

# Projekt: Einsatz von Rüben in Biogasanlagen



## Schlussbericht



**Rheinischer Rübenbauer-Verband e.V.  
Malteserstraße 3  
53115 Bonn  
[www.rrvbonn.de](http://www.rrvbonn.de)**



**Gefördert durch:**

**Ministerium für  
Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen**



# Projekt: Einsatz von Zuckerrüben in Biogasanlagen

## Schlussbericht

### Gliederung

#### 1. Einleitung und Zielsetzung

#### 2. Feldversuche

##### 2.1 Erntejahr 2011

##### 2.2 Anbaujahr 2012 – Ergebnisse und Diskussion

##### 2.3 Anbaujahr 2013 – Ergebnisse und Diskussion

#### 3. Lagerungs- und Aufbereitungsversuche

##### 3.1 Erntejahr 2011

##### 3.1.1 Mischsilage aus Corn-Cob-Mix (CCM) mit gebröckelten Zuckerrüben

##### 3.1.2 Zuckerrübenbrei (gemuste Rüben)

##### 3.1.3 Ganze Rüben unter Folie

##### 3.1.4 Analysen und Auswertung

##### 3.2 Erntejahr 2012

##### 3.2.1 Lieschkolbenschrot (LKS) mit gebröckelten Zuckerrüben

##### 3.2.2 Zuckerrübenbrei (gemuste Rüben)

##### 3.2.3 Ganze Zuckerrüben unter Folie

##### 3.2.4 Diskussion

#### 4. Wie stellt sich der Einsatz von Rüben im Vergleich zu Mais für Biogasanlagen dar?

##### 4.1 Betrachtung aus pflanzenbaulicher Sicht

##### 4.2 Betrachtung aus ökonomischer Sicht

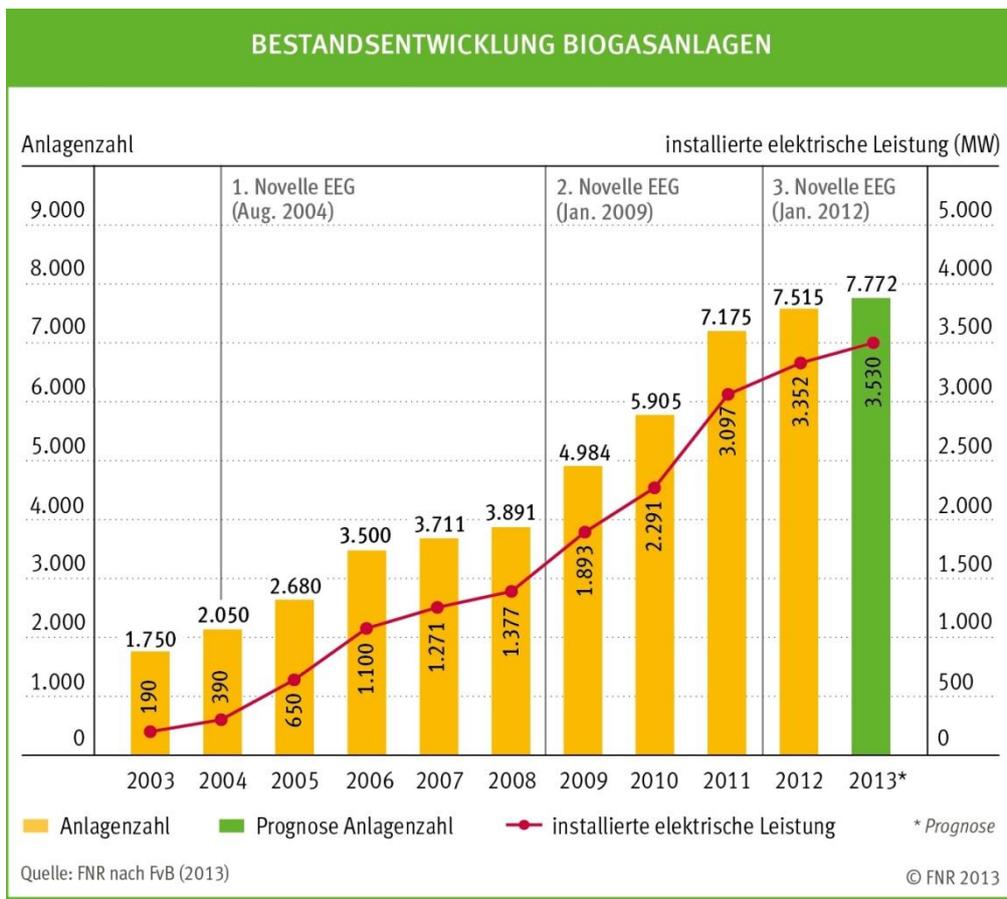
##### 4.3 Diskussion

#### 5. Fazit

#### 6. Offene Fragen

## 1 Einleitung und Zielsetzung

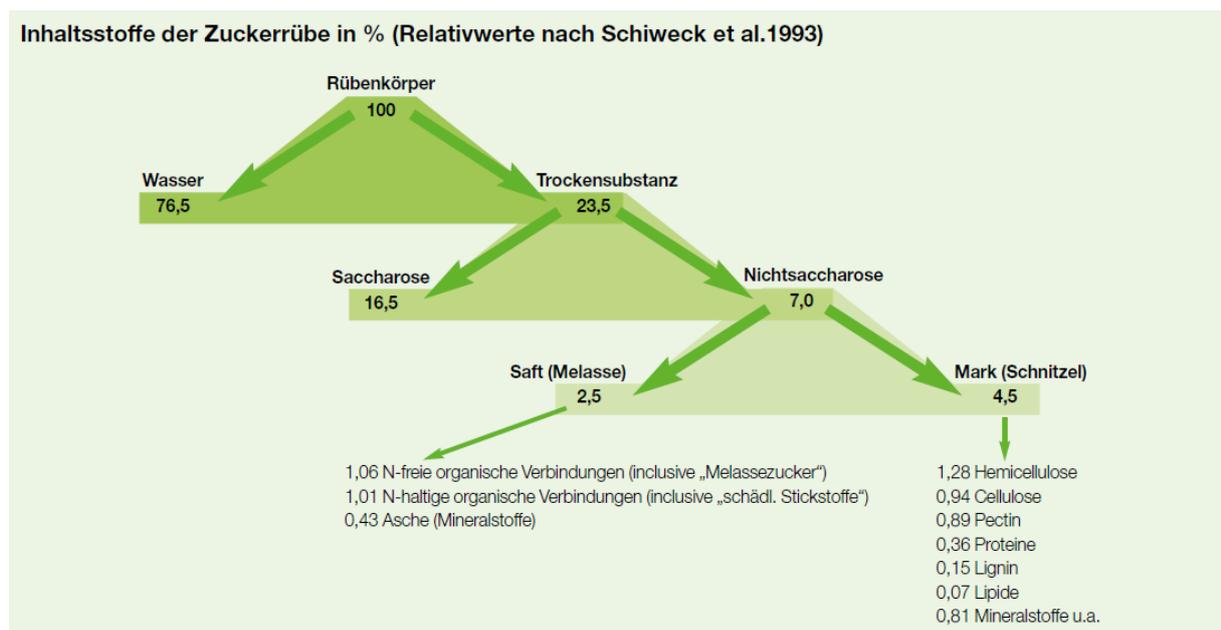
Die Bedeutung der Bioenergie hat in Deutschland erheblich zugenommen. Bei der Erzeugung von Bioenergie aus nachwachsenden Rohstoffen spielt die Biogasproduktion eine wichtige Rolle. Mittlerweile sind in Deutschland rund 7.700 Biogasanlagen (FNR nach FvB, 2013) überwiegend auf landwirtschaftlichen Betrieben entstanden (Abb.1).



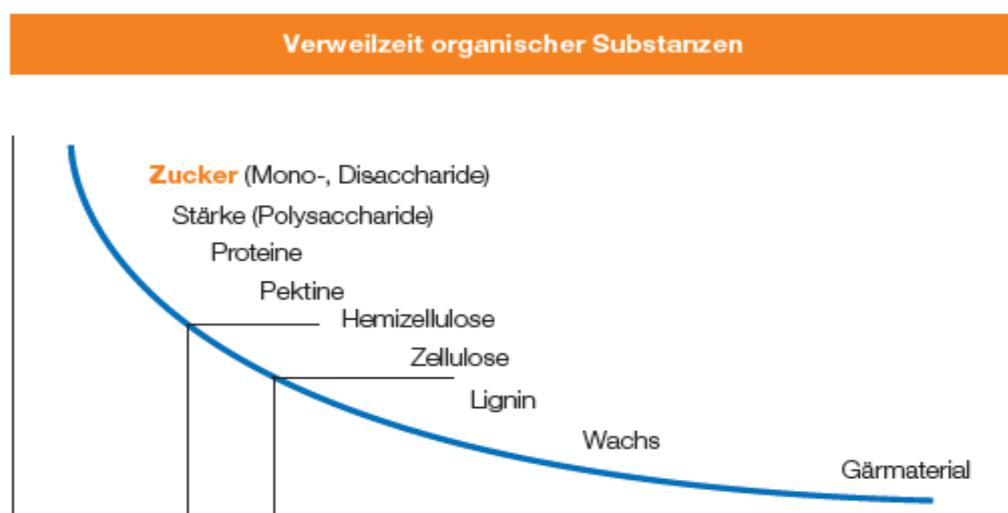
**Abb. 1: Bestandsentwicklung Biogasanlagen in Deutschland**

Auf mehr als 1,15 Mio. ha Flächen (FNR, 2013) wurden 2013 in Deutschland Pflanzen angebaut, die vornehmlich in Biogasanlagen vergoren werden, wobei Mais am häufigsten eingesetzt wird. Grundsätzlich ist aber zu prüfen, ob es alternative Ackerfrüchte zum Mais gibt, da Mais regional durch hohe Flächen- und Fruchtfolgeanteile in die Diskussion geraten ist. Das Erneuerbare Energien-Gesetz sieht für Neuanlagen unter anderem vor, dass Mais nur noch 60 Masse-Prozent des Gärsubstrats ausmachen darf. In der Zukunft werden wahrscheinlich auch Problemschädlinge, wie der Maiszünsler und der Maiswurzelbohrer, die Anbauproblematik verschärfen. Deshalb sucht man nach weiteren Kulturarten, die für den Einsatz in Biogasanlagen geeignet sein könnten.

Eine Alternative zu Mais könnte die Zuckerrübe sein. Die Rübe eignet sich deswegen gut für die Vergärung, weil ihre Trockenmasse zu 90 % aus leicht umsetzbaren N-freien Extraktstoffen (NfE) besteht (Abb. 2.). Verbindungen, wie Zellulose, Hemizellulose oder Lignine, kommen in der Trockenmasse der Rübe nur in sehr geringem Umfang vor, was eine geringere Verweilzeit im Fermenter zur Folge hat (Abb. 3). Der Rübenanbau ist zudem seit rund 150 Jahren in Nordrhein-Westfalen heimisch und die Produktionstechnik bekannt. Rüben sind nicht selbstverträglich und stehen daher in drei- bis fünfjährigen Fruchtfolgen. Der Rübenanbau hat nach Untersuchungen des Instituts für Zuckerrübenforschung in Göttingen eine positive Netto-Energiebilanz.



**Abb. 2: Inhaltsstoffe der Zuckerrübe**



**Abb. 3: Verweilzeit verschiedener organischer Substanzen**  
(Quelle: Eder/Schulz 2006 Biogas Praxis)

Im Rahmen des Projektes sollten folgende Fragestellungen bearbeitet werden:

1. Welcher Gasertrag ist mit dem Rübenanbau im Vergleich zum Maisanbau zu erzielen, insbesondere auf Standorten, die für den Maisanbau grenzwertig sind, wie Sandböden oder Höhenlagen?
2. Welche Lagerungs- und Aufbereitungstechnik ist für Rüben am besten geeignet und wie hoch sind die Lagerverluste?
3. Wie stellt sich der Einsatz von Rüben in Biogasanlagen im Vergleich zu Mais dar?

## 2 Feldversuche

### 2.1 Erntejahr 2011

Im Rheinland wurden 2011 erstmals bundesweit durch das Institut für Zuckerrübenforschung koordinierte Sortenversuche für Biogaserüben durchgeführt. Das rheinische Anbauggebiet beteiligte sich mit Versuchsanlagen in Kerpen-Buir und Gangelt. Der Standort Gangelt wurde nicht überregional ausgewertet, da in einem kleineren Teilbereich die häufig in Fruchtfolgen mit Mais vorkommende Späte Rübenfäule (Erreger: *Rhizoctonia solani*) gefunden wurde. Der Befall betraf aber nur einzelne Sorten und nicht die gesamte Versuchsparzelle. Da die Ackerfläche geteilt war und neben der Parzelle mit Rüben auch Mais auf der gleichen Fläche angebaut worden war, ergab sich die Möglichkeit, eine Vergleichsbeerntung von Rüben und Mais auf der gleichen Parzelle bei homogenen Standortvoraussetzungen durchzuführen. Der Standort ist als lehmiger Sand mit 50 Bodenpunkten einzustufen, es gibt eine Kleischicht im Untergrund.

Leichtere Standorte in viehhaltungsintensiven Regionen und einer größeren Zahl an Biogasanlagen im Umfeld waren und sind relevant für die Projektfrage. Da der Standort Gangelt hilfreich für die Projektfragestellung sein konnte, wurde Anfang November ein Sortenspektrum bei Rüben und bei dem ebenfalls noch auf dem Feld stehenden Mais (Sorte Atletico) geerntet. Von jeder der aufgeführten Rüben- und Maissorten wurden drei repräsentative Wiederholungen gemäß den Vorgaben für Sortenleistungsprüfungen beerntet. Die ausgewählten Sorten wurden von den jeweiligen Züchterhäusern als Biogaserübensorten eingestuft. Die Rüben wurden in der Zuckerfabrik Jülich auf ihre Inhaltsstoffe hin untersucht, der Trockenmasseertrag nach Formel (Hoffmann 2011) berechnet. Die Maisproben wurden in Köln-Auweiler (Landwirtschaftskammer NRW) im Trockenschrank auf ihren Trockensubstanzgehalt hin untersucht.

Tabelle 1: Biogasrübenvergleich mit Mais in Gangelt 2011 (Handbeerntung)

	Rüben- ertrag t/ha	Zucker- gehalt %	Theor. Zucker- ertrag t/ha	TM %	TM - Ertrag berechnet in t/ha (nach Formel)
Wagner	113,1	17,81 %	20,13	22,8 %	25,84
Eleonora KWS	111,6	18,72 %	20,91	24,0 %	26,82
Klaxon	115,9	17,52 %	20,30	22,5 %	26,06
Ribambelle	137,8	12,86 %	17,73	16,6 %	22,84
	Maisertrag t/ha			Ergebnis LUFA NRW TM %	TM - Ertrag in t/ha (nach LUFA)
Silomais Durchschnitt	47,7			52,0 %	24,79

Formel: Trockenmasseertrag Rübe =  $1,25 \times \text{Zuckerertrag} + 0,68$   
(Christa Hoffmann, IFZ Göttingen)

Der Zuckerertrag korreliert sehr eng mit dem Trockenmasseertrag (TM). Aus diesem Grund wurde der TM-Ertrag der Rübe mit der Formel Trockenmasseertrag Rübe =  $1,25 \times \text{Zuckerertrag} + 0,68$ ;  $r^2 = 0,99$  (Christa Hoffmann u.a., IfZ Göttingen) berechnet.

Sowohl für Rüben als auch für Mais lag der Ertrag auf einem sehr hohen Niveau. Durch den späten Erntetermin konnte bei den Rüben die Wachstumsperiode gut ausgenutzt werden. Der Mais war für Silomaisverhältnisse überreif, was anhand des Trockensubstanzgehaltes erkennbar ist. Da jedoch für den Gasertrag der Trockensubstanzertrag relevant ist und dieser nach Überschreiten des optimalen Erntetermins für Silomais kaum abgenommen haben dürfte, können die ermittelten Trockensubstanzerträge verglichen werden. Dennoch ist nochmals darauf hinzuweisen, dass das ermittelte Ertragsergebnis lediglich aus einem Anbauvergleich resultiert und nicht aus einem Exaktversuch. Es kann daher nur als Zusatzinformation zu den Ergebnissen aus den Exaktversuchen gewertet werden.

Bei dieser Beerntung konnten gleich hohe Trockenmasseerträge bei Rüben und Mais ermittelt werden. Der Mittelwert der Rübensorten lag bei einem TM-Ertrag von 25,39 t/ha. Wie die nachfolgend aufgeführten Versuche der vergleichbaren Standorte in Isselburg (2012) und Dülmen (2013) zeigen, kann die Rübe im Hinblick auf den Trockenmasseertrag auf leichteren Standorten oftmals mit dem Mais mithalten.

## 2.2 Anbaujahr 2012 – Ergebnisse und Diskussion

Im Anbaujahr 2012 wurden drei Standorte für die Versuche gewählt:

- a. Wülfrath auf dem Betrieb Düring
- b. Isselburg auf dem Betrieb Tenbrock
- c. Buir auf dem Betrieb Hemsch

Die Versuche wurden auf allen Standorten einheitlich mit vier echten Wiederholungen je Sorte angelegt (lateinisches Rechteck, Blockmethode). Die Parzellengröße betrug bei Rüben jeweils 2,7 x 7 m, entsprechend 18,9 m<sup>2</sup>. Es wurden je Parzelle sechs Reihen Rüben bei 45 cm Reihenabstand ausgesät. Bei Mais erfolgte die Aussaat je Sorte und Parzelle stets vierreihig bei 75 cm Reihenabstand und 7 m Parzellenlänge (brutto).

Die Sortenauswahl erfolgte standortbezogen. Die ausgesäten Rübensorten wurden vom Rheinischen Rübenbauer-Verband auf Basis der durchgeführten Sortenleistungsprüfungen ausgewählt, die Maissorten auf der Grundlage der Sortenempfehlung der Landwirtschaftskammer NRW. Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen wurden ebenfalls standortspezifisch, im Falle der Düngung auf der Grundlage der jeweiligen Bodenuntersuchung, beim Pflanzenschutz gemäß den Vorgaben der guten fachlichen Praxis durchgeführt.

Die Beerntung der Versuche erfolgte sowohl für die Rüben als auch für den Mais nach den Vorgaben der Beerntung von Sortenleistungsprüfungen. Wesentlich für die Beerntung war es, Wegeeinflüsse auf die Ertragsbildung auszuschließen.

Die Rüben wurden auf allen Standorten per Hand geerntet und bei der Beerntung jeweils geköpft. Bei den Rüben erfolgte eine Kernbeerntung in den mittleren vier Reihen je Parzelle auf insgesamt 5,4 m<sup>2</sup> zur Gewichtserfassung und zur Untersuchung auf Inhaltsstoffe. Die Inhaltsstoffuntersuchung erfolgte jeweils im Zentrallabor der rheinischen Zuckerfabriken in Jülich.

Die Beerntung und Untersuchung der Maissorten wurde von der Landwirtschaftskammer NRW gemäß den Vorgaben für Silomais-Sortenversuche durchgeführt. Die Beerntung erfolgte dabei terminlich in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt und je nach Standort zum Teil per Hand, zum Teil auch maschinell. Je Parzelle wurde eine Kernbeerntung der mittleren zwei Reihen durchgeführt und das gewonnene Probenmaterial bei der LUFA Münster auf Inhaltsstoffe hin untersucht.

Alle gewonnenen Daten bzw. Leistungsmerkmale wurden statistisch mittels Varianzanalyse (t-Test) verrechnet. Die Grenzdifferenz betrug 5 %.

### zu a. Versuch in Wülfrath

Der Standort Wülfrath liegt nahe der Ortschaft Düssel im niederbergischen Hügelland auf ca. 180 m über NN. Es handelt sich um einen Verwitterungsboden. Die Jahresniederschläge liegen bei rund 800 bis 1.000 mm. Für den Rübenanbau ist dieser Standort als Grenzstandort aufgrund der Höhenlage und der Bodengüte zusehen. Der Betrieb Düring besitzt keine eigene Rübenquote und baut daher normalerweise keine Zuckerrüben an.

