde von vier Säcken (je 25 kg) pro Variante das Schüttgewicht erfasst. Dabei wurde das Messgefäß gleichmäßig gefüllt und die Oberfläche mit einem Schieber geebnet.

Die Prüfung der Pellets auf physikalische Unterschiede und Merkmale führte das Thüringer Verfahrenstechnische Institut (VTI) für Umwelt und Energie e.V. in Saalfeld durch. Es wurden die Parameter Druckfestigkeit, Abriebfestigkeit und Sturzfestigkeit ermittelt.

Die **Druckfestigkeit** der Pellets bestimmte man mit Hilfe der Universalfestigkeitsprüfmaschine TIRAtest 24250. Folgende Daten kennzeichnen die Prüfpresse:

Hersteller: TIRA Maschinenbau GmbH

Max. Prüfkraft: 250 kN

Prüfgeschwindigkeit: 0,004 bis 200 mm/min

Fehler: < 1% vom Wert

Bei der Druckfestigkeitsprüfung wurden die Pellets mit einer Prüfgeschwindigkeit von 2 mm/min bis zum Bruch belastet. Um eindeutige Ergebnisse zu erhalten, stellte man vor der Prüfung einheitliche Probekörper (Pellets) mit einer Länge von 13 mm aus den Strohpellets her. Der Durchmesser betrug 9 mm.

Die Prüfung erfolgte sowohl bei horizontaler als auch bei vertikaler Belastung der zylindrischen Proben. Zur Errechnung der Druckfestigkeit in N/mm<sup>2</sup> diente bei vertikaler

Belastung der kreisförmige Querschnitt ( $63,6 \text{ mm}^2$ ) und bei horizontaler Belastung der größte rechteckige Querschnitt ( $117 \text{ mm}^2$ ) der Proben.

Zur Einschätzung der **Abriebfestigkeit** untersuchte man die Strohpellets auf Trommelfestigkeit in einer Prüftrommel vom Typ Los-Angeles-Trommel nach Norm ATSTM C 131 mit einer Prüfgeschwindigkeit von 30 Umdrehungen/min. Es wurden jeweils 1000g Pellets mit einer Korngröße  $> 8 \text{ mm}$  eingewogen und in der Prüftrommel mit 120 Umdrehungen beansprucht. Anschließend erfolgte das Absieben des entstandenen Feinkorns  $< 8 \text{ mm}$ . Als Maß für die Kornzerkleinerung durch Abrieb diente der prozentuale Anteil der unzerkleinerten Pellets.

Zur Ermittlung der **Sturzfestigkeit** der Pellets wurden jeweils 1000g einer Probe, wieder nach vorherigem Absieben der Kornfraktion  $< 8 \text{ mm}$ , eingewogen. Nach zweimaligem Sturz der Pellets aus 2 m Höhe erfolgte die Bestimmung der Feinfraktion  $< 8 \text{ mm}$ . Als Ergebnis erhält man den prozentualen Anteil an unzerkleinerten Pellets, der nach beschriebener Versuchsdurchführung erhalten bleibt.

Die Untersuchungen der **Elementargehalte** führte die LUFA Leipzig durch, akkreditiert als Prüflabor nach DIN EN 45001. Zum einen wurden die Zusammensetzung der Ausgangsstoffe (unbehandeltes Stroh, Bindemittel, Zuschlagstoffe, „entstaubtes“ Stroh) und zum anderen die der hergestellten Pellets analysiert.

Die Bestimmung des **Ascheschmelzverhaltens** nahm das VTI Saalfeld vor. Zuerst erfolgte die Gewinnung des Glührückstandes nach DIN 51731, jedoch bei einer um  $100 \text{ °C}$  erhöhten Glühtemperatur. Von jeder Variante wurden je dreimal 15 g eingewogen, getrocknet und bei  $650 \text{ °C}$  im Muffelofen bis zur Gewichtskonstante geglüht. Nach Abkühlen erfolgt eine Messung des Aschegehaltes der Proben. Von den Aschen stellte man Probekörper mit einem Durchmesser von 2 mm und einer Höhe von 1,25 mm mittels Micro-Pellet-Pressstempel her. Mit Hilfe eines Erhitzungsmikroskops Stemi SV 6 ermittelte man visuell den Sinter-, Erweichungs-, Schmelz- und Fließpunkt der Probekörper. Die für das Ascheschmelzverhalten charakteristischen Punkte sind nach DIN 51t30 folgendermaßen definiert:

- Sinterpunkt: Temperatur, bei welcher ein Zusammenkleben der Aschpartikel an ihren Grenzflächen auftritt
- Erweichungspunkt: Temperatur, bei der erste Anzeichen des Erweichens der Asche vorliegen, z.B. Rundwerden der Kanten, Beginn des Blähens des Probekörpers
- Halbkugelpunkt: (entspricht Schmelzpunkt)

Temperatur, bei der der Probekörper annähernd die Form einer Halbkugel hat

- Fließpunkt: Temperatur, bei der der Probekörper auf ein Drittel seiner Größe beim Halbkugelpunkt auseinandergeflossen ist.

Da mit dem Erhitzungsmikroskop Stemi SV 6 der Probekörper von oben betrachtet wird, ist die Höhe des Probekörpers schwer einschätzbar. Die einzelnen Temperaturenpunkte wurden daher nach folgenden Merkmalen bestimmt:

- Sinterpunkt: beginnende Veränderung auf der Oberfläche des Probekörpers; die Oberfläche wird dunkler und ggf. glänzender; noch keine Änderung der Form
- Erweichungspunkt: der Probekörper beginnt zu schrumpfen; auf der Oberfläche sind deutliche Bewegungen bzw. Bläherscheinungen zu beobachten
- Halbkugelpunkt: (entspricht Schmelzpunkt)  
Die Probe liegt in Form einer Halbkugel vor, die Kanten sind stark abgerundet
- Fließpunkt: der Probekörper ist fast vollständig geschmolzen und zusammengesunken

Bei 16facher Vergrößerung sind während des Erhitzens Fotos zur Dokumentation aufgenommen wurden.

#### **3.2.4 Anlagenbeschreibung und Methodik der Verbrennungsversuche**

Die Untersuchungen zum Abbrandverhalten wurden vom Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH (ILK) in Dresden durchgeführt. Die kontrollierte Verbrennung der Pellets erfolgte in einem automatisch beschickten Kleinkessel vom Typ CO mit einer Nennleistung von 49 kW der Firma Ökothem.

Es wurden die Emissionen an CO, CO<sub>2</sub>, ges. C, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl und Staub im Rauchgas nach BImSchG und der TA-Luft gemessen.

Der Prüfstand im ILK ist nach DIN 4702 aufgebaut und zugelassen für den Versuchsbetrieb zur Kesselprüfung. Abbildung 3/8 zeigt die Ansicht des Prüfstandes, in der Anlage ist der Aufbau des Prüfstandes detailliert abgebildet.



**Abb. 3/8:** Kesselprüfstand des Instituts für Luft- und Kältetechnik gGmbH Dresden (ILK)

Die Gesamtmessdauer für die kontinuierliche Erfassung der gasförmigen Schadstoffe wurde auf 3 Stunden begrenzt. Eine Bewertung der Emissionen erfolgte nach 1. BImSchV als Viertelstundenmittelwert mit 13 % Sauerstoff als Bezugswert. Der Emissionsverlauf wurde als Graph mit Minutenmittelwerten dargestellt. Eine Bestimmung des Gesamtstaubgehaltes im Rauchgas erfolgt durch drei Messungen im Rohgas. Die Erfassung der Messparameter erfolgte bei:

- CO: 12 x 0,25 h
- NOx: 12 x 0,25 h
- Ges. C: 12 x 0,25 h
- SOx (als SO<sub>2</sub>): 12 x 0,25 h
- Gesamtstaub: 3 x 0,25 h
- HCl: 3 x 0,5 h

Das Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH erstellte einen Bericht der Versuchsdurchführung sowie der erhaltenen Ergebnisse.

Alle Verbrennungsversuche wurden bei maximaler Kesselleistung durchgeführt. Dabei war jeweils eine Einfahrzeit von 3 Stunden notwendig, um stabile Verbrennungsbedingungen zu erreichen. Nach Einstellung von stabilen, kontinuierlichen Verbrennungsbedingungen wurde die Emissionsmessung gestartet. Zeitgleich erfolgte auch die Erfassung der Kessel-Leistung

und die zugeführte Brennstoffmenge, um auch eine verbrennungstechnische Bewertung im Nachgang zu ermöglichen.

