

Hybridroggen-Ganzpflanzen- silage als Biogassubstrat



Hybridroggen-Ganzpflanzensilage zur Biogasproduktion – eine Anbaualternative zum Mais?

Prüfung des Ganzpflanzenertrags von Hybridroggen bei variierten Ernteterminen
im Vergleich zum Ertragsniveau von Mais und Optimierung der Siliereignung von Hybridroggen
bei einem TS-Gehalt bis zu 70 % mittels Bioextrusion

Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben B68

Projektlaufzeit:	Vegetationsjahr 2011/2012
Projektleitung:	Dr. Kerstin Jäkel
Projektbearbeiter:	Jana Grunewald (wissenschaftliche Bearbeitung) Dr. Kerstin Jäkel
Feldversuchstechnik:	Stefan Schröder Helga Scharf, BioChem agrar GmbH Gerichshain Markus Dehne, Versuchsstation Nossen Sylvia Neuber, Versuchsstation Christgrün
Inhaltsstoffanalytik:	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL)
Bioextrusion und Gasbestimmung:	LEHMANN Maschinenbau GmbH, Pöhl Labor „Biogas Oberfranken“, Hof

1	Einleitung	8
1.1	Winterroggen als Energiepflanze	9
1.2	Bioextrusion® (LEHMANN Maschinenbau GmbH)	10
2	Methodik	11
2.1	Gebietskulisse und Standortcharakteristik	11
2.2	Witterungsverlauf	14
2.3	Versuchsdurchführung	17
2.3.1	Versuchsaufbau	17
2.3.2	Anbautechnik	17
2.3.3	Datenerhebung	21
2.3.4	Statistische Bewertungsgrundlagen	23
2.3.4.1	Signifikanzprüfung	23
2.3.4.2	Zusammenhänge zwischen Parametern und Korrelationen/Regressionen	24
3	Ergebnisse	25
3.1	Ertragspotenzial	25
3.2	Gasbildungspotenzial	28
3.2.1	Inhaltsstoffcharakteristik	28
3.2.2	Silagequalität und Gaserträge	30
3.3	Praxisextruder	37
4	Diskussion und Schlussfolgerungen	38
5	Zusammenfassung	40
6	Literaturverzeichnis	42
	Anhang	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Doppelschnecken-Bioextruder [®] der Firma LEHMANN Maschinenbau GmbH zum thermo-mechanischen Aufschluss von Biomasse; oben: Laborextruder mit 3 kW-E-Motor; unten: Praxisextruder MSZ B 55e mit 55 kW-E-Motor	11
Abbildung 2:	Standorthauptgruppen und landwirtschaftliche Agrarstrukturgebiete (ASG) Sachsens (Quelle: LfULG, Referat 22)	12
Abbildung 3:	Monatliche Mittel der Lufttemperatur [° C] in 2 m Höhe der Versuchsperioden 2010/2011 und 2011/2012; Erläuterungen siehe Abbildung 4	15
Abbildung 4:	Monatliche Niederschlagssummen [mm] der Versuchsperioden 2010/2011 und 2011/2012. Werte der Wetterstationen Spröda (für Trossin), Nossen und Christgrün des LfULG. Vergleichend dazu 30-jährige Monatsmittel der Jahre 1961–1990 aus Datenaufzeichnungen des DWD (Trossin: Mittelwerte von Torgau und Oschatz, Nossen: Mittelwerte von Döbeln und Freiberg, Christgrün: Werte von Plauen). Tr = Trossin, No = Nossen, Chr = Christgrün ..	15
Abbildung 5:	Versuchsanlage des Hybridroggenanbaus – Lateinisches Quadrat. Ernte des Hybridroggens zu vier Ernteterminen (I–IV) in je vier Wiederholungen	17
Abbildung 6:	Folienschlauch-Silierung des gehäckselten Hybridroggens in Christgrün	22
Abbildung 7:	Laborextruder (Firma LEHMANN Maschinenbau GmbH [®]) mit einer Leistung von 3 kW	23
Abbildung 8:	Frischmasse-Ertrag (in dt/ha) von Hybridroggen zu vier verschiedenen Erntezeitpunkten (optimaler Erntetermin ab BBCH 75/77 mit TS-Gehalten um 35 % [I] – nicht mehr für Biogasproduktion geeignete TS-Gehalte um 50–70 % [IV]) an den drei Versuchsstandorten Trossin (D-Standort, gelb), Nossen (Lössstandort, braun) und Christgrün (V-Standort, grün) im Vergleich zu Mais bei optimaler Ernte (gepunktet). * Ernteausschlag durch Wildschweine. Vergleichswert aus Ergebnissen der Landessortenversuche – FM-Mittelwert der Sorte Torres der Jahre 2011 und 2013 bei einem TS-Gehalt von 35 % (BÖHME LfULG, nach Anfrage)	25
Abbildung 9:	Trockenmasse-Ertrag (in dt/ha) von Hybridroggen zu vier verschiedenen Erntezeitpunkten (optimaler Erntetermin ab BBCH 75/77 mit TS-Gehalten um 35 % [I] – nicht mehr für Biogasproduktion geeignete TS-Gehalte um 50–70 % [IV]) an den drei Versuchsstandorten Trossin (D-Standort, gelb), Nossen (Lössstandort, braun) und Christgrün (V-Standort, grün) im Vergleich zu Mais bei optimaler Ernte (gepunktet). * Ernteausschlag durch Wildschweine, Vergleichswert aus Ergebnissen der Landessortenversuche – TM-Mittelwert der Sorte Torres der Jahre 2011 und 2013 bei einem TS-Gehalt von 35 % (BÖHME, LfULG, nach Anfrage)	27
Abbildung 10:	TS-Gehalt (in % in der FM) von Hybridroggen zu vier verschiedenen Erntezeitpunkten (optimaler Erntetermin ab BBCH 75/77 mit TS-Gehalten um 35 % [I] – nicht mehr für Biogasproduktion geeignete TS-Gehalte um 50–60 % [IV]) an den drei Versuchsstandorten Trossin (D-Standort, gelb), Nossen (Lössstandort, braun) und Christgrün (V-Standort, grün) im Vergleich zu Mais bei optimaler Ernte (gepunktet). * Ernteausschlag durch Wildschweine. Vergleichswert aus Ergebnissen der Landessortenversuche – TS-Mittelwert der Sorte Torres der Jahre 2011 und 2013 (BÖHME, LfULG, nach Anfrage)	28
Abbildung 11:	Inhaltsstoffe (Werte in % in der FM) des Hybridroggens zu vier verschiedenen Erntezeitpunkten im Vergleich zu Mais im BBCH-Stadium Milch- bis Teigreife der Standorte Trossin (2012), Nossen (2012) und Christgrün (2011, 2012). * Ernteausschlag durch Wildschweine. NfE = N-freie Extraktstoffe (leicht verdaulich)	29

- Abbildung 12: Regressionsgerade mit Angabe des Regressionskoeffizienten R^2 zur Darstellung eines möglichen linearen Zusammenhangs zwischen dem Rohfaser- bzw. Ligningehalt [%] im Erntegut von Hybridroggen zum 1. und 4. Erntetermin (HR I und IV) und der Methanausbeute [$\text{Nm}^3/\text{t oTS}$] (SPSS 17.0) unter Ausschluss von Ausreißern ($n = 2$)30
- Abbildung 13: Kurvenverläufe der Biogasproduktion [$\text{Nm}^3/\text{t FM}$], bezogen auf die Frischmasse, von extrudierter im Vergleich zu unbehandelter Silage von Hybridroggen des 1. und 4. Erntetermins und Mais zu optimaler Ernte der Versuchsstandorte Trossin (D), Nossen (Löss) und Christgrün (V), Versuchsjahr 2012 (Quelle: Labor Biogas Oberfranken 2013)33
- Abbildung 14: Lineare Regressionsanalyse zur Darstellung eines möglichen Zusammenhangs zwischen der Behandlung einer Silage (1 = Original-Probe, 2 = extrudiert) und der Biogas- bzw. Methanausbeute [$\text{Nm}^3/\text{t oTS}$] von Hybridroggen zum 1. (HR I) und 4. Erntetermin (HR IV) unter Einbeziehung aller Versuchsstandorte und -jahre (SPSS 17.0)34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Naturräumliche und ackerbauliche Bedingungen in den drei Standortgruppen (und fünf Agrarstrukturgebieten) Sachsens	13
Tabelle 2:	Standortcharakteristika der Versuchsstationen (Quelle: LfULG 2009)	14
Tabelle 3:	Größenangaben der Anlage- und Ernteparzellen beim Hybridroggenversuch (in m ²). D = Diluvialstandort, V = Verwitterungsstandort	17
Tabelle 4:	Pflanzenbauliche Maßnahmen beim Hybridroggen	19
Tabelle 5:	Pflanzenbauliche Maßnahmen beim Mais	20
Tabelle 6:	Erhobene Daten beim Hybridroggenversuch	21
Tabelle 7:	Deutung eines linearen Zusammenhangs zwischen zwei Parametern über den Korrelationskoeffizienten R.....	24
Tabelle 8:	Eigenschaften, Gasausbeuten und CH ₄ -Gehalte der im Jahr 2011 (Christgrün) und 2012 (Trossin, Nossen, Christgrün) gewonnenen Silagen von Hybridroggen (HR I–HR IV, 2011 nur HR I und HR IV) und Mais. Daten: LEHMANN Maschinenbau GmbH, Labor Biogas Oberfranken (Hof).....	31
Tabelle 9:	Gas-Hektarerträge [m ³ /ha] unter Einbeziehung von TM-Ertrag [dt/ha] und oTS-Gehalt [% in der FM] von Hybridroggen und Mais zu verschiedenen Erntezeitpunkten bei zwei getesteten Aufbereitungsmethoden (nicht extrudiert und extrudiert) an den Standorten Trossin (D), Nossen (Löss) und Christgrün (V) der Versuchsjahre 2011 und 2012	35
Tabelle 10:	Berechnung von Kosten und Nutzen der Bioextrusion [®] (LEHMANN Maschinenbau GmbH) am Beispiel von Hybridroggen bei 11 % mehr Ausbeute durch Extrusion, Versuchsjahr 2012 (Berechnungen von JÄKEL, LfULG)	37
Tabelle 11:	Berechnung von Kosten und Nutzen der Bioextrusion [®] (LEHMANN Maschinenbau GmbH) am Beispiel von Hybridroggen bei 20 % mehr Ausbeute durch Extrusion, ohne AK. Versuchsjahr 2012 (Berechnungen von JÄKEL, LfULG)	38

Abkürzungsverzeichnis

ADF	Säure-(Acid)Detergentien-Fasern = Lignocelullose-Komplex
ADL	Säure-(Acid)Detergentien-Lignin = Lignin
AK	Arbeitskraft
Akh	Arbeitskraftstunde
ASG	Agrarstrukturgebiet
BBCH	Monografie zur Beschreibung der Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen
CH ₄	Methan(gas)
Chr	Christgrün
D	Diluvial
DWD	Deutscher Wetterdienst
EC	Entwicklungsstadium der Pflanze
FAO	Reifezahl von Mais
FM	Frischmasse
GPS	Ganzpflanzensilage
HR	Hybridroggen
K	Kalium
Kö/m ²	Körner je Quadratmeter (Einheit der Saatstärke)
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Mg	Magnesium
Min	Minute (Zeiteinheit)
N	Stickstoff
NDF	Neutrale-Detergentien-Fasern = Gesamtheit der Strukturkohlenhydrate (Cellulose, Hemicellulose, Lignin)
NfE	N-freie Extraktstoffe
NH ₄ ⁺	Ammonium
No	Nossen
NO ₃ ⁻	Nitrat
oTS	organische Trockensubstanz
P	Phosphor
Sec	Sekunde (Zeiteinheit)
TM	Trockenmasse
Tr	Trossin
TS	Trockensubstanz
V	Verwitterung

1 Einleitung

Roggen (*Secale cereale*) ist eine in der gemäßigten Zone verbreitete Getreideart aus der Familie der Süßgräser (*Poaceae*). Er ist in Bezug auf Klima- und Bodenvoraussetzungen anspruchslos und liefert erfahrungsgemäß auch auf leichteren Böden und an kühleren Standorten noch gute Erträge. Am bedeutendsten ist in Europa der Anbau von Winterroggen.

Bei sehr zeitiger Ernte als **Grünschnittroggen** von Ende April bis Mitte Mai ist ein Anbau als Winterzwischenfrucht möglich. Dadurch können zwei Ernten pro Jahr eingefahren werden, die Flächeneffizienz kann dadurch steigen. Roggen kann auch mit frühen Winterwicken kombiniert werden, um die Vielfalt in den Beständen zu erhöhen. Bei starker Frühsommertrockenheit oder geplanter Vergärung des Roggens zu Biogas wird der Bestand ab Mitte Juni als **Ganzpflanze (GPS)** geerntet. Auch vom Bundessortenamt wird das Thema Getreide-GPS immer stärker bearbeitet. Seit fünf Jahren gibt es Wertprüfungsverfahren für Biomassesorten. Die wichtigste Verwertungsrichtung ist und bleibt aber die Nutzung als **Brotrroggen**. Die optimale Druschreife des Korns wird durchschnittlich Anfang August erreicht.

Im Erntejahr 2013 konnten in Sachsen ca. 42.800 ha Winterroggen beerntet werden. Damit stabilisierte sich die **Anbaufläche** auf einem Niveau über 40.000 ha. Bevorzugtes Anbauggebiet in Sachsen sind die diluvialen Regionen im Norden und Nordosten, die an das Hauptroggenanbauggebiet in Brandenburg angrenzen.

Seit ca. einem Jahrzehnt spielt die Landwirtschaft nicht nur eine Rolle bei der Nahrungsmittel- und Futterproduktion, sondern auch bei der **Bereitstellung und Sicherung von Energiereserven**. Eine Quelle ist Biomasse aus nachwachsenden Rohstoffen. Aber nicht jede Kulturpflanze ist als Biogassubstrat geeignet. Kriterien, wie ein hoher Trockenmasseertrag sowie günstige Silier- und Gäreigenschaften bei rentablen Deckungsbeiträgen müssen erfüllt werden. Vor allem Mais erfüllt diese Eigenschaften und kristallisiert sich somit mehr und mehr zum Haupt-Kosubstrat der Güllevergärung heraus. Äußerungen und Diskussionen über den Wunsch nach **mehr Diversität bei der Energiepflanzenproduktion** wurden durch teilweise einseitigen Maisanbau lauter. **Getreide-GPS steht mit ganz oben auf der „Alternativ-Liste“**.

Dass Roggen eine ertragsstarke Fruchtart für leichte Böden ist, ist bekannt. Aber wie sieht das Ertragsniveau auf Löss- und Verwitterungsstandorten aus? Könnte Roggen, speziell der züchterisch stark bearbeitete, leistungsstärkere Hybridroggen, eventuell den Betriebszweig der Biogaserzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen mit Mais als Haupt-Biogassubstrat entlasten bzw. zumindest das Artenspektrum vergrößern? Zu welchem Entwicklungsstadium ist Winterroggen bei Ganzpflanzennutzung ertraglich und bezüglich des Methanbildungspotenzials am stärksten? Diese Fragen stellte sich das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) in Kooperation mit der LEHMANN Maschinenbau GmbH Pöhl. Es wurde im Vegetationsjahr 2012 in den drei sächsischen Bodenräumen (Diluvial-[D], Löss- und Verwitterungs-[V]Standorte) ein Versuch zur Ertragsprüfung von Hybridroggen zu vier verschiedenen Ernteterminen im Vergleich zu Mais angelegt. Ein Vorversuch mit gleicher Aufgabenstellung fand bereits ein Jahr früher an einem der drei Versuchsstandorte – Christgrün mit steinreichen Verwitterungsböden in Vorgebirgslage – statt.

Weil der Rohfasergehalt von Getreide innerhalb weniger Tage stark ansteigen kann, ist das Erntefenster von Roggen zur Biogaserzeugung begrenzt. Mikroorganismen im Fermenter können sehr ligninhaltiges, verholztes Material nur begrenzt verwerten. „Nicht auf den Ligningehalt einer Pflanze, sondern auf den Aufschluss kommt es an.“ (LEHMANN Maschinenbau GmbH 2008). Um diese Aussage kritisch zu betrachten, wurden Silagen des gehäckselten Erntegutes **thermomechanisch über Bioextrusion®** (LEHMANN Maschinenbau GmbH

Pöhl) aufgeschlossen und Gasbildungspotenziale vor und nach diesem Prozess sowie mit dem Methanhektarertrag von Mais verglichen.

1.1 Winterroggen als Energiepflanze

Als leistungsfähige Alternative zum Mais gilt Getreide. Besonders vielversprechend ist Roggen.

Roggen ist eine robuste Ackerkulturpflanze mit geringen Boden- und Wasseransprüchen. Sie ist winterhart, trocken tolerant und sehr effizient bei der Nährstoffaneignung sowie -verwendung. Dadurch hat diese Fruchtart das Potenzial, auch auf ertragsschwächeren Böden viel Biomasse zu bilden. Seine **Anbaueignung** reicht, ähnlich wie die von Mais, von 10er-Sandböden bis zu 60er-Lössböden (BRASE & JANSSEN 2012). Weil für die Biogaserzeugung hohe Trockenmasseerträge ausschlaggebend sind, stehen für diesen Verwendungszweck nicht die klassischen **Sorten** zur Körnerproduktion im Vordergrund. Es wird die gesamte Pflanze als Ganzpflanzensilage (GPS) im Fermenter verwertet. Der Hauptanteil der Trockenmasse kommt aber auch bei GPS aus der Ähre. Somit gilt: Hoher Kornertrag = hoher Biomasseertrag. Das Stroh ist eine weitere Biomassequelle, sodass langstrohige Sorten von Vorteil sind. Zusätzlich sollten sie schnellwüchsig, gut bestockend und standfest sein (BRASE & JANSSEN 2012). Aus den sächsischen Landessortenversuchen geht noch keine Empfehlung für Ganzpflanzengetreide zur Biomassegewinnung hervor.

Augenmerk liegt nach wie vor auf dem Qualitätsgetreide. Das Bundessortenamt hat die Sorten Askari, Conduct, Generator, KWS Progas, SU Drive, SU Phönix, SU Stakkato und Visello in Silonutzung geprüft und beschrieben (BSA 2013). Die **Aussaatzstärken** liegen beim Ganzpflanzengetreide im Vergleich zur Druschfrucht um ca. 10 % höher. Der **Herbizideinsatz** ähnelt dem in der Körnerproduktion. Im Herbst sollte eine Applikation erfolgen. Neben Herbiziden sind beim Pflanzenschutz auch **Fungizide und Wachstumsregler** wichtig. Mit CCC kann der Bestand harmonisiert und homogenisiert werden. Mit Moddus wird eine Verkürzung und Verdickung des Halms erreicht, was die Standfestigkeit verbessert. Eine zweimalige Fungizidspritzung schützt vor Ertragseinbußen durch Mehltau und Rost (BRASE & JANSSEN 2012). **Geerntet** wird zur **Milch-/Teigreife (EC 77-83)** ab Mitte Juni bei TS-Gehalten zwischen 35 und 40 %. Bewährt haben sich Häcksler mit einem Mähvorsatz oder einem reihenunabhängigen Maisgebiss. Die weichen Roggenkörner in der GPS brauchen nicht gecrackt werden, weil die Bakterien im Gärbehälter diese problemlos verwerten können.

In den letzten Jahren wurde stark in die **Züchtung** investiert. Die daraus entstandenen Winterroggen-Hybriden (Hybridroggen) versprechen eine geringere Krankheitsanfälligkeit und verbesserte Ertragseigenschaften bis zu einem Mehrertrag von 15 bis 20 % im Vergleich zu den Populationssorten. Die fast doppelt so hohen Saatgutkosten können mit standortangepassten Sorten über Ertragsvorteile und die damit verbundenen ökonomischen Auswirkungen kompensiert werden.

In der Regel ist nach dem Anbau von GPS-Roggen noch ein **Zweitfruchtanbau** mit sehr frühreifen Maissorten (FAO > S 200) oder Sorghumhirsen (Sudangrashybriden) möglich.

Aus der Praxis wird berichtet, dass der Einsatz von **Mais-Hybridroggen-Silagemischungen** die Methanausbeuten im Vergleich zu reiner „Maisfütterung“ steigert und aufgrund der Ergänzung des Nährstoffangebots die Gasbildung stabilisiert (KWS Lochow 2014). Die optimalen Mischungsanteile bei Co-Fermentation betragen 60–80 % Mais und 40–20 % Roggen-GPS (BRASE & JANSSEN 2012; KWS Lochow 2014). Der Substratmix erhöhte auch die Methananteile im Biogas (KWS Lochow 2014).