Die Bodenuntersuchung ergab folgende Werte (mg/100 g Boden):

pH-Wert:	5,0
K <sub>2</sub> O:	21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :	26
Mg:	7
Cu:	3,8
B:	0,25
Mn:	183
Zn:	13,0

Die Rüben wurden am 29.03.2012 gesät, der Auflauf am 13.04.2012 war zögerlich und die jungen Rübenpflanzen waren beim Aufgang wegen der Kälte teils gelblich verfärbt. Im Mai hatte sich dann ein guter und homogener Bestand entwickelt. Im September wurde leichter, aber für die Versuchsauswertung nicht relevanter Blattfraß durch Rehe bonitiert und am 10.10.2012 der Rübenversuch geerntet. Der Maisversuch wurde am 30.04.2012 gesät und ebenfalls am 10.10.2012 geerntet.

Der durchschnittliche Rübenenertrag über alle Sorten hinweg lag bei 79,9 t/ha mit 21,57 % TS-Gehalt, was einem Trockenmasseertrag von 17,24 t/ha entspricht.

Der durchschnittliche Maisertrag lag bei 53,30 t/ha mit 36,6 % TS-Gehalt, was einem Trockenmasseertrag von 19,38 t/ha entspricht.

### zu b. Versuch in Isselburg

Der Standort Isselburg ist ein leichter, sandiger Boden und liegt auf 17 m über NN und ist ein typischer Standort für die Region Niederrhein/Westmünsterland. Er ist aufgrund der geringen Bodengüte als Grenzstandort für den Rübenanbau anzusehen. Der Betrieb Tenbrock verfügt über eigene Rübenquote und baut Rüben sowohl für die Zuckerfabrik als auch für die betriebseigene Biogasanlage an. Aufgrund des intensiven Maisanbaus spielen Rhizoctonia-resistente bzw. -tolerante Sorten eine besondere Rolle.

Die Bodenuntersuchung ergab folgende Werte (mg/100 g Boden):

pH-Wert:	6,7
K <sub>2</sub> O:	25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :	24
Mg:	7
Cu:	2,5
B:	0,47
Mn:	121
Zn:	7,1

Die Rüben wurden am 27.03.2012 gesät und am 31.10.2012 geerntet. Der Maisversuch wurde am 27.04.2012 gesät und am 9.10.2012 geerntet. Bei diesem Versuch hatten der Mais und stellenweise die Rüben mit einer nicht optimalen Unkrautbekämpfung und stärkerer Trockenheit im Sommer zu kämpfen.

Der durchschnittliche Rübenenertrag lag im Sortenmittel bei 95,0 t/ha mit 24,05 % TS-Gehalt, was einem Trockenmasseertrag von 22,85 t/ha entspricht.

Der durchschnittliche Maisertrag lag bei 41,73 t/ha mit 46,8 % TS-Gehalt, was einem Trockenmasseertrag von 19,50 t/ha entspricht.



**Abb. 4: Versuch in Isselburg**

### zu c. Versuch in Buir

Der Standort in Buir befindet sich in einem klassischen Rübenanbaugbiet. Es handelt sich um einen Lösslehmstandort mit 85 Bodenpunkten. Im Mittel fallen 650 mm Niederschlag p.a. Der Standort Buir repräsentiert somit einen optimalen Standort für den Rübenanbau.

Die Bodenuntersuchung ergab folgende Werte:

pH-Wert:	7,1
K <sub>2</sub> O:	29
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :	33
Mg:	8
Cu:	3,7
B:	0,66
Mn:	200
Zn:	13,0

Die Rüben wurden am 26.03.2012 gesät und am 2.11.2012 geerntet. Der Maisversuch wurde am 23.04.2012 gesät und am 20.09.2012 geerntet. Der durchschnittliche Rübenenertrag lag im Mittel der Sorten bei 81,4 t/ha mit 24,97 % TS-Gehalt, was einem Trockenmasseertrag von 20,29 t/ha entspricht.

Der durchschnittliche Maisertrag lag bei durchschnittlich 63,56 t/ha mit 35,5 % TS-Gehalt, was einem Trockenmasseertrag von 22,48 t/ha entspricht.

Tabelle 2: Erträge Rübenversuche 2012

#### Sortenversuch Buir 2012

VG	Rübenenertrag		Zuckerertrag		Bereinigter Zuckerertrag		Zuckergehalt		S M V		K	Na	AmN
	t/ha	rel.	t/ha	rel.	t/ha	rel.	%	rel.	%	rel.	mmol/1000 g R.		
Hannibal	70,6	88,5	13,35	88,5	12,16	88,8	18,91	99,9	1,08	94,5	28,8	3,0	9,1
Annemaria KWS	88,9	111,5	16,83	111,5	15,23	111,2	18,93	100,1	1,20	105,5	32,0	2,5	13,0
Finola KWS nt	82,5	103,5	16,26	107,8	14,79	108,0	19,70	104,1	1,19	104,1	33,7	2,3	11,5
Brix nt	87,3	109,5	16,45	109,0	14,87	108,6	18,83	99,5	1,20	105,1	32,6	2,7	12,3
Kleist nt	85,9	107,8	15,76	104,4	14,22	103,9	18,33	96,9	1,19	104,2	30,9	2,7	12,8
Belladonna KWS nt	72,9	91,5	14,00	92,8	12,69	92,6	19,18	101,4	1,20	105,1	32,7	2,4	12,5
GD 5 %	5,2	6,6	1,14	7,6	1,08	7,9	0,47	2,5	0,08	7,2	2,1	0,4	2,6

Saat: 26.03.2012, Ernte: 2.11.2012, Parzelle: 5,4 m<sup>2</sup> / 4 Whg.

### Sortenversuch Isselburg 2012

VG	Rübenenertrag		Zuckerertrag		Bereinigter Zuckerertrag		Zuckergehalt		S M V		K	Na	AmN
	t/ha	rel.	t/ha	rel.	t/ha	rel.	%	rel.	t/ha	rel.	rel.	t/ha	rel.
Hannibal	92,5	96,2	18,16	98,3	16,55	98,6	19,63	102,0	1,14	98,3	35,9	1,4	8,8
Annemaria KWS	99,8	103,8	18,80	101,7	17,02	101,4	18,84	98,0	1,18	101,7	38,4	1,4	9,2
Timur rh	93,7	97,5	17,55	95,0	15,89	94,7	18,72	97,3	1,17	100,7	38,3	1,5	8,7
Vivianna KWS rh	102,7	106,8	18,66	101,0	16,75	99,8	18,17	94,4	1,26	108,5	41,6	1,8	10,7
Isabella KWS rh	95,9	99,8	17,76	96,1	15,95	95,0	18,52	96,3	1,28	110,7	45,0	1,6	10,2
Nauta rh	85,4	88,9	15,06	81,5	13,42	79,9	17,64	91,7	1,32	113,6	44,5	2,0	11,6
GD 5 %	9,1	9,5	1,62	8,8	1,46	8,7	0,40	2,1	0,05	4,2	2,7	0,3	2,1

Saat: 27.3.2012, Ernte: 31.10.2012, Parzelle: 5,4 m<sup>2</sup> / 4 Whg

### Sortenversuch Wülfrath 2012

VG	Rübenenertrag		Zuckerertrag		Bereinigter Zuckerertrag		Zuckergehalt		S M V		K	Na	AmN
	t/ha	rel.	t/ha	rel.	t/ha	rel.	%	rel.	t/ha	rel.	rel.	t/ha	rel.
Hannibal	76,7	92,6	12,82	93,0	11,41	93,4	16,71	100,4	1,25	96,0	36,5	3,2	12,1
Annemaria KWS	89,0	107,4	14,74	107,0	13,01	106,6	16,58	99,6	1,35	104,0	41,0	2,9	14,3
Timur rh	77,8	93,9	12,28	89,1	10,77	88,2	15,79	94,8	1,35	103,9	39,0	3,5	14,9
Vivianna KWS rh	85,3	102,9	13,69	99,3	11,99	98,2	16,05	96,4	1,39	107,1	42,5	4,2	14,6
Isabella KWS rh	80,3	96,9	12,75	92,5	11,11	91,0	15,88	95,4	1,45	111,5	47,2	3,9	14,7
Nauta rh	70,3	84,8	10,85	78,7	9,38	76,9	15,44	92,8	1,48	114,2	46,1	5,4	16,0
GD 5 %	6,2	7,4	1,02	7,4	0,91	7,4	0,34	2,1	0,07	5,1	2,4	0,2	2,3

Saat: 29.3.2012, Ernte: 10.10.2012, Parzelle: 5,4 m<sup>2</sup> / 4 Whg

## Biogasversuche Rübe 2012

### Wülfrath

	RE t/ha	TM %	TM t/ha
Hannibal	76,7	22,27	17,09
Annemaria KWS	89,0	21,60	19,21
Timur rh	77,8	21,63	16,82
Vivianna KWS rh	85,3	21,67	18,48
Isabella KWS rh	80,3	21,45	17,22
Nauta rh	70,3	20,80	14,61
Mittel	79,9	21,57	17,24

### Isselburg

Hannibal	92,5	25,30	23,41
Annemaria KWS	99,8	23,80	23,75
Timur rh	93,7	24,40	22,87
Vivianna KWS rh	102,7	23,75	24,39
Isabella KWS rh	95,9	23,85	22,87
Nauta rh	85,4	23,20	19,81
Mittel	95,0	24,05	22,85

### Buir

Hannibal	70,6	25,02	17,67
Annemaria KWS	88,9	24,48	21,76
Finola KWS nt	82,5	25,73	21,24
Brix nt	87,3	24,40	21,31
Kleist nt	85,9	24,35	20,93
Belladonna KWS nt	72,9	25,85	18,86
Mittel	81,4	24,97	20,29

Tabelle 3: Erträge Biogas-Maisversuche 2012

**Wülfrath**

Sorte	FM t/ha	TM %	TM t/ha
LG 3216	64,38	34,3	22,06
Grosso	51,21	35,8	18,32
Fernandez	56,47	33,3	18,79
SY Kairo	55,11	37,5	20,69
Ambrosini	45,81	39,7	18,20
Fabregas	46,83	38,9	18,21
Mittel	53,30	36,6	19,38

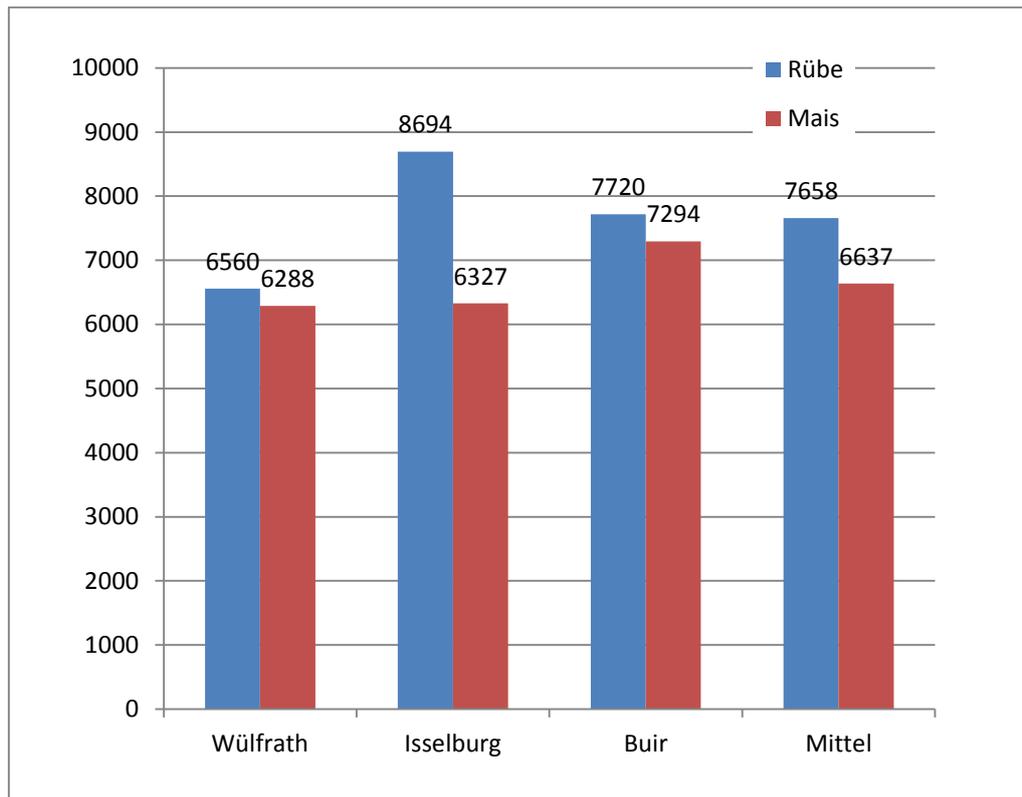
**Isselburg**

Palmer	45,37	43,2	19,60
Atletas	44,91	48,3	21,70
SY Santacruz	36,78	46,3	17,04
LG 3216	44,15	46,3	20,43
Grosso	37,43	50,1	18,74
Mittel	41,73	46,8	19,50

**Buir**

Palmer	70,09	31,9	22,36
Atletas	64,61	36,0	23,29
SY Santacruz	62,30	35,7	22,21
LG 3216	61,96	35,5	21,98
Grosso	58,83	38,4	22,58
Mittel	63,56	35,5	22,48

Das insgesamt wechselhafte Anbaujahr 2012 mit ausgeprägten feucht-kühlen und trockenen Phasen führte letzten Endes noch zu guten Rüben- und Maiserträgen. An den Standorten Wülfrath und Buir war der Maisertrag dabei um rund 10 % höher als der Rübenanbau, wobei am Standort Wülfrath das Wachstumspotenzial der Rübe aufgrund des vergleichsweise frühen Erntetermins nicht ganz ausgeschöpft werden konnte. Lediglich am Standort Isselburg, der anbautechnisch allerdings der schwierigste war, lag der Trockenmasseertrag der Rüben etwas höher als beim Mais. Über alle Standorte hinweg wurde beim Rübenanbau ein durchschnittlicher Trockenmasseertrag von 20,13 t/ha erzielt, bei Mais von 20,46 t TM/ha. Der durchschnittliche Mais-Trockenmasseertrag lag damit um 1,6 % über dem durchschnittlichen Rüben-Trockenmasseertrag.



**Abb. 5: Gewachsener Methanertrag (m<sup>3</sup>/ha) 2012**

Ermittlung des Methanertrags:

Rüben: Kalkulatorische Ableitung aus den Ergebnissen der Feldversuche mit 828 l Gasertrag/kg oTS und einem Methangehalt von 50 %, Mais: Basis Faustzahlen KTBL mit 650 l/kg oTS und einem Methangehalt von 52 %

Für Biogasanlagenbetreiber ist der erzielbare Gasertrag je Hektar im Vergleich zum Trockenmasseertrag eine mindestens ebenso wichtige Größe. Die Gaserträge bei Rüben wurden aus den Versuchsergebnissen abgeleitet. Der Gasertrag je Hektar bei Mais wurde orientiert an den KTBL-Faustzahlen ermittelt. Aus den Ergebnissen der Feldversuche ergab sich für Rüben ein abgeleiteter Gasertrag von 828 l/kg oTS. Dieser Wert ist deutlich höher als der Gasertrag bei Mais, welcher in den KTBL-Faustzahlen mit 650 l/kg oTS angegeben wird. Der Unterschied im Methangehalt ist mit 2 % Differenz zugunsten des Maises relativ gering.

Durch die höhere Gasausbeute je Kilogramm oTS wird der im Mittel etwas geringere Rübenertrag überkompensiert. Die Methanerträge je Hektar liegen beim Anbau von Rüben in Wülfrath um rund 4 %, in Isselburg um 37 % und in Buir um 6 % über den mit Mais erzielten Methanerträgen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass für Biogasanlagenbetreiber nicht der auf dem Feld erzielte Gasertrag die entscheidende Größe ist, sondern die Gasmenge, die letzten Endes nach Berücksichtigung aller Verluste in der Anlage gewonnen werden kann. Auf diesen Sachverhalt wird im folgenden Kapitel des Projektberichtes im Rahmen der Lagerungsversuche detailliert eingegangen.

## **2.3 Anbaujahr 2013 – Ergebnisse und Diskussion**

Die Versuche wurden in gleicher Weise wie im Vorjahr angelegt, d.h. auf allen Standorten einheitlich mit vier echten Wiederholungen je Sorte (lateinisches Rechteck, Blockmethode). Die Parzellengröße betrug wiederum bei Rüben jeweils 2,7 x 7 m, entsprechend 18,9 m<sup>2</sup>. Es wurden je Parzelle sechs Reihen Rüben bei 45 cm Reihenabstand ausgesät. Bei Mais erfolgte die Aussaat je Sorte und Parzelle stets vierreihig bei 75 cm Reihenabstand und 7 m Parzellenlänge (brutto).

Die Sortenauswahl erfolgte auf Grundlage der neusten Sortenversuchsergebnisse. Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen wurden ebenfalls standortspezifisch, im Falle der Düngung auf der Grundlage der jeweiligen Bodenuntersuchung, beim Pflanzenschutz gemäß den Vorgaben der guten fachlichen Praxis, durchgeführt.

Die Beerntung der Versuche erfolgte sowohl für die Rüben als auch für den Mais auch im Anbaujahr 2013 wieder nach den Vorgaben der Beerntung von Sortenleistungsprüfungen. Wesentlich für die Beerntung war es, Wegeinflüsse auf die Ertragsbildung auszuschließen. Die Rüben wurden auf allen Standorten per Hand geerntet und bei der Beerntung jeweils geköpft. Bei den Rüben erfolgte eine Kernbeerntung in den mittleren vier Reihen je Parzelle auf insgesamt 5,4 m<sup>2</sup> zur Gewichtserfassung und zur Untersuchung auf Inhaltsstoffe. Die Inhaltsstoffuntersuchung erfolgte jeweils im Zentrallabor der rheinischen Zuckerfabriken in Jülich.

Die Beerntung und Untersuchung der Maissorten wurde auch im Jahr 2013 von der Landwirtschaftskammer NRW gemäß den Vorgaben für Silomais-Sortenversuche durchgeführt. Die Beerntung erfolgte dabei terminlich in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt und je nach Standort zum Teil per Hand, zum Teil auch maschinell. Je Parzelle wurde eine Kernbeerntung der mittleren zwei Reihen durchgeführt und das gewonnene Probenmaterial bei der LUFA Münster auf Inhaltsstoffe hin untersucht.

Im Anbaujahr 2013 wurden drei Standorte für die Versuche gewählt:

- a. Wülfrath wiederum auf dem Betrieb Düring
- b. Dülmen-Merfeld auf dem Versuchsstandort der Landwirtschaftskammer NRW
- c. Buir wiederum auf dem Versuchsstandort der Landwirtschaftskammer NRW

### **zu a. Versuch in Wülfrath**

Die Versuchsparzelle am Standort Wülfrath lag nicht weit vom letztjährigen Standort entfernt. Die Anbau- und Standortbedingungen sind daher vergleichbar mit denen des Vorjahres. Der Boden war allerdings deutlich steiniger als im Vorjahr, was sich im Verlauf des trocken-heißen Sommers nachteilig auswirkte. Es handelte sich dennoch um einen sandigen bis schluffigen

Lehm. Die Rüben wurden am 18.04.2013 gesät und am 2.10.2013 geerntet. Der Maisversuch wurde am 22.04.2013 gesät und am 8.10.2013 geerntet.

Die Bodenuntersuchung ergab folgende Werte (mg/100 g Boden):

pH-Wert:	5,4
K <sub>2</sub> O:	18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :	20
Mg:	5
Cu:	3,8
B:	0,29
Mn:	97
Zn:	10

Der durchschnittliche Rübenenertrag lag bei 74,3 t/ha mit 23,08 % TS-Gehalt, was einem Trockenmasseertrag von 17,15 t/ha entspricht. Der durchschnittliche Maisertrag lag bei 55,59 t/ha mit 38,22 % TS-Gehalt, was einem Trockenmasseertrag von 21,08 t/ha entspricht.