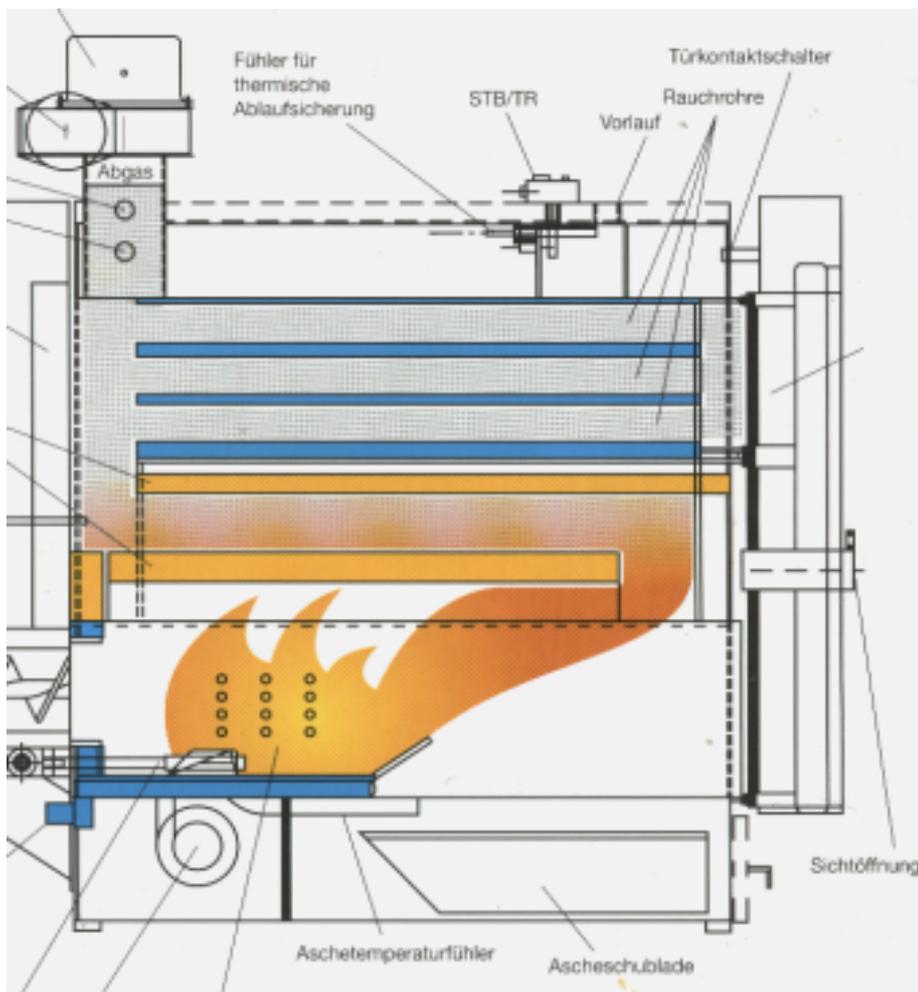
Beschreibung des Testkessels:

Die Abbrandversuche wurden im Kleinkessel der Fa. Ökotherm der Baureihe CO durchgeführt. Die Baureihe CO ist für einen Leistungsbereich von 16... 49 kW Feuerungswärmeleistung ausgelegt und besitzt die folgende Prinzipielle Vorteile:

- wassergekühlte Brennmulde
- Luftspaltung
- Ungekühlte Nachbrennkammer
- Lambda-Regelung
- Voll-Automatisierung

Der Kessel besitzt eine Bauartzulassung nach DIN 4702 für Holzhackschnitzel

In Abbildung 3/9 ist der Kesselaufbau dargestellt.



**Abb. 3/9:** Testkessel CO der Fa. Ökotherm (ILK)

### 3.3 Versuchsergebnisse

Das Pelletieren der kleinen Versuchsmengen von 450 kg je Variante an der durchsatzstarken großen Anlage bzw. das ständige Einstellen und Abschalten der Anlage hatte zur Folge, dass die Pellet-Zusammensetzung in den Varianten nicht homogen war. Auch konnten aus diesem Grund und durch anfallende Reparaturen bzw. den Wechsel der Matrize die gewünschten Prozentanteile der Bindemittel und Zuschlagstoffe nicht exakt eingehalten werden. Schwierigkeiten bereiteten dabei vor allem die Varianten mit dem nicht bindenden Dolomitmalk. Bei diesen Varianten beobachtete man, an Hand des ausschlagenden Zählers der vorhandenen Messzentrale der Anlage, eine höhere Stromstärke-Belastung.

Der entstaubte Strohfaserstoff wies eine, durch den Entstaubungsprozess bewirkte, weichere Struktur auf, was sich auf den Pelletiervorgang positiv auswirkte.

#### 3.3.1 Elementargehalte, Asche und Heizwert der Strohpellets und Ausgangsstoffe

Die Analyse der Ausgangsstoffe ergab die in den Tabellen 3/3 und 3/4 zusammengestellten Gehalte an Inhaltsstoffen bzw. Schwermetallen.

Stroh und Strohfaserstoff unterscheiden sich in Ihrer elementaren Zusammensetzung, da für die Herstellung des Faserstoffes nicht das selbe Stroh als Ausgangsstoff verwendet wurde. Die Gehalte an Chlor sind im Stroh und im Faserstoff gering.

Die Bindemittel Melasse, Stärke und Kleinkörner weisen Stickstoffgehalte über 2 % i.d. TS auf. Melasse ist außerdem gekennzeichnet durch einen hohen Kaliumgehalt von 4 % i.d. TS. Im Kalk wurden die erwünschten Gehalte von ca. 18 % Kalzium und 11 % Magnesium nachgewiesen, aber auch Schwermetallgehalte von ca. 6 g Eisen/kg, ca. 0,6 g Blei/kg, ca. 2 g Mangan /kg und Gehalte an Aluminium von ca. 1,5 g/kg.

In den Tabellen 3/5 und 3/6 sind die Untersuchungsergebnisse der Inhaltsstoffe, Asche und Heizwerte der zehn hergestellten Strohpellet-Varianten zusammengestellt.

Der Feuchtegehalt der Strohpellets liegt unter 9 %.

In den Analyseergebnissen wird deutlich, dass die vorgesehenen prozentualen Anteile an Zuschlägen nicht genau eingehalten werden konnten.

Der hohe Gehalt an Kalium in Melasse zeigt auf Grund der Verdünnung und der geringen Zumischung von 3 % Melasse keinen negativen Einfluss auf die Gehalte an Kalium in den Strohpellets.

Mit Zugabe von 'nichtbrennendem' Kalk nimmt der Aschegehalt zu und der Heizwert ab.

Bei allen Strohpellet-Varianten ermittelte man erhöhte Gehalte an Eisen und Aluminium, was auf eine Abnutzung der Matrize hindeutet.

Gehalt an Inhaltsstoffen (i. d. TS) der Ausgangsstoffe zur Pelletherstellung

Ausgangsstoff	TS %	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Na %	S %	Cl %	C %	Asche <sup>1)</sup> %	Hu (wf) kJ/g
Stroh unb.	97,5	0,66	0,06	1,27	0,19	0,06	0,01	0,06	0,01	43,9	4,8	17,6
Stroh entstaubt	97,7	0,92	0,10	1,40	0,30	0,05	0,03	0,06	0,11	45,4	5,1	17,3
Kleinkörner	88,3	2,46	0,34	0,43	0,06	0,12	0,01	0,01	0,08	46,2	3,4	17,2
Stärke (trocken)	87,3	2,16	0,21	0,17	0,13	0,02	0,46	0,13	0,74	46,5	2,3	17,2
Feinkalk	99,8	0,02	0,01	0,07	17,74	10,92	0,01	0,12	n.n.	0,9	97,5	b.n.
Brechsand	99,8	0,03	0,01	0,06	16,93	10,42	0,01	0,12	n.n.	0,3	98,2	b.n.
Melasse	65,6	2,39	0,02	4,65	0,23	< 0,01	1,13	0,24	0,27	43,7	31,1	13,6

Gehalte an Metallen bzw. Schwermetallen (i. d. TS) der Ausgangsstoffe zur Pelletherstellung

Ausgangsstoff	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Al mg/kg	Zn mg/kg	As mg/kg	Cd mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Ba mg/kg	Cr mg/kg	Co mg/kg	Mo mg/kg	Ni mg/kg
Stroh unb.	1,9	61,7	19,5	48,2	6,9	< 0,01	0,1	0,02	1,6	49,3	1,8	0,1	0,9	1,6
Stroh entstaubt	2,2	253,8	14,4	151,5	6,7	< 0,01	0,1	< 0,01	0,5	37,5	2,0	0,2	0,3	1,1
Kleinkörner	3,2	205,0	35,7	138,2	29,7	< 0,01	0,1	< 0,01	0,6	5,4	1,7	0,3	0,5	1,0
Stärke (trocken)	2,9	11,6	6,6	18,9	8,1	< 0,01	0,1	0,01	0,4	1,0	0,2	0,0	0,3	0,2
Feinkalk	22,0	6550,1	2143,3	1803,6	296,6	12,02	6,6	0,02	726,5	11,9	4,8	2,0	2,1	5,5
Brechsand	45,9	5837,7	1951,9	1463,9	206,4	12,83	3,7	0,01	506,0	11,8	19,4	2,1	1,8	11,4
Melasse	10,9	102,6	55,5	2,9	45,6	< 0,01	0,0	0,03	0,3	0,5	0,3	0,7	0,2	2,3