Derzeit wird in **Sachsen** auf ca. **2.300 ha Roggen zur Ganzpflanzennutzung** angebaut (Stand: 2011, KWS Lochow 2011). Die **Erträge** liegen laut Aufzeichnungen von KWS Lochow (2011), einem führenden Getreidezüchter Deutschlands, zwischen 10-15 t Trockenmasse je Hektar (bei 33 % TS).

1.2 Bioextrusion[®] (LEHMANN Maschinenbau GmbH)

Die Bioextrusion ist ein von der LEHMANN Maschinenbau GmbH entwickeltes und patentiertes Verfahren des hydrothermalen (thermomechanischen) Aufschlusses. In einem Doppelschneckenextruder wird das Substrat durch mehrfache Druck-/Entspannungszyklen in Kombination mit Temperaturspitzen nicht nur zerkleinert, sondern teilweise bis in die Zellstruktur aufgeschlossen (Abbildung 1). Durch die vergrößerte Oberfläche wird eine verbesserte biochemische Verfügbarkeit erreicht. Weiterhin wird den Mikroorganismen Zugang zu den schwer zugänglichen Zellulosen und Hemizellulosen gewährt, nachdem die Ligninstrukturen aufgebrochen wurden. Die Auftrennung der verholzten Substratstrukturen führt zur Vermehrung bestimmter Bakterienstämme, zur Verbesserung des C/N-Verhältnisses und zur beschleunigten Umwandlung des pflanzlichen Materials in Fünf- und Sechsfachzucker, was wiederum eine Erhöhung der Gasbildungsrate und des Abbaugrades zur Folge hat. Das Aufschlussverfahren der Bioextrusion ist somit nicht nur ein Hilfsmittel zur Steigerung der Methanausbeuten über frei gesetzte Besiedlungsflächen für Bakterien und deren Enzyme, sondern kann auch zur Erweiterung des Biogaspflanzen-Substratspektrums beitragen. Die Fermentation von derzeit gar nicht oder nur schwer vergärbaren Materialien wie Mist, Stroh, Landespflugeschnitte und Feldfrüchten mit einem sehr hohen Trockensubstanzgehalt (TS) soll durch die Extrusion ermöglicht werden (LEHMANN Maschinenbau GmbH, diverse Veröffentlichungen).



Abbildung 1: Doppelschnecken-Bioextruder[®] der Firma LEHMANN Maschinenbau GmbH zum thermo-mechanischen Aufschluss von Biomasse; oben: Laborextruder mit 3 kW-E-Motor; unten: Praxisextruder MSZ B 55e mit 55 kW-E-Motor

2 Methodik

2.1 Gebietskulisse und Standortcharakteristik

Sachsen wird auf Basis naturräumlicher, geologischer und pedogenetischer Gegebenheiten in **drei große Standorthauptgruppen** eingeteilt (Abbildung 2, Tabelle 1):

- Die **Diluvialstandortgruppe** mit vorrangig leichten Böden umfasst im **Norden von Sachsen** mit ca. 4.100 km² die Dübener und Dahleener Heide sowie die Lausitzer Heide- und Teichgebiete. Weiterhin schließt sie das Riesaer-Torgauer Elbtal ein.
- **Mittelsachsen** ist mit fast 8.000 km² das größte landwirtschaftlich nutzbare Gebiet in Sachsen. Charakteristisch sind **mittlere bis beste Lössböden**. Es reicht von der Leipziger Tieflandsbucht im Westen über die Mittelsächsische Platte und das Mittelsächsische Hügelland zur Lausitzer Platte und dem Oberlausitzer Bergland im Osten.

Die Standortgruppe 3 erfasst mit ca. 6.300 km² den **Süden Sachsens**. Sie erstreckt sich vom Elsterbergland im Südwesten über das Vogtland, Erzgebirge und Erzgebirgsvorland bis zum Elbsandsteingebirge im Südosten. Es herrschen vorwiegend **Verwitterungsböden** vor.

Unter Berücksichtigung weiterer, für die landwirtschaftliche Produktion relevanter Faktoren wie Klima- und Witterungsmerkmale, wurde Sachsen in fünf Agrarstrukturgebiete (ASG I–V) aufgeteilt (Abbildung 2, Tabelle 1).

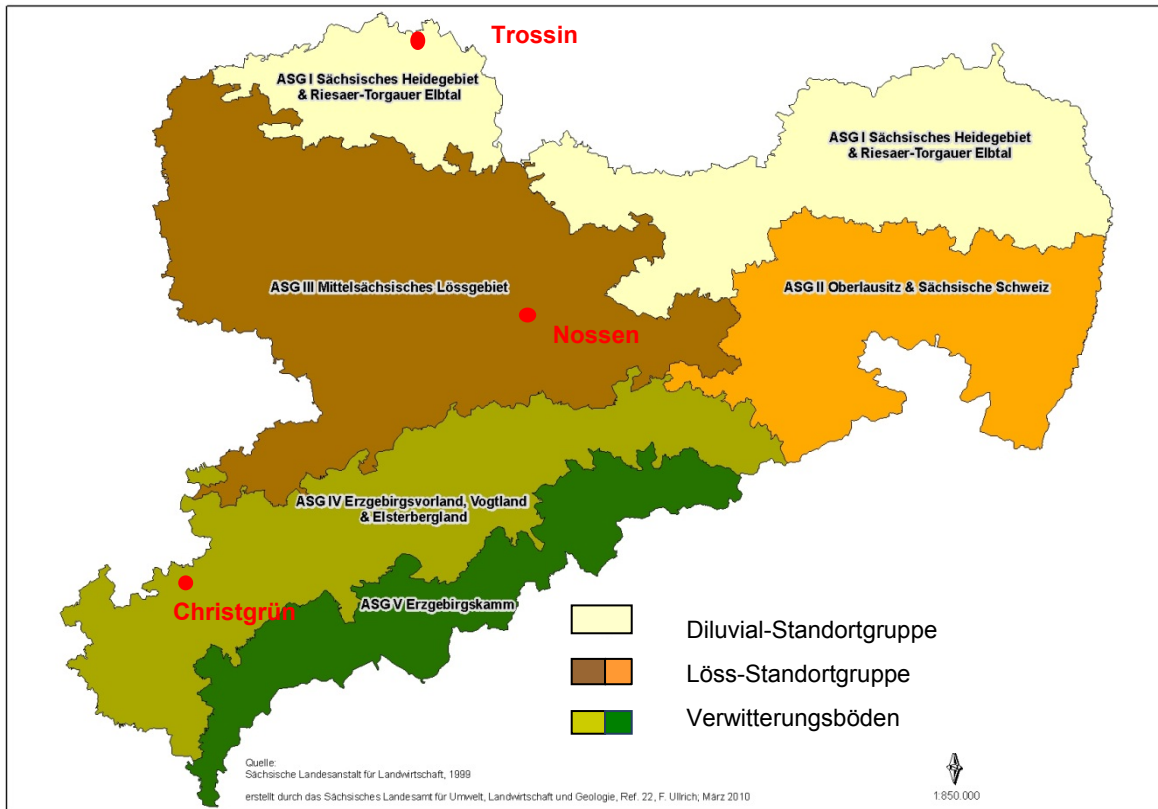


Abbildung 2: Standorthauptgruppen und landwirtschaftliche Agrarstrukturgebiete (ASG) Sachsens (Quelle: LfULG, Referat 22)

Tabelle 1: Naturräumliche und ackerbauliche Bedingungen in den drei Standortgruppen (und fünf Agrarstrukturgebieten) Sachsens

	Agrarstrukturgebiet 1	Agrarstrukturgebiet 2	Agrarstrukturgebiet 3	Agrarstrukturgebiet 4	Agrarstrukturgebiet 5
Region	Lausitzer Heide- und Teichgebiete Dübener-Dahlener Heide Riesaer-Torgauer Elbtal	östl. von Dresden: Lausitzer Platte, Oberlaus. Bergland, Sächsische Schweiz	westl. von Dresden: Lommatzcher Pflege, Leipziger Tieflandsbucht, Großhainer Pflege	Elsterbergland, Erzgebirgsvorlagen, Zwickauer-Chemnitzer Hügelland	Kammlagen des Erzgebirges
Höhe [m über NN]	100 - 160	200 bis 450		400 bis 900	
Relief / Hangneigung	nordsächsisches Flachland / geringe Hangneigung	Leipziger Tiefland bis mittelsächsisches Hügel- und Bergland / ebenes Relief über leicht geneigte Plateaulagen bis Kuppen mit starker Hangneigung		sächsisches Mittelgebirge/ starke Hangneigung	
Standortgruppe	Diluvialstandort (D)	Lössstandort		Verwitterungsstandort (V)	
Bodenqualität	leichte Böden, D1 – D4	mittlere - gute Böden, D4/5, Löß - 6	mittlere – beste Böden, D4 – 6, Löß - 6	steinige, ertragsschwache Böden, V2 - 9	steinige, ertragsschwache Böden, V 5, 8, 9
Ackerzahlen	20 - 50	30 – 70	30 - 90	15 - 40	2 - 20
Klima (DWD 1961–1990)	Ø-Temperatur: 8,3 °C, NS = 450 – 600 mm, bis 700 mm im Lausitzer Teichgebiet viele regionale Trockengebiete (Dübener-Dahlener Heide, Elbtal) mit Niederschlagsdefizit besonders in den Monaten April bis Juni (Vorsommertrockenheit)	Ø-Temperatur: 7,4 °C, relativ hohe Niederschläge (600 – 800 mm)	Ø-Temperatur: 8,0 °C NS = 600 – 700 mm Leipziger Tieflandsbucht, Elbtal: Trockengebiet mit Niederschlagsdefizit besonders in den Monaten April bis Juni (Vorsommertrockenheit) NS in Trockengebieten um 450 - 600 mm	Ø-Temperatur: 6,4 °C NS = 700 – 1000 mm Elsterbergland (Region Plauen): 3-seitige Einrahmung durch Gebirge = Abschwächung der Niederschläge (600 – 700 mm)	Ø-Temperatur: 5,5 °C NS > 900 mm
Boden-Klima-Raum	trocken-warme diluviale Böden des ostdeutschen Tieflandes (104)	Lössböden in der Ackerebene Ost (107) + in den Übergangslagen Ost (108)		Verwitterungsböden in den Übergangslagen Ost (111)	Erzgebirge (195)
Vegetationsbeginn	normal	normal		gering verspätet	stark verspätet
Erosionsgefährdung	sehr gering - gering	hoch - sehr hoch (Bodenart, Hangneigung)		hoch sehr hoch (Hangneigung)	
Ertragsfähigkeit	mäßig - mittel	gut	gut – sehr gut	mäßig	gering
Produktionsschwerpunkt	Winterroggen, Kartoffeln, Silomais	Winterweizen, Wintergerste, Winterrap, Kartoffeln, Zuckerrüben, Feldfutter	Winterweizen, Wintergerste, Zuckerrüben, Feldgemüse, Obst, Feldfutter	Winterroggen, Braugerste, Winterrap, Kartoffeln, Feldfutter	Winterroggen, Grünlandnutzung

Die ausgewählten **Versuchsflächen** in Trossin, Nossen und Christgrün befinden sich in den drei Standorthauptgruppen Sachsens (siehe Abbildung 2). Trossin ist ein leichter, sandiger D-Versuchsstandort im Landkreis Nordsachsen mit einer Ackerwertzahl von 31. Die Böden in Nossen sind aufgrund des Ausgangsmaterials Löss mit einer Ackerwertzahl um 65 die ertragreichsten im Versuch. Christgrün im Vogtland repräsentiert die steinigere Verwitterungsflächen in Vorgebirgslage. Standortbeschreibungen enthält Tabelle 2.

Tabelle 2: Standortcharakteristika der Versuchsstationen (Quelle: LfULG 2009)

	Trossin		Nossen		Christgrün	
Standortgruppe	Diluvial		Löss (Lö 4b)*		Verwitterung (V 5)*	
Lage	Dübener Heide Landkreis Nordsachsen		Mittelsächsisches Hügelland Landkreis Meißen		Vogtland Landkreis: Vogtlandkreis	
Höhenlage [m]	120		255		430	
Klima	Lage in mitteldeutscher Trockenzone, warm-trocken mit ausgeprägter Frühjahrstrockenheit		Mitteldeutsches Berg- und Hügellandklima, mäßig warm		Mittelgebirgsklima, kühl, mäßigfeucht, 3-seitige Einrahmung durch Gebirge = abgeschwächte Niederschläge	
Niederschlag [mm]	1961-1990 554	1994-2008 463	1961-1990 642	2000-2008 701	1961-1990 722	1997-2008 621
Temperatur [° C]	1961-1990 8,9	1994-2008 9,8	1961-1990 8,1	2000-2008 9,4	1961-1990 7,4	1997-2008 8,6
Bodenart	Su3		L		Ls	
Ackerwertzahl	31		Ø 65		Ø 35	
Humusgehalt [%]	n. u.		2,1		2,8	

n. u. = nicht untersucht

* Lö 4 b = Braune Lössstandorte, mit staunässe- und/oder grundwasserbeeinflussten Lössen (> 40 % stauvernässt oder grundwasserbeeinflusst, > 60 % Löss, nach Bodenatlas des Freistaates Sachsen [LfULG 1996])

V 5 = Bergehm-Standorte zum Teil mit Staunässe (nach Bodenatlas des Freistaates Sachsen [LfULG 1996])

2.2 Witterungsverlauf

Die Witterungsparameter Lufttemperatur in 2 m Höhe [° C] und Niederschlagsmenge [mm] der Vegetationsperiode „Aussaat Winterroggen bis Maisernte“ für das Versuchsjahr 2011 am Standort Christgrün (September 2010–September 2011) und 2012 für alle drei Versuchsstandorte (September 2011–September 2012) sind in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt (Datenquelle: Wetterstationen Spröda [für Trossin], Nossen und Christgrün des LfULG). Zum Vergleich wurden 30-jährige Monatsmittel der Jahre 1961–1990 aus Aufzeichnungen des DWD abgebildet.

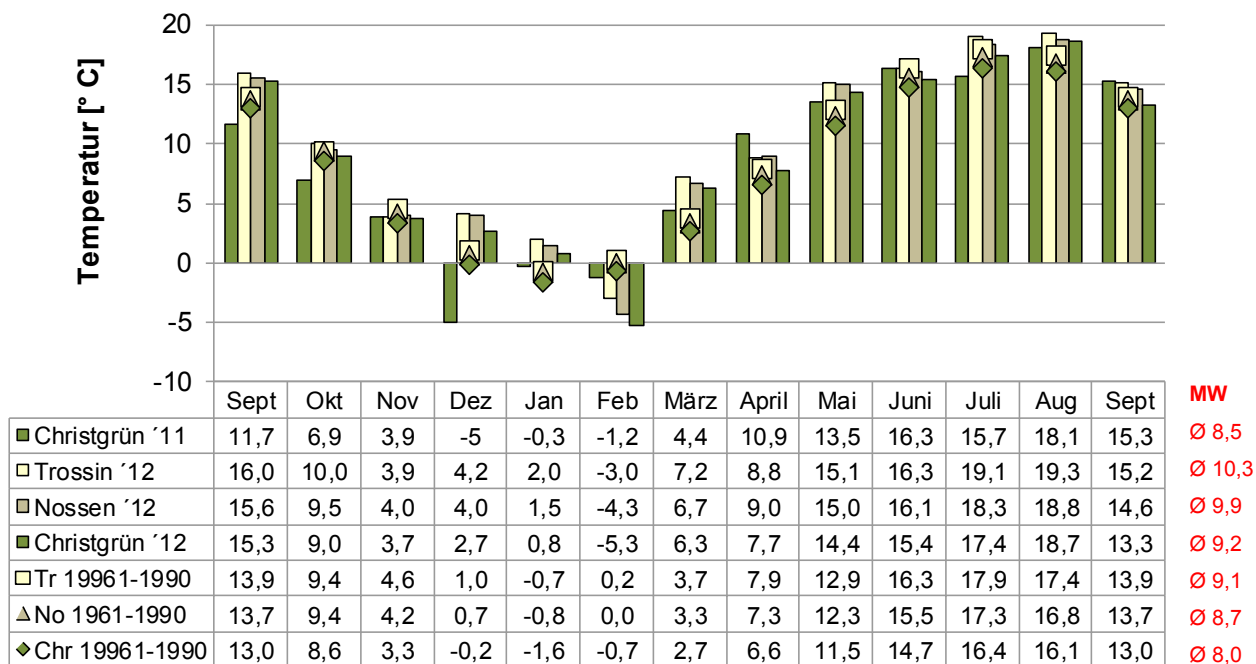


Abbildung 3: Monatliche Mittel der Lufttemperatur [° C] in 2 m Höhe der Versuchsperioden 2010/2011 und 2011/2012; Erläuterungen siehe Abbildung 4

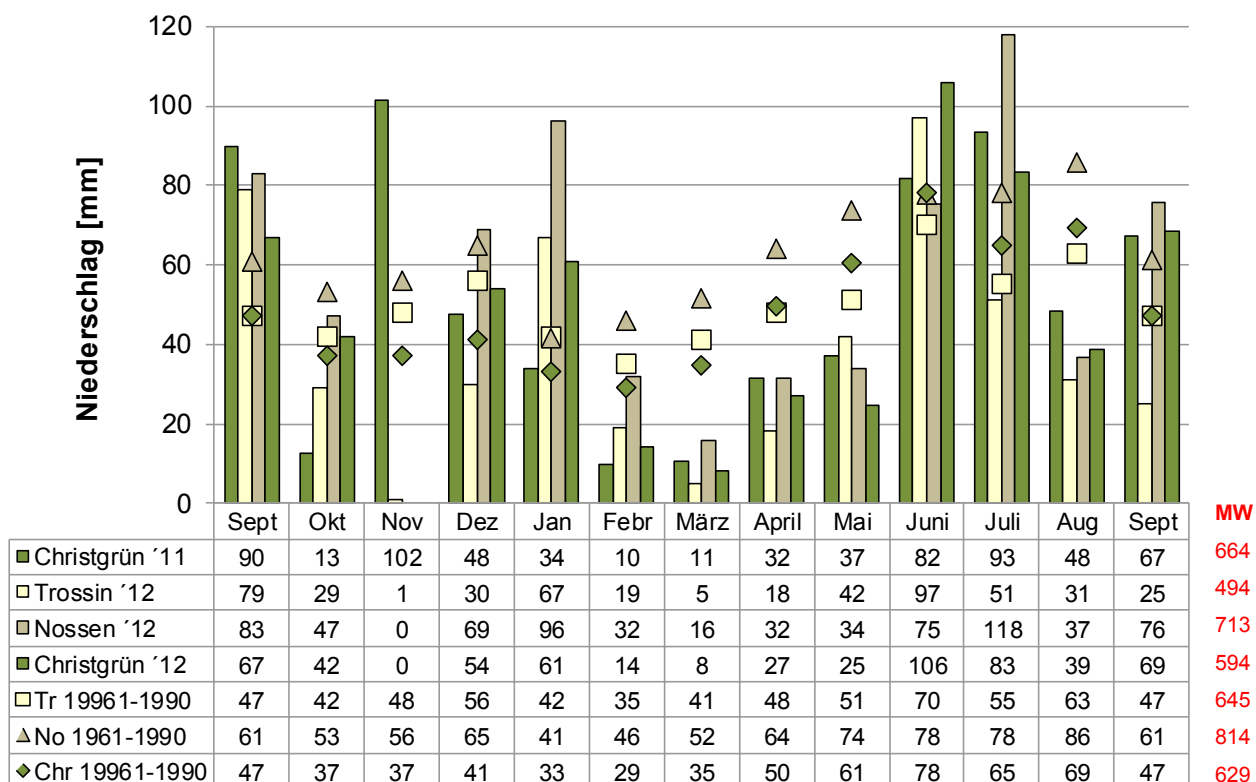


Abbildung 4: Monatliche Niederschlagssummen [mm] der Versuchsperioden 2010/2011 und 2011/2012. Werte der Wetterstationen Spröda (für Trossin), Nossen und Christgrün des LfULG. Vergleichend dazu 30-jährige Monatsmittel der Jahre 1961–1990 aus Datenaufzeichnungen des DWD (Trossin: Mittelwerte von Torgau und Oschatz, Nossen: Mittelwerte von Döbeln und Freiberg, Christgrün: Werte von Plauen). Tr = Trossin, No = Nossen, Chr = Christgrün

Versuchsjahr 2011

Die Durchschnittstemperatur des Versuchsjahres 2011 (September 2010–September 2011) fiel in Christgrün um 0,5 °C wärmer aus im Vergleich zum langjährigen Mittel. Die Niederschläge lagen mit 664 mm/Jahr leicht über den DWD-Aufzeichnungen der Jahre 1961–1990.