**Abb. 6: Versuch in Wülfrath am 25.06.2013 (links Rüben und rechts Mais)**

### zu b. Versuch in Dülmen-Merfeld

Der Standort war ähnlich dem Vorjahresstandort in Isselburg und mit 35 Bodenpunkten bei noch etwas höheren Sandanteilen vergleichbar. Die Bodenart war schwach humoser Sand. Er repräsentiert im Spektrum der Versuchsstandorte den Sandstandort. Die Rüben wurden am 17.04.2013 gesät und am 3.10.2013 geerntet. Der Maisversuch wurde am 16.04.2013 gesät und am 1.10.2013 geerntet.

Die Bodenuntersuchung ergab folgende Werte (mg/100 g Boden):

pH-Wert:	5,0
K <sub>2</sub> O:	9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :	23
Mg:	5

Der durchschnittliche Rübenenertrag lag bei 66,20 t/ha mit 22,60 % TS-Gehalt, was einem Trockenmasseertrag von 14,96 t/ha entspricht.

Der durchschnittliche Maisertrag lag bei 57,32 t/ha mit 38,17 % TS-Gehalt, was einem Trockenmasseertrag von 21,82 t/ha entspricht.

### zu c. Versuch in Buir

Die Versuchsfläche befindet sich in der Nähe des letztjährigen Versuches und ist im Hinblick auf die Standortbewertung und Wachstumsbedingungen mit dem letztjährigen Versuchsfeld nahezu vergleichbar. Auch hier war die Bodenart schluffiger Lehm. Die Rüben wurden am 3.04.2013 gesät und am 8.10.2013 geerntet. Der Maisversuch wurde am 22.04.2013 gesät und am 2.10.2013 geerntet.

Die Bodenuntersuchung ergab folgende Werte (mg/100 g Boden):

pH-Wert:	6,8
K <sub>2</sub> O:	18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :	14
Mg:	6
Humus:	1,5 %

Der durchschnittliche Rübenenertrag lag bei 91,0 t/ha mit 24,09 % TS-Gehalt, was einem Trockenmasseertrag von 21,92 t/ha entspricht. Der durchschnittliche Maisertrag lag bei 55,22 t/ha mit 37,59 % TS-Gehalt, was einem Trockenmasseertrag von 20,71 t/ha entspricht.

Tabelle 4: Erträge Rübenversuche 2013

Biogasprojekt Wülfrath 2013

Variante	Rüben- ertrag		Zucker- ertrag		Bereinigter Zuckerertrag		Zucker- gehalt		S M V		K	Na	AmN
	t/ha	rel.	t/ha	rel.	t/ha	rel.	%	rel.	%	rel.			
Annemaria KWS	79,7	107,2	14,35	108,9	12,75	109,1	18,02	101,7	1,40	100,0	40,7	1,8	17,0
Lisanna KWS	74,9	100,8	13,35	101,3	11,89	101,8	17,83	100,6	1,34	95,9	37,7	1,6	16,2
Timur	73,5	98,9	12,65	96,0	11,23	96,1	17,21	97,1	1,33	95,4	37,6	2,1	15,8
Vivianna KWS	75,9	102,1	13,36	101,4	11,82	101,1	17,59	99,2	1,43	102,1	43,7	2,2	16,6
Isabella KWS	67,7	91,0	12,16	92,3	10,75	92,0	17,97	101,4	1,49	106,7	48,1	2,0	17,2
GD 5 %	6,5	8,8	1,24	9,4	1,15	9,9	0,38	2,2	0,11	7,8	3,2	0,3	3,2

Saat: 18.04.20 13, Ernte: 2.10.13, Kernbeerntung: 5,4 m<sup>2</sup>

Biogasprojekt Merfeld 2013

Variante	Rüben- ertrag		Zucker- ertrag		Bereinigter Zuckerertrag		Zucker- gehalt		S M V		K	Na	AmN
	t/ha	rel.	t/ha	rel.	t/ha	rel.	%	rel.	%	rel.			
Annemaria KWS	67,7	102,2	11,93	104,5	10,57	104,4	17,63	102,1	1,42	103,3	36,8	2,5	19,3
Lisanna KWS	66,1	99,9	11,59	101,4	10,36	102,3	17,51	101,5	1,26	92,0	32,9	2,0	15,0
Timur	67,8	102,5	11,51	100,7	10,18	100,6	16,97	98,3	1,36	99,2	34,0	2,9	18,2
Vivianna KWS	66,7	100,8	11,26	98,6	9,95	98,3	16,89	97,9	1,37	100,0	34,9	3,3	18,0
Isabella KWS	62,5	94,5	10,83	94,8	9,55	94,3	17,30	100,2	1,45	105,6	38,8	2,9	19,4
GD 5 %	4,7	7,1	0,78	6,9	0,71	7,0	0,14	0,8	0,08	5,9	1,3	0,2	3,4

Saat: 17.04.2013, Ernte: 3.10.13, Kernbeerntung: 5,4 m<sup>2</sup>

Biogasprojekt Buir 2013

Variante	Rüben- ertrag		Zucker- ertrag		Bereinigter Zuckerertrag		Zucker- gehalt		S M V		K	Na	AmN
	t/ha	rel.	t/ha	rel.	t/ha	rel.	%	rel.	%	rel.			
Annemaria KWS	95,6	105,0	17,85	105,0	16,10	104,7	18,67	100,0	1,23	105,2	36,3	2,3	11,8
Lisanna KWS	94,1	103,3	17,62	103,7	15,98	103,9	18,74	100,4	1,15	98,3	33,4	1,7	10,2
BTS 440	90,1	98,9	16,96	99,8	15,40	100,1	18,83	100,9	1,13	97,4	34,2	1,8	9,3
Finola KWS	83,5	91,8	15,72	92,5	14,25	92,7	18,82	100,8	1,16	99,3	33,8	2,2	10,2
Brix	91,9	101,0	16,81	98,9	15,18	98,7	18,28	97,9	1,16	99,8	33,6	2,6	10,4
GD 5 %	6,5	7,2	1,18	7,0	1,06	6,9	0,32	1,7	0,05	3,9	1,5	0,4	1,4

Saat: 03.04.20 13, Ernte: 8.10.13, Kernbeerntung: 5,4 m<sup>2</sup>

## Biogasversuche Rübe 2013

### Wülfrath

	RE t/ha	ZE t/ha	berechnet TM t/ha <sup>1)</sup>
Annemaria KWS	79,7	14,35	18,61
Lisanna KWS nt	74,9	13,35	17,37
Timur rh	73,5	12,65	16,50
Vivianna KWS rh	75,9	13,36	17,38
Isabella KWS rh	67,7	12,16	15,88
<b>Mittel</b>	<b>74,3</b>	<b>13,17</b>	<b>17,15</b>

### Merfeld

Annemaria KWS	67,7	11,93	15,59
Lisanna KWS nt	66,1	11,59	15,16
Timur rh	67,8	11,51	15,06
Vivianna KWS rh	66,7	11,26	14,76
Isabella KWS rh	62,5	10,83	14,22
<b>Mittel</b>	<b>66,2</b>	<b>11,42</b>	<b>14,96</b>

### Buir

Annemaria KWS	95,6	17,85	22,99
Lisanna KWS nt	94,1	17,62	22,71
BTS 440 nt	90,1	16,96	21,88
Finola KWS nt	83,5	15,72	20,33
Brix nt	91,9	16,81	21,69
<b>Mittel</b>	<b>91,0</b>	<b>16,99</b>	<b>21,92</b>

- 1) Formel: Trockenmasseertrag Rübe = 1,25 x Zuckerertrag + 0,68  
(Christa Hoffmann u.a., IfZ Göttingen)

Tabelle 5: Biogasversuche Silomais 2013, Erträge

**Wülfrath**

Sorte	FM t/ha	TM %	TM t/ha
LG 30240	50,22	39,7	19,91
Farmastic	46,30	42,1	19,50
ES Cargo	62,91	35,6	22,41
LG 3216	61,04	35,0	21,36
Grosso	57,48	38,7	22,23
Mittel	55,59	38,22	21,08

**Merfeld**

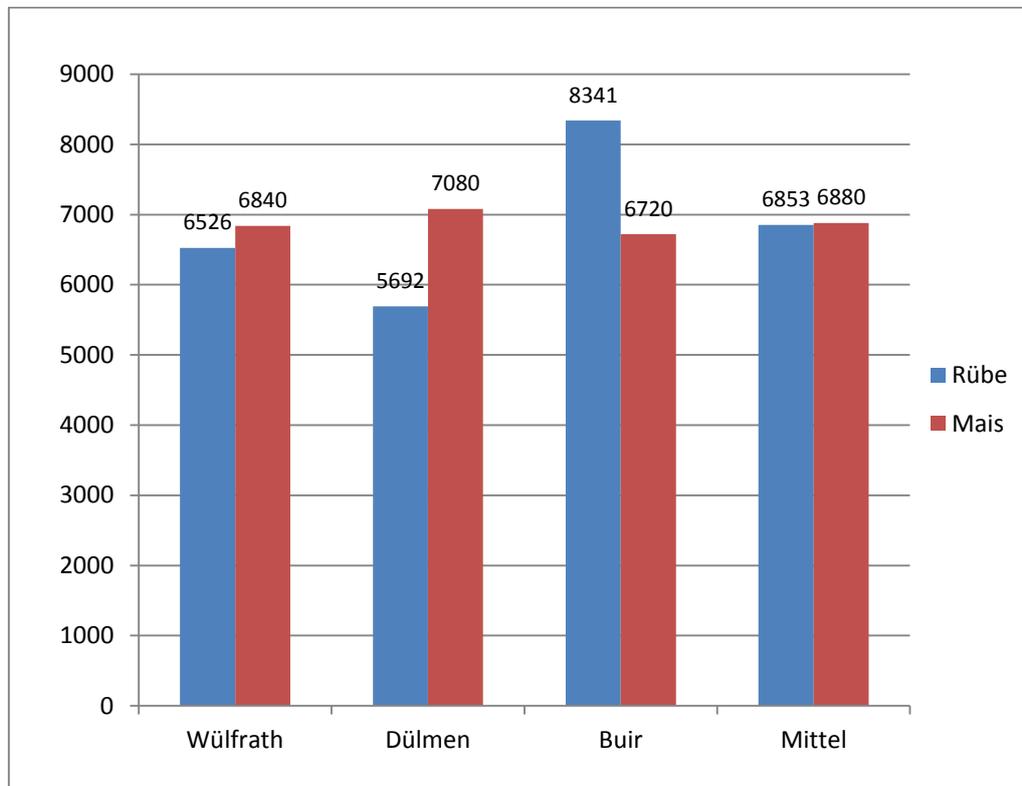
Palmer	62,61	35,2	22,05
Atletas	56,82	39,2	22,25
Agro Vitallo	60,45	37,8	22,85
LG 3216	55,98	38,8	21,73
Grosso	50,76	39,8	20,22
Mittel	57,32	38,17	21,82

**Buir**

Palmer	59,55	34,8	20,71
Atletas	55,79	37,3	20,83
Agro Vitallo	54,62	35,4	19,35
LG 3216	51,42	40,6	20,89
Grosso	54,71	39,8	21,76
Mittel	55,22	37,59	20,71

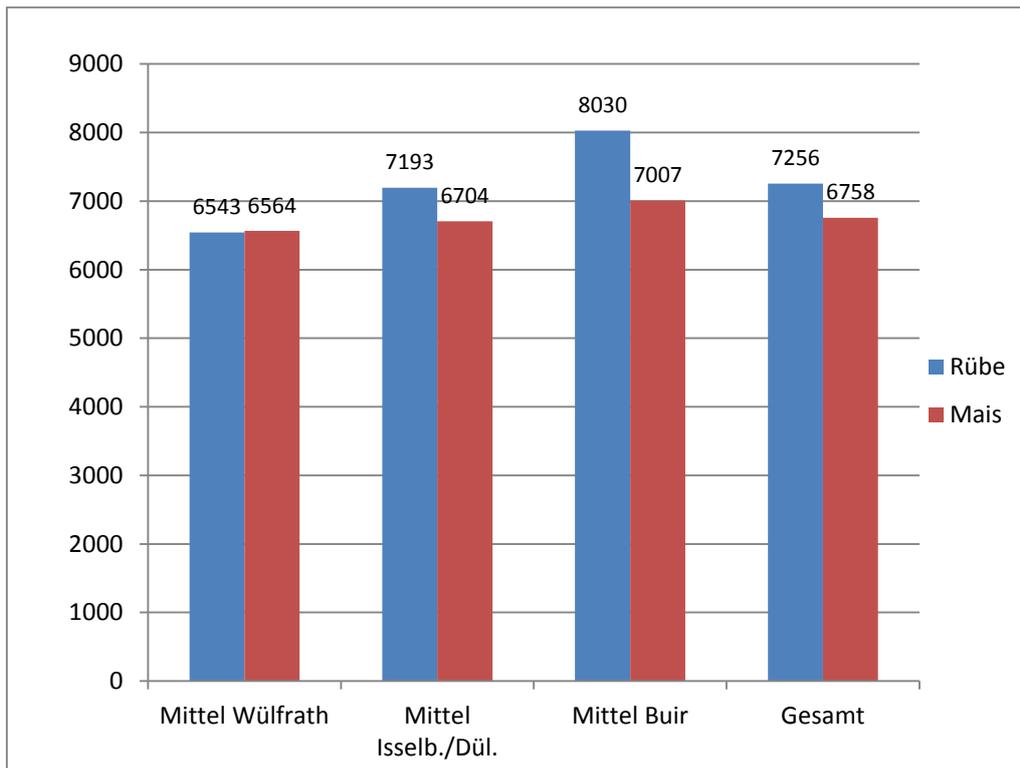
Der Vegetationsverlauf 2013 unterschied sich erheblich von dem des Anbaujahres 2012. Sehr wesentlich für die Ertragsbildung war die außergewöhnliche trocken-heiße Witterung in den Monaten Juli und August. Sie beeinflusste die Trockenmassebildung auf schwächeren Standorten stark. Der wüchsige Herbst führte in der rübenanbauenden Praxis noch zu erheblichen Zuwächsen in den Monaten Oktober und November. Aus versuchstechnischen Gründen wurden die drei Rübenversuche dieses Projekts jedoch Anfang Oktober geerntet. Dort konnte dementsprechend der Zuwachs an Rübenmasse nicht mehr realisiert werden. Die Maiserträge auf den Standorten Dülmen-Merfeld und Wülfrath, d.h. auf Böden mit deutlich weniger Wasserhaltekapazität als in Buir, waren mit 23 % bzw. 46 % deutlich höher als die dort erzielten Rübenenerträge. Offensichtlich setzten Hitze und Trockenheit den Rüben dort mehr zu als dem Mais. In Buir, wo es zwar auch heiß und relativ trocken war, der Boden aber

ein sehr gutes Wasserspeichervermögen aufweist, war das Rübenwachstum im Vergleich zum Mais weniger gebremst, was zu geringfügig höheren Trockenmasseerträgen bei Rüben gegenüber Mais führte. Über alle Standorte hinweg war der Mais-Trockenmasseertrag im Jahr 2013 mit 21,2 t TM/ha um mehr als 15 % höher als der durchschnittliche Rüben-Trockenmasseertrag/ha mit 18,01 t TM/ha.



**Abb. 7: Gewachsenen Methanertrag (m³/ha) 2013**

Die Ermittlung des Methangasertrags erfolgte im Jahr 2013 nach dem gleichen Prinzip wie 2012. Die deutlich höheren Trockenmasseerträge bei Mais führten auf den Standorten Wülfrath und Dülmen-Merfeld auch zu höheren Methanerträgen. Das Ertragsdefizit der Rüben war so groß, dass es auch durch den höheren Gasertrag je Kilogramm oTS bei Rüben nicht mehr kompensiert werden konnte. Lediglich am Standort Buir konnte mit Rüben ein deutlich höherer Methangasertrag erzielt werden. Der deutliche Gasmehrertrag in Buir bei Rüben führten dazu, dass der Gasertrag im Jahr 2013 über alle Standorte hinweg bei Mais und Rüben auf ungefähr gleichem Niveau lag. Der Mehrertrag bei Mais von unter 1 % war statistisch nicht absicherbar.



**Abb. 8: Gewachsener Methanertrag (m<sup>3</sup>/ha) über alle Versuche und Standorte**

Abb. 8 zeigt die gewachsenen Methanerträge über den gesamten Versuchszeitraum hinweg. Mit Ausnahme des Standortes Wülfrath, der die Höhenlage mit Verwitterungsboden repräsentiert, erzielten die Rüben gegenüber dem Mais trotz im Mittel um 8,5 % niedrigerer Trockenmasseerträge infolge des höheren Gasertrags je Kilogramm oTS insgesamt höhere Gaserträge. Mit 7.256 m<sup>3</sup> Methanertrag/ha liegt der Wert um 7,4 % über dem Methanertrag beim Maisanbau (6.758 m<sup>3</sup>/ha). Das Ergebnis belegt Praxisbeobachtungen, dass Rüben als Biogassubstrat eine echte Alternative zum Mais darstellen können. Wie bereits angemerkt, ist der gewachsene Gasertrag jedoch nur eine theoretische Größe. Entscheidend für eine abschließende Bewertung ist die Betrachtung des Gesamtsystems, welche die Gasverluste und die Kostenstrukturen der beiden Produktionsverfahren berücksichtigt.

### 3 Lagerungs- und Aufbereitungsversuche

Die Versuche zur Lagerung und Aufbereitung von Zuckerrüben zur Nutzung in der Biogasanlage wurden durch die Landwirtschaftskammer NRW im Landwirtschaftszentrum Haus Düsse durchgeführt.

#### 3.1. Erntejahr 2011

Im November wurden 6 ha Zuckerrüben mit einem sechsreihigen Rübenroder gerodet und für sieben Tage unter Rübenvlies in einer asphaltierten Fahrsiloanlage gelagert. Anschließend wurden diese Rüben mit einem Holmer-Reinigungslader (Rübenladeband) trocken gereinigt.



**Abb. 9: Reinigung und Verladung der gelagerten Zuckerrüben**

Folgende Konservierungsvarianten wurden mit diesen Zuckerrüben angelegt:

#### 3.1.1 Mischsilage aus Corn-Cob-Mix (CCM) mit gebröckelten Zuckerrüben

Als erste Variante wurde eine Mischsilage aus CCM und Zuckerrüben angelegt. In einer Fahrsiloanlage wurden bei der Einsilierung schichtweise CCM und Zuckerrübenstücke eingebracht. Das CCM wurde praxisüblich mit einer Schrotmühle am Feldrand zerkleinert, die Zuckerrüben wurden mit einer Schnitzelschaufel der Firma Holaras, die an einem Frontlader montiert wurde, in den Silagehaufen eingefahren.



**Abb. 10: Einbringen von Rübenstücken in CCM**

Es wurden 88,5 t Zuckerrüben in 287 t CCM eingemischt. Das entspricht einem Zuckerrübenanteil an der Gesamt-Frischmasse von 23,6 %. Bezogen auf die Gesamt-Trockenmasse betrug der Zuckerrübenanteil 8,8 %. Eine Steigerung des Zuckerrübenanteils über diesen Wert war nicht möglich, da der Haufen bereits bei diesem Anteil begann, auseinander zu rutschen und das notwendige Verdichten des Siliergutes dadurch erschwert wurde.



**Abb. 11: Mischsilage aus CCM und Zuckerrüben**

Im Verlauf des Jahres zeigte sich, dass die Stabilität des Silagehaufens bei dem vorhandenen Zuckerrübenanteil in der Mischung nicht mehr gegeben war. Aufgrund des geringen Trockensubstanzgehaltes der Zuckerrüben und der starken Freisetzung von Sickersaft aus den

Zuckerrübenstücken bildeten sich im Silagehaufen Risse, die nach Öffnung des Silos dazu führten, dass große Mengen Silage abbrachen und durch die Risse erhebliche Mengen Sauerstoff in die Silage eindrang, der zu massivem Verderb des Silagehaufens führte. Bis zum Ende der Lagerung trat aus der Mischsilage Sickersaft aus.