1): Rohasche

n.n.: nicht nachweisbar

b.n.: brennt nicht

Gehalt an Inhaltsstoffen (i. d. TS) der Strohpellet-Varianten

Variante	Beschreibung	TS %	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Na %	S %	Cl %	C %	Rohasche %	Hu (roh) MJ/kg	Hu (wf) MJ/kg
1	ohne Z	93,0	0,65	0,10	1,28	0,24	0,06	0,01	0,09	0,00	46,7	6,2	15,8	17,2
2	3 % M	93,1	0,58	0,10	1,32	0,24	0,08	0,01	0,09	0,06	46,6	6,4	15,7	17,0
3	3 % S	91,4	1,17	0,20	0,77	0,83	0,50	0,01	0,10	0,15	45,5	8,1	14,9	16,5
4	2 % KM	92,7	0,51	0,06	1,10	1,11	0,59	0,01	0,06	0,05	45,3	8,6	15,3	16,6
5	4 % KM +3 % M	93,4	0,52	0,06	1,19	0,92	0,49	0,01	0,07	0,03	43,2	8,4	15,4	16,7
6	6 % KM + 3 % M	91,5	0,62	0,08	1,19	0,91	0,48	0,01	0,09	0,06	46,7	7,9	15,3	16,9
7	2 % KS + 3 % M	92,2	0,56	0,07	1,20	0,35	0,14	0,01	0,09	0,05	47,0	6,4	15,6	17,2
8	FS ohne Z	92,8	0,98	0,14	1,20	0,40	0,10	0,04	0,10	0,11	46,1	6,3	15,4	16,8
9	FS + 3 % M	92,6	0,87	0,12	1,24	0,36	0,08	0,03	0,09	0,12	47,3	7,7	15,7	17,2
10	10 % KÖ	93,3	0,50	0,06	1,22	0,28	0,10	0,01	0,08	0,04	46,5	5,5	16,0	17,3

Zuschläge (Z); Melasse (M); Kalkmehl (KM); Kalkbrechsand (KS); Strohfaserstoff (FS); Kleinkörner (KÖ)

Gehalte an Metallen bzw. Schwermetallen (i. d. TS) der Strohpellet-Varianten

Variante	Beschreibung	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Al mg/kg	Zn mg/kg	As mg/kg	Cd mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Ba mg/kg	Cr mg/kg	Co mg/kg	Mo mg/kg	Ni mg/kg
1	ohne Z	3,1	596,8	28,3	219,4	16,3	0,3	0,1	0,01	1,7	49,2	2,5	0,2	1,0	0,9
2	3 % M	1,9	314,7	25,7	182,6	11,2	0,2	0,1	0,01	1,6	52,5	2,0	0,1	1,0	0,4
3	3 % S	4,3	510,9	88,5	412,5	30,2	0,6	0,3	<0,01	21,4	31,8	3,1	0,2	0,7	1,4
4	2 % KM	2,1	443,4	107,7	258,9	22,4	0,8	0,3	0,01	31,7	53,8	1,1	0,2	0,8	0,4
5	4 % KM +3 % M	1,8	371,5	80,6	330,8	19,4	0,7	0,4	0,01	36,9	69,8	1,3	0,2	1,6	0,7
6	6 % KM + 3 % M	2,0	374,9	79,8	269,9	18,9	0,5	0,3	0,01	22,3	66,3	1,4	0,1	1,3	0,4
7	2 % KS + 3 % M	1,5	176,8	26,4	337,3	10,7	0,4	0,1	0,01	3,1	54,7	0,8	0,1	1,9	0,7
8	FS ohne Z	3,4	583,0	33,7	690,7	21,9	0,5	0,1	0,01	2,8	46,2	4,5	0,4	0,5	1,5
9	FS + 3 % M	2,3	414,7	22,6	318,6	11,4	0,2	0,1	<0,01	0,9	33,6	3,5	0,2	0,4	1,0
10	10 % KÖ	1,4	104,6	19,9	156,5	8,6	0,2	0,1	0,01	2,6	77,8	0,7	0,1	1,3	0,2

Zuschläge (Z); Melasse (M); Kalkmehl (KM); Kalkbrechsand (KS); Strohfaserstoff (FS); Kleinkörner (KÖ)

### 3.3.2 Physikalische Qualitätsparameter der Strohpellets

Wichtige Qualitätsparameter für Strohpellets stellen der Feinanteil nach der Pelletierung, das Schüttgewicht, der Energiegehalt sowie die Druck-, Abriebs- und Sturzfestigkeit dar. Sie geben Auskunft über die Lager- und Transporteigenschaften.

#### Feinanteil, Schüttdichte und Energiedichte

Nach der Pelletierung der Versuchsvarianten waren deutliche Unterschiede im Feinanteil sowie der Schüttdichte sichtbar. Dies bestätigte sich auch in den Untersuchungsergebnissen. In Tabelle 3/6 sind der Feinanteil, die Schüttdichte und die Energiegehalte der Strohpellet-Varianten sowie Vergleichsdaten von Heizöl zusammengestellt.

Feinanteil, Schüttdichte und Energiedichte der Strohpellets bzw. von Heizöl

Variante	Beschreibung	Feinanteil ( < 5 mm ) %	Schüttgewicht kg/m <sup>3</sup>	Energiegehalt (roh)	
				kWh/kg	kWh/m <sup>3</sup>
1	ohne Z	3,5	599	4,4	2629
2	3 % M	2,5	644	4,4	2806
3	3 % S	6,2	581	4,1	2401
4	2 % KM	7,3	550	4,2	2328
5	4 % KM + 3 % M	5,2	573	4,3	2453
6	6 % KM + 3 % M	12,3	414	4,3	1758
7	2 % KS + 3 % M	23,6	542	4,3	2353
8	FS ohne Z	2,6	587	4,3	2505
9	FS + 3 % M	1,5	636	4,4	2776
10	10 % KÖ	5,4	587	4,4	2603
Heizöl <sup>1)</sup> :			860	11,9	10224

Zuschläge (Z); Melasse (M); Kalkmehl (KM); Kalkbrechsand (KS); Strohfaserstoff (FS); Kleinkörner (KÖ)

1): Quelle: OBERNBERGER 1997

Bei den Strohpellet-Varianten ohne Kalkzugabe ermittelte man Schüttgewichte von ca. 580-640 kg/m<sup>3</sup>. Der Feinanteil (< 5mm) dieser Varianten lag zwischen 1,5-6,2 %. Dabei wurden durch Zugabe von 3 % Melasse zum Stroh bzw. Strohfaserstoff das Schüttgewicht um ca. 7-8 % erhöht und der Feinanteil auf 2,5-1,5 % verringert.

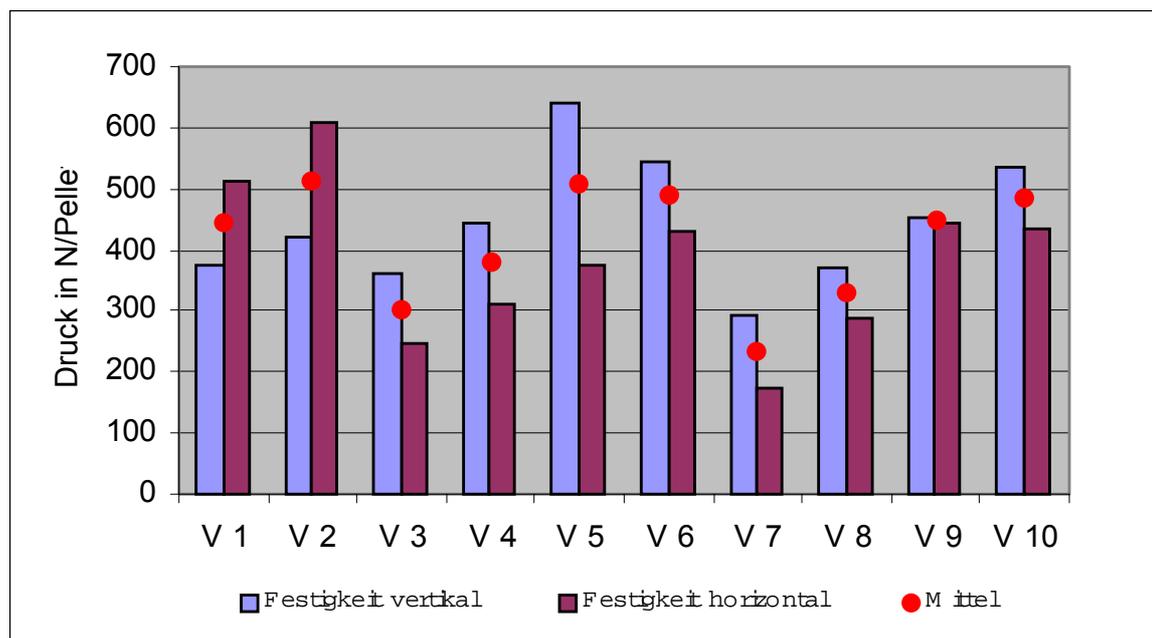
Die Zumischung von Stärke bzw. Kleinkörnern hatte keinen Einfluss auf den Feinanteil bzw. die Schüttdichte.

Durch die Zugabe von Kalk erfolgte eine Abnahme des Schüttgewichts bis auf ca. 410 kg/m<sup>3</sup> ( 6 % Kalkmehl) bei gleichzeitiger Zunahme des Feinanteils auf 12 %. Besonders schlecht war das Bindevermögen bei der Variante mit Kalkbrechsand (grobere Körnung). Der Feinanteil lag hier bei 24 %.

Der Energiegehalt (roh) der Strohpellets (Varianten 1,2,8,9,10) beträgt ca. 4,4 kWh/kg bzw. ca. 2600 kWh/m<sup>3</sup>. Um einen Liter Heizöl zu ersetzen, benötigt man ca. 2,3 kg Strohpellets.