Die Roggenaussaat wurde im Herbst 2010 am Versuchsstandort Christgrün durch vernässte Böden erschwert. Im Spätsommer und Herbst wurden untypisch hohe Niederschlagssummen erfasst. Die durch den Regen aufgefüllten Bodenwasservorräte, verbunden mit günstigen Temperaturen sorgten aber für einen raschen Aufgang und eine gute Etablierung der Roggenbestände. Auf ein sehr kaltes, frostiges Jahresende ($\bar{\varnothing}$ -5 °C) folgte ein relativ milder Winter mit mäßigem Schneefall und Frost im Februar, und ein warmer, sonniger, aber trockener Frühling. Aufgangsverzögerungen und Wachstumsschwierigkeiten beim Mais waren die Folge mangelnden Wassers. Zu Sommerbeginn (Juni) setzten sich die überdurchschnittlich warmen Witterungsverhältnisse fort. Jedoch entspannte sich die Lage mit Niederschlägen im langjährigen Durchschnittsbe- reich (80 mm). Der Rest des Sommers (Mitte Juni bis August) war geprägt von wechselhaften Wetterlagen. Auf kurze warme bis heiße Phasen folgten kühle Tage mit Starkregenfällen. Das Wasserdefizit der Vormonate konnte ausgeglichen werden, wodurch der Mais deutlich an Biomasse zunahm. Ein goldener Herbst mit über- durchschnittlich milden, teilweise sogar sommerlichen Temperaturen und wenigen, dann aber starken Nieder- schlägen wirkte sich positiv auf das Pflanzenwachstum und die Abreife der Sommerkultur aus.

Versuchsjahr 2012

In der nächsten Vegetationsperiode (September 2011–September 2012) waren die durchschnittlichen Tempe- raturen an allen drei Versuchsstandorten um 1,2 °C wärmer im Vergleich zum langjährigen Mittel der Jahre 1961–1990 des DWD. Die Niederschläge waren um 6 % (Christgrün) über 12 % (Nossen) bis zu 23 % (Tros- sin) niedriger als bei den langjährigen Witterungsbetrachtungen.

Zum Zeitpunkt der Roggenaussaat, der Jugendentwicklung und der Bestandesetablierung herrschten gute Versuchsbedingungen: überdurchschnittlich milde, teilweise sogar sommerliche Temperaturen und wenige, dann aber starke und ausreichende Niederschläge. In der zweiten Oktober-Dekade wurde der „goldene Herbst“ mit einem kräftigen Temperatursturz von deutlich kühlerer Witterung abgelöst. Nach einem extrem wasserarmen November ($\bar{\varnothing}$ 0-1 mm Niederschlag) endete das Jahr 2011 mit einem zu warmen und sehr win- digen Dezember. Auch das Jahr 2012 begann zunächst sehr mild (Temperaturplus an allen drei Versuchs- standorten) und nass, ging aber im Februar mit Frost ($\bar{\varnothing}$ < -3,0 °C) und Trockenheit ins andere Extrem über. Das Frühjahr (März-Mai) war überdurchschnittlich warm, mit Ausnahme einzelner Kaltluftvorstöße im April, und sonnenscheinreich. Die stark ausgeprägte Frühjahrstrockenheit an allen Versuchsstandorten beeinflusste das Wachstum der Winterungen und Auflaufen des Maises erheblich. Obwohl die Temperaturen der Som- mermonate laut der Wetterstations-Aufzeichnungen insgesamt als durchschnittlich bis geringfügig überdurch- schnittlich einzustufen sind, mussten die Kulturpflanzen auf dem Acker aufgrund vieler kühler Tage bis Mitte Juli ein Wärmedefizit in Kauf nehmen. Ende Mai bis Juli häuften sich Starkregenfälle. Erst Anfang August stell- te sich eine warme, sonnige, dafür aber auch, mit fast nur der Hälfte der durchschnittlichen Niederschlags- summe, sehr trockene Witterungsphase ein. Der Monat der Maisernten war geprägt durch abwechselnde wärmere, trockenere, sonnenscheinreiche und kühlere, feuchtere Abschnitte.

2.3 Versuchsdurchführung

2.3.1 Versuchsaufbau

Die Versuche wurden auf den Versuchstationen des LfULG in Nossen und Christgrün und auf der Versuchstation der BioChem agrar GmbH in Trossin angelegt. Für den Hybridroggenanbau wurde als Versuchsanlage ein „lateinisches Quadrat“ mit vier Ernteterminen und jeweils vier Wiederholungen gewählt, um eine Randomisierung zu gewährleisten. Dabei tritt jede Prüfvariante in jeder Zeile und jeder Spalte genau einmal auf (vgl. Abbildung 5). Maisdaten wurden aus den Landessortenversuchen für Christgrün und Nossen bzw. aus dem Projekt „Anbautechnik Sorghumhirsen“ für Trossin gewonnen. Mais wurde in Langparzellen mit viermaliger Wiederholung kultiviert. Die Größe der Anlage- bzw. Ernteparzellen gibt Tabelle 3 wieder.

Wiederholung	Erntetermin			
	I	II	III	IV
d	3	4	1	2
c	2	1	4	3
b	4	3	2	1
a	1	2	3	4

Abbildung 5: Versuchsanlage des Hybridroggenanbaus – Lateinisches Quadrat. Ernte des Hybridroggens zu vier Ernteterminen (I–IV) in je vier Wiederholungen

Tabelle 3: Größenangaben der Anlage- und Ernteparzellen beim Hybridroggenversuch (in m²). D = Diluvialstandort, V = Verwitterungsstandort

	Trossin - D	Nossen - Löss	Christgrün - V
Hybridroggen			
Anlageparzelle [m ²]	36,0 (6,0 x 6,0)	24,0 (3,0 x 8,0)	24,0 (3,0 x 8,0)
Ernteparzelle [m ²]	18,0 (3,0 x 6,0)	12,0 (1,5 x 8,0)	12,0 (1,5 x 8,0)
Mais			
Anlageparzelle [m ²]	27,0 (3,0 x 9,0)	24,0 (3,0 x 8,0)	21,0 (3,0 x 7,0)
Ernteparzelle [m ²]	13,5 (1,5 x 9,0)	12,0 (1,5 x 8,0)	10,5 (1,5 x 7,0)

2.3.2 Anbautechnik

Hauptkriterium für einen erfolgreichen Energiepflanzenanbau ist der Trockenmasseertrag der oberirdischen Pflanzenteile, weil dieser bei den meisten Kulturarten mit dem Biogas/Methangas- bzw. Bruttoenergieertrag korreliert (RÖHRICHT et al. 2008; STOLZENBURG 2008). Das größte Leistungspotenzial von Winterroggen zur Biogaserzeugung wird von ertragsstarken Hybrid-Doppelnutzungssorten mit hohen Bestandesdichten sowie Korn- und GPS-Erträgen bei mittleren Strohlängen und guter Standfestigkeit erwartet. Diese Kriterien erfüllte die in den Landessortenversuchen erprobte und für die D-Süd-, Löss- und V-Standorte empfohlene Sorte „Palazzo“ von KWS Lochow. Bei dem „Vergleichsmais“ wurde ähnlich verfahren. Es wurde eine für den jeweiligen Boden angepasste, für die Fermentation geeignete und in Bezug auf den Trockenmasseertrag leistungsstarke Sorte mit guten Abreifeigenschaften ausgewählt (vgl. Sortenempfehlungen Sachsen [BOEHME & HAASE 2011, 2012]). Angaben zu den verwendeten Maissorten sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Die agronomischen Maßnahmen erfolgten standort- und fruchtarttypisch optimal nach den Prinzipien der guten fachlichen Praxis. Eine Auflistung zeigt Tabelle 4 und Tabelle 5.

Die Berechnung der Aufwandmenge an **Gesamtstickstoff** erfolgte mithilfe des Programms BEFU (FÖRSTER et al. 2011, 2012). Dieses Programm berücksichtigt den mineralischen Nährstoffgehalt des Bodens (N_{\min} -Gehalt in 0–60 cm Bodentiefe) vor der Düngung im Frühjahr und die Ertragserwartung der Fruchtart (Nährstoffentzug bei der Ernte). Weil die S_{\min} -Werte in Trossin im Frühjahr 2012 sehr niedrig waren (< 10 kg/ha in 0–60 cm Bodentiefe), wurde an diesem Versuchsstandort ein Kombidünger mit Schwefel (Piamon 33 S) gewählt. Grunddüngung und Kalkung erfolgten im Bedarfsfall vor Aussaat im Herbst.

Weil Energiepflanzen im Vergleich zu Marktfrüchten nicht vollkommen „rein“ (ohne Unkräuter) geerntet werden müssen, ist der intensive Einsatz von **Pflanzenschutzmitteln** unnötig. Je nach Befallsrichtwert wurde eine niedrige bis mittlere Behandlungsintensität gewählt (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5). Zur Vermeidung bzw. Reduzierung ertragsschädigender Pilzkrankheiten und zur Bekämpfung von beißenden sowie saugenden Insekten wurden die in Tabelle 4 und Tabelle 5 genannten Fungizide bzw. Insektizide verwendet. Zur Halmverfestigung und Förderung der Getreidebestockung wurde ein Gemisch aus verschiedenen Wachstumsregulatoren gespritzt.

Der Hybridroggen wurde im Abstand von sieben Tagen zu vier **Ernteterminen** gehäckselt (Parzellenhäcksler Hege). Die Stoppelhöhe betrug 10 cm. Als erster Erntetermin wurde der optimale Zeitpunkt angestrebt, zu dem Roggen als Ganzpflanze für die Biogaserzeugung geerntet werden sollte – bei einem TS-Gehalt zwischen 35–40 % (BBCH 77–83). Mais wurde ebenfalls im Entwicklungsstadium „Späte Milchreife – Frühe Teigreife“ bei einem TS-Gehalt zwischen 28 % und 35 % als gehäckselte GPS vom Feld gefahren. Zur Bestimmung des optimalen TS-Gehaltes wurden regelmäßig Probeernten in der Randparzelle durchgeführt.

Aus dem frischen Erntegut mit einer Häcksellänge von 1 cm wurde **Probenmaterial** für die Inhaltsstoffanalysen, Gärversuche (Silagen) und zur Bestimmung des Trockenmasse-Ertrages und TS-Gehaltes gewonnen.

Tabelle 4: Pflanzenbauliche Maßnahmen beim Hybridroggen

	Trossin – Diluvial (D)	Nossen – Löss	Christgrün – Verwitterung (V)	
Versuchsjahr	2012	2012	2011	2012
Sorte (Saatgutvertrieb)	Palazzo (KWS Lochow)	Palazzo (KWS Lochow)	Palazzo (KWS Lochow)	
Aussaatdatum	14.10.2011	26.09.2011	22.09.2010	16.09.2011
Saatstärke [Kö/m ²]	250	270	300	300
Nmin, 0-60 cm [kg/ha]	13/8/5/9	56/46/46/44	k. A.	26
N-Düngung				
1. Gabe – Datum (BBCH)	14.03.2012	20.03.2012 (22/27)	03/2011	26.03.2012 (28)
Menge [kg N/ha]	120	50	60	60
Düngerart	Piamon 33 S ¹⁾	KAS ²⁾	KAS ²⁾	KAS ²⁾
2. Gabe – Datum (BBCH)		03.05.2012 (49/51)	04/2011	18.04.2012 (32)
Menge [kg N/ha]		50	50	50
Düngerart		KAS ²⁾	KAS ²⁾	KAS ²⁾
Pflanzenschutz				
Herbizidbehandlung (Aufwandmenge, Datum der Gabe, BBCH, Wirkspektrum)	Fenikan (1,8 l/ha) – 01.11.2011, BBCH 11, gegen einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	Bacara Forte (1,0 l/ha) - 28.10.2011, BBCH 13/16, gegen einjährige zwei- keimblättrige Unkräuter		Bacara (1,0 l/ha) + Gropper SX (0,04 kg/ha) - 24.10.2011, BBCH 13, gegen einjährige zweikeim- blättrige Unkräuter
Insektizidbehandlung (Aufwandmenge, Datum der Gabe, BBCH, Wirkspektrum)		Mavrik (0,2 l/ha) – 28.10.2011, BBCH 13/16, gegen Blattläuse		
Fungizidbehandlung (Aufwandmenge, Datum der Gabe, BBCH, Wirkspektrum)	Alto 240 EC (0,4 l/ha) – 30.04.2012, BBCH 37-39, gegen Echten Mehltau, Braunrost und Blattflecken- krankheit			Diamant (1,8 l/ha) + Vegas (0,4 l/ha) – 26.04.2012, BBCH 34, gegen Echten Mehl- tau, Braunrost, Blatt- fleckenkrankheit
Halmstabilisator (Aufwandmenge, Datum der Gabe, BBCH)	Moddus (0,3 l/ha) – 30.04.2012, BBCH 37-39	Moddus (0,2 l/ha) - 17.04.2012, BBCH 31/32 CCC 720 (0,8 l/ha) - 17.04.2012, BBCH 31/32 Camposan extra (0,5 l/ha) - 02.05.2012, BBCH 47/49	Moddus (0,3 l/ha) – 04/2011 CCC 720 (0,8 l/ha) – 04/2011	Moddus (0,3 l/ha) - 26.04.2012, BBCH 34 CCC 720 (0,8 l/ha) - 26.04.2012, BBCH 34 Camposan extra (0,6 l/ha) - 02.05.2012, BBCH 39
Erntedaten (BBCH)				
Ernte I	07.06.2012 (75-77)	08.06.2012 (75)	07.07.2011 (79)	02.07.2012 (75)
Ernte II	18.06.2012 (79)	18.06.2012 (77)	14.07.2011 (87)	11.07.2012 (83/85)
Ernte III	04.07.2012 (85-87)	28.06.2012 (83-85)	21.07.2011 (83/85)	20.07.2012 (87)
Ernte IV	16.07.2012 (87-89)	10.07.2012 (85-87)	28.07.2011 (92)	30.07.2012 (92)

¹⁾ Piamon 33 S = Ammoniumsulfat-Harnstoff 33/12, ein Stickstoffdünger mit Schwefel, bestehend aus 22,6 % Carbamidstickstoff und 10,4 % Ammoniumstickstoff (33 % Gesamtstickstoff) sowie 12 % wasserlöslichem Schwefel

²⁾ KAS = Kalkammonsalpeter, bestehend aus 13,5 % Nitratstickstoff, 13,5 % Ammoniumstickstoff und ca. 22 % Calciumcarbonat
k. A. = keine Angabe

Tabelle 5: Pflanzenbauliche Maßnahmen beim Mais

	Trossin – Diluvial (D)	Nossen – Löss	Christgrün – Verwitterung (V)	
Versuchsjahr	2012	2012	2011	2012
Sorte (Saatgutvertrieb)	Atletico (KWS Saat AG)	Torres (KWS Saat AG)	NK Falkone (Syngenta)	Ayrro (Saaten Union)
Reifezahl ⁴⁾	S280	S250	S220	S220
Aussaatdatum	27.04.2012	26.04.2012	03.05.2011	02.05.2012
Saatstärke [Kö/m ²]	9	9	10	10
N _{min} , 0-60 cm [kg/ha]	45	29	k. A.	111
N-Düngung				
1. Gabe – Datum (BBCH)	04.05.2012 (vA)	02.05.2012 (vA)	05.05.2011 (vA)	24.05.2012 (12)
Menge [kg N/ha]	72	100	150	40
Düngerart	KAS ¹⁾	KAS ¹⁾	KAS ¹⁾	ENTEC ²⁾
Sonstige Düngung (Nährstoffe, Menge, Datum, BBCH, Düngerart)	N + P ₂ O ₅ als Unterfußdüngung (100 kg/ha) - 27.04.2012, zur Saat, Diammonphosphat (DAP ³⁾)	N + P ₂ O ₅ als Unterfußdüngung (50 kg/ha) - 26.04.2012, zur Saat, Diammonphosphat (DAP ³⁾)		N (20,0 kg/ha) + P ₂ O ₅ (51 kg/ha) als Unterfußdüngung – 02.05.2012, zur Saat, Diammonphosphat (DAP ³⁾)
Pflanzenschutz				
Herbizidbehandlung (Aufwandmenge, Datum der Gabe, BBCH, Wirkspektrum)	Gardo Gold (4,0 l/ha) – 08.05.2012, BBCH 12, gegen einjährige zweikeimblättrige Unkräuter und Schadhirsen	Gardo Gold (4,0 l/ha) – 09.05.2012, BBCH 11-12, gegen einjährige zweikeimblättrige Unkräuter und Schadhirsen	Artett (5,0 l/ha) – 05/2011, gegen einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	Artett (5,0 l/ha) – 15.06.2012, BBCH 15, gegen einjährige zweikeimblättrige Unkräuter
Insektizidbehandlung (Aufwandmenge, Datum der Gabe, BBCH, Wirkspektrum)			Karate Zeon (0,075 l/ha) – 06/2012, gegen Fritfliege	Karate Zeon (0,075 l/ha) – 15.06.2012, BBCH 15, gegen Fritfliege Trichogramma (100 Kugeln/ha) – 04.07. & 18.07.2012, Schlupfwespen gegen Maiszünsler
Erntedatum (BBCH)	05.09.2012 (85-87)	---- *	05.10.2011 (85)	20.09.2012 (85)

vA = vor Aufgang

* keine Ernte möglich (Schäden durch Wildschweine)

¹⁾ KAS = Kalkammonsalpeter, bestehend aus 13,5 % Nitratstickstoff, 13,5 % Ammoniumstickstoff und ca. 22 % Calciumcarbonat

²⁾ ENTEC-Dünger sind stickstoffhaltige Mineraldünger, die den Ammoniumstabilisator DMPP (3,4-Di-methylpyrazolphosphat) enthalten. Dieser verlangsamt die Nitrifikation und stabilisiert den Ammoniumstickstoff des Düngers im Boden. ENTEC enthält neben dem stabilisierten Ammoniumstickstoff auch immer einen Anteil Nitrat für die schnelle Startwirkung.

³⁾ DAP = Diammonphosphat, bestehend aus 18 % Ammoniumstickstoff und 46 % wasserlöslichem Phosphat

⁴⁾ Einteilung von Mais über die Reifezahl: S200-S220: frühe, S230-S250: mittelfrühe, S260-S290: mittelspäte Reifegruppe

2.3.3 Datenerhebung

Beim Hybridroggenversuch wurden die in Tabelle 6 dargelegten Prüfmerkmale aufgenommen und ausgewertet.

Tabelle 6: Erhobene Daten beim Hybridroggenversuch

Prüfmerkmal	Beschreibung
Wetter	Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, Luftfeuchte – stationäre Wetterstationen des LfULG
Boden	NO ₃ -N, NH ₄ -N, N _{min} , P, K, Mg, Bodenwassergehalt Bodentiefen: 0-30, 30-60 cm Termine: vor Winter, Vegetationsbeginn, nach Ernte
Erntegut	FM-Ertrag, TM-Ertrag, TS-Gehalt, Makro- und Mikronährstoffe, Stärke, Gesamtzucker, WEENDER-Analyse, ADF, NDF, ADL
Gasbildungspotenzial der Silagen	2011: Untersuchung der Christgrüner Silagen von Hybridroggen aller Erntetermine und Mais im Original und extrudiert 2012: Untersuchung der Silagen von Hybridroggen des 1. und 4. Erntetermins und Mais im Original und extrudiert pH-Wert, TS- und oTS-Gehalte der Silagen - Labor "Biogas Oberfranken" Biogas- und CH ₄ -Ausbeuten, CH ₄ -Gehalt – Batch-Tests nach VDI 4630 - Labor "Biogas Oberfranken"
Leistung des Praxisextruders (55 kW) der Firma LEHMANN Maschinenbau GmbH Pöhl	Momentanleistung, Durchsatz

Nachfolgend wird nur auf Methoden der Datenerhebung eingegangen, die zur Ergebnisdarstellung in diesem Bericht relevant sind:

Ertragsdatierung

Für jede Parzelle wurde von den erprobten Kulturen der Frisch- und Trockenmasseertrag sowie TS-Gehalt zum Zeitpunkt der Ernte erfasst. Der Frischmasseertrag einer Fruchtart wurde bei Beerntung einer Parzelle durch den Feldhäcksler Hege 212 mit integrierter Waage ermittelt. Aus der gehäckselten Erntemasse wurden parzellenweise repräsentative Proben für die Trockenmassebestimmung durch Trocknung bei 60 °C (vorläufiger Trockenmasseertrag) und 105 °C (absoluter Trockenmasseertrag) im Trockenschrank gezogen. Der Trockensubstanzgehalt (in %) ist das Verhältnis aus Trockenmasse und Frischmasse. Weil jede Kulturart auf vier Parzellen angebaut wurde, wurde der Mittelwert aus vier Proben berechnet (n = 4).