Die Mischsilage wurde von April bis Oktober 2012 in geringen Mischungsanteilen als Substrat in der Biogasanlage verwertet. Negative Auswirkungen auf den Gärprozess waren trotz der mangelhaften Silagequalität aufgrund der geringen Dosiermengen nicht zu erkennen. Aus der Bilanzierung der einsilierten Masse und der entnommenen Masse lässt sich bei dieser Form der Konservierung ein Masseverlust von ca. 14 % berechnen.



**Abb. 12: Mischsilage im Mai 2012**

### **3.1.2 Zuckerrübenbrei (gemuste Zuckerrüben)**

Für die zweite Lagerungsvariante wurden am 21.11.2011 83 t Zuckerrüben mit einem Doppstadt-Gehölzschredder fein gehäckselt und in offene Abrollcontainer gefüllt. Diese Lagerung im offenen Container sollte die in der Praxis gebräuchliche Lagerung von Zuckerrübenbrei in einer offenen Lagune simulieren.



**Abb. 13: Musen der Zuckerrüben mit einem Schredder**



**Abb. 14: Lagerung des Zuckerrübenbreis in offenen Containern**

Es fiel auf, dass die Struktur des eingebrachten Zuckerrübenbreis sich innerhalb weniger Tage veränderte. Der Brei verteilte sich gleichmäßig im Container, es bildete sich eine ebene Oberfläche aus. Während der gesamten Lagerzeit konnte man biologische Aktivitäten an der Oberfläche erkennen. Es waren dort Blasen und Risse zu erkennen, die auf eine Gasbildung hindeuteten. Mit steigender Außentemperatur wurde die Oberfläche trockener und ihre Farbe dunkler. Es bildete sich eine Verkrustung, die zwischenzeitlich durch Niederschlag aufgeweicht wurde. In der Nähe der Container war während der gesamten Lagerzeit ein alkoholischer Geruch wahrnehmbar.

Die Struktur des Materials an der Oberfläche baute sich innerhalb eines halben Jahres stark ab und hatte im Juni 2012 eine torfartige Konsistenz. Die Oberfläche war zudem warm.

Die veränderte obere Schicht hatte im Juni 2012 eine Mächtigkeit von etwa 5 bis 8 cm. Unterhalb dieses Horizontes war der Zuckerrübenbrei auch bei sommerlichen Außentemperaturen kalt und sauer.



**Abb. 15: Oberfläche des Zuckerrübenbreis im Juni 2012**

Eine Beprobung des Zuckerrübenbreis fand in Form von Mischproben über die gesamte Lagerhöhe statt (einsiliert am 22.11.2011, Tag der Entnahme 12.07.2012). Am Ende dieses Versuchszeitraums wurde die gelagerte Masse analysiert und zurückgewogen. Über den Zeitraum fand eine Zunahme der Masse um 1.110 kg statt, was durch die offene Lagerung und das Eindringen von Niederschlagswasser zu erklären ist. Der Verlust an  $TS_k$  betrug 14.887 kg oder 22,7 %. Das spezifische Biogasertragspotenzial sank von 741 NL/kg  $TS_k$  auf 627 NL/kg  $TS_k$  oder um 15,4 %. Das Biogasertragspotenzial reduzierte sich um 34,3 %, das Methanproduktionspotenzial um 34,4 %. Die Entnahme der Analysen war auf die Änderung des Substrates während der Lagerung ausgelegt. Somit kann die Frage nach dem Masseverlust und dem Energieverlust des Lagersubstrates nicht mit großer Exaktheit, sondern nur näherungsweise für das erste Versuchsjahr beantwortet werden.

Tabelle 6: Lagerungsversuch Rübenmus 2011, gesamter Container

	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	83.000	19.166	741	1.4200	378	7.245
Ausgelagerte Masse	84.110	14.887	627	9.334	319	4.749
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	-1.110	4.279	114	4.866	59	2.496
Lagerverlust [%]	-1,3 %	22,3 %	15,4 %	34,3 %	15,6 %	34,4 %

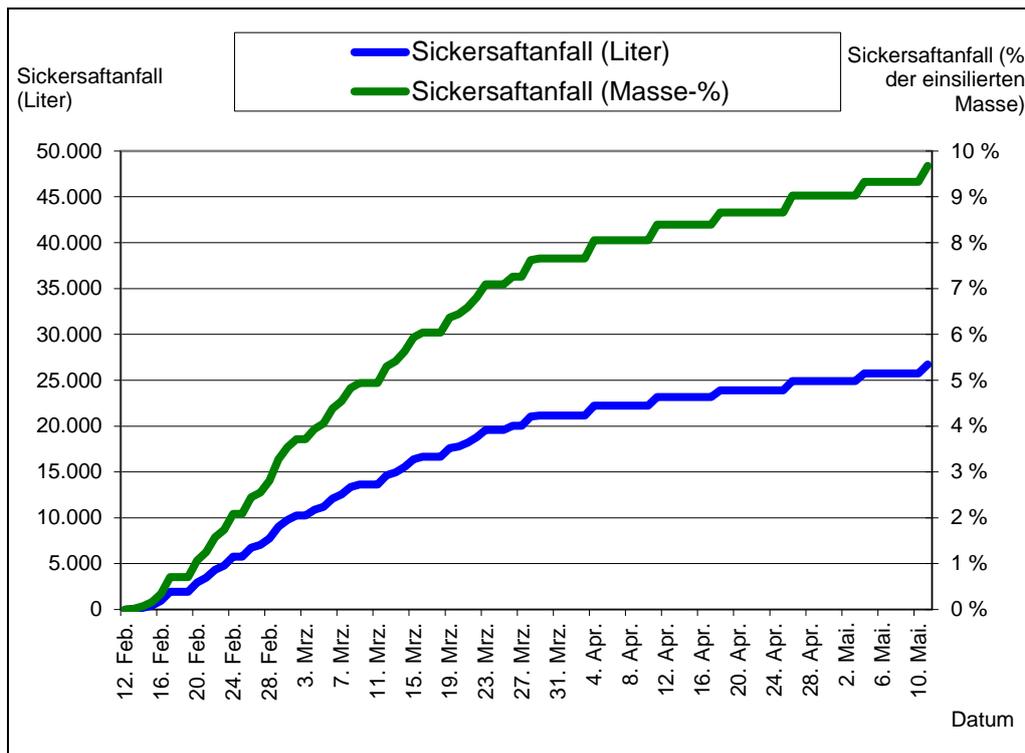
### 3.1.3 Ganze Rüben unter Folie

Am 22.11.2011 wurden 289,82 t Zuckerrüben in einer Fahrsiloanlage eingelagert und mit Silofolie luftdicht abgedeckt. Die Siloanlage wurde zuvor komplett mit einer dicken Folie ausgeschlagen, um auftretenden Sickersaft auffangen zu können. Unter die Zuckerrüben wurde eine Matte aus gehäckseltem Stroh verteilt, um die Silofolie gegen mechanische Beschädigungen zu schützen und Sickersaft aufzunehmen.



Abb. 16: Einlagerung ganzer Rüben unter Folie

Der austretende Sickersaft wurde über eine Rohrleitung abgeführt, um Verlauf und Menge der Sickersaftbildung erfassen zu können.



**Abb. 17: Sickersaftanfall Variante "Ganze Rüben"**

In den ersten fünf Monaten der Silierung traten aus dem Silohaufen etwa 10 % der einsilierten Masse als Sickersaft aus. Dieser wurde in der Biogasanlage verwertet.

Am 22.08.2012 wurde das Silo geöffnet und mit der Auslagerung der silierten Rüben begonnen. Der Silohaufen hatte zu diesem Zeitpunkt etwa ein Drittel seiner ursprünglichen Höhe verloren. Die Rüben hatten eine gummiartige Konsistenz, rochen stark alkoholisch und waren von einem gelblichen Schleim überzogen. Der austretende Saft war klebrig und stark korrosiv.



**Abb. 18: Ganze Rüben nach der Silierung am 22.08.2012**



**Abb. 19: Silohaufen nach der Öffnung am 22.08.2012**

Bis Anfang November 2012 wurden 215,15 t Silage der Variante „Ganzen Rüben“ entnommen und als Substrat in der Biogasanlage eingesetzt. Während der Lagerung (einsiliert am 22.11.2011, Tag der Entnahme 22.08.2012) traten somit Masseverluste von 74.670 kg oder 25,8 % auf. Sickersaft mit einer Masse von 26.700 kg oder 9,2 % floss aus der Lagerstätte ab, wurde in der Kalkulation aber nicht als Verlust mit berechnet. Der Verlust an korrigierter Trockenmasse lag bei 59,5 %. Der Verlust an Biogasbildungspotenzial lag bei 66,3 %, der Verlust an Methanbildungspotenzial lag bei 63,1 %.

Der Fokus der Datenerhebung im ersten Untersuchungsjahr lag auf der Entwicklung des gelagerten Produktes über die Lagerdauer. Somit war der Gesamtprobenumfang für eine gesicherte Aussage hinsichtlich der Gesamtverluste zu gering.

Tabelle 7: Ganze Rüben 2012 siliert

	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	289.820	66.925	741	49.587	378,1	25.304
Ausgelagerte Masse	215.150	27.109	617	16.726	314	8.512
Saftaustritt	26.700	2.243	715	1.604	363	814
Saftaustritt [%]	9,2 %	3,4 %	16,7 %	3,2 %	17,0 %	3,2 %
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	74.670	39.816	124	32.860	64	15.978
Lagerverlust [%]	25,8 %	59,5 %	16,7 %	66,3 %	17,0 %	63,1 %

### 3.1.4 Analysen und Auswertung

Zur Bewertung der unterschiedlichen Konservierungsverfahren wurden im ersten Untersuchungsjahr zu Beginn der Einlagerung sowie in Zeitabständen von acht Wochen Proben entnommen und auf ihre Inhaltsstoffe hin analysiert. Diese erfolgte nach der Weender Futtermittelanalyse. Um das gesamte Methanbildungspotenzial zu ermitteln, wurde der Trockensubstanzgehalt der Silagen um die flüchtigen Stoffe korrigiert. Weiterhin erfolgten gaschromatographische Analysen zur Bestimmung aller niedrigen Fettsäuren, aller Alkohole sowie die Bestimmung des Milchsäuregehaltes und des pH-Wertes.

Die Silierung von pflanzlichen Materialien hat das Ziel, unter Luftabschluss eine spontane Milchsäuregärung herbeizuführen. Durch die anaeroben Bedingungen und den sinkenden pH-Wert wird der Stoffabbau aerober Organismen gestoppt. Die weiter stattfindende Senkung des pH-Wertes führt schließlich auch zum Erliegen der Aktivitäten der Milchsäurebakterien. Die homofermentative Milchsäuregärung bildet vereinfacht betrachtet aus Glucose die Milchsäure. Hierbei sind nur geringe Energieverluste von rund 3 % zu veranschlagen (Jeroch, Drochner, Simon, 2006). Bei der heterofermentativen Vergärung entstehen neben der Milchsäure noch Ethanol und Essigsäure sowie Manitol und Kohlenstoffdioxid. Dies geht sowohl mit einem höheren Energieverlust als auch einer niedrigeren Absenkung des pH-Wertes einher.

Grundsätzlich befinden sich auf Pflanzenmaterial neben den Milchsäurebakterien weitere Mikroorganismen, wie aerobe Bakterien, Schimmelpilze, Hefen oder Clostridien. Steigt der pH-Wert an oder tritt Luft in die Silage ein, nehmen diese Bakterien ihre Arbeit auf und können erhebliche Verluste oder den Verderb der Silagen herbeiführen (Jeroch, Drochner, Simon, 2006).

Um die Silagequalität und die eventuell eingetretene Lagerverluste beurteilen zu können, wurden in den Versuchen die umfangreichen Analysen der organischen Fettsäuren und Alkoholen durchgeführt.

## Auswertungen

Die Ergebnisse zu den Gehalten an organischen Fettsäuren und Alkoholen aus dem ersten Versuchsjahr sind in den Abb. 20 und 21 dargestellt. Tendenziell fallen über die Lagerzeit sowohl bei den ganz silierten Zuckerrüben als auch bei den gemusteten Zuckerrüben die Anteile des Zuckers ab, bis dann am Ende der Lagerzeit kein Zucker mehr vorhanden ist, gleichzeitig steigen die Gehalte an Milchsäuren und Alkoholen an. Von weiteren Interpretationen soll zunächst abgesehen werden. Erst die Ergebnisse des zweiten Versuchsjahres können nähere Aufschlüsse erbringen.

Tabelle 8: Probenahmeterminale

	Probenahme		Probenahme		Probenahme
Rübenmiete A1	Januar	Rübenmus A1	Januar	CCM/Rübenstücke A1	Januar
Rübenmiete A2	März	Rübenmus A2	März	CCM/Rübenstücke A2	März
Rübenmiete A3	Mai	Rübenmus A3	Mai	CCM/Rübenstücke A3	April
Rübenmiete A4	Juli	Rübenmus A4	Juli	CCM/Rübenstücke A4	Mai
Rübenmiete A5	September			CCM/Rübenstücke A5	Juli

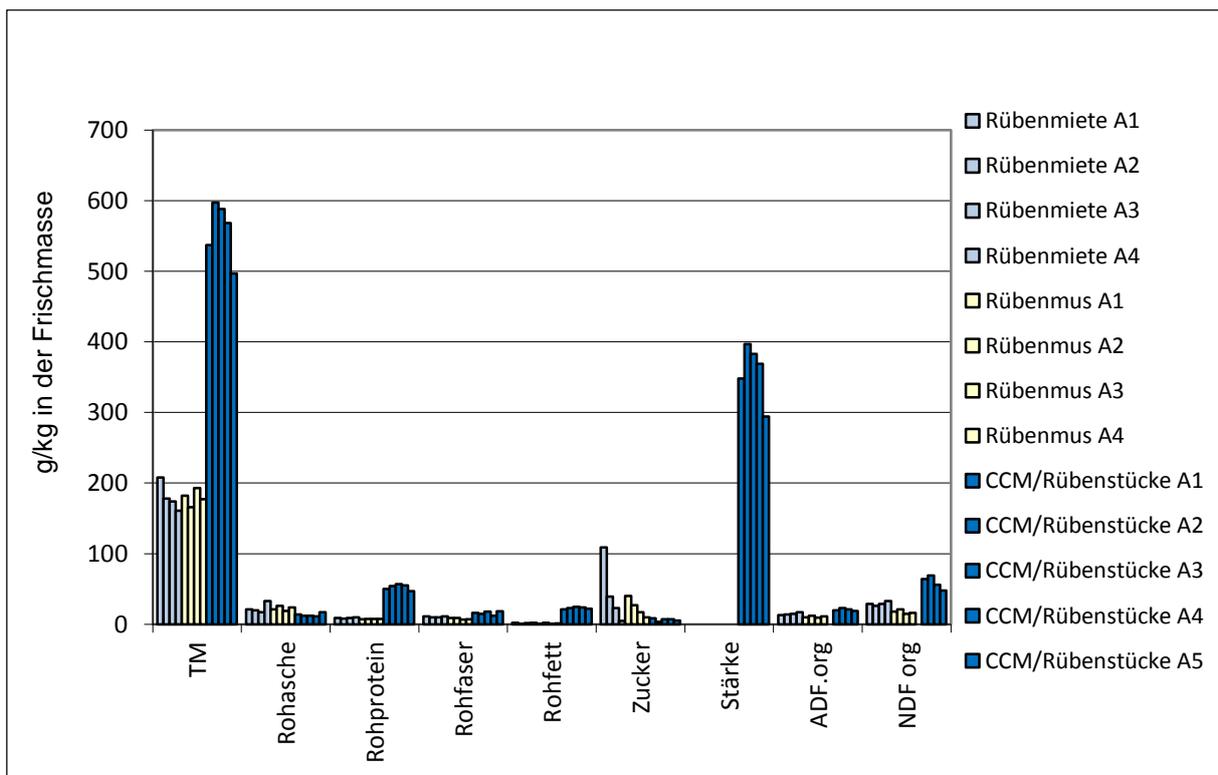


Abb. 20: Analysewerte 1, Lagerungsversuch Zuckerrüben

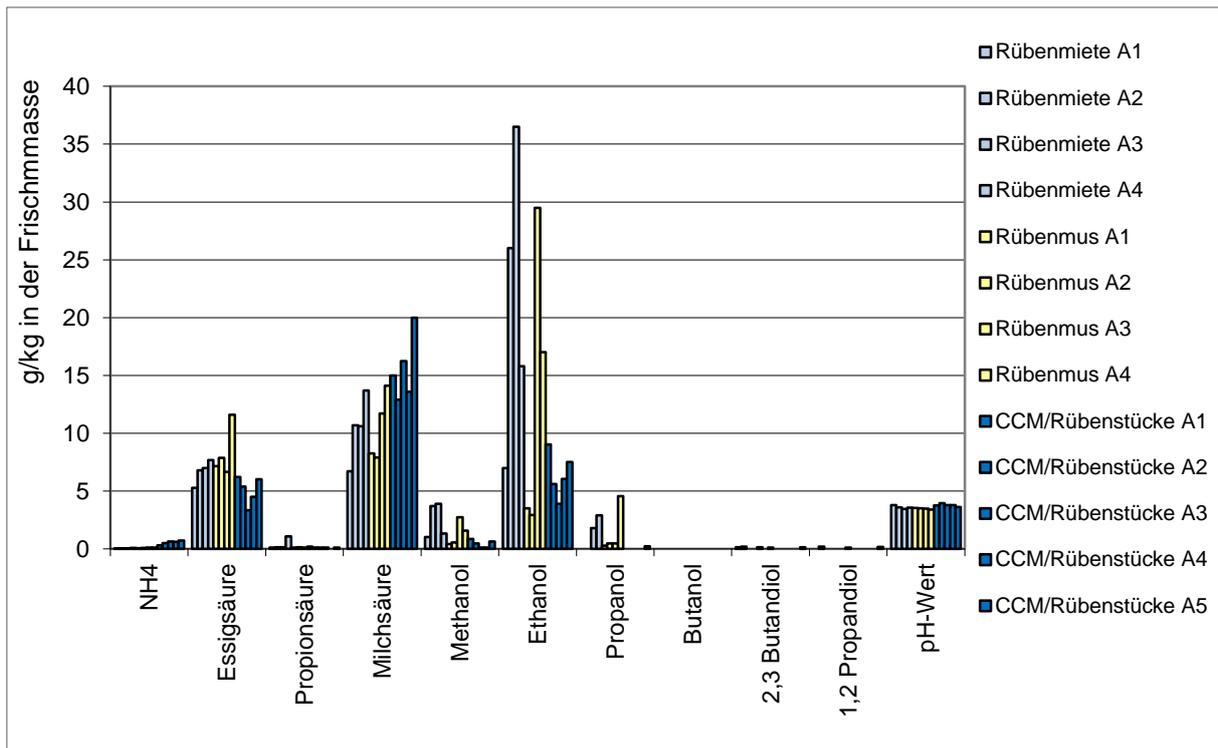


Abb. 21: Analysewerte 2, Lagerungsversuch Zuckerrüben

Die Untersuchungen aus dem ersten Versuchsjahr zeigten keine eindeutigen Tendenzen. Grundsätzlich war ein Abbau von Trockenmasse über die Lagerdauer bei der Lagervariante „Rübenmiete“ erkennbar. Ebenso war ein Abbau des Zuckers, verbunden zunächst mit einem Anstieg der organischen Säuren und der Alkohole, erkennbar. Am Ende des Lagerungsversuches nahmen die Gehalte der organischen Säuren und der Alkohole in der Rübenmiete wieder ab.