#### Druck-, Abriebs- und Sturzfestigkeit

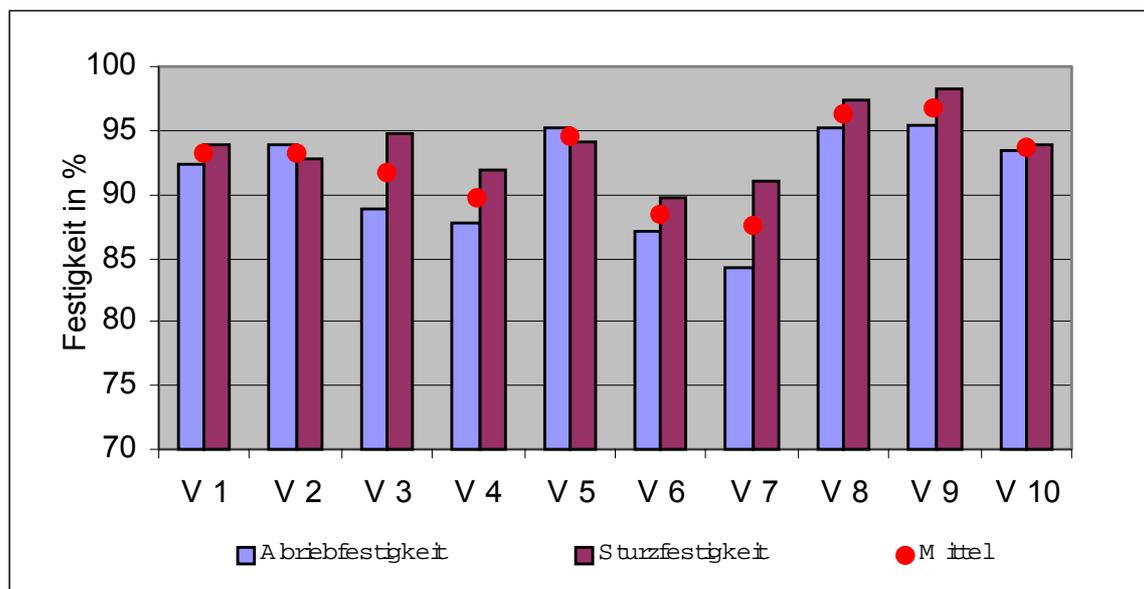
In Abbildung 3/10 sind die Werte der vertikalen und horizontalen Druckfestigkeit der einzelnen Varianten dargestellt. Im Anlage 2 können auch die Zahlenwerte der Messungen der physikalischen Parameter (Druck-, Sturz-, Abriebfestigkeit) eingesehen werden.



**Abb. 3/10:** Druckfestigkeit der Strohpellet-Varianten

Im Mittel der Messungen zur vertikalen und horizontalen Druckfestigkeit schnitten die Varianten V 1 (ohne Bindemittel), V 2 (3 % Melasse) und V 5 (4 % Feinkalk + 3 % Melasse) am besten ab. Die Variante V 7 (2 % Brechsand + 3 % Melasse) erreichte nur niedrige Druckwerte. Bereits nach dem Pelletieren konnte bei dieser Variante eine schlechtere Qualität anhand des sichtbaren überwiegenden Anteils an Bruchstücken und Halmspänen festgestellt werden.

Als Nächstes wurden die Abriebfestigkeit und die Sturzfestigkeit ermittelt (Abbildung 3/11). Bei den dargestellten Werten handelt es sich um den Anteil der Pelletfraktionen > 8 mm nach der Sturzbeanspruchung von 1 kg Pellets pro Variante.



**Abb. 3/11:** Abrieb- und Sturzfestigkeit der Strohpellet-Varianten

Eine mindere Abriebfestigkeit von ca. 84 – 88 % wiesen fast alle Varianten mit Zumischung von Dolomitmalk (V 4 bis V 7) auf. Der Abrieb- bzw. Sturzverlust nach der Beanspruchung lag im Mittel dieser Varianten bei ca. 10 - 12 %. Bei der Variante 7 (2 % Kalkbrechsand) erfasste man einen Abrieb von ca. 16 %. Aus dem ermittelten Feinanteil von 24 % und dem gemessenen Abrieb bei dieser Variante folgt, dass man bei einer Beanspruchung dieser Pellets, z.B. durch den Transport und das Entladen, ein Gesamtfineanteil von 40 % zu erwarten ist.

Eine hohe Abriebfestigkeit mit einem Abrieb von < 5 % konnte bei der Variante V 5 (4 % Feinkalk + 3 % Melasse) und den beiden Varianten mit „entstaubtem“ Stroh (V 8, V 9) festgestellt werden. In der österreichischen Norm für Holzpellets ÖNORM M 7135 wird eine Abriebfestigkeit mit einem Abrieb  $\leq 2,3$  % vorgeschrieben. Diese Festigkeit konnte von keiner der im Versuch hergestellten Strohpellet-Varianten erreicht werden.

### 3.3.3 Ascheschmelzverhalten der Strohpelletaschen

Um Aussagen zum Abbrandverhalten treffen zu können, wurde das Ascheschmelzverhalten geprüft. Bei der Strohverbrennung stellt der niedrige Ascheschmelzpunkt ein Problem dar, da dieser zur Verschlackung des Kessels führt. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass der niedrige Ascheschmelzpunkt vor allem durch den hohen Kaliumgehalt im Erntegut bedingt ist, während z.B. Kalzium den Ascheschmelzpunkt senkt (OBERNBERGER 1997; HARTMANN 2000). Im Versuch wurde den Varianten V 4 bis V 7 Dolomitmalk in unterschiedlichen Anteilen und Körnungen beigemischt, mit dem Ziel, eine Erhöhung des Ascheschmelzpunktes zu erreichen.

In Tabelle 3/7 sind die ermittelten Sinter-, Erweichungs-, Schmelz- und Fließpunkte aller Varianten zusammengestellt. Während der Bestimmung des Ascheschmelzverhaltens mittels Erhitzungsmikroskops wurden Fotos bei 16fachen Vergrößerung aufgenommen, um die Ergebnisse zu dokumentieren (Anhang 3).

#### Ascheschmelzverhalten der Strohpellet-Varianten

Variante	Sinterpunkt ° C	Erweichungspunkt ° C	Schmelzpunkt ° C	Fließpunkt ° C
V 1	810	835	934	968
V 2	798	844	1015	1045
V 3	792	837	1056	1113
V 4	746	792	943	1024
V 5	875	917	> 1074	> 1074
V 6	781	822	> 1088	> 1088
V 7	744	806	955	1051
V 8	768	791	942	1040
V 9	771	816	933	1071
V 10	848	930	> 1178	> 1178

> : Temperatur nicht bestimmbar durch starke Gasentwicklung

Leider konnten auf Grund der großen Gasentwicklungen beim Erhitzen der Varianten V 5, V 6, V 10 der Schmelz- und Fließpunkt nicht genau ermittelt werden. Bei diesen Varianten wurden die höchsten Schmelzpunkt-Temperaturen erreicht. Die Prüfung der Varianten mit Kalkzusatz (V 4 bis V 7) zeigt nur bei den Varianten V 5 (4 % Feinkalk + 3 % Melasse) und V 6 (6 % Feinkalk + 3 % Melasse) eine Temperaturerhöhung des Schmelz- und Fließpunktes.

Der hohe Schmelzpunkt der Variante V 4 ist nicht erklärbar, da durch die Beimengung der Kleinkörner mit geringen Kaliumgehalten theoretisch kein Temperaturanstieg auftreten dürfte.

Von HARTMANN (2000) wurden an Hand einer Datenbankabfrage von ca. 60 vorhandenen Mess- und Analyseergebnissen die folgenden Regressionsgleichungen für den Sinter-, Erweichungs- und Fließpunkt bei Getreidestroh zusammengestellt:

$$\text{Sinterpunkt (C}^\circ\text{)} = 1159 - 58,7 \cdot K + 237,9 \cdot Ca - 743,8 \cdot Mg$$

$$\text{Erweichungspunkt (C}^\circ\text{)} = 1172 - 53,9 \cdot K + 252,7 \cdot Ca - 788,4 \cdot Mg$$

$$\text{Fließpunkt (C}^\circ\text{)} = 1369 - 43,4 \cdot K + 192,79 \cdot Ca - 698 \cdot Mg$$

Auf Grund dieser Gleichungen und der vorhandenen durchschnittlichen Gehalte an Kalium, Kalzium und Magnesium in der Trockenmasse müssten die Temperaturen für den Sinter-, Erweichungs- und Fließpunkt, errechnet für die Variante V 1 (ohne Bindemittel

und Zuschlagstoffe), um ca. 270-340 °C höher sein, als ermittelt. Nach HARTMANN (2000) ist bei Weizenstroh mit Erweichungstemperaturen zwischen 900 – 950 C° zu rechnen. Dieser Wert wurde im Versuch nur von zwei Varianten erreicht. Die beobachteten Temperaturen der Varianten liegen allgemein etwas niedriger als erwartet. Als Weiteres wurden der Gehalt an Asche und die Zusammensetzung der Aschen hinsichtlich Kalium, Kalzium, Magnesium und Natrium bestimmt (Tabelle 3/9).