Pflanzeninhaltsstoffanalytik

Die mengenmäßige Bestimmung der Inhaltsstoffe Rohasche, Rohfett, Rohprotein, Rohfaser (schwer verdauliche Kohlenhydrate) und N-freie Extraktstoffe (leicht verdauliche Kohlenhydrate) in der Trockenmasse des Erntegutes (gemahlene 60 °C-Proben) führte die Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (Nossen) über Methoden der Weender-Futtermittelanalyse (nasschemische Untersuchung) gemäß VDLUFA-Methodenbuch III der Futtermitteluntersuchung (VDLUFA 1998) durch. Die Verdaulichkeit der Rohfaser ist allerdings vom Anteil der einzelnen Gerüstsubstanzen abhängig, die über die Werte von NDF (neutrale Detergentien-Fasern – Gesamtheit der Strukturkohlenhydrate Cellulose, Hemicellulose und Lignin), ADF (Säure[acid]-Detergentien-Fasern – Lignocellulosekomplex) und ADL (Säure[acid]-Detergentien-Lignin – Lignin)

ausgedrückt werden (Erweiterte Weender-Analyse nach van Soest). Der Stärke- und Gesamtzuckergehalt wurde polarimetrisch ermittelt.

Batch-Gärtests

Zur Untersuchung der Vergärbarkeit von Hybridroggen unterschiedlichen Reifegrades bzw. TS-Gehaltes im Vergleich zu Mais wurden Batchversuche mit unextrudierten und extrudierten Silagen nach der VDI-Richtlinie 4630 vom Labor „Biogas Oberfranken“ in Hof durchgeführt. Dafür wurde eine Mischprobe des gehäckselten Erntegutes (Häcksellänge: 10 mm) aller vier Ernteparzellen eines Prüfgebietes in Folienschläuchen siliert (Abbildung 6). Damit genügend Material, auch für die Praxis-Extruder-Versuche, zur Verfügung steht, wurden pro Prüfgebiet drei Silagen á 40–50 kg hergestellt. Nach dem Siliervorgang von 90 Tagen (bei Zimmertemperatur, keine Zugabe von Siliermitteln) wurden die Proben geteilt. Eine Hälfte wurde mithilfe eines Labor-Doppelschnecken-Extruders der Firma LEHMANN Maschinenbau GmbH mit einer Leistung von 3 kW zerkleinert und aufgespalten (siehe Abbildung 7), der andere Teil blieb unextrudiert. Die Batch-Versuche erfolgten unter kontrollierten mesophilen Bedingungen bei 43 °C über eine Dauer von 30–33 Tagen. Die Laborfermenter wurden jeweils mit 10 (2011) bzw. 6 Gewichts-% (2012) des Fermenterinhalt (Impfmaterial) mit dem zu beprobenden Substrat beschickt. Als Kontrolle zur Erfassung der Gasbildung aus dem Impfmaterial wurde eine Nullvariante ohne Substratzugabe verwendet. Die gebildete Gasmenge wurde täglich in kalibrierten Eudiometerrohren abgelesen und auf Standardbedingungen (20 °C, 1016 mbar) korrigiert (Normvolumen). Der Methangehalt wurde mit einem Deponiegasmonitor bestimmt.



Abbildung 6: Folienschlauch-Silierung des gehäckselten Hybridroggens in Christgrün



Abbildung 7: Laborextruder (Firma LEHMANN Maschinenbau GmbH[®]) mit einer Leistung von 3 kW

Leistungserfassung des Praxisextruders

Hybridroggen-Silagematerial, das nicht für die Labor-Batch-Gärtests benötigt wurde, wurde in eine Mischwanne zur Weiterverwendung in Praxisextruderversuchen gegeben. Diese fanden am 18. November 2013 bei der LEHMANN Maschinenbau GmbH in Pöhl statt. Es kam ein Praxisextruder vom Typ MSZ B 55e mit einer E-Motor-Leistung von 55 kW zum Einsatz (siehe Abbildung 1). Der Testdurchlauf dauerte knapp zwei Minuten. Der Durchsatz [t/h] als Menge, die innerhalb einer Stunde im Extruder zerkleinert und bearbeitet werden kann, und die Momentanleistung [kW] wurden manuell abgelesen.

2.3.4 Statistische Bewertungsgrundlagen

2.3.4.1 Signifikanzprüfung

Die statistische Absicherung erfolgte mit dem Programm SPSS 17.0 über Verfahren der einfaktoriellen ANOVA. Es wurden paarweise multiple Mittelwertsvergleiche durchgeführt, um die Ertragsdaten auf signifikante Differenzen zu prüfen. Über Post-Hoc-Tests wurden homogene Untergruppen (a, b, c ...) ermittelt, in denen Mittelwerte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % nicht voneinander abweichen (Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$). Wenn ein Mittelwert mehreren homogenen Gruppen zuzuordnen war, wurden mehrere Buchstaben angegeben (z. B. ab).

Eine wichtige Voraussetzung bei der Durchführung von Varianzanalysen ist die Gleichheit der Varianzen in den zu untersuchenden Parametergruppen. Die Prüfung auf Homogenität der Varianzen erfolgte über den Levene-Test, bei dem für jede abhängige Variable (TM-Ertrag, FM-Ertrag und TS-Gehalt) eine Varianzanalyse für die Werte der absoluten Abweichungen von den entsprechenden Gruppenmittelwerten durchgeführt wurde. Wenn der Levene-Test statistisch signifikant war, d. h. α des Parameters $< 0,05$, wurde die Hypothese homogener Varianzen abgelehnt. In diesen Fällen wurden Post-Hoc-Vergleiche bei Varianzheterogenität gewählt.

Bei $\alpha > 0,05$ (keine Signifikanz des unabhängigen Parameters beim Levene-Test = Varianzhomogenität) kam der Tukey-Test zum Einsatz. Der Tukey-Test verwendet die Student-Verteilung für die paarweisen Vergleiche, wobei die Fehlerrate für den Versuch gleich der Fehlerrate für die Gesamtheit aller paarweisen Vergleiche gesetzt wird.

Bei $\alpha < 0,05$ (Signifikanz des unabhängigen Parameters beim Levene-Test = Varianzheterogenität) wurde der Dunnett-Test auf Grundlage des studentisierten Bereichs unter Korrektur der Fehlerfreiheitsgrade ausgewählt. Die Grenzdifferenz ist die kleinste gesicherte Ertragsdifferenz. Alle Mittelwertdifferenzen, die größer als die Grenzdifferenz sind, gelten als signifikant (nicht zufällig). Grenzdifferenzen wurden bei zweiseitigen Tests wie folgt berechnet:

(Gleichung 1) Grenzdifferenz_{5%} = $q \times \sqrt{(MQ/n)}$

■ q = Quantile der studentisierten Spannweite bei $\alpha = 5\%$, d. h. Freiheitsgrad des Fehlers über Anzahl der Mittelwerte, die verglichen wurden, Signifikanzschwellen nach RASCH et al. 1973

■ MQ = Mittel der Quadrate innerhalb der Gruppen

■ n = Anzahl der Mittelwerte, die verglichen wurden ($n = 5$)

2.3.4.2 Zusammenhänge zwischen Parametern und Korrelationen/Regressionen

Zusammenhänge zwischen zwei Parametern wurden mithilfe von bivariaten Pearson'schen Korrelationsanalysen unter Angabe des Korrelationskoeffizienten R mit dem Statistikprogramm SPSS, Version 17.0, aufgezeigt. Der Korrelationskoeffizient R ist ein Maß für die lineare Abhängigkeit zwischen zwei Variablen und kann wie folgt gedeutet werden:

Tabelle 7: Deutung eines linearen Zusammenhangs zwischen zwei Parametern über den Korrelationskoeffizienten R

R	Bewertung
$0 < R \leq 0,2$	Es besteht ein <i>sehr geringer</i> linearer Zusammenhang zwischen den Variablen X und Y.
$0,2 < R \leq 0,5$... geringer ...
$0,5 > R \leq 0,7$... mittelgroßer ...
$0,7 < R \leq 0,9$... hoher ...
$0,9 < R \leq 1,0$... sehr hoher ...

Bei bestätigter Abhängigkeit zweier Parameter wurde diese über eine lineare Regressionsgleichung beschrieben und die Regressionsgerade grafisch in einem Streudiagramm dargestellt. Über die lineare Regression wurde die Varianz einer intervallskalierten abhängigen Variable aus einer Kombination von unabhängigen Variablen prognostiziert. Die Güte des Regressionsmodells gibt der Regressionskoeffizient R^2 an. Er beurteilt die Wichtigkeit der einzelnen unabhängigen Variablen und liegt zwischen -1 und 1. R^2 errechnet sich aus dem Varianzanteil der abhängigen Variablen, der durch alle unabhängigen Variablen gemeinsam erklärt wird. Je stärker sich das Bestimmtheitsmaß dem Wert 1 nähert, desto besser bildet das Regressionsmodell den Datensatz ab und um so aussagekräftiger ist die Geradengleichung (DULLER 2007; ELSNER 2009).

3 Ergebnisse

3.1 Ertragspotenzial

Nachfolgend sind die ermittelten Frischmasse- und Trockenmasseerträge sowie TS-Gehalte von Hybridroggen zu vier Ernteterminen bei unterschiedlichen Reifegraden im Vergleich zu Mais bei optimaler Ernte (TS zwischen 28 % und 35 %) dargestellt (Abbildungen 8 bis 10). Detaillierte Angaben zu den Erntezeitpunkten (u. a. Datum, BBCH der Pflanze) und den Werten der einzelnen Parzellen (Wiederholungen) gibt Tabelle A1 im Anhang.

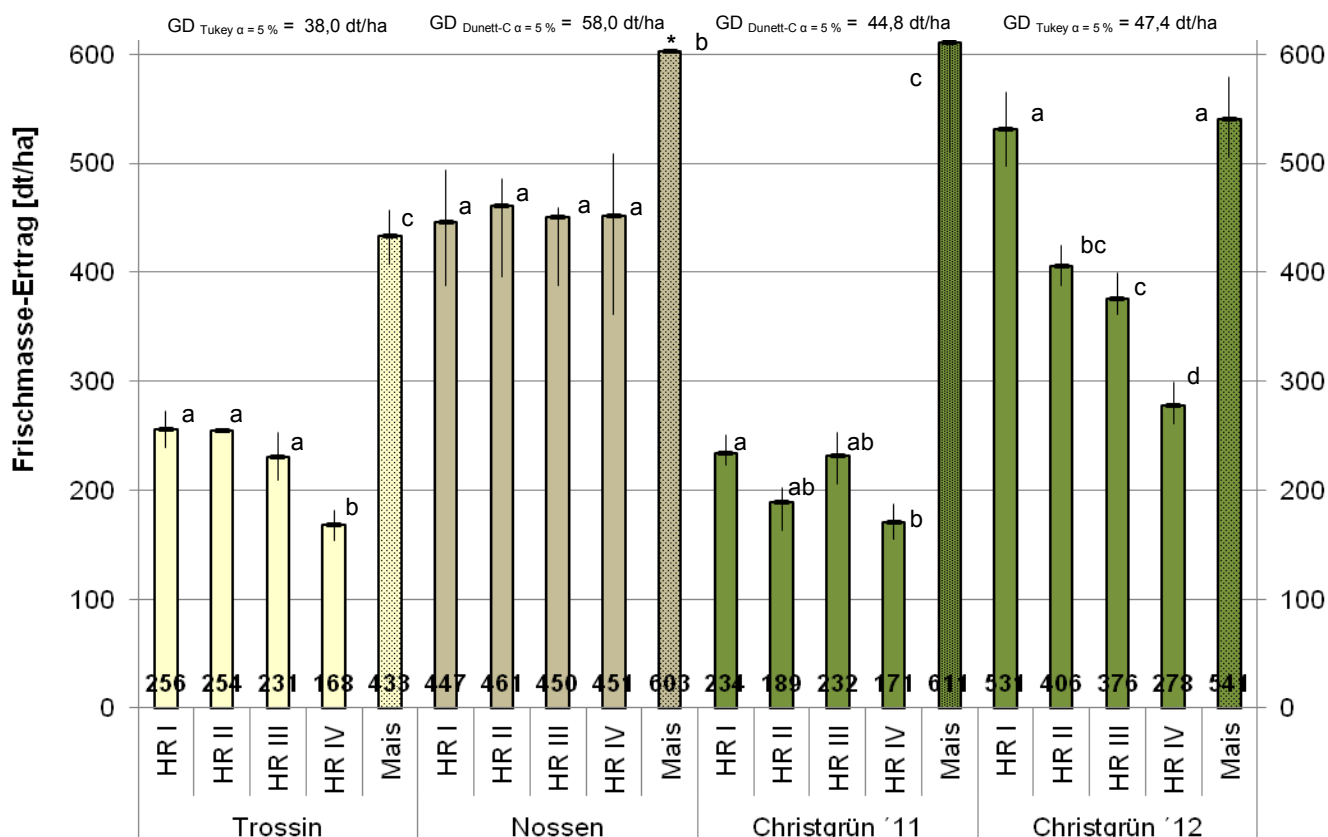


Abbildung 8: Frischmasse-Ertrag (in dt/ha) von Hybridroggen zu vier verschiedenen Erntezeitpunkten (optimaler Erntetermin ab BBCH 75/77 mit TS-Gehalten um 35 % [I] – nicht mehr für Biogasproduktion geeignete TS-Gehalte um 50–70 % [IV]) an den drei Versuchsstandorten Trossin (D-Standort, gelb), Nossen (Lössstandort, braun) und Christgrün (V-Standort, grün) im Vergleich zu Mais bei optimaler Ernte (gepunktet). * Ernteausfall durch Wildschweine. Vergleichswert aus Ergebnissen der Landesortenversuche – FM-Mittelwert der Sorte Torres der Jahre 2011 und 2013 bei einem TS-Gehalt von 35 % (BÖHME LfULG, nach Anfrage)

Auf den ertragsärmeren D- und V-Böden wurden die höchsten Hybridroggen-Frischmasseerträge zum ersten Erntezeitpunkt (HR I) erzielt. Je später der Erntetermin angesetzt wurde, desto geringer fiel die Menge an frischem Häckselgut aus. 2011 war für Christgrün kein Hybridroggenjahr. Zur Aussaat war der Boden sehr nass, sodass die Drillsaat unter erschwerten Bedingungen verlief. Weiterhin führten Trockenphasen im Frühsommer zu Wachstumsverzögerungen und Trockenschäden. 2012 wurde über das Doppelte an Hybridroggen-Frischmasse eingefahren. Auf dem Lössstandort lag das Biomasse-Ertragspotenzial des Roggens über

den gesamten Erntezeitraum (HR I–HR IV) auf einem annähernd gleichen Niveau (450–460 dt FM/ha), allerdings mit den größten Ertragsschwankungen zwischen den vier Wiederholungen.

Der Trockenmasse-Ertrag wird als wichtiges Kriterium zur Prüfung von Energiepflanzen als potenzielle Biogassubstrate herangezogen.

In Abbildung 9 wird verdeutlicht, dass bis zum 3. Erntetermin der Trockenmasseertrag des Hybridroggens an allen Versuchsstandorten zunimmt. Nur am Standort in Nossen ist auch zum 4. Erntetermin ein signifikanter Ertragszuwachs zu verzeichnen. In den ertragsschwächeren Regionen konnte zwar ebenfalls eine Trockenmassesteigerung mit längerer Wachstumszeit registriert werden, allerdings nicht signifikant. Ähnlich wie beim Frischmasse-Ertrag traten auf dem Lössstandort Nossen die größten Abweichungen der Parzellen-Ertragswerte (Wiederholungen) zum Mittelwert auf.

Zum optimalen Erntetermin (BBCH 77–83, TS-Gehalt zwischen 35–40 %, HR I bis HR II) erreichte Hybridroggen das Ertragsniveau von Mais auf keinem Standort (Abbildung 9). Ab dem 2. Erntezeitpunkt waren die Erträge von Hybridroggen nicht mehr signifikant niedriger gegenüber Mais. Auf den besseren Lössböden (Nossen) überragte Hybridroggen bei später Ernte (HR III und HR IV) den Mais in der Trockenmassebildung um bis zu 10 %. Zu beachten ist, dass diese Aussage auf keinem TM-Ertragswert des Versuchsjahres basiert, weil Wildschweine die Maisbestände in Nossen komplett vernichteten. Es wurde ein Vergleichs-Mittelwert der Sorte Torres aus den Landessortenversuchen der Jahre 2011 und 2013 herangezogen.

Abbildung 9 verdeutlicht ebenfalls den starken Einfluss der Jahreswitterung beim Roggen am Standort in Christgrün.

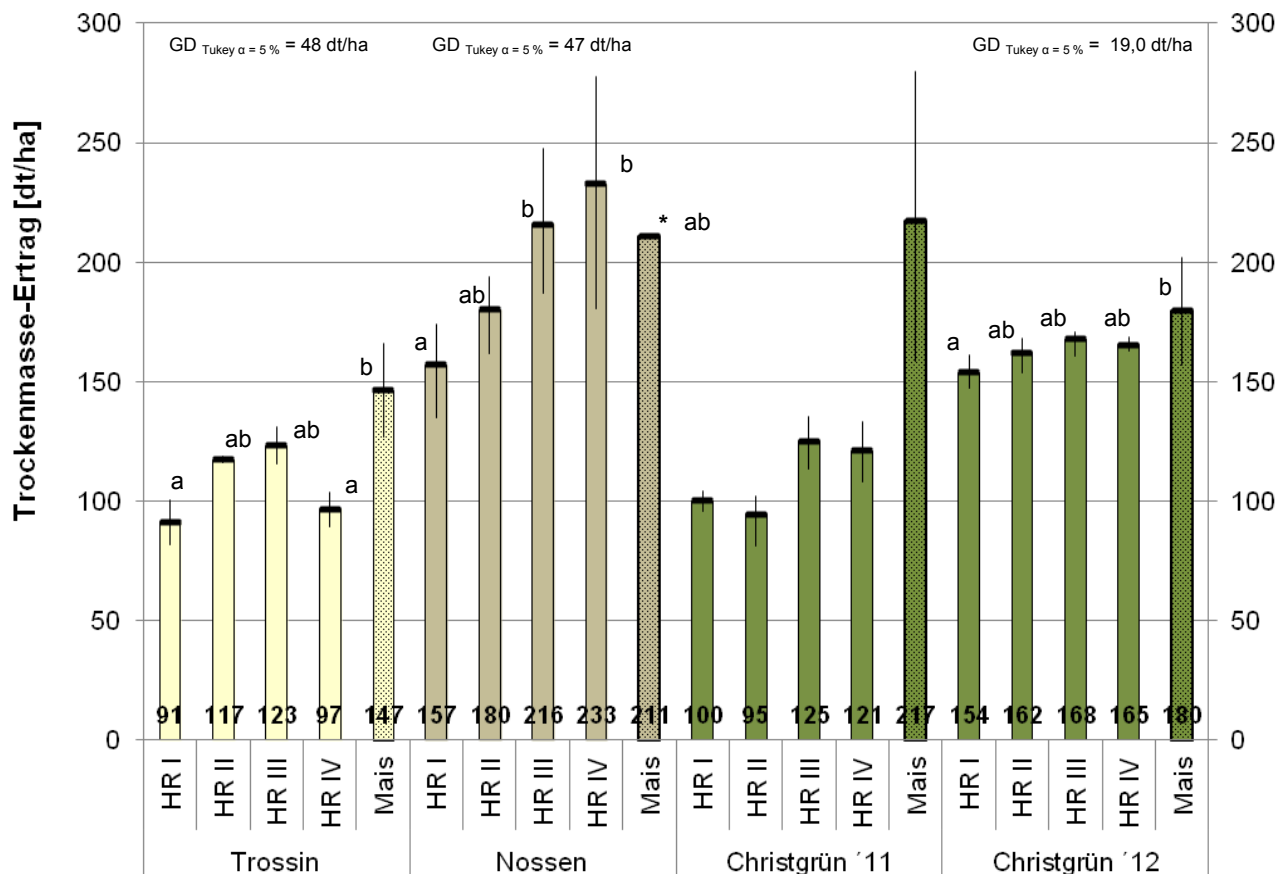


Abbildung 9: Trockenmasse-Ertrag (in dt/ha) von Hybridroggen zu vier verschiedenen Erntezeitpunkten (optimaler Erntetermin ab BBCH 75/77 mit TS-Gehalten um 35 % [I] – nicht mehr für Biogasproduktion geeignete TS-Gehalte um 50–70 % [IV]) an den drei Versuchsstandorten Trossin (D-Standort, gelb), Nossen (Lössstandort, braun) und Christgrün (V-Standort, grün) im Vergleich zu Mais bei optimaler Ernte (gepunktet). * Ernteausfall durch Wildschweine, Vergleichswert aus Ergebnissen der Landesortenversuche – TM-Mittelwert der Sorte Torres der Jahre 2011 und 2013 bei einem TS-Gehalt von 35 % (BÖHME, LfULG, nach Anfrage).