Der Zuckerabbau ist ebenfalls in der Variante der „gemusteten Rüben“ zu erkennen. Offensichtlich fand ein schnellerer Zuckerabbau am Anfang der Lagerung statt. Auch hier sind deutliche Änderungen bei den organischen Fettsäure- und Alkoholgehalten über den Lagerzeitraum erkennbar.

Die Lagerungsvariante „geböckelte Zuckerrüben in Corn-Cob-Mix (CCM)“ unterscheidet sich grundsätzlich in ihrer Zusammensetzung von den Lagerungsvarianten der Zuckerrüben, da der Gehalt der Inhaltsstoffe von dem hohen Maisanteil geprägt ist. Sehr hoch fallen die Stärkegehalte aus, Zucker ist nur zu einem kleinen Anteil vorhanden.

Da der Probenumfang nicht für die erforderliche Genauigkeit über den Versuchszeitraum gesteigert werden konnte, wurde der Untersuchungsansatz für das zweite Jahr geändert. Nur noch am Ende des Versuchszeitraums fand eine Beprobung der Lagerungsvarianten statt. Da der Versuch angelegt war, um die absoluten Lagerverluste bei unterschiedlicher Art der Lagerung zu quantifizieren, konnte somit die Aussagekraft der Untersuchungen verbessert werden.

### **3.2 Erntejahr 2012**

Aufgrund der Erfahrungen im ersten Ernte- und Versuchsjahr wurden im zweiten Jahr einige Modifikationen am Versuchsaufbau vorgenommen.

Die wesentlichen Änderungen waren:

- In der Konservierungsvariante „Mischsilage“ wurde als Mischungspartner für die Zuckerrüben anstelle des Corn-Cob-Mix (CCM) Liesch-Kolben-Schrot (LKS) verwendet. Der Vorteil des LKS ist der höhere Anteil an Restpflanzenmaterial, was einerseits betriebswirtschaftliche Vorteile bringt, andererseits die Bindung von auftretendem Sickersaft aus den Rüben durch den Mais begünstigt. Die Mischsilage wurde in einem Fahrsilo mit senkrechten Seitenwänden angelegt.
- In der Variante „Zuckerrübenbrei“ wurden anstelle der bisher verwendeten Container-Mulden mit 36 m<sup>3</sup> Volumen nur Container mit 20 m<sup>3</sup> Volumen verwendet. Die großen Container hatten bei kompletter Füllung im Vorjahr erhebliche Stabilitätsprobleme, zudem gestaltete sich die Befüllung und Entleerung der Container schwierig, da sie aufgrund ihres Gewichtes nicht transportiert werden konnten.
- Die Beprobung der konservierten Rüben wurde nicht mehr zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt, sondern lediglich zu Beginn (frische Rüben) und zu Ende des Lagerungsversuches. Um statistisch auswertbare Daten zu erhalten, wurde die Anzahl der Proben erhöht. Die Beprobung der einzelnen Lagerungsvarianten erfolgte in unterschiedlichen Ebenen.
- Zusätzlich zu den großtechnischen Lagerungsvarianten wurden kleine Varianten in 1.000-Liter-IBC-Containern angelegt. Die Lagerungsform „Rübenbrei“ wurde in diesen Behältern um die Varianten „luftdicht verschlossen“ und „abgedeckt“ ergänzt.

Um die Lagerverluste zu beurteilen, wurden auch im zweiten Versuchsjahr die Massen der eingelagerten sowie der ausgelagerten Substrate ermittelt. Weiterhin wurden die Qualitäten der Stoffe vor und nach der Silierung im Labor bestimmt. Aufgrund der Laboranalysen lassen sich die Verluste des Biogasbildungspotenzials aufgrund der Konservierung und Lagerung ermitteln. Das Biogas- und Methanbildungspotenzial wurde nach der Methode Weißbach bestimmt.

#### **3.2.1 Liesch-Kolben-Schrot (LKS) mit gebröckelten Zuckerrüben**

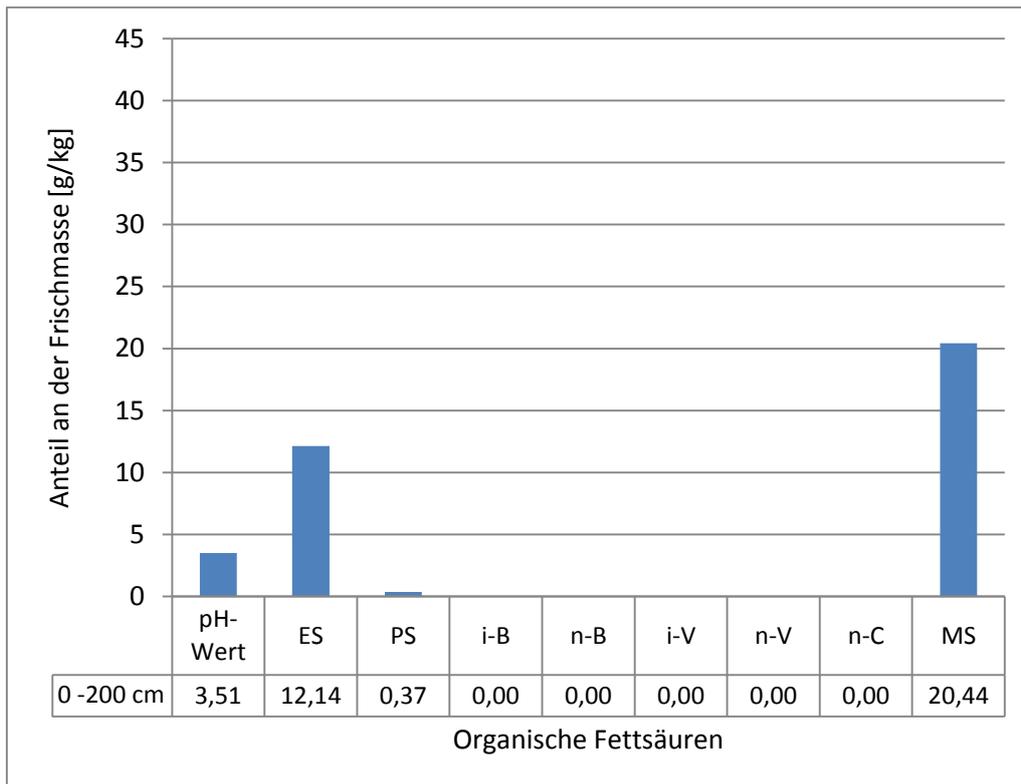
In Tabelle 9 sind die ermittelten Werte für das Erntejahr 2012 aufgeführt.

Tabelle 9: Versuch LKS-gebröckelte Zuckerrüben

	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas NL/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	183.280	84.925	728	61.791	377	32.040
Ausgelagerte Masse	167.220	72.176	715	51.588	375	27.066
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	16.060	12.748	13	10.203	2	4.973
Lagerverlust [%]	8,8 %	15,0 %	1,8 %	16,5 %	0,6 %	15,5 %

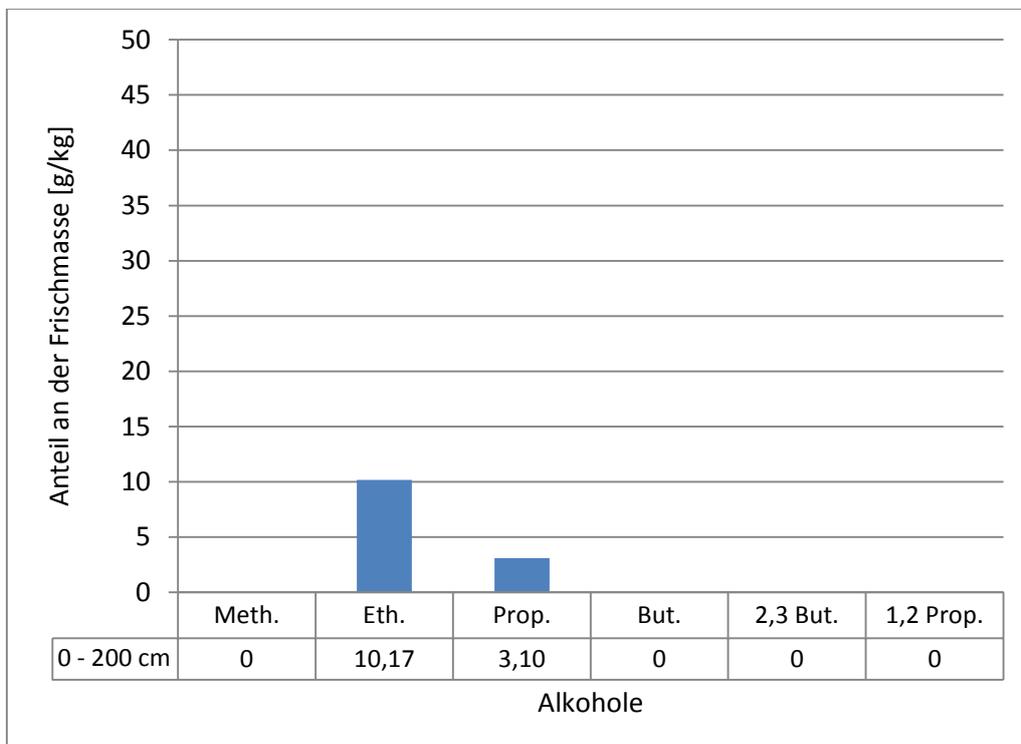
Die einsilierte Masse an Lieschkolbenschrot und Zuckerrübenstücken betrug 183.280 kg. Die Masse an korrigierter Trockensubstanz (TS<sub>k</sub>) lag bei 84.925 kg. Die Laboranalysen weisen einen spezifischen Biogasertrag von 728 NL/kg TS<sub>k</sub> für das Ausgangssubstrat Lieschkolbenschrot/Zuckerrüben aus. Der spezifische Methanertrag des Ausgangsmaterials wurde mit 377 NL/kg TS<sub>k</sub> ermittelt. Hieraus ergibt sich eine Gesamtmethanmenge von 32.040 m<sup>3</sup>, die aus dem eingelagerten Pflanzenmaterial erzeugt werden kann. Durch den Silierprozess und über den Zeitraum der Lagerung (Einsiliert am 30.10.2012, Entnahmetag am 23.08.2013) entstand ein Masseverlust von 8,8 %. Der Verlust an fermentierbarer Trockensubstanz betrug 15,0 % und der Verlust an dem Methanbildungspotenzial 15,5 %. Dies bedeutet, dass über die Dauer der Lagerung die Qualität des Gärproduktes in Bezug auf das Methanbildungsvermögen abnimmt und in dem gelagerten Produkt 15,5 % weniger Energie enthalten ist als in dem unsilierten und frischen Ausgangsmaterials der Zuckerrüben und des Lieschkolbenschrots.

Die Laboranalysen weisen einen sehr niedrigen pH-Wert der Silage am Ende des Lagerzeitraums von 3,51 auf, der Gehalt an Milchsäure beträgt 20,44 g/kg FM. Der Gehalt an Essigsäure liegt bei 12,14 g/kg FM. Weitere organische Fettsäuren traten nur in geringer Konzentration (Propionsäure) oder unterhalb der Nachweisgrenze auf.



**Abb. 22: Organische Säuren, „LKS/gebröckelte Rüben“**

Die Bestimmung der Alkohole am Ende der Lagerzeit ergab einen Gehalt an Ethanol von 10,17 g/kg FM und Propanol von 3,10 g/kg FM. Die übrigen Alkohole lagen unter der Nachweisgrenze.



**Abb. 23: Alkohole, „LKS/gebröckelte Rüben“**

### 3.2.2 Zuckerrübenbrei „gemuste Rüben“

Der Stichprobenumfang zur Ermittlung der Qualität des silierten Zuckerrübenbreis wurde im zweiten Versuchsjahr deutlich erhöht. Die folgende Tabelle 10 weist die ermittelten Zahlen für den Lagerversuch 2012/13 der gemusten und in Großcontainern gelagerten Zuckerrüben aus.

Tabelle 10: Versuch 2013 "Rübenmus" gesamter Container und in verschiedenen Tiefen

<b>Gesamter Container</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	33.160	8.555	678	5.800	339	2.900
Ausgelagerte Masse	36.220	6.136	624	3.830	367	2.254
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	-3.060	2.420	54	1.971	-28	646
Lagerverlust [%]	-9,2 %	28,3 %	7,9 %	34,0 %	-8,4 %	22,3 %

<b>0 - 30 cm</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	11.053	2.852	678	1.933	339	967
Ausgelagerte Masse	12.073	1.636	519	849	290	475
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	-1.020	1.216	159	1084	49	492
Lagerverlust [%]	-9,2 %	42,6 %	23,5 %	56,1 %	14,3 %	50,8 %

<b>30 - 60 cm</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	11.053	2.852	678	1.933	339	967
Ausgelagerte Masse	12.073	2.200	667	1.467	399	878
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	-1.020	651	12	467	-60	88
Lagerverlust [%]	-9,2 %	22,8 %	1,7 %	24,2 %	-17,8 %	9,1 %

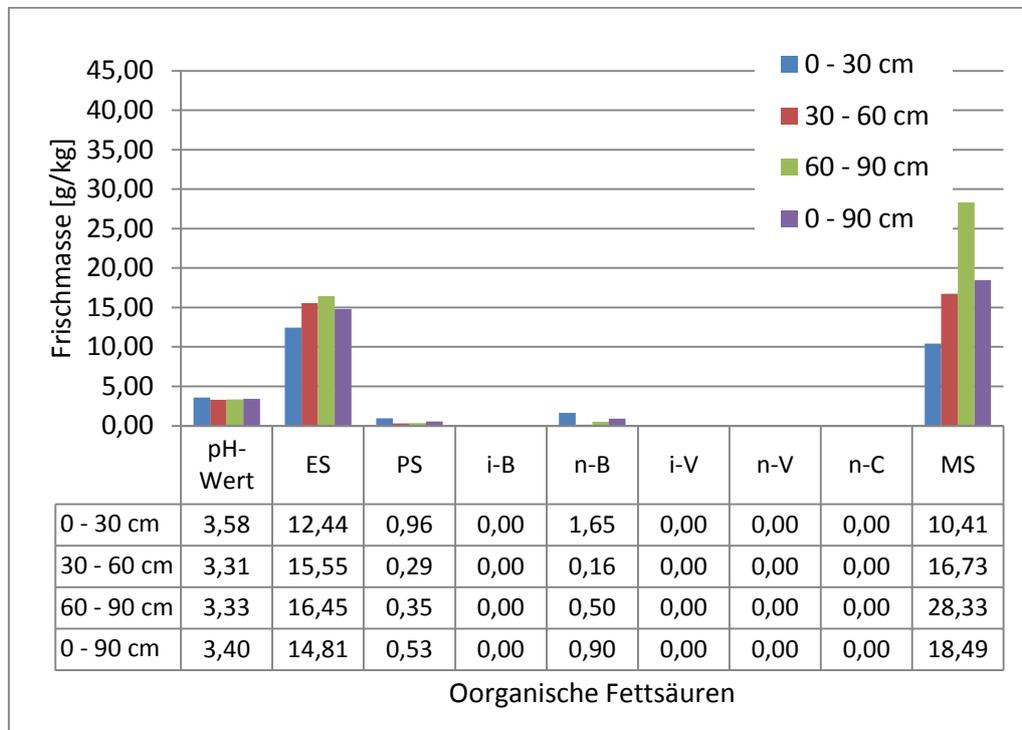
60 - 90 cm	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	11.053	2.852	678	1.933	339	967
Ausgelagerte Masse	12.073	2.300	686	1.578	413	949
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	-1.020	552	-8	355	-74	17
Lagerverlust [%]	-9,2 %	19,3 %	-1,2 %	18,4 %	-21,8 %	1,8 %

Bei der Betrachtung des gesamten Containerinhaltes wurden die Analysewerte aller Proben gemittelt. Dies bedeutet, dass Proben sowohl aus der oberen, mittleren und unteren Entnahmetiefe als Gesamtheit genommen und miteinander verrechnet wurden. Die einsilierte Masse an gemusterten Zuckerrüben betrug 33.160 kg. Über den Zeitraum der Lagerung (einsiliert am 4.12.2012, Tag der Entnahme 28.08.2013) nahm die Gesamtmasse um 3.060 kg oder 9,23 % zu. Da die Behälter nicht abgedeckt waren, ist die Massezunahme durch den Eintrag von Regenwasser zu erklären. Die Gesamtmasse an korrigierter Trockensubstanz (TS<sub>k</sub>) nahm jedoch um 2.420 kg oder 28,3 % ab. Für das Ausgangsmaterial wurde ein spezifischer Biogasertrag von 678 NL/kg TS<sub>k</sub> ermittelt, der spezifische Methanertrag lag bei 339 NL/kg TS<sub>k</sub>. Für die silierte Masse lag der spezifische Biogasertrag am Ende des Versuchszeitraums bei 624 NL/kg TS<sub>k</sub>, der spezifische Methanbildungsertrag bei 367 NL/kg TS<sub>k</sub>. Aufgrund des geringeren Gehaltes an korrigierter Trockensubstanz und des geringeren spezifischen Biogasertrages nahm durch die Lagerung das Biogasproduktionspotenzial um 34,0 % ab, das Methanproduktionspotenzial jedoch nur um 22,3 %.

Eine Betrachtung der Lagerverluste in den drei Probeentnahmehorizonten zeigt, dass die Verluste an Biogasproduktionspotential in der Schicht 0 - 30 cm mit 56,1 % Lagerverlust sehr hoch liegen, im Horizont 30 - 60 cm sind die Verluste nur noch bei 24,2 % und im Bereich 60 - 90 cm liegen diese bei 18,4 %. Zieht man zur Beurteilung das Methanbildungspotenzial heran, sind die Verluste aufgrund der Lagerung in der flachen Probeentnahmetiefe (0 - 30 cm) bei erheblichen 50,8 %, die Verluste fallen in der mittleren Probeentnahmetiefe auf 9,1 % und in der tiefen Probeentnahmeschicht ist der Verlust im Methanbildungspotenzial nur noch bei 1,8 %. Dies bedeutet, in dem Versuch konnte nur in den beiden oberen Probeentnahmehorizonten ein hoher Energieverlust aufgrund der Lagerung gemessen werden. In dem Horizont von 60 - 90 cm findet zwar ein Abbau der Gesamtmasse an korrigierter Trockenmasse statt, ein Rückgang des Methanbildungspotenzials ist jedoch nur noch in geringem Umfang zu ermitteln.

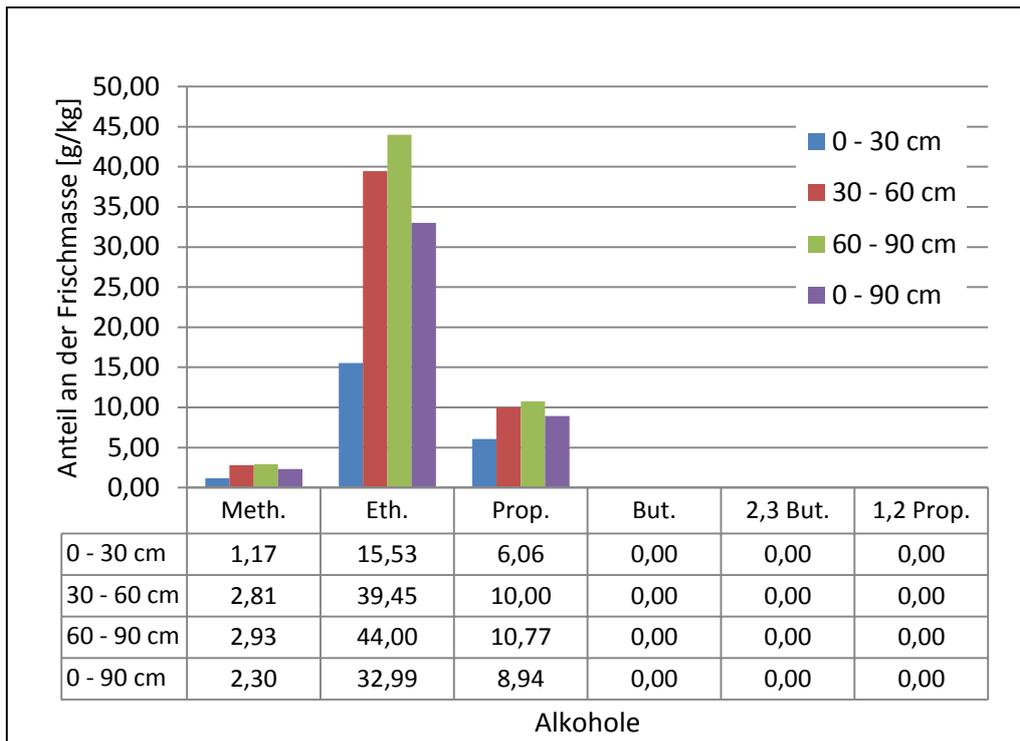
Die silierten gemusterten Rüben wiesen am Ende der Lagerdauer einen recht niedrigen pH-Wert von 3,40 aus. Der pH-Wert war in der oberen Probenahmeschicht am höchsten und nahm über die Tiefe im Behälter ab. In nennenswerter Menge konnten an organischen Fettsäuren

Milchsäure und Essigsäure ermittelt werden. Beide Säurefraktionen sind in geringerem Anteil in dem oberen Probeentnahmehorizont nachweisbar als in den tieferen Horizonten der Lagerbehälter.