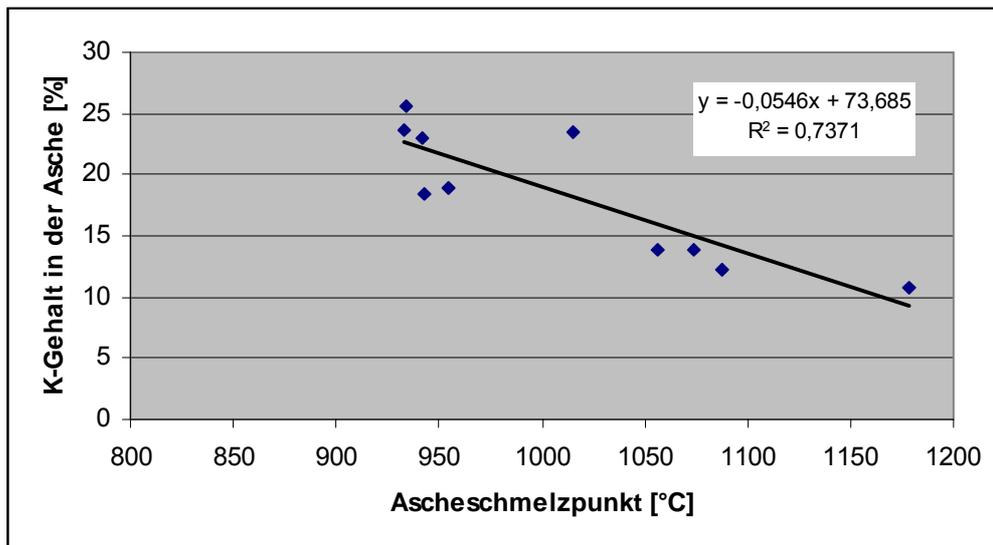
Aschegehalte und Aschenzusammensetzung (i. d. TS) der Strohpellet-Varianten

Varianten	Aschegehalt %	K %	Ca %	Mg %	Na %
V 1	4,31	25,6	4,48	1,06	0,36
V 2	5,84	23,4	3,57	0,82	0,24
V 3	8,25	13,9	6,35	1,32	0,88
V 4	5,29	18,5	6,46	2,61	0,19
V 5	8,95	13,9	16,10	8,86	0,12
V 6	9,18	12,3	17,00	9,29	0,11
V 7	5,17	18,9	4,03	1,34	0,21
V 8	5,40	23,0	6,39	1,15	0,77
V 9	5,44	23,6	6,39	1,19	0,72
V 10	12,49	10,8	15,30	8,36	0,11

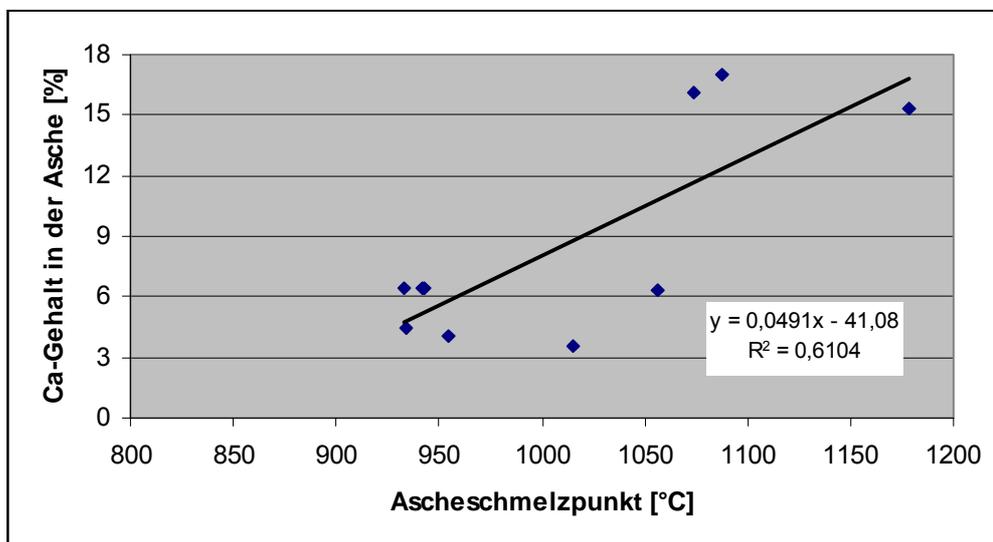
Die Analyseergebnisse zeigen deutlich, dass eine andere Zumischung der Bindemittel und Zuschlagstoffe erfolgte, als geplant war. Zum Beispiel weist die Variante V 4 einen höheren Aschegehalt auf, als theoretisch an Hand der Aschegehalte der Ausgangsstoffe möglich ist. Ähnlich verhält es sich bei den Gehaltsangaben für Kalium, Kalzium, Magnesium und Natrium. Die Analyseergebnisse deuten darauf hin, dass es sich bei den Varianten V 10, V 5 und V 6 um Varianten mit gleichem Zuschlagstoff (Dolomitkalk) handelt.

In den Abbildungen 3/12 und 3/13 ist der Zusammenhang zwischen den Gehalten an Kalium bzw. Chlor und dem Ascheschmelzpunkt dargestellt. Durch eine Zunahme der Kaliumgehalte in der Asche nimmt der Schmelzpunkt ab. Der Gehalt an Kalzium führt zu einer Erhöhung der Schmelztemperatur.

Derzeit finden weitere Untersuchungen zur Wirkung von Dolomitkalk auf das Ascheschmelzverhalten statt. Die Ergebnisse liegen noch nicht vor.



**Abb. 3/12:** Zusammenhang zwischen den Kaliumgehalten in den Aschen der Strohpellet-Varianten und dem Ascheschmelzpunkt



**Abb. 3/13:** Zusammenhang Zwischen den Kalziumgehalten in den Aschen der Strohpellet-Varianten und dem Ascheschmelzpunkt

Bei den Gehalten an Magnesium stellt sich ein ähnlicher Zusammenhang wie bei Kalzium dar, da mit Kalkzugabe auch der Gehalt an Magnesium erhöht wurde. HARTMANN 2000 stellte in seinen Untersuchungen fest, das Magnesium, wie Kalium, zur Abnahme des Ascheschmelzpunktes führt.

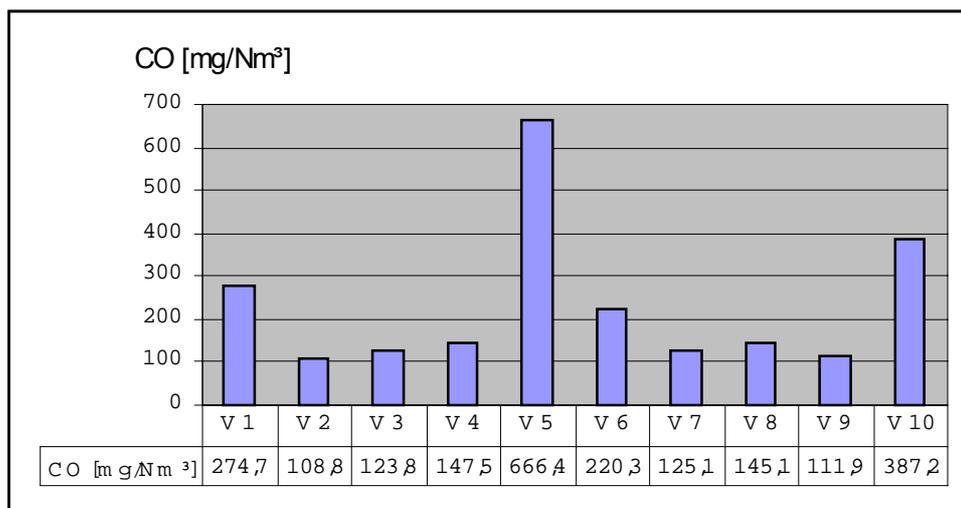
### 3.3.4 Ergebnisse der Abbrandversuche

Die Verbrennung der Strohpellets sowie die Erfassung der Emissionen führte das Institut für Luft – und Kältetechnik gGmbH in Dresden durch. Im folgenden Abschnitt werden die Emissionen bezogen auf 13 % Sauerstoff nach 1. BImSchV und die erreichten Kesselwirkungsgrade dargestellt. Der detaillierte Prüfbericht kann in der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Referat Nachwachsende Rohstoffe eingesehen werden.

#### Kohlenmonoxid-Emissionen:

Der gesetzliche Grenzwert für die Emissionen an Kohlenmonoxid nach 1.BImSchV liegt bei 4 g CO/Nm<sup>3</sup>. Dieser Grenzwert wurde in den Verbrennungsversuchen von allen Strohpellet-Varianten unterschritten (Abbildung 3/14).

Für eine Förderung der Heizanlage durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) müssen die Emissionen bei Volllast unter 250 mg/Nm<sup>3</sup> liegen. Die Varianten V1 (ohne Zuschläge), V5 (2% Kalkmehl) und die Variante V10 (10 % Kleinkörner) halten diesen Grenzwert nicht ein.