Je später das Erntedatum angesetzt wurde, desto höher fielen auch die Trockensubstanzgehalte aus (Abbildung 10). Um einen problemlosen Silier- und Gärvorgang zu gewährleisten, sollten TS-Gehalte zwischen 35 und 40 % bei Winterroggen sowie 28 und 35 % bei Mais angestrebt werden. Weil mit steigendem TS-Gehalt der Lignifizierungsgrad zunimmt, kann ohne anschließende Zerkleinerung bzw. Aufspaltung der schwer verdaulichen Rohfaserfraktionen nur Erntematerial des Roggens vom 1. bis 2. Erntetermin (HR I bis HR II) optimal verwertet werden.

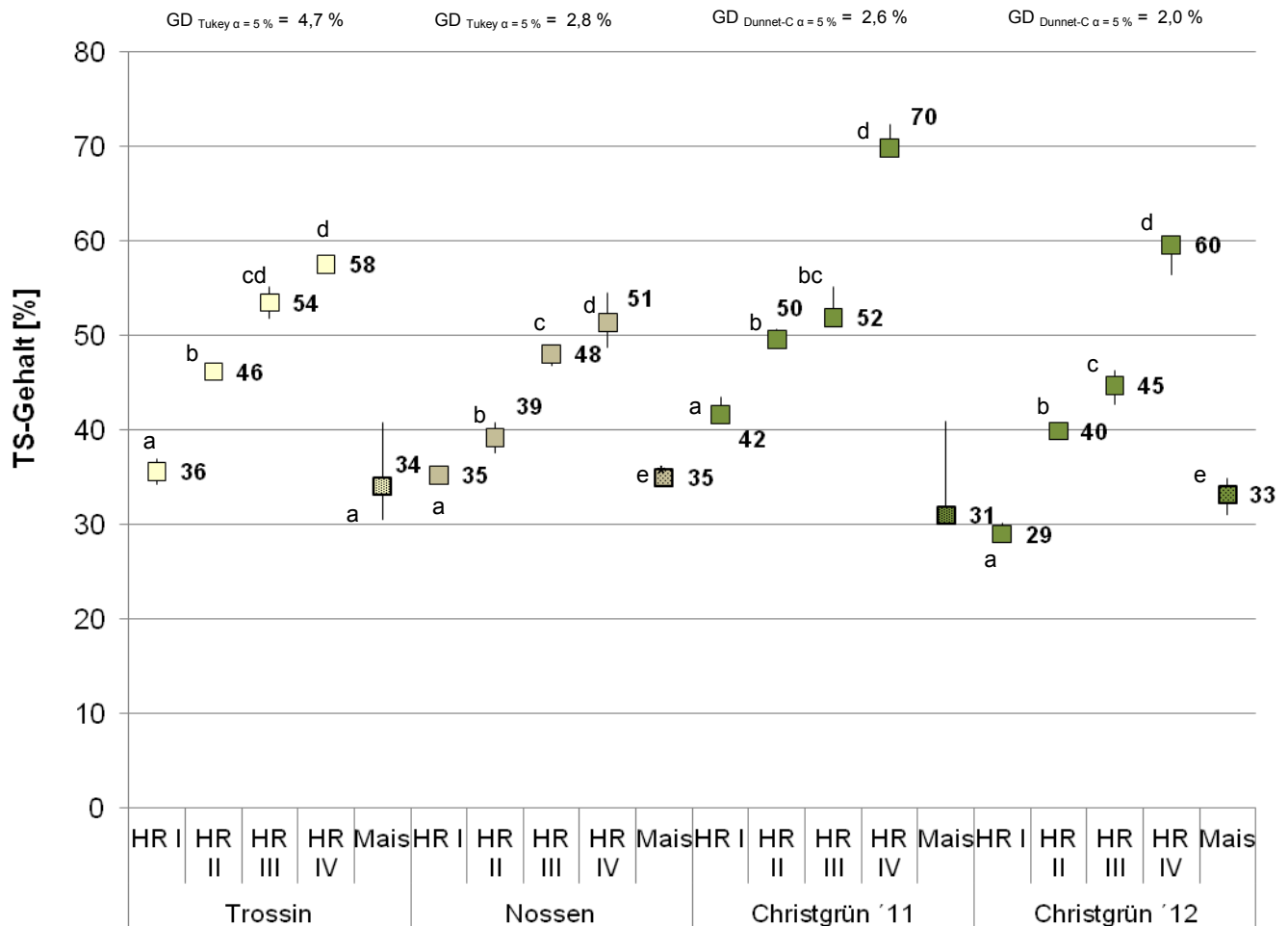


Abbildung 10: TS-Gehalt (in % in der FM) von Hybridroggen zu vier verschiedenen Erntezeitpunkten (optimaler Erntetermin ab BBCH 75/77 mit TS-Gehalten um 35 % [I] – nicht mehr für Biogasproduktion geeignete TS-Gehalte um 50–60 % [IV]) an den drei Versuchsstandorten Trossin (D-Standort, gelb), Nossen (Lössstandort, braun) und Christgrün (V-Standort, grün) im Vergleich zu Mais bei optimaler Ernte (gepunktet). * Ernteausfall durch Wildschweine. Vergleichswert aus Ergebnissen der Landessor-tenversuche – TS-Mittelwert der Sorte Torres der Jahre 2011 und 2013 (BÖHME, LfULG, nach Anfrage).

3.2 Gasbildungspotenzial

3.2.1 Inhaltsstoffcharakteristik

In der Trockenmasse des Ernteguts wurden Inhaltsstoffe über Methoden der Weender-Futtermittelanalyse (nasschemische Untersuchung) gemäß VDLUFA-Methodenbuch III der Futtermitteluntersuchung (VDLUFA 1998) analysiert. Die Inhaltsstoffcharakteristik der Proben ist im Anhang, Tabelle A 2 zu finden.

Die spezifischen Biogas- und Methanausbeuten von Energiepflanzen zum optimalen, TS-abhängigen Erntetermin werden in großem Maße von der biochemischen Zusammensetzung der Trockenmasse bestimmt. Die Gasbildung ist im Wesentlichen von den drei Stoffgruppen Rohfett, leicht verdauliche Kohlenhydrate (Nichtfaserkohlenhydrate, NfE) und Rohprotein abhängig (Methanausbeute: Rohfett > Rohprotein > leicht verdauliche Kohlenhydrate, FNR 2005). Das Erntefenster einer Pflanzenart ist jedoch begrenzt. Mit steigender Wachstumszeit inkrustiert verstärkt Lignin zwischen die Cellulose- und Hemicellulosefibrillen. Der Rohfaser-Gehalt des Pflanzenmaterials steigt (vgl. Abbildung 11), die mikrobiologische Abbaubarkeit sinkt.

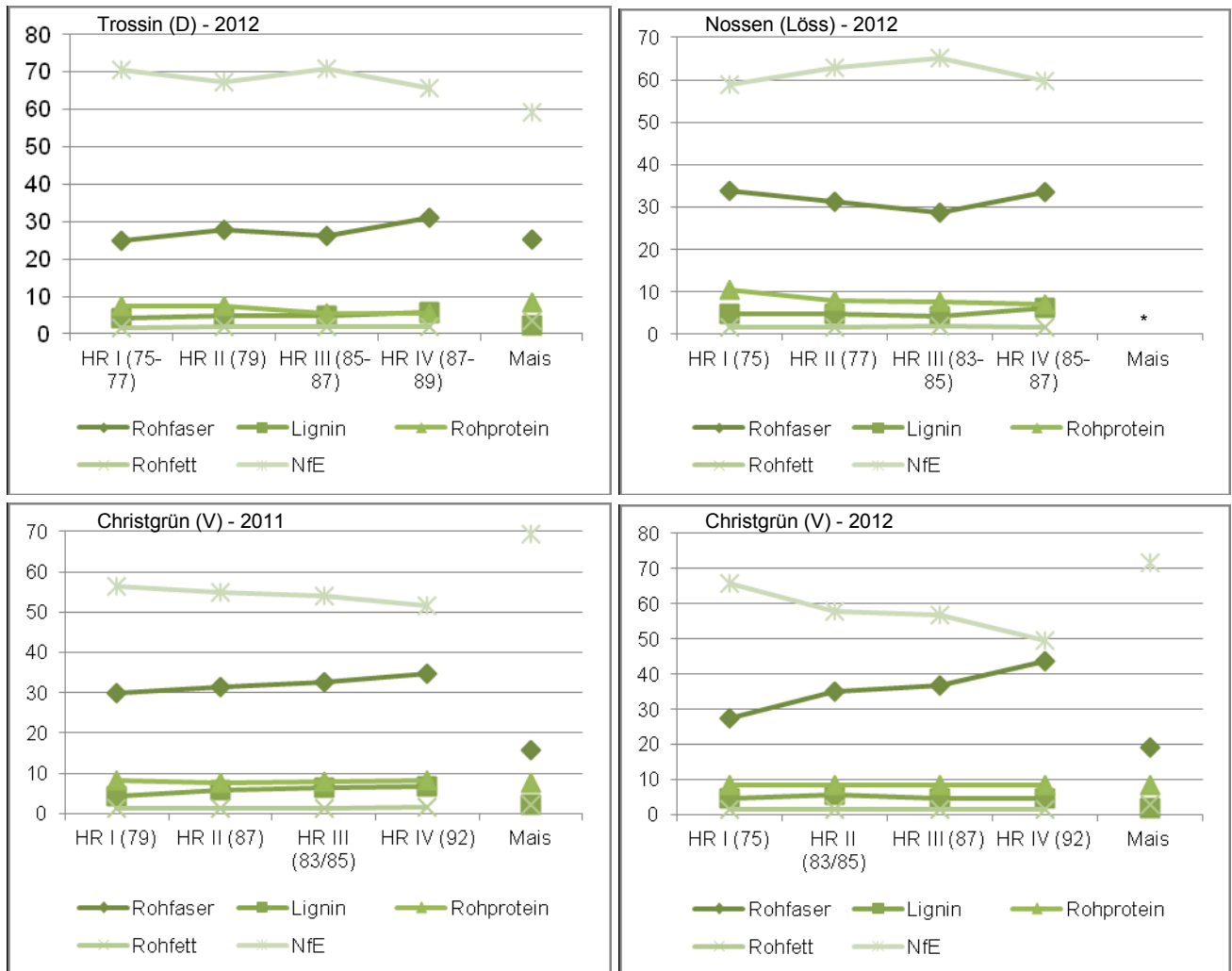


Abbildung 11: Inhaltsstoffe (Werte in % in der FM) des Hybridroggens zu vier verschiedenen Erntezeitpunkten im Vergleich zu Mais im BBCH-Stadium Milch- bis Teigreife der Standorte Trossin (2012), Nossen (2012) und Christgrün (2011, 2012). * Ernteaussfall durch Wildschweine. NfE = N-freie Extraktstoffe (leicht verdaulich)

Die Methanausbeuten variierten mit Werten zwischen \emptyset 294 und \emptyset 434 Nm³/t oTS beim Hybridroggen der Sorte Palazzo beim für die Silierung/Vergärung optimalen TS-Gehalt zwischen 35 und 40 % (HR I) ungewöhnlich stark (Daten: Labor Biogas Oberfranken, Hof; vgl. Tabelle 8, Kapitel 3.2.2). Beim Mais lag das Methanbildungspotenzial zwischen \emptyset 341 und \emptyset 352 Nm³/t oTS.

Bei mittleren Rohprotein- und Rohfettwerten war beim Mais insbesondere der Anteil leicht umsetzbarer Kohlenhydrate (60–70 % in der FM) von Bedeutung. Zu beachten ist außerdem der herausragende Stärkegehalt von > 30 %. Hybridroggen wies bei zeitiger Ernte gegenüber Mais vergleichbare Gehalte an Protein und Nicht-faserkohlenhydraten, aber etwas niedrigere Rohfett-Werte auf. Der über die Hälfte geringere Stärkeanteil wurde durch Gesamtzuckeranteile von 10–18 % in der Frischmasse ausgeglichen (Gesamtzuckeranteil von Mais: \emptyset 5 % in der FM). Das Erntematerial vom Hybridroggen wies zum 1. Erntezeitpunkt schon die doppelte Menge an Lignin gegenüber Mais auf (vgl. Tabelle A2, Anhang und Abbildung 11).

Mit späterem Erntezeitpunkt und längerer Wachstumszeit stiegen die Rohfaser (RF)- und Ligningehalte (ADL) im Getreide weiter an (bis zu 44 % RF bzw. 7 % ADL in der Frischmasse, vgl. Tabelle A2, Anhang und Abbildung 11).

dung 11). Die Biogas- und Methanausbeuten hingegen nahmen um 22–26 % bzw. 20–31 % ab (Vergleich HR I – HR IV, siehe Tabelle 8, Kapitel 3.2.2).

Korrelationsanalysen (SPSS 17.0) zeigten einen signifikant hohen linearen Zusammenhang zwischen dem Rohfasergehalt des geernteten Pflanzenmaterials und seiner Methanausbeute ($R_{\text{Pearson Rohfaser} - \text{CH}_4} = -0,768^*$, $R_{\text{Pearson Lignin} - \text{CH}_4} = -0,371$). Die Regressionsgeraden sind in Abbildung 12 dargestellt.

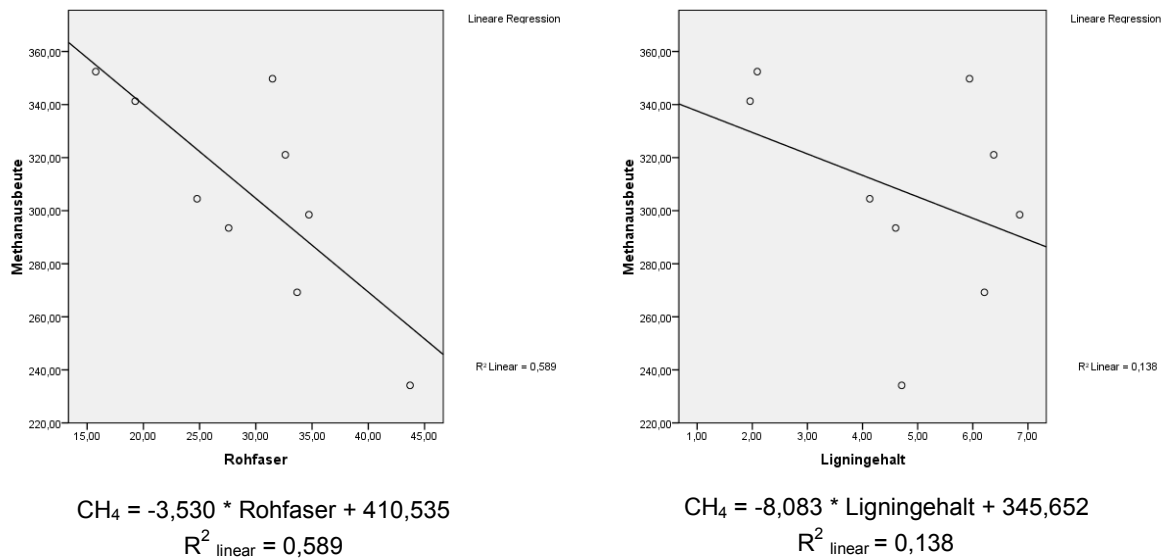


Abbildung 12: Regressionsgerade mit Angabe des Regressionskoeffizienten R2 zur Darstellung eines möglichen linearen Zusammenhangs zwischen dem Rohfaser- bzw. Ligningehalt [%] im Erntegut von Hybridroggen zum 1. und 4. Erntetermin (HR I und IV) und der Methanausbeute [Nm³/t oTS) (SPSS 17.0) unter Ausschluss von Ausreißern (n = 2)

3.2.2 Silagequalität und Gaserträge

Die Silagen von Hybridroggen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien wurden im Original und zerkleinert bzw. extrudiert im Vergleich zu Mais bei optimaler Ernte in Batch-Versuchen nach VDI 4630 vom Labor Biogas Oberfranken hinsichtlich Gasbildungseigenschaften untersucht (Methodik siehe Kapitel 2.3.3). Eine zusammenfassende Auflistung der gewonnenen Ergebnisse (Eigenschaften der Silagen sowie Biogasausbeuten in Nm³/t FM bzw. Nm³/t oTS und Methangasausbeuten in Nm³/t oTS) zeigt Tabelle 8.

Für das Versuchsjahr 2012 konnte eine verwertbare Maissilage nur vom Versuchsstandort Christgrün gewonnen werden. Das Gasbildungspotenzial des Mais schwankt jedoch unter optimalen TS-Gehalten zwischen 28 und 35 % nur geringfügig (HERRMANN et al. 2012), sodass diese Werte für alle drei Standorte angenommen werden können.

Durch Beurteilung der **Silagen** anhand sinnlicher Merkmale (Farbe und Geruch) kann die Qualität der Silage und der Silierverlauf eingeschätzt werden. Bei der Silierung wandeln vorrangig Milchsäurebakterien Zucker in Milchsäure und kleinere Teile Essigsäure um und der pH-Wert fällt auf typischerweise 4,0–4,5 ab. Wenn der Silierprozess nicht optimal verläuft, entsteht zusätzlich Buttersäure. Anhand der Farb- und Geruchsbeurteilung (Tabelle 8) lässt sich auf eine gute Silierung der Proben schließen. Die pH-Werte der Silagen lagen, mit Ausnahme einer Trossiner Hybridroggen-Probe (HR IV), im Optimalbereich zwischen pH 4,0 und 4,8. PH-Werte > 6,0 zeigen eine gehemmte Gärsäurebildung an. Durch die Bioextrusion wurde der TS-Gehalt der Silagen nicht wesentlich verändert.

Die Zerkleinerung und Aufspaltung des pflanzlichen Materials bewirkte bei früh bis mittel spät geerntetem Hybridroggen einen leichten Anstieg der Trockensubstanz (TS) und der organischen Trockensubstanz (oTS). Bei Mais und stark lignifiziertem Roggen (HR IV) konnte dies nicht beobachtet werden.

Tabelle 8: Eigenschaften, Gasausbeuten und CH₄-Gehalte der im Jahr 2011 (Christgrün) und 2012 (Trossin, Nossen, Christgrün) gewonnenen Silagen von Hybridroggen (HR I–HR IV, 2011 nur HR I und HR IV) und Mais. Daten: LEHMANN Maschinenbau GmbH, Labor Biogas Oberfranken (Hof)

Probe	Silageeigenschaften				Gasausbeute ¹⁾		CH ₄ -Ausbeute ¹⁾	CH ₄ -Gehalt ¹⁾
	Silage-Beurteilung	pH	TS-Gehalt	oTS-Gehalt	Nm ³ /t FM	Nm ³ /t oTS	Nm ³ /t oTS	%
			% in der FM	% in der FM				
2011								
Christgrün I Original		4,3	35,0	95,1	224,69	680,88	433,72	63,7
Christgrün I extrudiert		4,3	36,4	95,4	230,03 (+ 2%)	657,24 (- 3,5 %)	431,81 (- 0,5 %)	65,7 (+ 3 %)
Christgrün II Original		4,3	41,7	95,8	235,91	589,77	349,73	59,3
Christgrün II extrudiert	mittelbraun, säuerlich riechend, leicht	4,3	42,7	95,9	261,31 (+ 11 %)	637,35 (+ 8 %)	410,45 (+ 17 %)	64,4 (+ 9 %)
Christgrün III Original	beißender Essiggeruch, kein Schimmelteppich	4,5	48,7	95,7	254,90	542,34	321,07	59,2
Christgrün III extrudiert		4,5	48,8	96,0	265,16 (+ 4 %)	564,18 (+ 4 %)	324,40 (+ 1 %)	57,5 (- 3 %)
Christgrün IV Original		4,8	60,2	95,0	288,86	506,78	298,49	58,9
Christgrün IV extrudiert		4,7	59,8	95,4	308,21 (+ 7 %)	540,71 (+ 7 %)	336,32 (+ 13 %)	62,2 (+ 6 %)
Mais Original	für Maissilage typische Färbung und Geruch	n. b.	31,0	95,7	187,27	567,49	352,41	62,1
Mais extrudiert		n. b.	31,6	95,4	182,31 (- 3 %)	520,88 (- 8 %)	343,26 (- 3 %)	65,9 (+ 6 %)
2012								
Trossin I Original	mittelbraun, säuerlich riechend, leicht	4,2	31,2	90,5	140,92	503,27	304,48	60,5
Trossin I extrudiert	beißender Essiggeruch, kein Schimmelteppich	4,3	35,2	92,2	178,08 (+ 26 %)	556,49 (+ 11 %)	338,90 (+ 11 %)	60,9 (+ 1 %)
Trossin IV		6,7	72,0	95,9	272,61	395,09	244,96	62,0

Probe	Silageeigenschaften				Gasausbeute ¹⁾		CH ₄ -Ausbeute ¹⁾	CH ₄ -Gehalt ¹⁾
	Silage-Beurteilung	pH	TS-Gehalt	<i>o</i> TS-Gehalt	Nm ³ /t FM	Nm ³ /t <i>o</i> TS	Nm ³ /t <i>o</i> TS	%
			% in der FM	% in der FM				
Original Trossin IV extrudiert		6,2	70,3	95,1	339,21 (+ 24 %)	506,28 (+ 28 %)	313,39 (+ 28 %)	61,9 (0 %)
Nossen I Original		4,2	25,7	91,0	138,83	603,63	362,18	60,0
Nossen I extrudiert	mittelbraun, säuerlich rie- chend, leicht beißender	4,2	28,9	91,4	154,00 (+ 11 %)	592,29 (- 2 %)	353,60 (- 2 %)	59,7 (-0,5 %)
Nossen IV Original	Essiggeruch, kein Schimmel- teppich	4,2	44,4	94,7	188,78	449,47	269,23	59,9
Nossen IV extrudiert		4,3	45,1	93,9	203,94 (+ 8 %)	485,57 (+ 8 %)	298,63 (+ 11 %)	61,5 (+ 3 %)
Christgrün I Original		4,1	30,8	92,7	137,05	472,59	293,48	62,1
Christgrün I extrudiert	mittelbraun, säuerlich rie- chend, leicht beißender	4,1	32,0	92,9	161,43 (+ 18 %)	538,09 (+17 %)	313,17 (+ 7 %)	58,2 (- 6 %)
Christgrün IV Original	Essiggeruch, kein Schimmel- teppich	4,2	55,0	94,6	188,78	363,04	234,16	64,5
Christgrün IV extrudiert		4,4	56,3	93,2	263,70 40 %)	507,11 (+ (+ 40 %)	347,37 (+ 48 %)	68,5 (+ 6 %)
Mais Original	für Maissilage typische Fär- bung und	4,0	32,1	95,0	166,48	554,94	341,29	61,5
Mais extrudiert	Geruch	4,1	34,5	92,6	180,75 (+ 9 %)	564,85 (+ 2 %)	375,63 (+ 10 %)	66,5 (+ 8 %)

n. b. = nicht bestimmt

¹⁾ Werte in Klammern [%] geben eine Zunahme bzw. Verminderung des untersuchten Parameters nach Bioextrusion im Vergleich zur unbehandelten Silageprobe an.