**Abb. 24: Organische Fettsäuren, Container**

Auch die Massenanteile der Alkohole zeigen ein ähnliches Bild wie die der Fettsäuren. In der oberen Schicht sind die Anteile an der Frischmasse am geringsten, über die Probeentnahmetiefe steigen die Masseanteile an. An Alkoholen wurden Methanol, Ethanol und Propanol ermittelt, die übrigen Alkohole lagen unterhalb der Nachweisgrenze.



**Abb. 25: Alkohole, Container**

In weiteren Untersuchungen wurde Rübenmus in 1.000-l-Container gefüllt und luftdicht abgedeckt. Während des Zeitraums der Lagerung (einsiliert am 4.12.2012, Tag der Entnahme 28.08.2013) nahm die gesamte eingelagerte Masse um 100 kg oder 10,2 % ab. Die Masse an korrigierter Trockensubstanz reduzierte sich über den Zeitraum um 18,5 %. In dem Container verringerte sich ebenso das Biogasbildungspotenzial und zwar um 20,6 %, das Methanbildungspotenzial allerdings nur um 10,8 %.

In diesem Versuch konnte ein Rückgang des Biogas- und Methanbildungspotenzials bei der Betrachtung des gesamten Lagerbehälters festgestellt werden. Deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Probenahmehorizonten waren nicht festzustellen.

Tabelle 11: Versuch 2013 "Rübenmus" im 1.000-l-Container, luftdicht abgedeckt

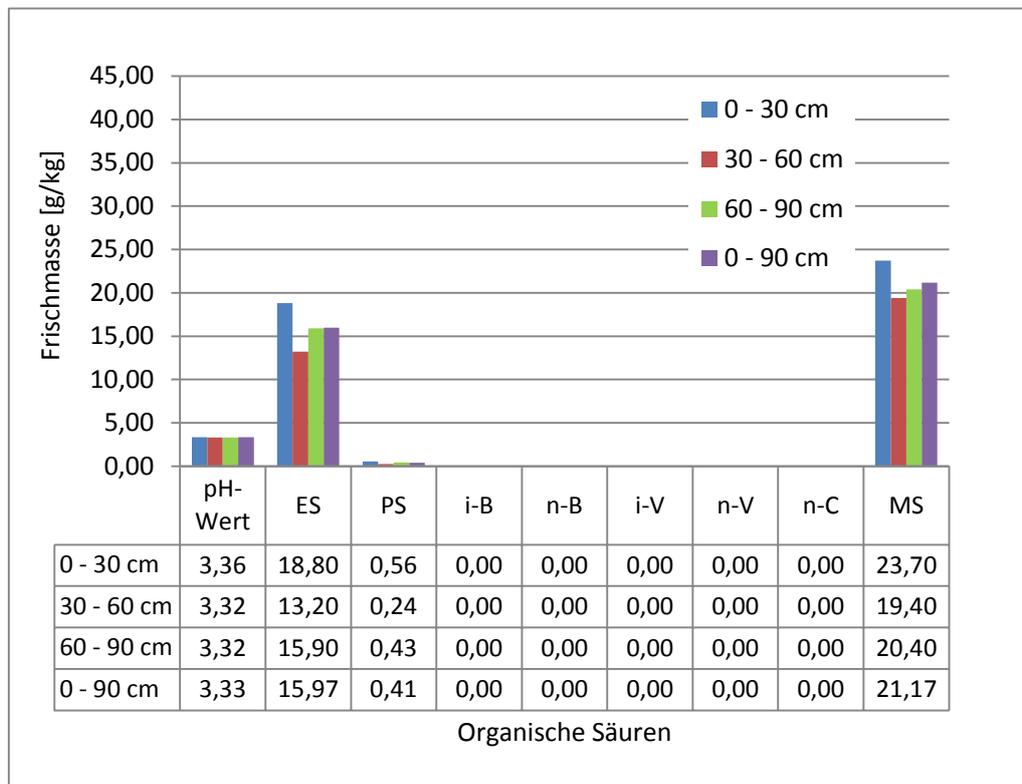
<b>Gesamter Container</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	980	253	678	171	339	86
Ausgelagerte Masse	880	206	660	136	371	76
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	100	47	18	35	-32	9
Lagerverlust [%]	10,2 %	18,5 %	2,7 %	20,6 %	-9,4 %	10,8 %

<b>0 - 30 cm</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	327	84	648	55	339	28,6
Ausgelagerte Masse	293	69	682	47	397	27,5
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	33	15	-34	7	-58	1,1
Lagerverlust [%]	10,2 %	17,9 %	-5,2 %	13,6 %	-17,1 %	3,8 %

<b>30 - 60 cm</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	327	84	648	55	339	29
Ausgelagerte Masse	293	67	646	43	349	23
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	33	17	2	11	-10	5
Lagerverlust [%]	10,2 %	20,3 %	0,3 %	20,5 %	-2,9 %	17,9 %

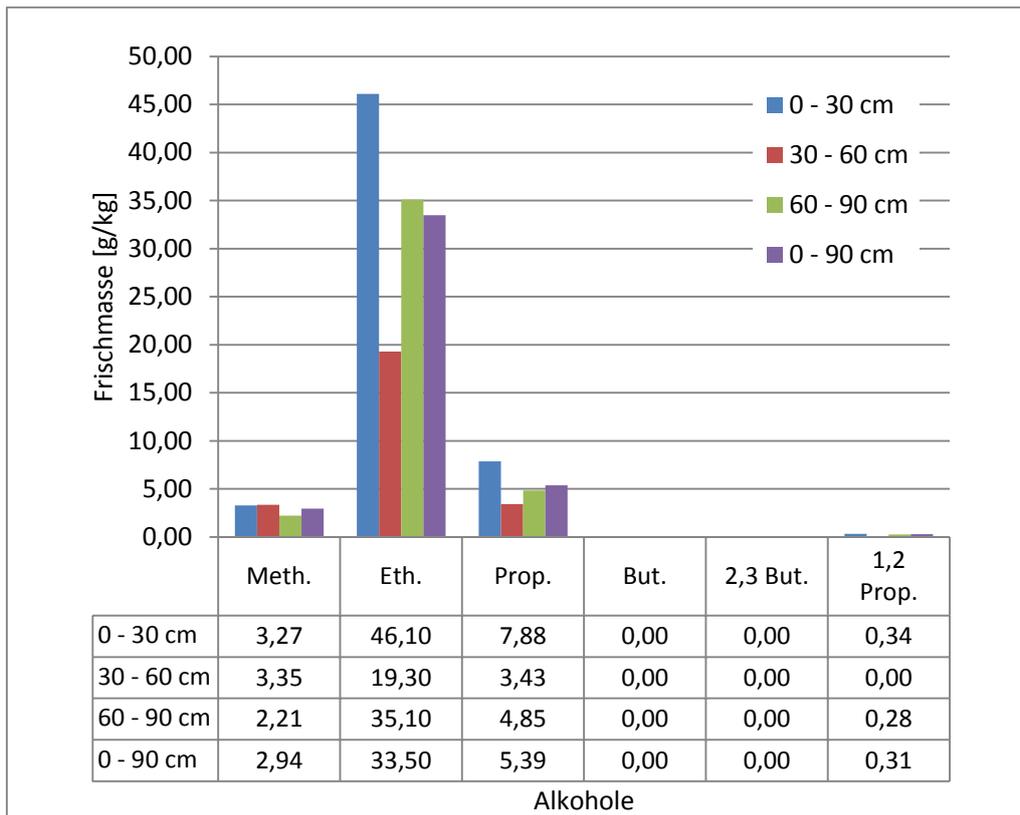
<b>60 - 90 cm</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	327	84	648	55	339	29
Ausgelagerte Masse	293	70	652	46	371	26
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	33	14	-4	9	-32	3
Lagerverlust [%]	10,2 %	17,2 %	-0,6 %	16,7 %	-9,4 %	9,3 %

In den luftdicht abgedeckten Container (1.000 l) lag der pH-Wert in allen drei Probenahmehorizonten bei recht gleichen Werten um 3,33. Entgegen der übrigen Lagerungsvarianten des Rübemuses sind die Gehalte an Milchsäure und Essigsäure in dem obersten Probenahmehorizont hier am höchsten.



**Abb. 26: Organische Fettsäuren, 1.000-l-Container, luftdicht abgedeckt**

Die Alkohole verhalten sich in ihrer Verteilung über die Probenahmehorizonte ähnlich wie die Fettsäuren. In der oberen Probenahmeschicht ist deren Anteil am größten.



**Abb. 27: Alkohole, 1.000-l-Container, luftdicht abgedeckt**

In einer weiteren Variante wurde Rübenmus im 1.000-l-Container nur mit einer Plane nicht luftdicht abgedeckt. Während des Zeitraums der Lagerung (einsiliert am 4.12.2012, Tag der Entnahme 28.08.2013) nahm die gesamte eingelagerte Masse um 420 kg oder 44,7 % ab. Die Masse an korrigierter Trockensubstanz reduzierte sich über den Zeitraum um 40,3 %. In dem Container verringerte sich das Biogasbildungspotenzial um 57,2 %, das Methanbildungspotenzial um 55,1 %. An Volumen nahm der Inhalt des Containers um 30 bis 40 % ab. Somit konnten nur zwei Horizonte der eingelagerten Masse beprobt werden. Die Lagerverluste waren in beiden Horizonten sehr hoch. In den oberen Schichten lag der Verlust sowohl an Biogas- als auch an Methanbildungspotenzial über 60 %, in der tieferen Schicht lagen die beiden ermittelten Werte jeweils über 50 %.

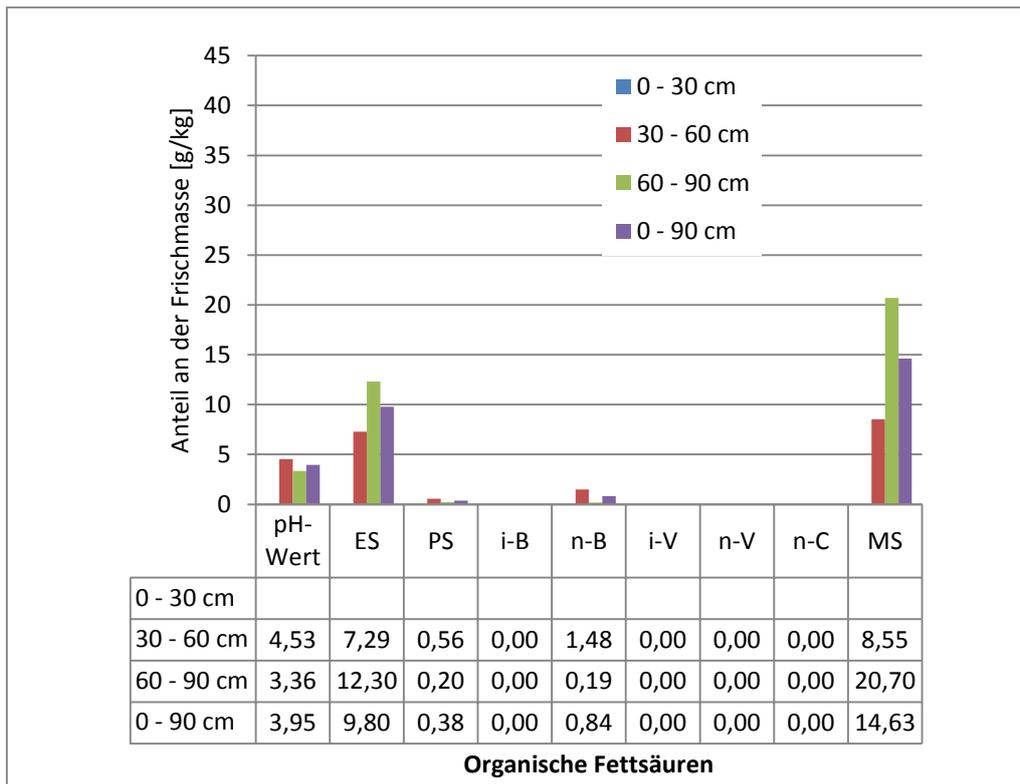
Tabelle 12: Versuch 2013 "Rübenmus" 1.000-l-Containerm abgedeckt, nicht luftdicht

<b>Gesamter Container</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	940	243	678	164	339	82
Ausgelagerte Masse	520	145	486,5	70	255	37
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	420	98	192	94	84	45
Lagerverlust [%]	44,7 %	40,3 %	28,2 %	57,2 %	24,8 %	55,1 %

<b>0 - 30 cm</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	313	81	678	55	339	27
Ausgelagerte Masse	173	54	373	20	189	10
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	140	27	305	35	150	17
Lagerverlust [%]	44,7 %	33,3 %	45,0 %	63,3 %	44,2 %	62,8 %

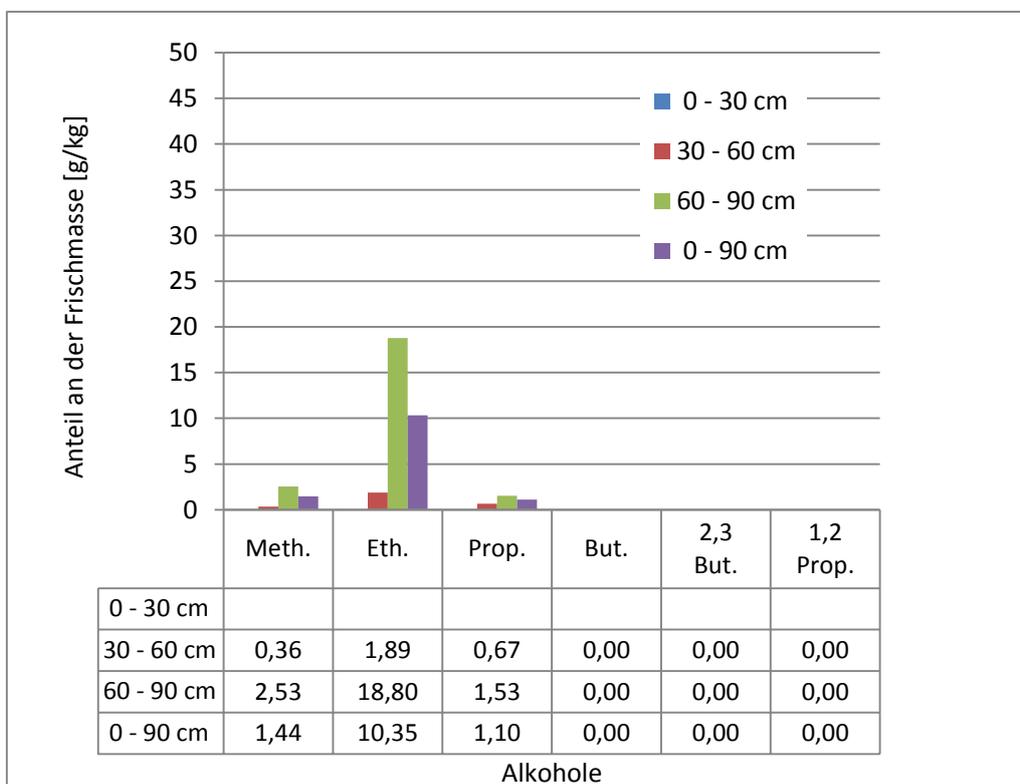
<b>30 - 60 cm</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	313	81	678	55	339	27
Ausgelagerte Masse	173	43	600	26	321	14
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	140	38	78	29	18	14
Lagerverlust [%]	44,7 %	47,3 %	11,5 %	53,3 %	5,3 %	50,1 %

Verglichen mit allen anderen Lagerungsvarianten wurde in diesem Versuchsansatz der höchste pH-Wert mit 4,53 in dem Horizont 30 - 60 cm gemessen. Auch in dem tieferen Probenahmehorizont liegt der pH-Wert mit 3,95 über den Werten dieses Parameters in den anderen Lagerungsvarianten. Die Anteile an Milchsäure nehmen auch hier in dem unteren Horizont zu.



**Abb. 28: Organische Fettsäuren, 1.000-l-Container, abgedeckt**

Die Massenanteile der Alkohole ergeben sich analog der Massenanteile der Fettsäuren, in der oberen Schicht sind diese geringer als in der tieferen Schicht.



**Abb. 29: Alkohole, 1.000-l-Container, abgedeckt**

Als dritte Variante mit kleinen 1.000-l-Containern wurde das Rübenmus nicht abgedeckt über den Versuchszeitraum gelagert (einsiliert am 4.12.2012, Tag der Entnahme 28.08.2013).

Tabelle 13: Versuch 2013 "Rübenmus", 1.000-l-Container, offen

<b>Gesamter Container</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	980	253	678	171	339	85,7
Ausgelagerte Masse	940	157	592,66	93	327	51,4
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	40	96	85	78	12	34
Lagerverlust [%]	4,1 %	37,8 %	12,6 %	45,6 %	3,5 %	40,0 %

<b>0 - 30 cm</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	327	84	648	55	339	28,6
Ausgelagerte Masse	313	44	504	22	276	12,3
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	13	40	144	32	63	16
Lagerverlust [%]	4,1 %	47,2 %	22,2 %	58,9 %	18,6 %	57,0 %

<b>0 - 60 cm</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	327	84	648	55	339	28,6
Ausgelagerte Masse	313	53	617	33	334	17,8
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	13	31	31	22	5	11
Lagerverlust [%]	4,1 %	36,8 %	4,8 %	39,8 %	1,5 %	37,7 %

0 - 90 cm	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	327	84	648	55	339	28,6
Ausgelagerte Masse	313	60	657	39	371	22,1
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	13	25	-9	16	-32	6
Lagerverlust [%]	4,1 %	29,4 %	-1,4 %	28,4 %	-9,4 %	22,7 %

Allerdings stand der Container unter einem Dach, somit konnte allenfalls Schlagregen in den Lagerraum gelangen. Die gesamte einsilierte Masse nahm um 40 kg oder 4,1 % ab. Die Masse an korrigierter Trockensubstanz, betrachtet über alle Entnahmehorizonte, reduzierte sich über den Zeitraum um 37,8 %. In dem Container verringerte sich das Biogasbildungspotenzial um 45,6 %, das Methanbildungspotenzial um 40,0 %. Auch in diesem Versuch ist erkennbar, dass in der oberen Schicht die größten Verluste auftreten, die unterste Schicht zeigte die geringsten Verluste an Biogas- und Methanbildungspotenzial.

Der pH-Wert ist in allen Horizonten mit einem durchschnittlichen Wert von 3,36 sehr niedrig. Der Gehalt an Milchsäure nimmt auch hier mit zunehmender Probenahmetiefe ab.