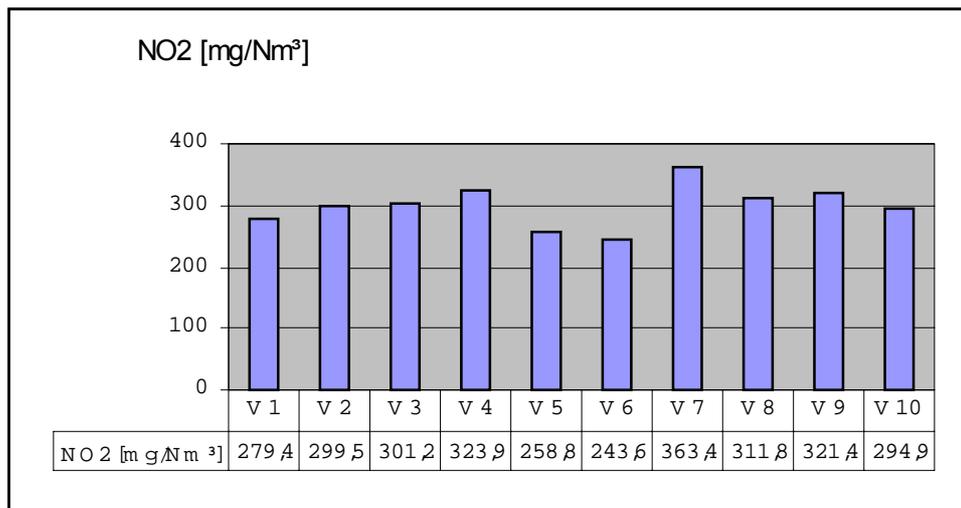


**Abb. 3/14:** CO-Emissionen bei der Verbrennung der Strohpellet-Varianten

#### Stickoxid-Emissionen:

Die Stickoxidemissionen lagen zwischen 250 und 360 mg/Nm<sup>3</sup> (Abbildung 3/15). Ein gesetzlicher Grenzwert wird bei dieser Anlagengröße nicht angegeben (1. BImSchV). Die Emissionen bewegten sich im „Normalbereich“. LAUNHARDT et al. 2000 erfassten in Ihren Versuchen mit Stroh bzw. Ganzpflanzen 332-478 mg NO<sub>x</sub> /m<sup>3</sup>.

Die geringen Unterschiede in der Höhe der Emissionen korrelieren nicht mit den Gehalten an Stickstoff im Brennstoff.

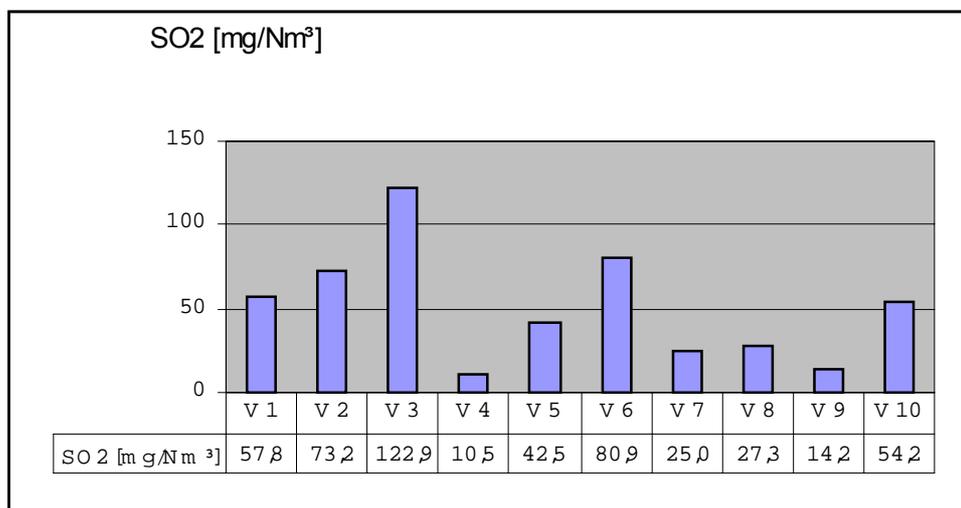


**Abb. 3/15:** NO<sub>x</sub>-Emissionen bei der Verbrennung der Strohpellet-Varianten

Schwefeloxid-Emissionen:

Bei der Verbrennung der Strohpellet-Varianten wurden Emissionen von ca. 10 –120 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> gemessen. Diese Emissionen schwanken zwischen den verschiedenen Strohpellet-Varianten stark.

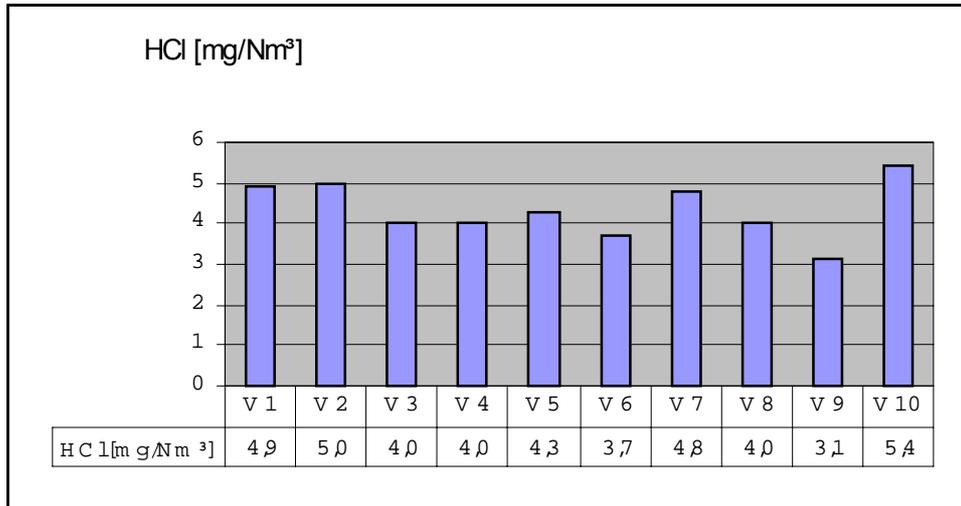
Bei Großanlagen wurden bei der Verbrennung SO<sub>x</sub>-Emissionen von ca. 64-227 mg/m<sup>3</sup> gemessen (LAUNHARDT et al. 2000).



**Abb. 3/16:** SO<sub>x</sub>-Emissionen bei der Verbrennung der Strohpellet-Varianten

Salzsäure-Emissionen:

Auf Grund der ungewöhnlich niedrigen Gehalte an Chlor in den Brennstoffen von 0,01-0,15 % i.d. TS waren auch die HCl-Emissionen beim Abbrand mit kleiner 6 mg/Nm<sup>3</sup> gering. Bei vergleichbaren Verbrennungsversuchen in Kleinfeuerungsanlagen (50 kW FWL) mit Stroh und Ganzpflanzen erfasste man 37-59 mg/m<sup>3</sup> (LAUNHARDT et. al. 2000). Nach 1. BImSchV ist kein Grenzwert festgelegt.

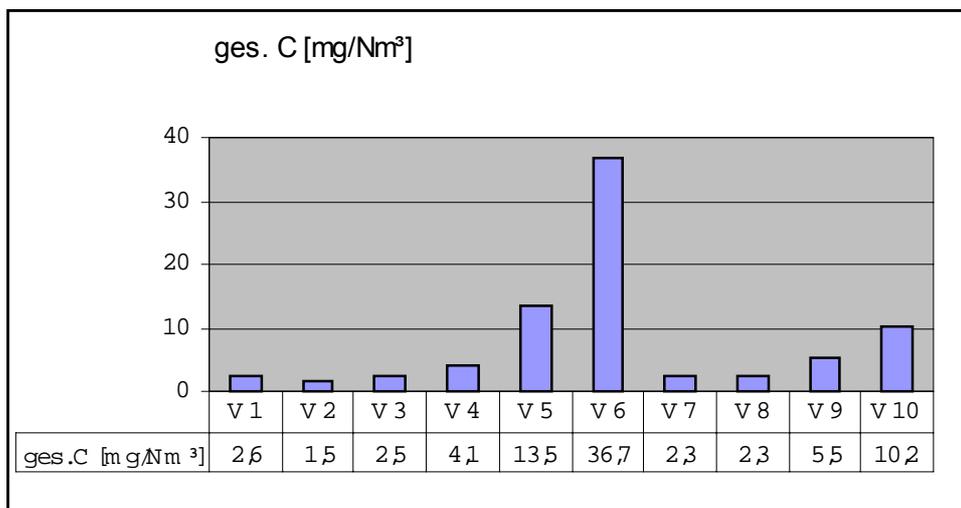


**Abb. 3/17:** HCl- Emissionen bei der Verbrennung der Strohpellet-Varianten

Emission an Gesamt Kohlenstoff:

Die Emissionen an Ges.-C, erfasst als C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, schwankten zwischen den Strohpellet-Varianten stark. Die Varianten V5 (4 % Kalkmehl), V6 (6 % Kalkmehl) und die Variante V 10 (10 % Kleinkörner) emittierten im Abbrand über 10 mg Ges.-C/Nm<sup>3</sup>.

Ein gesetzlicher Grenzwert wird für diese Emissionen nicht vorgegeben.



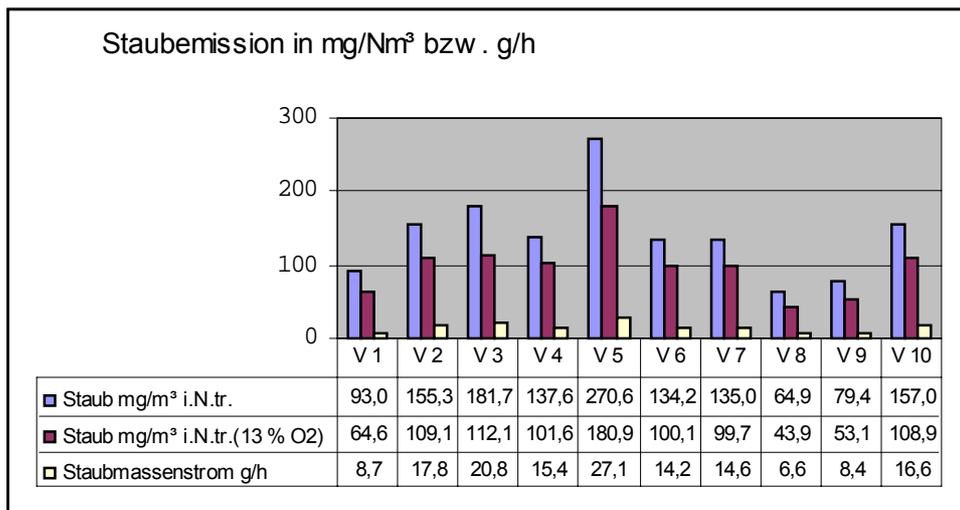
**Abb. 3/18:** Gesamt-Kohlenstoff (org.) bei der Verbrennung der Strohpellet-Varianten

Staubemissionen:

Nach 1.BImSchV liegt der gesetzliche Grenzwert für die staubförmigen Emissionen im Rauchgas bei 150 mg/Nm<sup>3</sup>. Die starke Begrenzung der Staubemissionen stellt für die Verbrennung von halmgutartigen Biomassen das größte Problem dar.