Die höchsten **Biogasausbeuten** (470–680 Nm³/t *o*TS) wurden mit Hybridroggen bei Vergärung des zum optimalen Zeitpunkt geernteten Bestandes (BBCH 77–83) bei einem TS-Gehalt zwischen 35 und 40 % erzielt (vgl. Tabelle 8). Wurde vier Wochen später gehäckselt, fiel die Gasbildung 22 % (Trossin) bis 26 % (Nossen, Christgrün) geringer aus. Im Vergleich zu Mais wies Hybridroggen zum 1. Erntezeitpunkt in Trossin (-9 %) ein etwas geringeres und in Nossen ein etwas höheres (+8 %) Methanbildungspotenzial auf. Christgrün konnte 2011 den Mais mit einer 17 % höheren Gasausbeute überbieten, 2012 dagegen nicht (-17 %). Ernteschnitte des Hybridroggens zum 4. Termin konnten mit Mais allerdings nicht konkurrieren (-24 [Nossen] bis -53 %

[Christgrün] Biogas je t oTS). Durch **Aufspaltung der silierten Hybridroggen-Proben über Bioextrusion** konnte der **Methanertrag** zwischen 4 % und 40 % ($\bar{\varnothing}$ 13,3 %) erhöht werden. Bei stark lignifiziertem, sehr spät geerntetem Hybridroggen mit einem hohen TS-Gehalt war die Differenz in der Gasbildung zwischen nicht extrudiertem und extrudiertem Material am größten ($\bar{\varnothing}$ 25 %). Die extrudierten Proben des 4. Erntetermins erreichten jedoch nicht die Methanausbeute der früheren Erntegruppe bei optimaler Trockensubstanz ohne Extrusion (außer Christgrün 2012). Bei Mais wurde in einer Probe keine Mehrausbeute, in einer zweiten Probe ein um 10 % gesteigerter Gasertrag über den hydrothermalen Aufschluss realisiert (Tabelle 8).

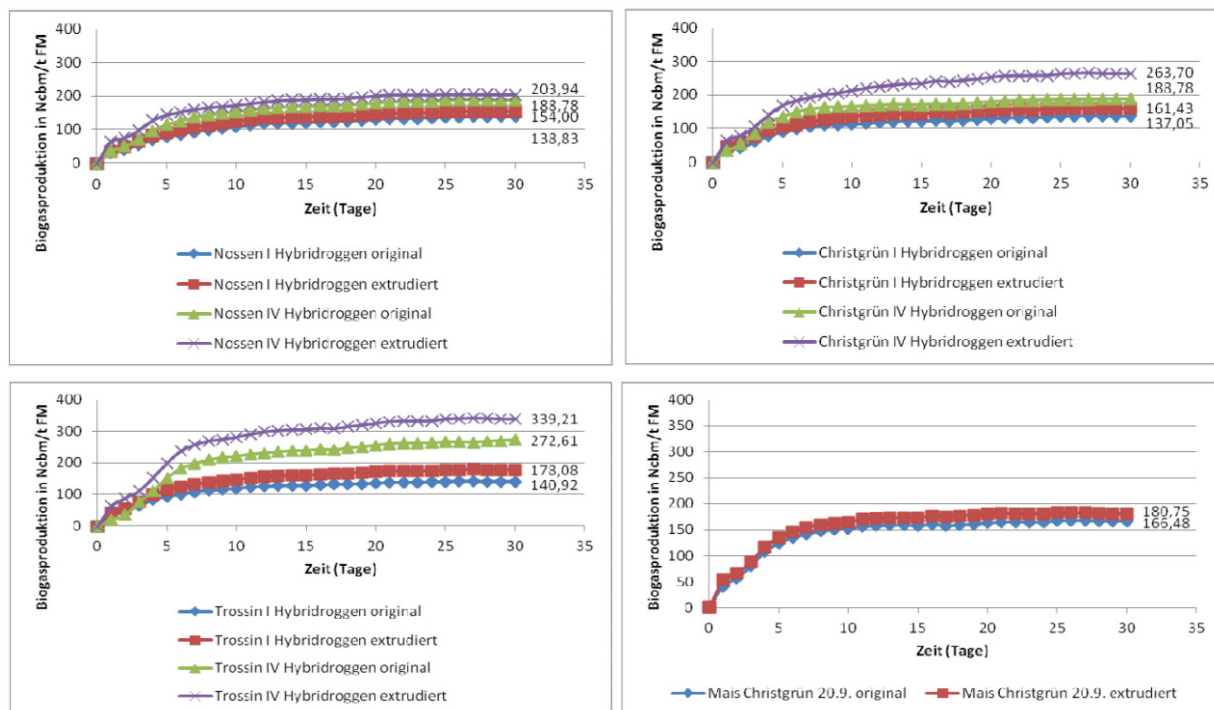
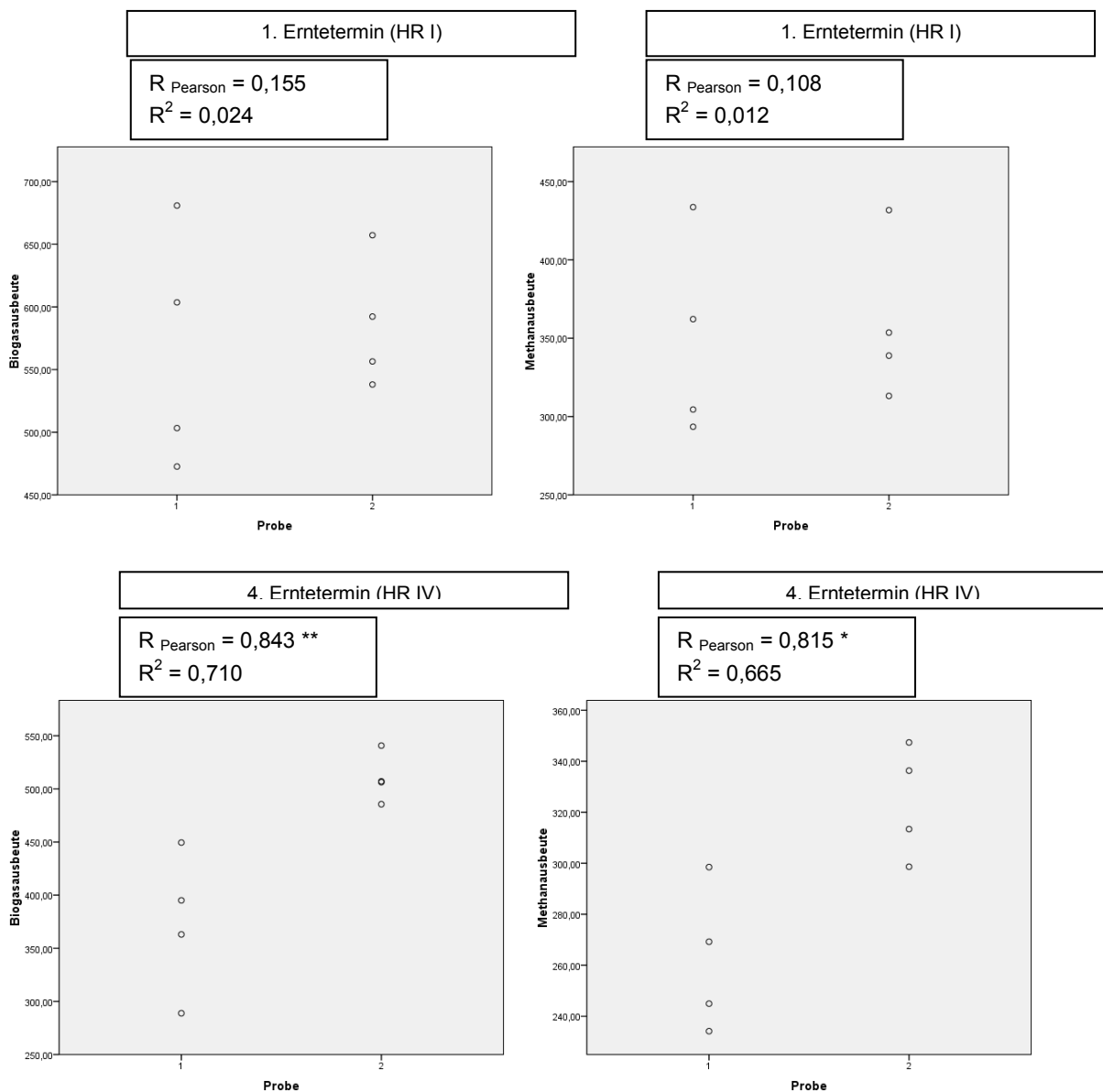


Abbildung 13: Kurvenverläufe der Biogasproduktion [Nm³/t FM], bezogen auf die Frischmasse, von extrudierter im Vergleich zu unbehandelter Silage von Hybridroggen des 1. und 4. Erntetermins und Mais zu optimaler Ernte der Versuchsstandorte Trossin (D), Nossen (Löss) und Christgrün (V), Versuchsjahr 2012 (Quelle: Labor Biogas Oberfranken 2013)

Die Erhöhung des Biogasbildungspotenzials über Bioextrusion wird neben Tabelle 8 auch in Abbildung 13 ersichtlich (Quelle: Labor Biogas Oberfranken 2013). Dargestellt sind Verläufe der Biogasproduktion extrudierter Proben im Vergleich zu unbehandelter Silage aller drei Versuchsstandorte aus dem Jahr 2012 über einen Zeitraum von 30 Tagen. Der Kurvenverlauf aller aufgespaltenen Silagen liegt über denen der Originale, was Mehrausbeuten aufzeigt. Die Leistungssteigerung ist bei stark verholztem Erntematerial (grüne Kurve – lila Kurve) am deutlichsten (Abbildung 13). Zu beachten ist, dass in dieser Abbildung die höchsten Gasausbeuten bei später Ernte erzielt wurden, weil diese auf den Frischmasseertrag bezogen wurden (vgl. Tabelle 8). **Die Methangehalte im produzierten Biogas erhöhten sich von 59–62 (64/65) % auf 62–64 (66/69) % nach thermomechanischem Aufschluss.**

Korrelationsanalysen bestätigen einen signifikant hohen **Einfluss des hydrothermalen Aufschlusses über Bioextrusion auf die Methan- und Biogasausbeute einer Hybridroggen-Silage** zum 4. Erntetermin ($0,7 < R > 0,9$, vgl. Abbildung 14). Im Gegensatz dazu war zum 1. Erntetermin bei Proben mit einem TS-Gehalt zwischen 35 und 40 % der Zusammenhang zwischen Probenform (Original-Silage, extrudierte Silage) und Gasertrag als sehr gering einzustufen ($0 < R > 0,2$). Das Ergebnis von Regressionsanalysen unter Angabe der Modellgüte (R^2) und des Pearson'schen Korrelationskoeffizienten (R) zeigt Abbildung 14.



* = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

** = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Abbildung 14: Lineare Regressionsanalyse zur Darstellung eines möglichen Zusammenhangs zwischen der Behandlung einer Silage (1 = Original-Probe, 2 = extrudiert) und der Biogas- bzw. Methan- ausbeute [Nm³/t oTS] von Hybridroggen zum 1. (HR I) und 4. Erntetermin (HR IV) unter Einbeziehung aller Versuchsstandorte und -jahre (SPSS 17.0)

Unter Einbeziehung des TM-Ertrages und des oTS-Gehaltes konnten aus den ermittelten Biogas- und Methangasausbeuten Hektarerträge berechnet werden. Die **Biogas- und Methangas-Hektarerträge** (in m³/ha) für Hybridroggen und Mais zu verschiedenen Erntezeitpunkten bei den getesteten Aufbereitungswegen (nicht extrudiert und extrudiert) sind in Tabelle 9 aufgezeigt.

Tabelle 9: Gas-Hektarerträge [m³/ha] unter Einbeziehung von TM-Ertrag [dt/ha] und oTS-Gehalt [% in der FM] von Hybridroggen und Mais zu verschiedenen Erntezeitpunkten bei zwei getesteten Aufbereitungsmethoden (nicht extrudiert und extrudiert) an den Standorten Trossin (D), Nossen (Löss) und Christgrün (V) der Versuchsjahre 2011 und 2012

Probe	TM-Ertrag dt/ha	oTS-Gehalt % in der FM	Gaserträge			
			Biogas-Ausbeute Nm ³ /t oTS	Biogas-Ertrag m ³ /ha	CH ₄ -Ausbeute Nm ³ /t oTS	CH ₄ -Ertrag m ³ /ha
2011						
Christgrün I Original	100,0	95,1	680,88	6475,17	433,72	4124,68
Christgrün I extrudiert	100,0	95,4	657,24	6270,07 (- 3 %)	431,81	4119,47 (± 0 %)
Christgrün II Original	94,6	95,8	589,77	5956,36	349,73	3169,49
Christgrün II extrudiert	94,6	95,9	637,35	5782,13 (- 3 %)	410,45	3723,66 (+ 18 %)
Christgrün III Original	125,1	95,7	542,34	6492,93	321,07	3843,87
Christgrün III extrudiert	125,1	96,0	564,18	6776,12 (+ 4 %)	324,40	3895,91 (+ 1 %)
Christgrün IV Original	121,2	95,0	506,78	5835,07	298,49	3436,81
Christgrün IV extrudiert	121,2	95,4	540,71	6251,95 (+ 7 %)	336,32	3888,69 (+ 13 %)
Mais Original	217,2	95,7	567,49	11795,87	352,41	7325,21
Mais extrudiert	217,2	95,4	520,88	10793,09 (- 9 %)	343,26	7112,65 (- 3 %)
2012						
Trossin I Original	91,2	90,5	503,27	4153,79	304,48	2513,06
Trossin I extrudiert	91,2	92,2	556,49	4679,32 (+ 13 %)	338,90	2849,69 (+ 13 %)
Trossin IV Original	96,6	95,9	395,09	3660,09	244,96	2269,30
Trossin IV extrudiert	96,6	95,1	506,28	4651,02 (+ 27 %)	313,39	2879,01 (+ 27 %)
Mais Original *	146,7	95,0	650,00	9058,73	338,00	4710,54

Probe	TM-Ertrag dt/ha	oTS-Gehalt % in der FM	Gaserträge			
			Biogas-Ausbeute Nm ³ /t oTS	Biogas-Ertrag m ³ /ha	CH ₄ -Ausbeute Nm ³ /t oTS	CH ₄ -Ertrag m ³ /ha
Nossen I Original	157,1	91,0	603,63	8629,56	362,18	5177,76
Nossen I extrudiert	157,1	91,4	592,29	8504,66 (- 2 %)	353,60	5077,32 (- 2 %)
Nossen IV Original	232,6	94,7	449,47	9900,58	269,23	5930,39
Nossen IV extrudiert	232,6	93,9	485,57	10605,40 (+ 7 %)	298,63	6522,42 (+ 10 %)
Mais Original *	211,0	95,0	650,00	13029,25	338,00	6775,21
Christgrün I Original	153,9	92,7	472,59	6742,22	293,48	4186,94
Christgrün I extrudiert	153,9	92,9	583,09	8336,62 (+ 24 %)	313,17	4477,49 (+ 7 %)
Christgrün IV Original	165,3	94,6	363,04	5677,00	234,16	3661,65
Christgrün IV extrudiert	165,3	93,2	507,11	7812,52 (+ 38 %)	347,37	5351,57 (+ 46 %)
Mais Original	179,9	95,0	554,94	9484,20	341,29	5832,82
Mais extrudiert	179,9	92,6	564,85	9409,69 (- 1 %)	375,63	6257,52 (+ 7 %)

* KTBL-Standardwerte für oTS-Gehalt [%] sowie Biogas- und Methanausbeute [l/kg oTS], (KTBL 2009), weil keine Messwerte vorhanden

Die Methangas-Hektarerträge konnten durch Aufspaltung des silierten Materials im Durchschnitt aller Proben beim Roggen um rund 14 % im Vergleich zur unbehandelten Probe gesteigert werden (HR I–HR IV, alle Standorte und Versuchsjahre, vgl. Tabelle 9).

Im Versuchsjahr 2011 wurde der höchste Methanertrag (4.125 m³ CH₄/ha) mit der unextrudierten Roggen-Probe zum 1. Erntetermin (TS-Gehalt = 42 %) erreicht (Versuchsstandort Christgrün). Im darauffolgenden Jahr dagegen erzielte der spät geerntete Roggen (HR IV) nach Aufschluss durch Bioextrusion[®] die beste Methangas-Ertragsleistung an allen Versuchsstandorten (2.880–6.522 m³ CH₄/ha). Die Gashektarerträge von Mais wurden mit keiner Hybridroggenvariante erreicht. Im getreideschwachen Jahr 2011 konnte das Getreide bei weitem nicht mit der C₄-Pflanze konkurrieren. 2012 fiel die Methangasbildung von Hybridroggen nach Aufbereitung um Ø 15 % (HR IV, extrudiert) bzw. Ø 30 % (HR I, extrudiert) geringer aus im Vergleich zu Mais (BBCH 85, 33 % TS, nicht extrudiert, siehe Tabelle 9).

3.3 Praxisextruder

Der Praxisextruder MSZ B 55e der Firma LEHMANN Maschinenbau GmbH in Pöhl (55 kW-E-Motor, Abbildung 1) erzielte einen **Durchsatz** von 2,5 t je Stunde. Dieser Wert kann aber deutlich schwanken, weil die Durchsatzleistung eines Extruders stoff- und feuchteabhängig ist. Das aufzuschließende Material war ein Gemisch aus Hybridroggensilage unterschiedlichen Reifegrades zum 1. und 4. Erntetermin (HR I und HR IV).

Der Extruder hat einen elektrischen Anschlusswert von 55 kW. Die Investitionskosten liegen bei rund 65.000 €. Je nach Verarbeitungsmenge, die ein Biogasanlagenbetreiber hat, lässt sich der Tagesstromverbrauch berechnen. Um einen Extruder optimal auszulasten, sollte das Gerät so lange wie möglich täglich im Einsatz sein. Die Beschickungszeiten der Biogasanlage müssen mit der Substrataufbereitung zusammenpassen, damit nicht zu viele Abbauvorgänge (gasförmig) außerhalb der Anlage laufen. Beim Beispiel in Tabelle 10 wurde von einer Auslastung des Extruders von 1.350 h im Jahr ausgegangen. Dies ergibt einen Einsatz des Gerätes von täglich 6 Stunden an 5 Tagen pro Woche und 45 Wochen pro Jahr. Mit einer Durchsatzleistung von 2,5 t je h lässt sich unter Beachtung der Erträge auf den geprüften Standorten die benötigte Fläche für den Hybridroggenanbau berechnen.