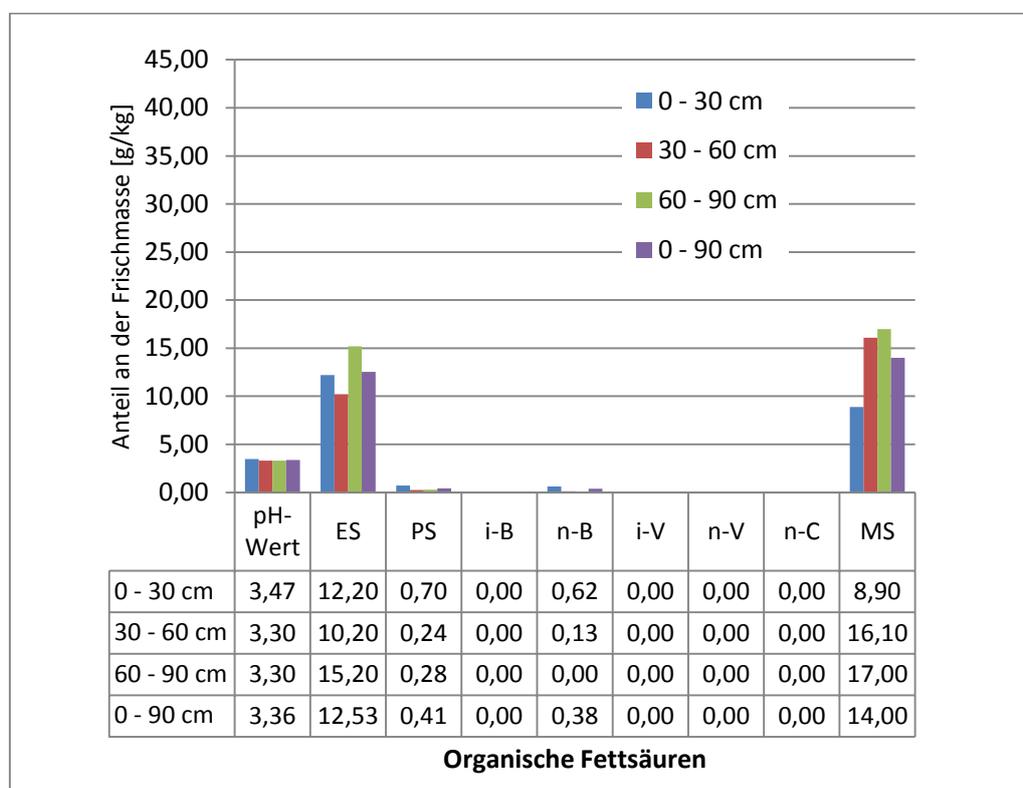


Abb. 30: Organische Fettsäuren, 1.000-l-Container, offen

Die Alkohole verhalten sich wie die Milchsäure und weisen in den flacheren Horizonten geringere Werte als in den tieferen Horizonten auf.

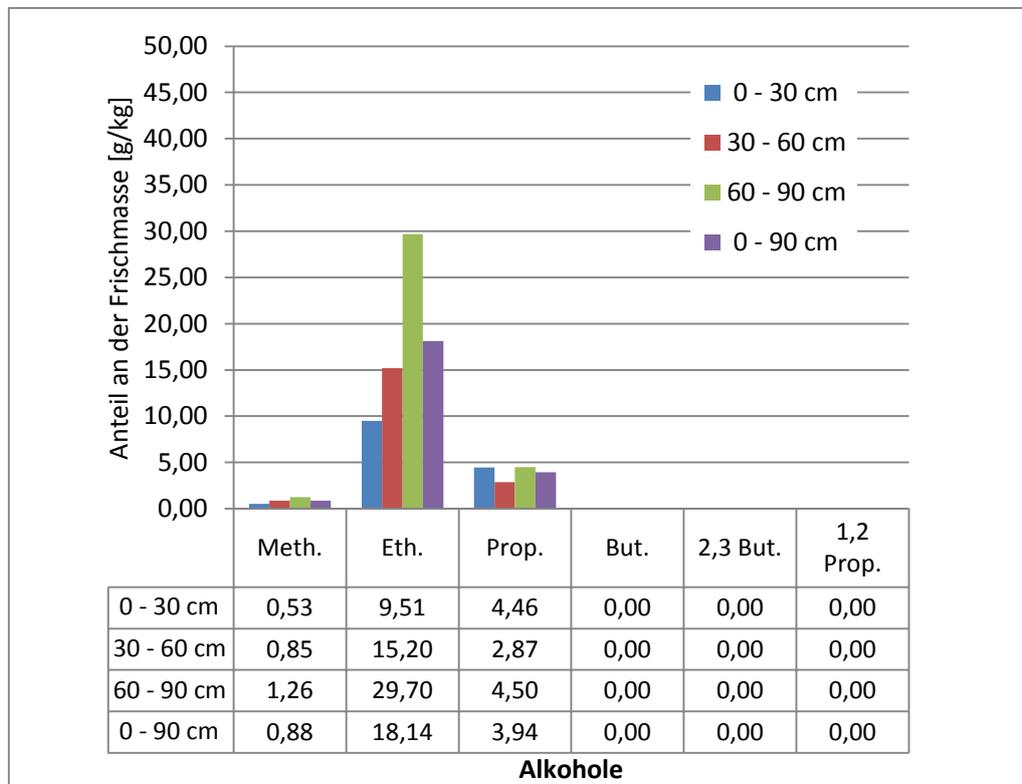


Abb. 31: Alkohole, 1.000-l-Container, offen

### 3.2.3 „Ganze Zuckerrüben unter Folie“

In Tabelle 14 sind die Ergebnisse und Analysen des Lagerversuchs (einsiliert am 14.11.2012, Tag der Entnahme 22.08.2013) der „ganzen Zuckerrüben“ dargestellt. Aus der Silomiete wurden Proben aus den oberen, mittleren und unteren Horizonten entnommen. Die Mittelung der Werte aus allen drei Horizonten zeigt, dass der Verlust an der gesamten eingelagerten Masse 38.630 kg oder 25,1 % beträgt. Die ausgetretene Menge an Sickersaft (19.455 kg, 12,7 % der eingelagerten Masse) wurde nicht als Masseverlust mit einbezogen, da diese aufgefangen und einer Biogasanlage zugeführt werden kann. Durch die Lagerung verringerte sich der Anteil an korrigierter Trockenmasse um 17.917 kg oder 45,1 %. Das spezifische Biogasertragspotenzial reduzierte sich von 678 NL/kg TS<sub>k</sub> auf 629 NL/kg TS<sub>k</sub>. Der Ertrag an Biogas verringerte sich aufgrund der Lagerung um 49,1 %, der Methanertrag reduzierte sich auf 43,2 %. Auch in diesem Versuch ist zu erkennen, dass in den oberen Horizonten die größten Lagerverluste auftreten.

Tabelle 14: Versuch 2013 "Ganze Rüben"

<b>Gesamter Container</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	153.690	39.698	678	26.915	339	13.458
Ausgelagerte Masse	115.060	21.781	629	13.696	351	7643
Saftaustritt	19.455	1.634	715	1.168	363	593
Saftaustritt [%]	12,7 %	4,1 %	105,5 %	4,3 %	107,1 %	4,4 %
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	38.630	17.917	49	13.220	-12	5815
Lagerverlust [%]	25,1 %	45,1 %	7,3 %	49,1 %	-3,5 %	43,2 %

<b>oben 0 - 30 cm</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	51.230	13.217	678	8.961	339	4.481
Ausgelagerte Masse	38.353	6.904	607	4.188	326	2.251
Saftaustritt	6.485	545	715	389	363	198
Saftaustritt [%]	12,7 %	4,1 %	105,5 %	4,3 %	107,1 %	4,4 %
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	12.877	6.314	71	4.774	13	2.230
Lagerverlust [%]	25,1 %	47,8 %	10,5 %	53,3 %	3,8 %	49,8 %

<b>Mitte 80 - 110 cm</b>	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	51.230	13.217	678	8.961	339	4.481
Ausgelagerte Masse	38.353	7.364	631	4.644	354	2.610
Saftaustritt	6.485	545	715	389	363	198
Saftaustritt [%]	12,7 %	4,1 %	105,5 %	4,3 %	107,1 %	4,4 %
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	12.877	5.854	47	4.318	-15	1.871
Lagerverlust [%]	25,1 %	44,3 %	7,0 %	48,2 %	-4,5 %	41,8 %

unten 150 - 180 cm	kg	kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup> N/kg TS <sub>k</sub>	Biogas m <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> NL/kg TS <sub>k</sub>	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Einsilierte Masse	51.230	13.217	678	8.961	339	4.481
Ausgelagerte Masse	38.353	7.226	640	4.624	361	2.611
Saftaustritt	6.485	545	715	389	363	198
Saftaustritt [%]	12,7 %	4,1 %	105,5 %	4,3 %	107,1 %	4,4 %
Lagerverlust [kg] [m <sup>3</sup> ]	12.877	5.992	38	4.337	-22	1.869
Lagerverlust [%]	25,1 %	45,3 %	5,6 %	48,4 %	-6,6 %	41,7 %

Auch in dieser Versuchsvariante liegt der pH-Werte mit durchschnittlich 3,49 sehr niedrig. Die Milchsäure weist mit durchschnittlich 7,41 g/kg FM die niedrigsten Werte aller Lagerungsvarianten auf. Der Gehalt an Essigsäure ist in dieser Variante mit durchschnittlich 26,39 g/kg FM im Vergleich zu den anderen Varianten am höchsten.

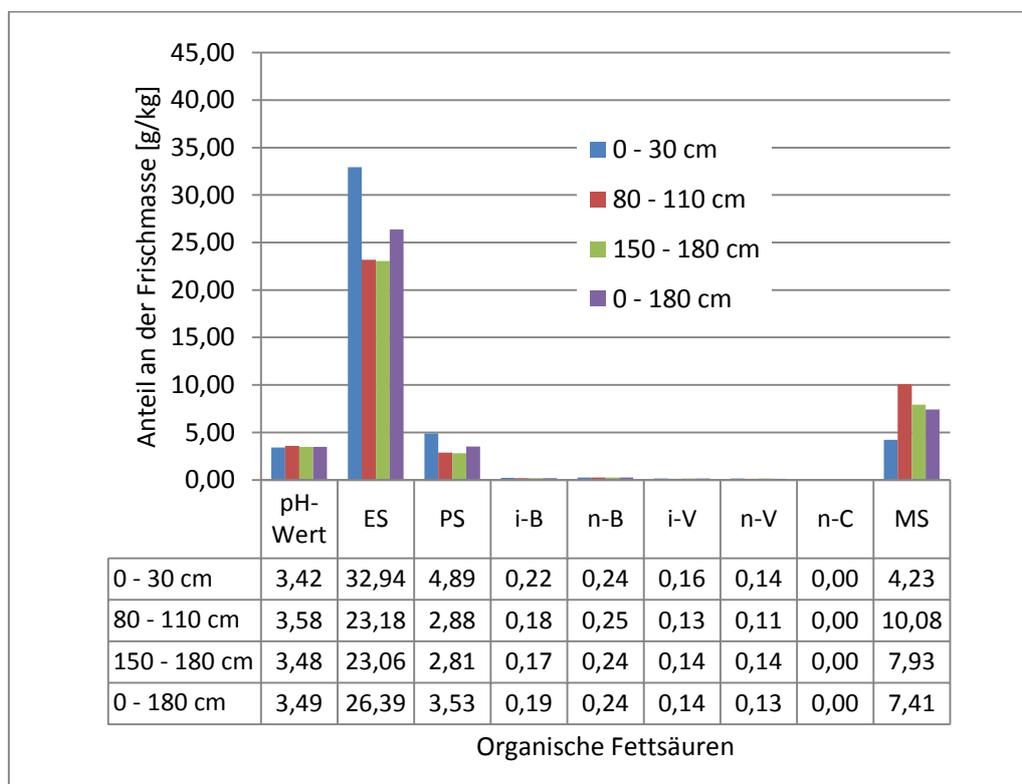
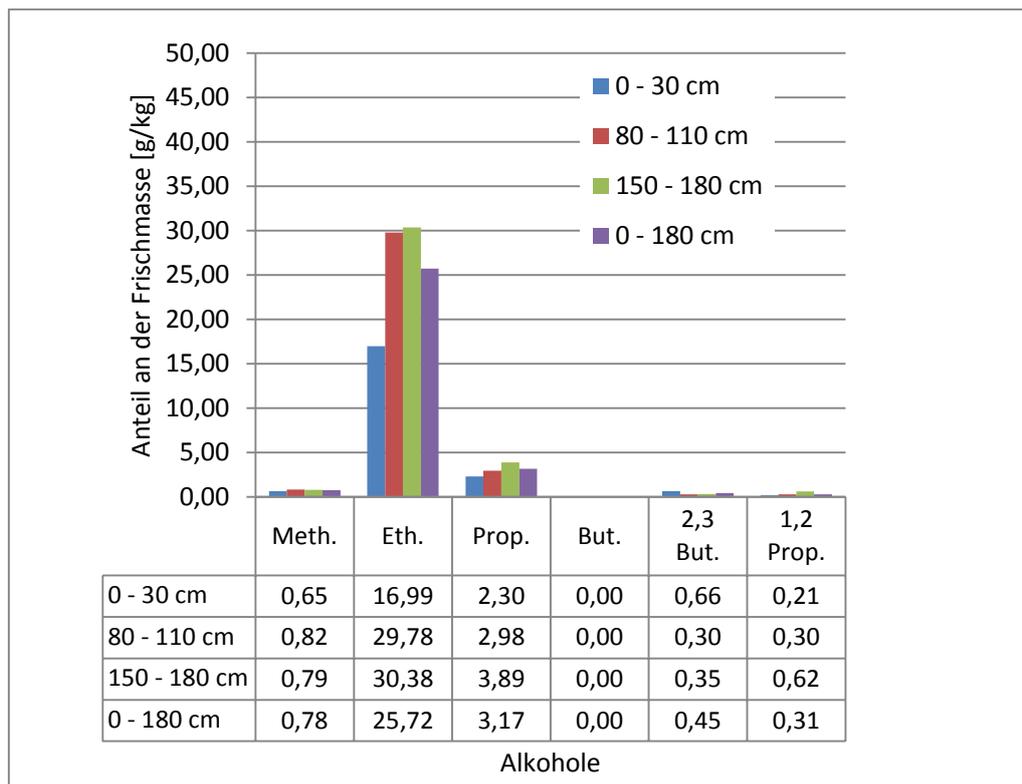


Abb. 32: Organische Säuren, silierte Rüben

Die Ermittlung der Alkohole liegen auf einem Niveau, das mit den Lagerungsvarianten des „Rübenmus“ vergleichbar ist.



**Abb. 33: Alkohole, silierte Rüben**

### 3.2.4 Diskussion

Die Lagerung von Zuckerrüben in einer Mischsilage ist grundsätzlich möglich, die in den beiden Versuchsjahren festgestellten Lagerverluste bezifferten sich auf 14 bis 15 % TM. Obwohl die weiteren Komponenten der Mischsilage (Lieschkolbenschrot 2012, CCM 2011) sehr hohe Trockensubstanzgehalte aufwiesen, trat Sickersaft aus dem jeweiligen Stapel aus. Auch war der Silohaufen nicht formstabil, sodass zum einen Bruchspalten auftraten und zum anderen der Stapel mit zunehmender Lagerdauer anfang zu fließen. Häufig scheidet ein Gemisch aus Lieschkolbenschrot mit Rübenbruchstücken oder CCM mit Rübenbruchstücken in der Praxis deswegen aus, da die Arbeitsabläufe schwer zu koordinieren sind und auch die optimalen Erntetermine für die jeweilige Frucht nicht mit der Ernte der anderen Frucht übereinstimmen.

Aus den genannten Gründen ist für die Praxis die Lagerung von gemusterten Zuckerrüben in Großlagerstätten oder ganzer Zuckerrüben in Mieten von größerer Bedeutung.

In Tabelle 15 sind die Verluste des Methanbildungspotenzials aus dem Versuchsjahr 2012 für die Varianten „Lagerung von Rübenmus in Containern“ und „Lagerung ganzer Zuckerrüben in einem Fahrsilo“ nochmal zusammengefasst. Der Parameter wurde gewählt, da hierdurch der Energieverlust des gelagerten Materials in Abhängigkeit der Lagerung exakt beschrieben wird.

Tabelle 15: Verlust des Methanbildungspotenzials 2013

Rübenmus Container		Ganze Zuckerrüben siliert	
∅ Lagerverlust 0 - 90 cm	22,3 %	∅ Lagerverlust 0 - 180 cm	43,2 %
Lagerverlust 0 - 30 cm	50,8 %	Lagerverlust 0 - 30 cm	49,8 %
Lagerverlust 30 - 60 cm	9,1 %	Lagerverlust 80 - 110 cm	41,8 %
Lagerverlust 60 - 90 cm	1,8 %	Lagerverlust 110 - 180 cm	41,7 %

Die ermittelten Werte zeigen, dass die Verluste bei der Lagerung von Rübenmus bei der Betrachtung der gesamten Container 22,3 % beträgt, der Verlust der silierten Rüben in der gesamten Miete liegt fast doppelt so hoch bei 43,2 %. Es ist weiterhin zu erkennen, dass die Verluste bei der Lagerung gemuster Rüben in den oberen Schichten, also in Bereichen, in denen aerobe Verhältnisse herrschen, deutlich höher sind, als in den unteren Schichten des Behälters. In Tiefen von über 60 cm konnten nur noch geringste Lagerverluste ermittelt werden. Dieses Verhältnis ist bei der Silierung ganzer Rüben nicht erkennbar. Über die gesamte Stapelhöhe liegen die Energieverluste sehr hoch bei über 41 %.

Untersuchungen von Weißbach (2009) beschreiben, dass bei der Silierung gestapelter Rüben die Gefahr des Lufteintritts in die Zwischenräume der Rübenkörper sehr groß ist. Somit können aerobe Verhältnisse entstehen, was dann Schimmelpilze, Hefen und andere Mikroorganismen befähigt, die organische Masse umzusetzen. Die Zwischenräume sind nach der Einlagerung der Rüben mit Luft gefüllt. Dies führt zu einer verlangsamten Aktivität der Milchsäurebakterien. Da diese für eine zügige und vollständige Silierung der Erntegüter verantwortlich sind, wird hierin ein weiterer Grund für die hohen Lagerverluste liegen. Auch besteht bei großen Silostapeln die Gefahr, dass Außenluft eintreten kann. Und spätestens beim Öffnen des Silos wird Luft in den Stapel gelangen, die sich dann über die Zwischenräume verteilt, was zu Verlusten im Lager führt. Die Untersuchungen der organischen Säuren und Alkohole ergaben die höchsten Werte von Essigsäure in den silierten Rüben. Essigsäure kann sowohl während der Silierung über Essigsäurebakterien entstehen als auch beim Abbau von Ethanol unter aeroben Bedingungen. Da in den silierten Rüben die Milchsäure gegenüber den anderen Varianten relativ niedrig ist, nährt dies die Vermutung, dass durch Lufteintritt aerobe Abbauprozesse stattfanden und dies die hohen Lagerverluste mit begründet.

Die Lagerung von Rübenmus in einem Container sollte das Lagern von Rübenbrei in Erdbecken oder Hochsiloplanlagen nachempfinden. Die Erweiterung dieser Untersuchungen mit 1.000-l-Container sollte die Frage beantworten, ob über die Beeinflussung der Oberfläche des Lagers Verluste minimiert werden können.

Wie die Untersuchungen zeigten, findet ein erheblicher Stoffabbau in den oberflächennahen Schichten während der Lagerung von Rübenmus statt, sofern die Lagerstätte nicht luftdicht abgedeckt ist. Die offene Lagerung hat zur Folge, dass in den oberen Schichten ein aerober Abbau stattfindet, wodurch die Lagerverluste entstehen. Eine luftdichte Abdeckung könnte auch in den oberen Schichten die Verluste minimieren. Eine nicht luftdichte Abdeckung erhöht Verluste in den oberflächennahen Bereichen, da sich in diesem Milieu Schimmelpilze stark vermehren können und die organische Masse abbauen. Bleibt die Oberfläche offen, verhindert die auftreffende UV-Strahlung eine Vermehrung der Schimmelpilze (Weißbach, 2013).