In den Abbrandversuchen lagen die Staubemissionen mit Ausnahme der Variante V5 (4 % Kalkmehl) deutlich unter dem Grenzwert (Abbildung 3/19).

Die Varianten mit entstaubtem Strohfaserstoff zeigten eine drastische Reduzierung der Emissionen auf ca. 50 mg/Nm<sup>3</sup>. Der Staubmassenstrom wurde in etwa halbiert.



**Abb. 3/19:** Staubemissionen bei der Verbrennung der Strohpellet-Varianten

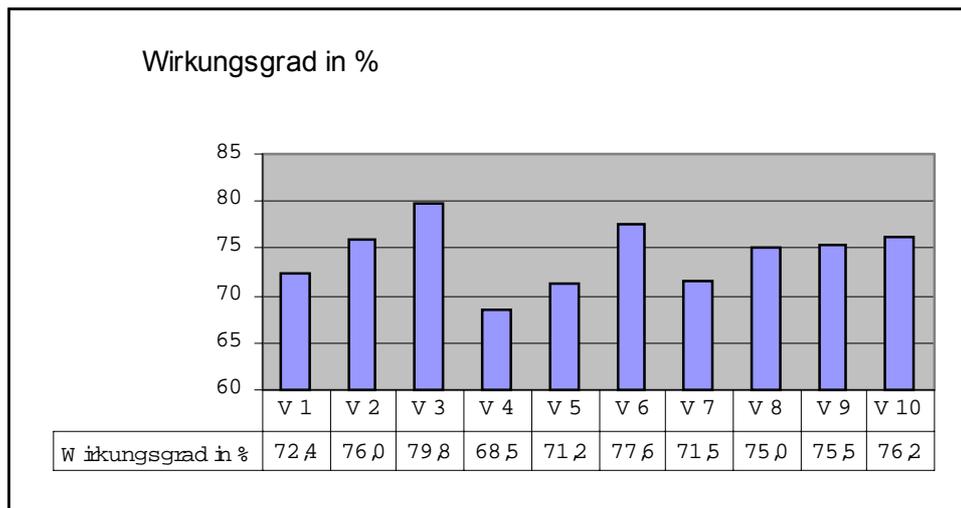
Kesselwirkungsgrad:

Bei der Verbrennung der Strohpellet-Varianten konnten nur Wirkungsgrade von ca. 71-80 % erreicht werden (Abbildung 3/20). Für eine Förderung durch die Bundesanstalt für Forschung und Anlagen (BAFA) müssen mindestens 85 % Wirkungsgrad erreicht werden.

Die Problematik des Einsatzes des Testkessels für die Strohverbrennung zeigt sich besonders deutlich in den Verbrennungsrückständen (Tabelle 3/10).

Verbrennungsrückstände und Glühverluste:

Variante	Beschreibung	Verbrennungsrückstand [%]	Glühverlust [%]
1	ohne Z	72,66	27,34
2	3 % M	67,02	32,08
3	3 % S	58,25	41,75
4	2 % KM	46,90	53,10
5	4 % KM +3 % M	68,17	31,83
6	6 % KM + 3 % M	64,01	35,99
7	2 % KS + 3 % M	70,72	29,88
8	FS ohne Z	58,60	41,40



**Abb. 3/20:** Kesselwirkungsgrade bei der Verbrennung der Strohpellet-Varianten



**Abb. 3/21:** links: aufgehäuften Verbrennungsaschen; rechts: Schlackebrocken (ILK)

Ursache für die niedrigen Wirkungsgrade sowie den hohen Anteil an nichtverbrannten Strohpellet-Rückständen ist die ungenügende Luftzufuhr im Muldenbereich. Der Brennstoff bildet hier eine zähe Sinterablagerung, welche nicht völlig ausbrennt. Der Verbrennungsraum wird dadurch verkleinert und die Verbrennung des weiterhin eingeschobenen (Stocker) Brennstoffes behindert. Die Wasserkühlung der Brenmulde ist nicht ausreichend, um das Schmelz- und Sinterverhalten der Aschen zu unterbinden. Es bildeten sich teilweise Schlackebrocken größer 10 cm, welche den Ascheschieber blockierten (Abbildungen 3/21).

### 3.3.5 Verbrennungsaschen

Die Aschen der Varianten V1 (ohne Zuschläge), V5 (4 % Kalkmehl) und V6 (6 % Kalkmehl) wurden auf ihren Gehalt an Inhaltsstoffen untersucht (Tabelle 3/11).

Analyse der Verbrennungsaschen:

		V1	V5	V6	Vorschlag, Grenzwert Düngemittelverordnung mg/kg TM
TS	%	95,3	96,0	97,7	
Gesamtstickstoff	%	0,28	0,52	0,37	
Gesamtphosphat	%	3,79	1,56	1,35	
Gesamtkaliumoxid	%	20,9	11,9	9,70	
Gesamtmagnesium	%	1,37	2,2	4,08	
Chlorid	mg/100 g	66	30	18	
Natrium	mg/kg	0,11	0,03	0,028	
Schwefel	mg/kg	0,65	0,31	0,34	
Arsen	mg/kg	6,99	4,94	6,18	<b>40</b>
Thallium	mg/kg	0,01	0,01	0,01	<b>1,0</b>
Blei	mg/kg	5,97	28,9	9,56	<b>150</b>
Cadmium	mg/kg	0,07	0,02	0,02	<b>1,5</b>
Kupfer	mg/kg	40,7	18,6	20,6	<b>70</b>
Chrom	mg/kg	18,1	9,45	7,84	-
Nickel	mg/kg	7,77	1,41	3,28	<b>80</b>
Quecksilber	mg/kg	0,02	0,01	0,01	<b>1,0</b>
Zink	mg/kg	78,5	41	26,8	<b>1000</b>

Die Verwendung von Strohaschen ist bislang nicht in der Düngemittelverordnung geregelt. Diese Asche dürfen nicht in Verkehr gebracht werden.

Gegenwärtig wird die Düngemittelverordnung novelliert. Es ist vorgesehen, dass Aschen aus der Verbrennung pflanzlicher Stoffe (keine Zyklon- und Feinflugaschen) Ausgangsstoffe für den Düngemitteltyp „Kalkdünger“ sowie für Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate oder Pflanzenhilfsmittel sind. Auch eine Zugabe der Aschen zu organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln ist geplant.

Voraussetzung ist die Einhaltung der Schwermetallgrenzwerte. Zusätzlich wird ein Grenzwert für Chrom (VI) von 2 mg/kg TM eingeführt. Es ist beabsichtigt, Holzaschen aus der Verbrennung einheimischer Hölzer von den Grenzwertregelungen auszuschließen, wenn durch deutliche Kennzeichnung auf ihre ausschließliche Rückführung auf forstwirtschaftliche Standorte hingewiesen wird (DITTRICH 2002).

Die vorgeschlagenen Grenzwerte werden von den untersuchten Aschen eingehalten. Eine höhere Einbindung von Chlor oder Schwefel in den Aschen der Kalkvarianten konnte nicht festgestellt werden.

### 3.4 Schlussfolgerungen

Das Pelletieren von Getreidestroh an der Kollergang-Flachmatritzenpresse mit einem Bohrungsdurchmesser von 8 mm bereitete auf Grund der festen Struktur des Strohes, im Gegensatz zu dem sonst zu verarbeiteten Luzernegrünger, sowie dem versuchsbedingten Abschalten und Einstellen der Anlage zwischen den Varianten Schwierigkeiten. Die Matrize wurde teilweise festgesetzt und die Bohrungen mussten einzeln freigelegt werden. Ein kontinuierliches Arbeiten der Pelletieranlage mit spezifischer Regelung sowie der Einsatz von Dampferzeugern könnten das Pelletierverfahren erleichtern.

Durch Zumischen der Bindemittel Melasse, Stärke, Getreidekleinkörnern konnte ein reibungsloserer Durchsatz der Strohpellets erreicht werden. Einen positiven Einfluss auf die physikalische Pelletqualität hatte die Zugabe von 3 % Melasse und das Beimischen von 10 % Kleinkörnern. Die Druck-, Sturz- und Abriebfestigkeit wurden durch diese Bindemittel erhöht.