Tabelle 10: Berechnung von Kosten und Nutzen der Bioextrusion® (LEHMANN Maschinenbau GmbH) am Beispiel von Hybridroggen bei 11 % mehr Ausbeute durch Extrusion, Versuchsjahr 2012 (Berechnungen von JÄKEL, LfULG)

		Trossin	Christgrün	Nossen
Auslastung	h/a	1350	1350	1350
	t/a	3375	3375	3375
TM-Ertrag	t/ha	9,7	16,5	23,3
benötigte Fläche	ha	348	205	145
<hr/>				
feste Kosten	€/t	2,99	2,99	2,99
Strom	€/t	3,96	3,96	3,96
AK 18 €/h	€/t	7,2	7,2	7,2
variable Kosten	€/t	11,16	11,16	11,16
Gesamtkosten	€/t	14,15	14,15	14,15
<hr/>				
Zusatzertrag	m ³ /ha	250	378	652
	€/ha	82,50	124,74	215,16
	€/t	8,51	7,56	9,23

Annahmen: Investitionskosten: 65.000,- €; Nutzungsdauer: 8 Jahre; Durchsatzleistung: 2,5 t/h, Reparatur/Wartung: 1,5 %; Zinsen: 1,5 %, Stromkosten: 0,18 €/kWh; Vergütung: 0,33 €/m³ CH₄

Wie aus Tabelle 10 ersichtlich, ist es schwierig, bei einem durchschnittlichen Mehrertrag (CH₄ pro ha) von 11 % mit der Extrusion Gewinne zu erzielen. Die Möglichkeit ist aber bei Änderung der Bedingungen, z. B. bei längerer Nutzung des Gerätes, höherer Auslastung oder der Reduzierung von Akh gegeben. Bei einem guten Management lässt sich auch der Mehrertrag verbessern.

In Tabelle 11 wurde deshalb die gleiche Rechnung noch einmal durchgeführt mit einer höheren Methanausbeute von 20 % und unter der Annahme, dass der Biogasanlagenfahrer noch freie Arbeitszeitkapazitäten hat

und deshalb keine Akh angesetzt werden. In Tabelle 11 zeigt sich somit eine erheblich verbesserte Wirtschaftlichkeit des Extrudereinsatzes.

Tabelle 11: Berechnung von Kosten und Nutzen der Bioextrusion[®] (LEHMANN Maschinenbau GmbH) am Beispiel von Hybridroggen bei 20 % mehr Ausbeute durch Extrusion, ohne AK. Versuchsjahr 2012 (Berechnungen von JÄKEL, LfULG)

		Trossin	Christgrün	Nossen
Gesamtkosten	€/t	6,95	6,95	6,95
Zusatzertrag	m ³ /ha	454	687	1186
	€/ha	150	227	391
	€/t	15,45	13,74	16,80
Gewinn	€/t	8,50	6,79	9,85

Annahmen: Investitionskosten: 65.000,- €; Nutzungsdauer: 8 Jahre; Durchsatzleistung: 2,5 t/h; Reparatur/Wartung: 1,5 %; Zinsen: 1,5 %, Stromkosten: 0,18 €/kWh, Vergütung: 0,33 €/m³ CH₄

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

„**Vielfalt auf dem Acker**“ lautete das **Hauptziel** umfangreicher Anbauversuche der letzten Jahre. Dieser Satz bekam Anfang 2012 mit der EEG-Novelle eine noch stärkere Bedeutung (BMELV 2012). Künftig werden Betreiber von neu erstellten Biogasanlagen aufgrund der festgelegten „Maisdeckelung“ nicht mehr an der Frage vorbeikommen, welche Energiepflanzen neben dem Mais noch in die Fruchtfolge passen, denn die bei der Fermentation eingesetzte Maismasse ist auf maximal 60 % begrenzt.

In Sachsen ist die Mais-Anbaufläche mit ca. 96.100 ha bei einem Anteil von 13,4 % an der Gesamtackerfläche pflanzenbaulich positiv zu bewerten, weil bei einem sehr hohen Getreideanteil durch den Mais die Fruchtfolgen aufgelockert werden. Lokal gibt es allerdings um große Biogasanlagen auch einseitig ausgerichteten Maisanbau.

Bei Betrachtung der Energieerträge pro Hektar ist Mais unter den aktuellen Bedingungen als Biogassubstrat tatsächlich nur schwer zu schlagen (vgl. Ergebnisse aus dem Projekt EVA). Regionsspezifisch sollten aber praxisrelevante Ergänzungen herausgestellt werden.

Getreide-GPS ist eine ertragliche und kostengünstige Option für alle Ackerbauregionen (BISCHOF 2012; TLL 2010, 2013; Universität Gießen 2012). Die technischen Anforderungen unterscheiden sich kaum vom Anbau zur Körnernutzung. Dies garantiert eine Nutzungsflexibilität, wenn während der Saison von GPS auf Körnernutzung oder umgekehrt umgeschwenkt wird. Arbeitsspitzen können gebrochen werden. Ganzpflanzengetreide hat sich bereits in mehreren Anbauversuchen, u. a. im bundesweiten Energiefruchtfolgeprojekt EVA (GRUNEWALD 2014), im Getreide-GPS-Projekt (BISCHOF 2012) sowie in thüringischen Sortenversuchen (TLL 2010), als ertragsstabilste (geringste witterungsbedingte Jahresertragsschwankungen) und ökonomisch nachhaltige Ergänzung zur Mais-Kultivierung bewiesen. Getreide ist als C₃-Pflanze an die klimatischen Bedingungen der mittleren Breiten bestens angepasst. **Roggen** bevorzugt gemäßigt, nicht allzu trockenes Klima. Weil er die Winterfeuchte sehr gut ausnutzen kann, sind aber auch kurze fröhsommerliche Niederschlagsmangelphasen gut zu überdauern. Raue Lagen der Vorgebirgsregionen stellen aufgrund der geringen Frostempfindlichkeit des Roggens ebenfalls kein Hindernis dar. Roggen hat die positive Eigenschaft, sehr effizient bei der Nähr-

stoffaneignung und -verwendung zu sein und ist somit prädestiniert für nährstoffarme Böden. In den Diluvial- und Verwitterungsregionen reichte Hybridroggen im Versuch zwar nicht an das Biomassepotenzial von Mais heran, die Hybridroggen-Erträge vom 2. bis 4. Erntetermin waren aber nur geringfügig niedriger als beim Mais, also nicht signifikant verschieden.

Bei den meisten Energiepflanzen, so auch beim Getreide (GPS), ist das Erntefenster für die optimale Biogasausbeute begrenzt. Anzustreben sind für die Silierung und Vergärung optimale TS-Gehalte zwischen 35 und 40 %. Wird Gärsubstrat zu einem späteren Zeitpunkt benötigt oder fällt die Entscheidung, z. B. aufgrund mangelnder Qualitätskriterien, relativ spät, dass das Getreide nicht gedroschen, sondern in der Biogasanlage umgesetzt werden soll, können zu hohe TS-Gehalte ein Ausschlusskriterium für die Vergärung sein. Je länger die Wachstumszeit (> BBCH 77), desto verstärkt inkrustieren schwer abbaubare Ligninstrukturen zwischen die Hemicellulose- und Cellulosefibrillen. Wurde ca. vier Wochen später als zum „Optimaltermin“ gehäckselt, sank die Methanausbeute beim Hybridroggen (50–70 % TS) um bis zu 30 %.

Um dieses Erntematerial den Bakterien im Fermenter dennoch zugänglich zu machen, hat die Firma LEHMANN Maschinenbau GmbH ein thermomechanisches Verfahren zum hydrothermalen Aufschluss der Ligninkrusten entwickelt. Bei der **Extrusion** wird das Material nicht nur zerkleinert, sondern ganze Stoffstrukturen werden verändert. Ausgelöst durch die mechanische Beanspruchung zwischen zwei gegenläufigen Schnecken werden die Substrate Druck- und Temperaturspitzen ausgesetzt, wobei sie aufgefasert und aufgeschlossen werden. Über diese Methode konnte bei stark lignocellulosehaltigem Hybridroggen zu sehr später Ernte die Methangasausbeute um Ø 25 % erhöht werden (Ergebnis der Jahre 2011 und 2012, drei Standorte). Im Durchschnitt aller Proben konnte durch Extrusion eine höhere CH₄-Ausbeute von 13 % festgestellt werden. Die positive Wirkung des hydrothermalen Aufschlusses auf die Gassteigerung bei lignifiziertem, verholztem Material bestätigten Korrelations- und Regressionsanalysen. Bei GPS mit optimalen TS-Gehalten (< 40 %) und bei Mais wurde das Gasbildungspotenzial durch die Extrusion am wenigsten beeinflusst. Die Methanhektarerträge des ersten und zweiten Schnittes bei optimaler TS zur Ernte konnten trotz Aufspaltung der Lignocellulosestrukturen nur geringfügig überschritten werden, weil ab dem 2. Erntetermin kaum Trockenmassezugzuwächse (außer Nossen) zu verzeichnen waren. Wirtschaftlich waren die durch Bioextrusion erzielten Methanausbeuten bei Einsatz von zusätzlicher Arbeitskraft nicht rentabel. Das wichtigste Einsatzkriterium für Hybridroggen ist und bleibt somit der optimale Erntezeitpunkt bei TS-Gehalten zwischen 35 und 40 % im Entwicklungsstadium der späten Milch- bis frühen Teigreife (BBCH 77–83).

Das Aufschlussverfahren der Bioextrusion[®] kann aber das Biogassubstratspektrum in der Landwirtschaft deutlich erhöhen. Auch Reststoffe und Koppelprodukte wie Stroh oder sogar Landschaftspflegematerial kommen nun zur Einbringung in den Biogas-Fermenter in Betracht. Lehmann & Fraunhofer IKTS (2010) konnten zum Beispiel eine um Ø 20 % gesteigerte Biogasbildung von extrudiertem Weizenstroh im Vergleich zur Originalsilage dokumentieren.

Biodiversität in der Fruchtfolge wird von Politikern, der Gesellschaft und Umweltaktivisten gefordert und sollte durch den Anbau standortangepasster Feldfrüchte, biogasoptimierter Sorten und geeigneter Aufbereitungsverfahren möglich sein.

Mit der Nutzung von Hybridroggen als GPS steht ein flexibel nutzbares Fruchtfolgeglied zur Verfügung, mit dem sich Fruchtfolgen z. B. mit einem Zweitfrucht- oder Zwischenfruchtanbau oder auch speziellen Biogasmischungen, z. B. Wickroggen, erweitern lassen. Pflanzenbaulich ist der erste Erntetermin auch aus Gründen der Folgefrucht positiv zu beurteilen. Anfang Juni ist noch ein breiteres Spektrum an Folgefrüchten, neben Mais oder Sorghumhybriden, möglich. Ein späterer Erntetermin schränkt die Auswahl deutlich ein (Raps oder

Gräser- und Leguminosengemenge sind möglich). Besonders für ertragsschwächere Standorte und ungünstigere Klimlagen (Gebiete in der mitteldeutschen Trockenzone, Vorgebirgswitterung) bietet sich Roggen als Alternative zum Maisanbau an. Defizite im Gasbildungspotenzial bei höheren TS-Gehalten > 40 % können mit speziellen Aufschlussverfahren, z. B. Bioextrusion[®], ausgeglichen werden. Trotz höherer Biogasausbeuten ist es jedoch auf Grund der Kosten der Extrusion schwierig, mit der Extrusion eine Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

5 Zusammenfassung

In den drei Standorthauptgruppen Sachsens wurden im Jahr 2012 auf einem leichten Diluvialboden im Norden (Trossin), auf einem ertragsreicheren Lössstandort in Mittelsachsen (Nossen) und auf einem Verwitterungsboden in Vorgebirgslage (Christgrün) Ertragsvergleiche von Hybridroggen als Ganzpflanze zur Biogasproduktion im Vergleich zu Mais durchgeführt. Ergebnisse lagen bereits aus dem Jahr 2011 von einem der drei Versuchsstandorte vor (Christgrün im Vogtland).

Das Getreide wurde als GPS zum optimalen Erntezeitpunkt (späte Milchreife bis frühe Teigreife) bei einem für die Silierung und Vergärung günstigen TS-Gehalt zwischen 35–40 % geerntet (HR I). Weitere drei Erntetermine folgten im Abstand von sieben Tagen (HR II–HR IV). Je später der Erntetermin, desto mehr Trockenmasse konnte erzielt werden, jedoch waren die Mehrerträge nur auf dem Lössboden signifikant. Hybridroggen erreichte das Ertragsniveau von Mais auf keinem Standort.

Bei Abreife des Roggens inkrustieren innerhalb von ein paar Wochen schwer verdauliche Ligninstrukturen zwischen die Cellulose- und Hemicellulosefibrillen. Bei einer verlängerten Wachstumszeit von nur vier Wochen stiegen die Rohfasergehalte auf Werte bis zu 44 % in der FM an. Die Biogas- und Methanausbeuten nahmen um 22–26 % bzw. 20–31 % (Vergleich HR I und HR IV) ab.

Um Mikroorganismen im Fermenter auch stärker verholzten Materialien zugänglich zu machen, hat die Firma LEHMANN Maschinenbau GmbH ein mechanisch-thermisches Aufschlussverfahren unter dem Namen Bioextrusion[®] entwickelt. Mithilfe eines Schneckenextruders wird das Substrat durch mehrfache Druck-/Entspannungszyklen in Kombination mit Temperaturspitzen zerkleinert und bis in die Zellstruktur aufgeschlossen.

Durch Aufspaltung der silierten Hybridroggen-Proben über Bioextrusion[®] konnten die Methanausbeuten im Durchschnitt aller Erntetermine um 13 % gesteigert werden.

Bei stark lignifiziertem, sehr spät geerntetem Hybridroggen mit einem hohen TS-Gehalt war die Differenz in der Gasbildung zwischen nicht extrudiertem und extrudiertem Material am größten (im Durchschnitt 25 % Steigerung). Korrelationsanalysen bestätigten einen signifikant hohen Einfluss der Bioextrusion auf die Leistungssteigerung von Hybridroggen-Silage zum 4. Erntetermin (HR IV).

Methangehalte im produzierten Biogas erhöhten sich nach hydrothermaletem Aufschluss leicht.

Der höchste Methanhektarertrag wurde im getreideschwachen Jahr 2011 mit der unextrudierten Probe zum 1. Erntetermin erreicht. Im darauffolgenden Jahr dagegen erzielte der spät geerntete Roggen (HR IV) nach Bearbeitung durch Bioextrusion[®] die beste Methangas-Hektarertragsleistung an allen Versuchsstandorten. Gasbildungspotenziale vom Mais blieben jedoch trotz hydrothermaletem Aufschluss der Lignocellulosestrukturen des Getreides unerreicht.

Bei einer späten Ernte des Hybridroggens stehen nur noch wenige Zweit- und Zwischenfrüchte zum weiteren Anbau zur Verfügung.

Die Bioextrusion erhöht die verfügbaren Einsatzstoffe für Biogasanlagen. Für einen wirtschaftlichen Einsatz eines Extruders sind jedoch die festen und variablen Kosten genau zu berechnen.

6 Literaturverzeichnis

- Biogas Oberfranken (2012): Bestimmung der anaeroben Biogasproduktion von Maissilage (Original) und Maissilage (extrudiert). Laborbericht Versuchsjahr 2011. Labor Biogas Oberfranken, Hof.
- Biogas Oberfranken (2012): Bestimmung der anaeroben Biogasproduktion von unbehandelter und extrudierter Hybridroggensilage zu unterschiedlichen Erntezeitpunkten. Laborbericht Versuchsjahr 2011. Labor Biogas Oberfranken, Hof.
- Biogas Oberfranken (2013): Bestimmung der anaeroben Biogasproduktion von unbehandelter und extrudierter Hybridroggensilage zu unterschiedlichen Erntezeitpunkten sowie einer extrudierten und einer unbehandelten Maissilage. Laborbericht Versuchsjahr 2012. Labor Biogas Oberfranken, Hof.
- BISCHOF, R. (2012): Optimierung des Anbauverfahrens für Ganzpflanzengetreide inklusive Arten- und Sortenmischungen für die Biogaserzeugung. Abschlussbericht zum Verbundprojekt. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- BMELV (2012): Das Erneuerbare-Energien-Gesetz. Daten und Fakten zu Biomasse – Die Novelle 2012. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin.
- BOEHME, M.; HAASE, D. (2011, 2012): Sortenempfehlungen Winterroggen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen.
- BOEHME, M.; HAASE, D. (2011, 2012): Sortenempfehlungen Silomais. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen.
- BRASE, TH.; JANSSEN, J. (2012): Hybridroggen eignet sich gut als Biogas-Substrat. ACKER plus 09.2012, 40-43.
- BSA (2013): Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. Bundessortenamt, Hannover.
- DULLER, CHR. (2007): Einführung in die Statistik mit Excel und SPSS. Physica-Verlag, Heidelberg.
- ELSNER, F. (2009): Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows. Universität Osnabrück, Osnabrück.
- FNR (2005): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow.
- FNR (2010): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow.
- FÖRSTER, F. (2011, 2012): Düngebedarfsermittlung (BEFU). Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Leipzig, Nossen.
- GRUNEWALD, J. (2013): Das Projekt EVA III. Versuchsstandort Trossin/Sachsen. Zwischenbericht Versuchsjahr 2013. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen.
- GRUNEWALD, J.; JÄKEL, K. (2014): Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime auf D-Süd-Standorten. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen.
- HERRMANN, CHR.; HEIERMANN, M.; IDLER, CHR. (2012): Abschlussbericht des Teilprojektes „Ermittlung des Einflusses der Substratqualität auf die Biogasausbeute in Labor und Praxis“ aus dem Verbundprojekt „Entwicklung und Vergleich von Anbausystemen für Energiepflanzen zur Biogasproduktion unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, kurz EVA“. Leibniz-Institut für Agrartechnik, Potsdam-Bornim.
- KTBL (2009): Faustzahlen Biogas. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt.
- KWS Lochow (2011): Stand der Nutzung von Roggen GPS. Energiekolloquium 08.11.2011. Einbeck.
- KWS Lochow (2014): GPS-Hybridroggen. <http://www.kws-getreide.de> (Stand: 27.03.2014).
- LEHMANN Maschinenbau GmbH (2008): Biogasanlagenbau – auf den Aufschluss kommt es an. Biogastagung Innovationskongress 12.05.2008. Osnabrück.

- LEHMANN Maschinenbau GmbH (2008): Herausforderung Bioextrusion. Umweltdienstleister, Sonderausgabe.
- LEHMANN Maschinenbau GmbH (2010): Auf den Methangas-Hektarertrag kommt es an. Hybridroggen und Biogaspotential. Bericht Oktober 2010. Pöhl.
- LEHMANN Maschinenbau GmbH (2010): Biogas aus Stroh. Joule 2.2010, 44-45.
- LEHMANN Maschinenbau GmbH, Fraunhofer IKTS (2010): Nutzung hochlignocellulosehaltiger biogener Reststoffe und Substrate in Biogasanlagen. LEHMANN GmbH, Pöhl. Fraunhofer IKTS, Dresden.
- LEHMANN Maschinenbau GmbH (2012): Zellulosehaltige Substrate – Mehr Gas nach Aufschluss. Neue Landwirtschaft 1/2012, Sonderdruck, 1-4.
- LfULG (1996): Bodenatlas des Freistaates Sachsen Teil 2: Standortkundliche Verhältnisse und Bodennutzung. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Radebeul.
- LfULG (2009): Versuchsstation Christgrün. Standortbeschreibung. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- LfULG (2009): Versuchsstation Nossen. Standortbeschreibung. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- RASCH, D.; ENDERLEIN, G.; HERRENDÖRFER, G. (1973): Biometrie. Verfahren, Tabellen, Angewandte Statistik. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- RÖHRICHT, CH.; FREYDANK, S.; SCHRÖDER, S. (2008): Energie vom sand. Bauernzeitung 25/2008, 26-27.
- STOLZENBURG, K. (2008): Ergebnisse der Arten- und Sortenversuche in Baden-Württemberg - Gasausbeuten, Biomasse- und Energieerträge. In: MASTEL, K. (Hrsg.), Pflanzliche Rohstoffe zur Biogasgewinnung. Tagungsband vom 3. Workshop. LTZ Bayern, Augustenberg.
- TFZ Bayern (2012): Entwicklung und Vergleich von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen zur Biogasproduktion unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, kurz EVA (Phase II). Versuchsstandort Ascha/Bayern. Vorläufiger Abschlussbericht des Energiefruchtfolgegrundversuchs. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing.
- TLL (2010): Entwicklung und Vergleich von standortangepassten Anbausystemen zur Biogasproduktion unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, kurz EVA (Phase I). Abschlussbericht zum Teilprojekt 1 – der Energiefruchtfolgegrundversuch. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- TLL (2010): Sortenversuche in Thüringen. Wintergerste, Wintertriticale, Winterroggen, Wintergerste und Sommerhafer. Ganzpflanzengetreide zur Biogasgewinnung. Versuchsbericht 2007-2009. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- TLL (2013): Entwicklung und Vergleich von standortangepassten Anbausystemen zur Biogasproduktion unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, kurz EVA (Phase II). Abschlussbericht zum Teilprojekt 1 – der Energiefruchtfolgegrundversuch. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- Universität Gießen (2012): Teilprojekt 3 „Ökonomische Begleitforschung“ aus dem Verbundprojekt „Entwicklung und Vergleich von standortangepassten Anbausystemen zur Biogasproduktion unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, kurz EVA (Phase II), Universität Gießen, Gießen.
- VDLUFA (1998): Methodenhandbuch Band 3 – Futtermitteluntersuchung. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Anhang

Tabelle A1: Ernte-(Datum, BBCH, Größe der Ernteparzelle) und Ertragsdaten (FM- und TM-Ertrag in kg/Ernteparzelle bzw. dt/ha sowie TS-Gehalt in %) des Hybridroggenversuchs B68 der Standorte Trossin (D), Nossen (Löss) und Christgrün (V), Versuchsjahre 2011 und 2012.

Fruchtart	Sorte	Wiederholung	Erntedatum	BBCH	Ernteparzelle m ²	FM-Ertrag kg/Ernteparzelle	FM-Ertrag dt/ha	TS-Gehalt 105 °C % in der FM	TM-Ertrag 105 °C dt/ha
Trossin 2012									
Hybridroggen I	Palazzo (KWS Lochow)	A	07.06.2012	75-77	18	43,1	239,4	34,2	81,9
		B				49,0	272,2	36,9	100,5
		Ø				46,1	255,8	35,6	91,2
Hybridroggen II	Palazzo (KWS Lochow)	A	18.06.2012	79	18	45,9	255,0	45,5	116,0
		B				45,6	253,3	46,8	118,6
		Ø				45,8	254,2	46,2	117,3
Hybridroggen III	Palazzo (KWS Lochow)	A	04.07.2012	85-87	18	37,6	208,9	55,2	115,3
		B				45,5	252,8	51,8	130,9
		Ø				51,6	230,8	53,5	123,1
Hybridroggen IV	Palazzo (KWS Lochow)	A	16.07.2012	87-89	18	27,8	154,4	57,8	89,3
		B				32,7	181,7	57,2	103,9
		Ø				30,3	168,1	57,5	96,6
Mais	Atletico (KWS Saat AG)	A	05.09.2012	85-87	13,5	55,0	407,3	40,8	166,2
		B				61,1	452,7	33,4	151,2
		C				61,6	456,6	31,2	142,5
		D				56,0	414,7	30,6	126,9
		Ø				58,4	432,8	34,0	146,7
Nossen 2012									
Hybridroggen I	Palazzo (KWS Lochow)	A	08.06.2012	75	12	51,6	430,0	34,4	147,9
		B				59,3	494,2	35,2	173,9
		C				56,8	473,3	36,2	171,3
		D				46,4	388,3	34,8	135,1
		Ø				53,6	446,5	35,2	157,1
Hybridroggen II	Palazzo (KWS Lochow)	A	18.06.2012	77	12	58,3	485,8	39,9	193,8
		B				58,1	484,2	38,4	185,9
		C				57,2	476,7	37,6	179,2
		D				47,5	395,8	40,8	161,5
		Ø				55,3	460,6	39,2	180,1

Fruchtart	Sorte	Wiederholung	Erntedatum	BBCH	Ernteparzelle m ²	FM-Ertrag kg/Ernteparzelle	FM-Ertrag dt/ha	TS-Gehalt 105 °C % in der FM	TM-Ertrag 105 °C dt/ha
Hybridroggen III	Palazzo (KWS Lochow)	A	28.06.2012	83-85	12	53,7	447,5	47,8	213,9
		B				60,8	506,7	48,9	247,8
		C				46,5	387,5	48,3	187,2
		D				55,1	459,2	46,8	214,9
		Ø				54,0	450,2	48,0	215,9
Hybridroggen IV	Palazzo (KWS Lochow)	A	10.07.2012	85-87	12	43,4	361,7	49,9	180,5
		B				54,4	453,3	48,7	220,8
		C				57,7	480,8	52,3	251,5
		D				61,1	509,2	54,5	277,5
		Ø				54,2	451,3	51,4	232,6
Mais ¹⁾	Torres (KWS Saat AG)	Ø					603,0	35,0	211,0
Christgrün 2011									
Hybridroggen I	Palazzo (KWS Lochow)	A	07.07.2011	79	27,6	65,2	236,2	43,5	102,8
		B				69,1	250,4	41,6	104,2
		C				62,6	226,8	42,3	95,9
		D				61,5	222,8	43,4	96,7
		Ø				64,6	234,1	42,7	100,0
Hybridroggen II	Palazzo (KWS Lochow)	A	14.07.2011	87	27,6	55,8	202,2	50,4	101,9
		B				45,0	163,0	49,7	81,0
		C				54,0	195,7	49,6	97,1
		D				53,7	194,6	50,6	98,5
		Ø				52,1	188,9	50,1	94,6
Hybridroggen III	Palazzo (KWS Lochow)	A	21.07.2011	83/85	27,6	56,9	206,2	55,1	113,6
		B				61,8	223,9	55,2	124,3
		C				69,9	253,3	53,5	135,5
		D				67,6	244,9	51,9	127,1
		Ø				64,1	232,1	53,9	125,1
Hybridroggen IV	Palazzo (KWS Lochow)	A	28.07.2011	92	27,6	51,7	187,3	71,1	133,2
		B				49,4	179,0	70,2	125,7
		C				45,0	163,0	72,3	117,9
		D				42,7	154,7	69,8	108,0
		Ø				47,2	171,0	70,9	121,2

Fruchtart	Sorte	Wiederholung	Erntedatum	BBCH	Ernteparzelle m ²	FM-Ertrag kg/Ernteparzelle	FM-Ertrag dt/ha	TS-Gehalt 105 °C % in der FM	TM-Ertrag 105 °C dt/ha
Mais	NK Falkone (Syngenta)	A	05.10.2011	85	10,5	71,8	683,8	40,9	279,7
		B				65,4	622,9	34,9	217,4
		C				65,6	624,8	34,1	213,1
		D				53,7	511,4	31,0	158,5
		Ø				64,1	610,7	35,2	217,2
Christgrün 2012									
Hybridroggen I	Palazzo (KWS Lochow)	A	02.07.2012	75	24	119,3	497,1	30,1	149,6
		B				135,6	565,0	28,5	161,0
		C				132,8	553,3	28,5	157,7
		D				121,8	507,5	29,0	147,2
		Ø				127,4	530,7	29,0	153,9
Hybridroggen II	Palazzo (KWS Lochow)	A	11.07.2012	83/85	24	98,5	410,4	39,6	162,5
		B				102,0	425,0	39,6	168,3
		C				93,0	387,5	39,6	153,5
		D				96,2	400,8	40,8	163,5
		Ø				97,4	405,9	39,9	162,0
Hybridroggen III	Palazzo (KWS Lochow)	A	20.07.2012	87	24	87,7	365,4	46,3	169,2
		B				95,7	398,8	42,7	170,3
		C				90,5	377,1	45,3	170,8
		D				86,8	361,7	44,5	160,9
		Ø				90,2	375,7	44,7	167,8
Hybridroggen IV	Palazzo (KWS Lochow)	A	30.07.2012	92	24	62,7	261,3	62,5	163,3
		B				71,8	299,2	56,4	168,7
		C				65,8	274,2	59,3	162,6
		D				66,4	276,7	60,2	166,6
		Ø				66,7	277,8	59,6	165,3
Mais	Ayrro (Saaten Union)	A	20.09.2012	85	10,5	55,2	525,7	33,2	174,5
		B				58,1	553,3	33,6	185,9
		C				60,8	579,0	34,9	202,1
		D				53,0	504,8	31,1	157,0
		Ø				56,8	540,7	33,2	179,9

¹⁾ Aus dem Jahr 2012 lagen für Nossen keine Ertragsdaten für Mais (Sorte Torres) vor, weil die Bestände durch Wildschweine geschädigt wurden, Vergleichswerte wurden von der Mais-Sorte Torres aus den Jahren 2011 und 2013 zu Auswertungszwecken herangezogen (Daten: BÖHME, LfULG, nach Anfrage).

Tabelle A2: Inhaltsstoffcharakteristik (Werte in % in der Frischmasse) von Hybridroggen unterschiedlichen Reifegrades im Vergleich zu Mais der Standorte Trossin (D), Nossen (Löss) und Christgrün (V) der Versuchsjahre 2011 und 2012

Fruchtart	Wiederholung	Erntedatum	BBCH	oTS % in der FM	Rohasche % in der FM	Rohprotein % in der FM	Rohfett % in der FM	Rohfaser % in der FM	N-freie Extraktstoffe % in der FM	NDF ¹⁾ % in der FM	ADF ²⁾ % in der FM	ADL ³⁾ % in der FM	Stärke % in der FM	Gesamtzucker % in der FM
Trossin 2012														
Hybridroggen I	A	07.06.2012	75-77	92,0	4,47	7,54	1,58	24,78	70,33	50,43	26,63	4,14	6,63	
	B			92,1	4,32	7,13	1,69	24,76	70,68	44,18	27,90	4,12	7,08	
	Ø			92,1	4,39	7,33	1,63	24,77	70,51	52,31	27,27	4,13	6,85	13,40
Hybridroggen II	A	18.06.2012	79	92,3	3,85	6,43	1,93	27,52	68,62	50,60	28,60	4,79	12,17	
	B			92,3	4,11	8,19	1,80	28,28	65,97	52,11	29,58	5,10	13,01	
	Ø			92,3	3,98	7,31	1,86	27,90	67,29	51,35	29,09	4,95	12,59	8,28
Hybridroggen III	A	04.07.2012	85-87	92,4	3,60	5,61	2,19	26,19	70,63	52,92	25,87	4,77	28,25	
	B			92,2	3,52	5,15	1,97	26,46	71,34	51,95	25,49	4,75	26,46	
	Ø			92,3	3,56	5,38	2,08	26,33	70,99	52,44	25,68	4,76	27,36	5,34
Hybridroggen IV	A	16.07.2012	87-89	92,4	3,96	5,21	1,89	31,60	65,56	53,35	26,84	5,66	25,89	
	B			92,6	4,08	5,47	1,97	30,78	65,70	52,81	27,86	5,71	28,33	
	Ø			92,5	4,02	5,34	1,93	31,19	65,63	53,08	27,35	5,69	27,11	4,24
Mais	A	05.09.2012	85-87		3,71	8,28	3,43	16,77	67,81	41,72	17,83	1,70	35,44	7,02
	B			4,07	8,58	3,56	17,03	66,76	38,49	17,51	2,29	34,80	5,90	
	C			3,86	8,56	3,54	31,59	52,45	39,47	17,78	2,23	35,29	6,48	
	D			4,13	8,12	3,17	35,08	49,50	44,48	19,13	3,06	29,05	6,86	
Ø		3,94	8,39	3,42	25,11	59,13	41,04	18,06	2,32	33,65	6,56			
Nossen 2012														
Hybridroggen I	A	08.06.2012	75											
	B													
	C													
	D													
	Ø			91,0	4,90	10,44	1,77	33,96	58,82	57,25	33,96	4,80	6,57	18,35
Hybridroggen II	A	18.06.2012	77	92,0	4,37	8,49	1,82	30,11	63,91	52,93	28,80	5,14	6,62	11,85
	B			92,0	4,53	7,13	1,65	31,41	63,96	52,17	30,98	4,52	6,74	12,07
	C			92,4	4,98	8,86	1,67	31,60	61,12	56,49	32,90	5,01	6,82	8,63
	D			92,2	4,86	7,59	1,53	31,89	62,59	55,42	31,78	4,80	7,31	11,17
	Ø			92,2	4,69	8,02	1,67	31,25	62,89	54,26	31,12	4,87	6,87	10,93

Fruchtart	Wiederholung	Erntedatum	BBCH	oTS % in der FM	Rohasche % in der FM	Rohprotein % in der FM	Rohfett % in der FM	Rohfaser % in der FM	N-freie Extrakt- stoffe % in der FM	NDF ¹⁾ % in der FM	ADF ²⁾ % in der FM	ADL ³⁾ % in der FM	Stärke % in der FM	Gesamt- zucker % in der FM
Hybrid- roggen III	A	28.06. 2012	83-85	93,1	3,97	7,72	2,16	30,93	62,62	57,79	29,43	4,34	20,84	
	B			93,1	4,05	6,98	1,94	26,75	67,69	50,70	28,36	4,33	22,77	
	C			92,4	4,52	7,64	2,08	28,03	65,95	50,22	29,98	4,53	16,45	
	D			92,8	4,54	8,08	2,04	28,88	64,22	57,00	27,16	4,34	19,18	
	Ø			92,9	4,27	7,61	2,05	28,65	65,12	53,93	28,73	4,39	19,82	
Hybrid- roggen IV	A	10.07. 2012	85-87	93,1	3,76	7,25	2,06	29,65	64,69	54,56	30,72	5,21	24,92	
	B			93,8	5,51	6,46	1,60	37,21	55,83	68,02	42,00	6,63	7,64	
	C			93,1	4,20	7,59	1,83	28,89	64,91	53,92	30,29	4,82	24,92	
	D			93,3	5,62	7,03	1,66	38,91	53,96	68,17	39,98	8,18	5,92	
	Ø			93,3	4,77	7,08	1,79	33,67	59,84	61,18	35,76	6,21	15,83	
Mais ⁴⁾	Ø													
Christgrün 2011														
Hybrid- roggen I	A	07.07. 2011	79	92,2	3,83	8,95	1,31	28,67	57,25	50,34	24,15	4,32	12,26	
	B			92,3	4,10	8,40	1,29	29,38	56,84	48,02	25,92	4,45	16,68	
	C			92,2	3,98	8,20	1,43	29,59	56,80	52,29	23,47	4,06	13,88	
	D			92,2	3,84	8,07	1,34	31,58	55,17	50,25	24,14	4,59	16,25	
	Ø			92,2	3,94	8,40	1,34	29,80	56,51	50,22	24,42	4,35	14,77	
Hybrid- roggen II	A	14.07. 2011	87	92,4	4,46	7,51	1,45	34,03	52,56	49,04	26,32	5,66	16,56	
	B			92,1	4,32	8,01	1,43	29,78	56,45	50,17	31,86	6,28	17,96	
	C			92,2	4,35	8,07	1,51	27,26	58,82	48,57	29,24	5,29	18,30	
	D			92,2	4,37	7,59	1,51	34,86	51,67	50,24	29,22	6,52	19,40	
	Ø			92,2	4,38	7,79	1,47	31,48	54,88	49,50	29,16	5,94	18,05	
Hybrid- roggen III	A	21.07. 2011	83/85	92,4	3,86	7,78	1,50	34,63	52,22	47,97	26,33	6,00	20,92	
	B			92,3	4,34	7,58	1,44	32,37	54,26	44,67	29,07	6,49	20,09	
	C			92,6	3,91	7,83	1,48	29,60	57,18	49,44	28,60	6,50	23,03	
	D			92,2	3,99	8,20	1,46	33,87	52,47	47,95	27,91	6,55	24,96	
	Ø			92,4	4,03	7,85	1,47	32,62	54,03	47,51	27,98	6,38	22,25	
Hybrid- roggen IV	A	28.07. 2011	92	92,4	3,71	8,32	1,54	34,99	51,14	46,30	27,62	6,85	24,91	
	B			92,2	3,73	8,41	1,51	37,51	48,54	48,07	21,76	7,70	24,71	
	C			92,8	3,74	8,01	1,56	29,23	57,16	45,02	25,27	6,49	21,06	
	D			92,4	3,69	8,18	1,59	37,15	49,08	48,26	26,76	6,37	26,32	
	Ø			92,5	3,72	8,23	1,55	34,72	51,48	46,91	25,33	6,85	24,25	

Fruchtart	Wiederholung	Erntedatum	BBCH	oTS % in der FM	Rohasche % in der FM	Rohprotein % in der FM	Rohfett % in der FM	Rohfaser % in der FM	N-freie Extraktstoffe % in der FM	NDF ¹⁾ % in der FM	ADF ²⁾ % in der FM	ADL ³⁾ % in der FM	Stärke % in der FM	Gesamtzucker % in der FM		
Mais	A	05.10. 2011	85	91,9	4,92	7,62	2,27	15,23	69,96	35,95	20,41	1,94	35,26	6,07		
	B			92,3	5,19	7,38	2,19	18,79	66,45	41,79	24,79	2,38	30,66	4,41		
	C			91,8	4,96	7,90	2,49	14,62	70,03	34,92	19,98	2,03	39,22	3,57		
	D			91,8	4,62	7,56	2,46	14,41	70,95	34,75	19,58	1,99	40,20	3,63		
	Ø			92,0	4,92	7,61	2,35	15,76	69,35	36,85	21,19	2,09	36,33	4,42		
Christgrün 2012																
Hybridroggen I	A	02.07. 2012	75	92,2	4,73	8,61	1,36	28,20	65,57	52,39	28,20	4,62	13,12	9,73		
	B			92,4	4,68	8,18	1,65	25,87	67,85	50,11	26,52	4,11	13,74			
	C			92,5	4,94	8,85	1,52	27,35	65,44	51,03	28,54	4,56	12,32			
	D			92,8	4,21	8,62	1,49	28,88	64,56	54,63	30,06	5,09	12,28			
	Ø			92,5	4,64	8,57	1,50	27,58	65,85	52,04	28,33	4,60	12,87			
Hybridroggen II	A	11.07. 2012	83/85	92,3	4,82	7,99	1,41	24,92	69,20	49,51	37,05	7,32	19,07	4,82		
	B			92,6	5,22	8,44	1,65	30,02	62,66	56,26	33,59	5,71	16,31			
	C			92,7	5,10	8,23	1,49	29,77	63,28	56,42	33,44	5,22	17,58			
	D			92,7	5,17	9,10	1,55	28,16	63,90	53,18	30,53	4,97	20,39			
	Ø			92,6	5,08	8,44	1,53	35,07	57,91	53,85	33,65	5,81	18,34			
Hybridroggen III	A	20.07. 2012	87	92,6	4,46	8,03	1,48	25,16	68,86	48,81	28,29	4,54	27,43	4,19		
	B			92,6	4,75	8,77	1,44	27,11	65,92	51,19	28,83	4,62	18,68			
	C			92,3	4,43	8,87	1,46	22,21	71,37	45,50	24,49	4,14	29,14			
	D			92,6	5,00	8,17	1,49	28,62	64,72	55,62	32,18	4,97	18,79			
	Ø			92,5	4,66	8,46	1,47	36,77	56,72	50,28	28,45	4,57	23,51			
Hybridroggen IV	A	30.07. 2012	92	92,5	4,50	8,99	1,76	22,05	70,81	46,38	24,97	4,30	28,65	4,26		
	B			92,8	4,66	8,96	1,49	25,54	67,12	50,54	27,37	5,20	28,45			
	C			92,4	3,96	7,78	1,83	20,78	73,88	45,02	21,43	3,89	29,44			
	D			92,8	4,59	8,42	1,56	24,78	68,40	50,22	26,94	5,45	23,92			
	Ø			92,6	4,43	8,54	1,66	43,71	49,63	48,04	25,18	4,71	27,61			
Mais	A	20.09. 2012	85											4,73		
	B															
	C															
	D															
	Ø			93,4	4,88	8,29	3,06	19,27	71,56	43,04	20,09	1,96	23,66			

¹⁾ NDF = Neutrale-Detergentien-Fasern = Gesamtheit der Strukturkohlenhydrate (Cellulose, Hemicellulose, Lignin) / ²⁾ ADF = Säure-(Acid)Detergentien-Fasern = Lignocellulose-Komplex

³⁾ ADL = Säure-(Acid)Detergentien-Lignin = Lignin / ⁴⁾ keine Maisernte möglich aufgrund Schädigung der Bestände durch Wildschweine

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Jana Grunewald, Dr. Kerstin Jäkel
Abteilung Landwirtschaft/Referat Pflanzenbau
Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen
Telefon: +49 35242 631-7223/-7204
Telefax: +49 35242 631-7299
E-Mail: jana.grunewald@smul.sachsen.de
kerstin.jaekel@smul.sachsen.de

Redaktion:

Dr. Kerstin Jäkel

Fotos:

Jana Grunewald, LfULG

Redaktionsschluss:

30.04.2014

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

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.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.