Die Verwendung von „entstaubtem“ Stroh erleichterte das Pelletieren auf Grund der durch den Entstaubungsprozess bewirkten weicheren Struktur des Häckselgutes. Es konnte bei diesen Varianten die höchste Sturz- und Abriebfestigkeit ermittelt werden. Im Abbrand wurde der Vorteil einer Zerfaserung und anschließender Entstaubung des Strohs ebenfalls deutlich. Die Staubemissionen konnten drastisch reduziert werden und lagen bei 44 – 54 mg/Nm<sup>3</sup>, bezogen auf 13 % O<sub>2</sub>.

Durch den Einsatz von Dolomitkalk wird das Pelletieren erschwert. Die Zumischung von 2 und 6 % Feinkalk bzw. 2 % Brechsand bewirkt eine Abnahme der Sturz- und Abriebfestigkeit, während eine gute Festigkeit durch den Einsatz von 4 % Feinkalk erzielt wurde. Das zusätzliche Beimischen von 3 % Melasse zu diesen Varianten hatte keinen nachweisbaren positiven Einfluss auf die Festigkeit der Pellets. Es sollte jedoch geprüft werden, ob die Pelletqualität durch Steigerung des Melasseanteils auf > 5 % verbessert werden kann.

Bei den Varianten mit 15 – 17 % Ca und 8 – 9 % Mg in der Asche (entspricht theoretisch bei 100 %-iger Wiederfindungsrate in der Asche einem Gehalt von 7 – 9 % Dolomitkalk in den Strohpellets) wurde ein deutlich höherer Ascheschmelzpunkt festgestellt, als bei den Varianten mit geringeren Anteilen an Ca und Mg in der Asche. Daraus folgt, dass man mit Zumischung von Dolomitkalk bei der Strohpelletherstellung das Abbrandverhalten positiv beeinflussen kann, jedoch wird dadurch die physikalische Qualität hinsichtlich Sturz- und Abriebfestigkeit verschlechtert.

Aus den Versuchsergebnissen ist ersichtlich, dass die vorgegebenen prozentualen Anteile der Zumischungen an Kleinkörnern und Dolomitkalk auf Grund der durchsatzstarken Pelletieranlage und der reparaturbedingten Unterbrechungen nicht eingehalten wurden.

Durch das Pelletieren kann aus Stroh ein qualitativ hochwertiger Brennstoff hergestellt werden, welcher den wirtschaftlichen Transport, die platzsparende Lagerung, eine gute Dosierfähigkeit und ein bequemes sauberes Handling ermöglicht sowie eine hohe Energiedichte aufweist.

In den Untersuchungen zeigte sich, dass sich durch verschiedene Beimengungen beim Pelletieren sehr unterschiedliche Qualitäten der Pellets ergeben. Zukünftig wird auch bei Strohpellets, ähnlich wie für Presslinge, aus Holz eine Kennzeichnung der Qualität für den Brennstoffhandel von Bedeutung sein. Dabei sollten der Feinanteil, die Abriebfestigkeit sowie das Schüttgewicht und die Energiedichte die wichtigsten Parameter darstellen. Von den im Versuch geprüften Strohpellet-Varianten sind daher die Variante ohne Zusätze, die Variante mit Melasse und besonders die Pellets aus Strohfaserstoff empfehlenswert. Derzeit werden Versuche zur Verbrennung der hergestellten Strohpellets in einem Pellet-Heizkessel der Fa. Ferro, und zur Vergasung bei Fa. KieferEnergieSysteme GmbH sowie detaillierte Untersuchungen zum Einfluss von Kalkbeimischungen bei der Strohpelletierung auf den Ascheschmelzpunkt durchgeführt.

## 4 Handlungsbedarf

Im Projektzeitraum 6/2001 bis 12/2002 wurden detaillierte Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Anbaumaßnahmen sowie der Aufbereitung von Stroh bzw. Getreideganzpflanzen hinsichtlich ihrer Verwendung als Brennstoffe durchgeführt.

In Feldversuchen fand eine zweijährige Datenerfassung statt. Das ist auf Grund der hohen Jahresschwankungen in den Versuchsdaten für eine statistisch gesicherte Aussage nicht ausreichend. Es können lediglich Tendenzen beobachtet werden. Damit wird empfohlen, die Versuche zu spezifizieren und weiterzuführen.

Das Pelletieren von Getreidestroh mit unterschiedlichen Bindemitteln und Zuschlagstoffen sowie die Prüfung der physikalischen Qualität und des Ascheschmelzverhaltens konnten erfolgreich abgeschlossen werden. Das Pelletieren von Stroh stellt ein sehr aussichtreiches Verfahren dar, um das enorme bestehende potential energetisch zu nutzen, da die Brennstoffeigenschaften, wie z.B. Stückigkeit, Dosierfähigkeit, Lagerraumbedarf dadurch enorm verbessert werden. Auch das Beimischen von Zuschlägen zur Verbesserung der Festigkeit oder des Ascheschmelzverhaltens werden von Experten kontrovers diskutiert. Hier zeigt sich, dass noch ein großer Forschungsbedarf besteht. Daraus folgt, dass auch hier weitere Untersuchungen zur Pelletierung, wie z.B. zur optimalen Pelletgröße, zur Verbesserung der Qualität durch einen Wasserdampf-Gaserzeuger beim Pelletieren, dem Einfluss von K, Mg, Ca auf das Ascheerweichungsverhalten und zu den Kosten verschiedener Verfahren durchgeführt werden sollten.

## 5 Literaturquellen

- Akkan, Z., Flaig, H., Ballschmiter, K. (2002): Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel in der Umwelt. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Kaltschmitt, M., Hartmann, H. (Hrsg. 2001): Energie aus Biomasse, Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag Berlin
- Launhardt, T. et al. (2000): Verbrennungsversuche mit naturbelassenen biogenen Festbrennstoffen in einer Kleinfeuerungsanlage. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München
- Heidenreich, R. (2002): Bericht zu den Abbrandversuchen des Instituts für Luft- und Kältetechnik gGmbH Dresden
- Dittrich, B. (2000): Prüfbericht zur Analyse der Strohpellet-Proben
- FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg. 2000): Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow
- Hartmann, H. et al. (2000): Naturbelassenen biogene Festbrennstoffe-umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. Abschlussbericht. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), München
- Kicherer, A. (1996): Biomasseverbrennung in Staubfeuerungen –Technische Möglichkeiten und Schadstoffemissionen. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 6 Nr. 344. VDI Verlag, Düsseldorf
- LfL (1997): Ordnungsgemäßer Einsatz von Düngern entsprechend der Düngerverordnung. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.), Dresden
- Beese, G., Böhme, M. (2002): Getreide. In: Sorteninformation 2001. Ergebnisse der Landessortenversuche 1999-2001, LfL (Hrsg.) 10. Auflage. Nossen
- Obernberger, I. (1997): Beurteilung der Umweltverträglichkeit des Einsatzes von Einjahresganzpflanzen und Stroh zur Fernwärmeerzeugung, Jahresbericht. Institut für Verfahrenstechnik, Technische Universität Graz, Graz,

- Röhrich, Chr., Twistel, G. (2000): Erfassung des Potentials an land- und forstwirtschaftlicher Biomasse zur stofflichen und energetischen Nutzung für unterschiedliche Verwaltungseinheiten des Freistaates Sachsen. Schriftenreihe der LfL 5 (2)
- TA Luft (1986): Vorschriften zur Reinhaltung der Luft. Verlag Franz Rehm, München
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg. 2001): 7. Thüringer Bioenergetag „Der Landwirt als Energiewirt“, Dornburg. Schriftenreihe der TLL (10)
- Weiss, V. (2001): Derzeitige und künftig zu erwartende emissionsbegrenzende Anforderungen der TA Luft an Feuerungsanlagen für Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe. In: Gülzower Fachgespräche: Bd. 17, S. 17-35

## **6 Anlagen**

**Messwerte der physikalischen Parameter (Druck-, Sturz-, Abriebfestigkeit) der Strohpellet-Varianten**

<b>Variante</b>	<b>Druckfestigkeit vertikal N/Pellets</b>	<b>Druckfestigkeit horizontal N/Pellets</b>	<b>Mittel N/Pellets</b>
V 1	374	513	444
V 2	422	607	515
V 3	360	247	304
V 4	445	313	379
V 5	640	374	507
V 6	546	429	488
V 7	294	176	235
V 8	372	287	330
V 9	451	444	448
V 10	535	433	484
<b>Variante</b>	<b>Abriebfestigkeit g</b>	<b>Sturzfestigkeit g</b>	<b>Mittel g</b>
V 1	924	939	931
V 2	939	927	933
V 3	888	948	918
V 4	877	919	898
V 5	951	941	946
V 6	870	897	884
V 7	843	910	876
V 8	953	974	963
V 9	954	982	968
V 10	933	938	936

## **Fotodokumentation des Ascheschmelzverhalten der Strohpelletaschen**

Die Bestimmung des Ascheschmelzverhaltens erfolgte durch das VTI Thüringer Verfahrenstechnische Institut für Umwelt und Energie e.V. mittels Erhitzungsmikroskops (Carl-Zeiss GmbH Jena, Typ Stemi SV 6).

Die Aufnahme der Fotos bei 16facher Vergrößerung wurden während des Erhitzens der Aschen durchgeführt.

VTI-Anlage 7: Varianten 1 und 2

VTI-Anlage 8: Varianten 3 und 4

VTI-Anlage 9: Varianten 5 und 6

VTI-Anlage 10: Varianten 7 und 8

VTI-Anlage 11: Varianten 9 und 10

## Daten der Emissionsmessungen