Da ein Stoffabbau während der Lagerung in Tiefen über 90 cm in den Lagerungsversuchen von Rübenmus nicht mehr nennenswert auftrat, kann eine Lagerung der Zuckerrüben in Erdbecken oder Hochbehältern empfohlen werden, wenn die Oberfläche der Lagerstätte im Verhältnis zum gesamten Lagervolumen gering gehalten wird.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die getroffenen Angaben hinsichtlich der Lagerverluste in diesen Versuchen eine hohe Aussagekraft erlangen, da eine komplette Massenbilanz erstellt wurde. Untersuchungen, die an anderen Stellen die Lagerverluste quantifizierten haben, haben diese über gemessene Parameter bei großtechnischen Versuchen nur abgeleitet.

## **4. Wie stellt sich der Einsatz von Rüben im Vergleich zu Mais für Biogasanlagen dar?**

### **4.1 Betrachtung aus pflanzenbaulicher Sicht**

Vor allem in den letzten 15 Jahren sind im Gegensatz zu den Maiserträgen die Rüben- und Zuckererträge stark angestiegen und damit auch die Trockenmasseerträge, welche für die Biogasproduktion bedeutsam sind (Abb. 34). Grundsätzlich haben sich auch die Zuckerrübensorten mit dem höchsten Zuckerertrag je Hektar bis zum heutigen Zeitpunkt als die besten Biogassorten erwiesen, da der Trockenmasseertrag mit dem Zuckerertrag in einer sehr engen Beziehung steht (Abb. 35) und der Trockenmasseertrag die entscheidende Größe für den Gasertrag darstellt.

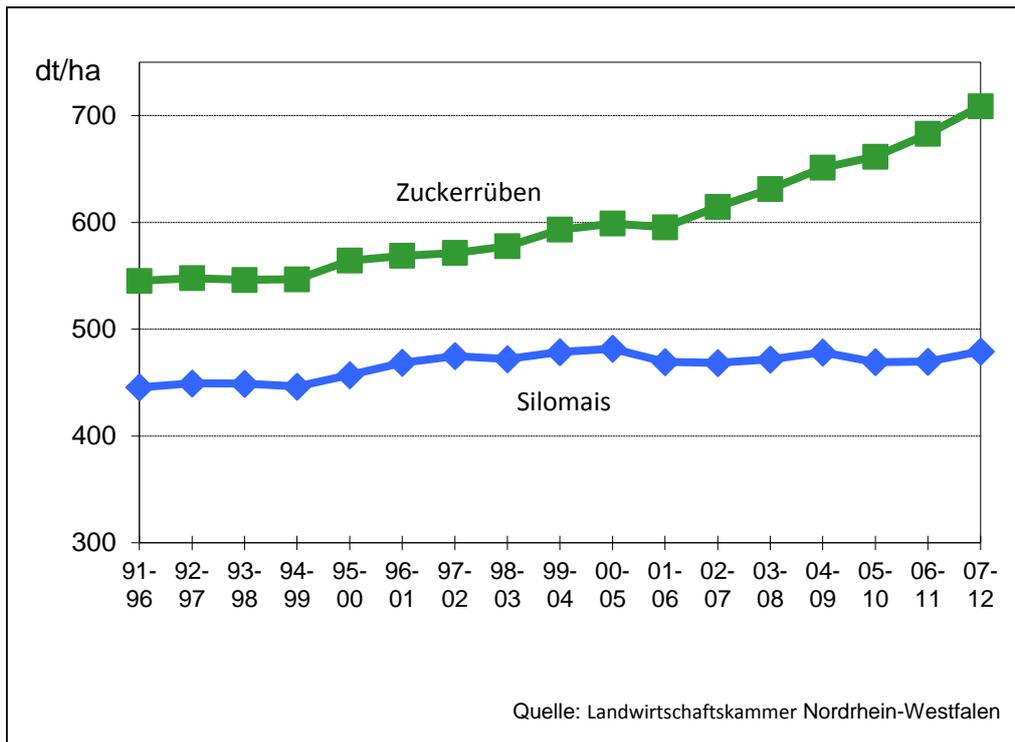


Abb. 34: Entwicklung der Ernteerträge in NRW im gleitenden sechsjährigen Mittel

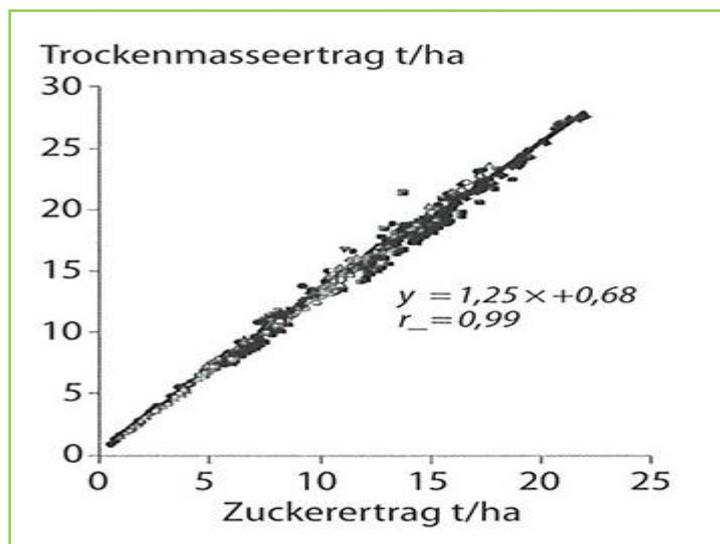


Abb. 35: Beziehung zwischen Trockenmasseertrag der Rübe und Zuckerertrag in acht Versuchsserien, n = 576, 2000 bis 2010  
Hoffmann et al., 2011, Quelle: IfZ

Für die Auswahl der Sorten zum Anbau von Rüben für die Biogasproduktion sind daher weitgehend die gleichen Fragen zu stellen wie beim traditionellen Zuckerrübenanbau. Durch eine kurze Verweilzeit von unter 20 Tagen und den schnellen Abbau des Hauptbestandteiles Zuckers ermöglicht die Rübe eine schnelle Gasverfügbarkeit. Hierdurch werden auch höhere Raumbelastungen ermöglicht. Aus der Praxis wird immer wieder berichtet, dass beim Einsatz

von Rüben in Anlagen, welche mit hohen TS-Gehalten der eingesetzten Rohstoffe betrieben werden, bei einem Mischungsanteil von 20 bis 30 % Rüben diese durch ihren geringeren TS-Gehalt zu einer Verflüssigung des Gärsubstrats beitragen. Neben der besseren Fließfähigkeit des Gärrestes führt die Rübe zu einem Anstieg der Methangehalte um bis zu zwei Prozentpunkte, einem geringeren Eigenenergieaufwand für das Rühren und trotz des niedrigen pH-Wertes zu einer Stabilisierung des Gärprozesses. Auch das anfangs gehegte Schreckgespenst der Sedimentation des Erdanhanges im Fermenter hat auf Standorten ohne Sand seinen Schrecken verloren. Ein Großteil wird mit dem Gärsubstrat ausgetragen. Außerdem stehen technische Lösungen bereit. Mit einem geschätzten Einsatz von mehr als 30.000 ha hat sich die Rübe in Deutschland mittlerweile bei vielen Biogasanlagen etabliert.

Die durchgeführten pflanzenbaulichen Versuche belegen die Aussage, dass der Rübenanbau auf allen Standorten, d.h. sowohl auf traditionellen fruchtbaren Rübenstandorten als auch auf Grenzstandorten, wie Höhenlagen und Sandstandorten, eine Alternative zum Maisanbau darstellen kann. Allerdings ist festzustellen, dass die Rübe auf den Standorten mit geringerer Bodengüte unter ungünstigen Witterungsbedingungen stärker litt als der Mais. Dies galt insbesondere für den Höhenstandort Wülfrath. Die Versuche bestätigten mit dem Standort Buir zugleich, dass fruchtbare Böden nicht umsonst als traditionelle Rübenstandorte gelten. In Buir waren die Rübenerträge annähernd gleichwertig mit den Maiserträgen.

Bezieht man jedoch die für die Biogasanlagen wesentliche Komponente des Gasertrags je Hektar in die Betrachtung mit ein, zeigen die Versuche, dass die Rübe unter diesem Gesichtspunkt durchweg konkurrenzfähig zum Maisanbau ist, da der Gasertrag je Kilogramm oTS bei der Rübe höher ist als bei Mais. Im Hinblick auf den Gasertrag erzielte man auf dem Höhenstandort Wülfrath gleich hohe Erträge wie mit Mais und auf den Sandstandorten am Niederrhein oder im Westmünsterland und auf dem Gunststandort in Kerpen-Buir sogar höhere Gaserträge. Das Besondere an den durchgeführten Versuchen ist zweifelsohne die real gegebene Vergleichbarkeit zwischen den erzielten Mais- und Rüben- bzw. den daraus resultierenden Gaserträgen, da Mais- und Rübenanbau auf der gleichen Parzelle stattfanden, deren Homogenität im Vorfeld geprüft wurde. Die häufig praktizierten Ertragsvergleiche zwischen Rüben- und Maisanbau auf unterschiedlichen Parzellen können immer nur eine Annäherung darstellen.

#### **4.2 Betrachtung aus ökonomischer Sicht**

Silomais wird in vielen Biogasanlagen in landwirtschaftlichen Betrieben neben der Gülle als Hauptsubstrat eingesetzt. Wie die zwei Versuchsjahre gezeigt haben, kann die Rübe aufgrund des auf der Fläche gewachsenen Biogas-/Methanertragspotenzials eine Alternative zum Mais sein. Für die Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit ist aber nicht nur der Ertrag je Fläche entscheidend, sondern vor allem die Beschaffungskosten für das Substrat frei Biogasanlage in ct./kWh elektrisch, der für den Substrateinsatz unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten entscheidenden Größe.

Ausgangspunkt für die Berechnung sind zunächst einmal stets die variablen Anbaukosten der Feldfrüchte. Diese wurden aus den bekannten Aufwendungen unter Zuhilfenahme der regelmäßig stattfindenden Auswertungen in den Arbeitsgemeinschaften der Landwirtschaftskammer NRW und beim Rheinischen Rübenbauer-Verband mit aktuellen Kosten in Ansatz gebracht. Die Kosten für Dünger wurden nach Entzug bewertet und mit den jeweiligen Mineraldüngerpreisen angesetzt. Die Rüben sind zwar, gerade bei der Verwertung in einer Biogasanlage, für den Einsatz von organischem Dünger geeignet, dennoch ist wegen der sehr unterschiedlichen Kosten für organische Dünger hierauf verzichtet worden. Zunächst sind in der Tabelle 16 die variablen Anbaukosten ohne Ernte aufgeführt.

Tabelle 16: Variable Anbaukosten in €/ha ohne Ernte

Frucht		Silomais	Rüben
Saat- und Pflanzgut	€/ha	190	240
Dünger nach Entzug	€/ha	480	360
Pflanzenschutzmittel	€/ha	85	300
Kosten Lohnunternehmer ohne Ernte	€/ha	80	80
variable eigene Maschinenkosten (Diesel, Reparaturen, Trocknung etc.)	€/ha	130	150
<b>Summe variable Anbaukosten</b>	<b>€/ha</b>	<b>965</b>	<b>1.130</b>

Es wird deutlich, dass die variablen Anbaukosten stehend im Feld bei den Rüben gegenüber Mais rund 8 € je t TM teurer sind. Zu diesen Kosten müssen noch die festen Maschinenkosten, die sonstigen Festkosten, die Pacht und der Lohnansatz hinzugerechnet werden, um die Produktionskosten zu ermitteln. Auch der Vorfruchtwert innerhalb der Fruchtfolge ist zu berücksichtigen. Da aber die Rübe möglichst spät geerntet werden sollte, ist dieser nur bedingt vorhanden, zum Beispiel wenn Mais als Nachfolgekultur angebaut wird.

Für die Biogasanlage sind die Beschaffungskosten des nachwachsenden Rohstoffes frei Biogasanlage entscheidend. In der nachfolgenden Tabelle 17 sind die aus den Versuchen in dem Projekt gewonnen Ergebnisse in die Berechnungen eingeflossen. Als Gasertrag beim Mais wurden die KTBL-Werte mit 650 l/kg oTS mit 52 % Methangehalt, 33 % TS-Gehalt und 95 % oTS gerechnet. Des Weiteren wurde ein Silierverslust von 12 % angesetzt. Dieser Wert wird in vielen Berechnungen unterstellt und kann auch großen Schwankungen unterliegen. Bei den frischen Rüben wurde mit 761 l/kg TS mit 50 % Methangehalt, 23 % TS-Gehalt und 92 % oTS kalkuliert, abgeleitet aus den Berechnungen bei den Lagerungsversuchen auf Haus Düsse. Da in den Versuchen die Probenahme unmittelbar vor der Einlagerung erfolgte, sind für den Einsatz der frisch geernteten Rüben nach kurzer Feldrandlagerung keine Verluste in der

Berechnung angesetzt worden. Beim Zukauf und der Bezahlung nach Ertrag wird in der Praxis das Gewicht an der Eingangswaage der Biogasanlage bezahlt und somit sind die Verluste für die Feldlagerung nicht anzusetzen. Beim Eigenanbau sind diese allerdings zu bewerten.

Bei den beiden Lagervarianten ist die Frage der Silierverluste, verbunden mit der Veränderung der Gaserträge durch die Umwandlung des Zuckers beim Silierprozess, die wohl meist diskutierte Frage. In den durchgeführten Versuchen kam in der Biogasanlage bei der Einlagerung der unterstellten 73 t/ha Rüben ein Biogasertrag von 12.790 m<sup>3</sup>/ha an. Bei der Auslagerung ganzer silierten Rüben in den Fermenter waren es nur noch 7.736 m<sup>3</sup>/ha und 8.464 m<sup>3</sup>/ha bei gemusteten Rüben aus dem Großcontainer. In diesem Zusammenhang sei nochmals darauf hingewiesen, dass für die Höhe der Verluste bei gemusteten Rüben das Verhältnis von Oberfläche zu Gesamtlagervolumen eine große Rolle spielt, wie die Untersuchungen belegten. In der Berechnung wurden die Werte aus dem Containerversuch unterstellt. Die Versuchsergebnisse der Lagerungsversuche ergeben für die ganz silierten Rüben einen Biogasertrag von umgerechnet 420 l/kg TS mit 55,4 % Methangehalt und bei den gemusteten Rüben von 500 l/kg TS mit 58,8 % Methangehalt inklusive Sickersaft, der unbedingt aufgrund seines hohen Energiegehaltes im Fermenter verwertet werden muss.

Für Ernte, Laden und Reinigen im Feld sowie für den Transport zur Biogasanlage sind Lohnunternehmerkosten unterstellt. Hierbei ist es wichtig, dass alle Teile der Arbeitskette aufeinander abgestimmt sind, damit keine Ausfallzeiten entstehen. Ansonsten dürfte niemand bereit sein, insbesondere den Transport der Rüben für die angenommenen Kosten durchzuführen. Beim klassischen Rübentransport sind hier durchaus Anlieferungsmengen von bis zu 150 t/h und mehr machbar.

Für den Bereich der Annahme an der Biogasanlage, der Lagerung und der Entnahme mit Einbringung in den Fermenter sind die Kosten aus dem Projektbericht „Biogasrübe in der Ems-Dollart-Region“ aus dem Jahre 2012 in Ansatz gebracht worden. Die Berechnung wurde von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen auf der Grundlage der im Groen Gas-Projekt erhobenen Daten erstellt. Auch dort wird darauf hingewiesen, dass die Verfahrensketten in abgestimmter Dimensionierung durchgeführt werden sollten, um die Kosten nicht unnötig in die Höhe zu treiben. Die Datengrundlagen stammen aus drei Betrieben, die sich in das Projekt einbrachten.

Tabelle 17: Beschaffungskosten (in €/kWh el.) bei Kauf ab Feld und Bezahlung nach Ertrag

		Silomais	Zuckerrübe frisch	Zuckerrübe ganz siliert	Zuckerrübe Lagune
Zukaufpreis netto	€/t	26,50 €	27,00 €	27,00 €	27,00 €
Frischmasseertrag	t/ha	55	73	73	73
Zukaufpreis (netto €/ha)	€/ha	1.458	1.971	1.971	1.971
Trockenmassegehalt	% TS	33	23	23	23
Trockenmasseertrag	t/ha	18,2	16,8	16,8	16,8
Ernte (Lohnunternehmer)	€/ha	260	240	240	240
Laden und Reinigen am Feldrand	€/ha		108	108	108
Transport zur Biogasanlage (10 km)	€/ha	138	183	183	183
Annahme/Aufbereitung/Beschickung in Lager/Siloplatte	€/ha	39		114	207
Lager und Lagerung	€/ha	117		198	154
Entnahme /Aufbereitung/Einbringung in den Fermenter	€/ha	181	249	249	82
Siliverlust	%	12			
Kosten frei Biogasanlage/ha	€/ha	2.192	2.750	3.062	2.943
Kosten frei Biogasanlage Frischmasse	€/t	39,90	37,67	41,95	40,32
Organische Trockenmasse oTS	%	95	92	92	92
Biogasertrag	m <sup>3</sup> /ha	11.208	12.790	12.790	12.790
Biogasertrag bei Auslagerung	m <sup>3</sup> /ha			6.906	7.723
Methangehalt	%	52	50	55	59
Wirkungsgrad BHKW	%	40	40	40	40
Stromertrag kWh el.	kWh el.	20.514	25.581	15.306	18.181
Beschaffungskosten NaWaRo frei BGA	ct/kWh el.	10,7	10,8	20,0	16,2

### 4.3 Diskussion

Das Ergebnis der Berechnung zeigt, dass die Verwertung von „frischen Rüben“ bei Kosten in Höhe von 10,8 ct/kWh el. mit Maissilage ohne die sonstigen Vorteile mithalten kann. Auch die Zwischenlagerung der Rüben im Feld bis Ende Februar/Anfang März stellt bei einem unterstellten Zukaufspreis von 27,00 €/t (ohne Erntekosten) eine interessante Alternative dar. Hierbei ist es jedoch unabdingbar, dass die Rüben, falls sie trotz Vlieseinsatz gefrieren sollten, nach dem Auftauen sofort verarbeitet werden müssen.

Wichtig für die Variante einer Feldrandlagerung sind folgende Punkte:

- Beschädigungsarme und rohstoffschonende Ernte,
- Temperaturen sollten unter 10 °C liegen,
- Abdeckung erst drei bis fünf Tage nach dem Roden.

Langjährige Mietenversuche zeigen, dass unter den genannten Bedingungen lediglich mit einem Zuckerverlust von 0,1 % je Tag zu rechnen ist, was bei einer Lagerdauer von 60 Tagen einem Verlust von 5 bis 6 % gleichzusetzen wäre, bei fast gleichem Methanbildungspotenzial (Weißbach, Landtechnik 4/2011, S. 254-258).

Mit 20,0 ct/kWh el. bei der auf der Siloplatte ganz silierten Rüben und 16,2 ct/kWh el. bei Lagerung in der Lagune (Großcontainer) ist die Wirtschaftlichkeit der Rübe im Vergleich zu Mais allerdings nur schwer darstellbar. Die oft angeführten Vorteile der Rübe gegenüber Mais, wie höhere Methanausbeute, kürzere Verweildauer im Fermenter, schnellere Gaserzeugung bei Bedarf (Direktvermarktung), bessere Rührbarkeit im Fermenter oder der geringere Eigenstrombedarf sind in die Berechnung nicht eingeflossen.

## 5. Fazit

Die Ergebnisse der Feld- und Lagerungsversuche zeigen, dass die Rübe für viele Betriebe eine Alternative zum Mais als Biogassubstratkultur darstellen kann. Bei den zu erzielenden Gaserträgen auf dem Feld kann die Rübe auf den meisten Standorten mit dem Mais zumindest mithalten, im Hinblick auf die Kosten je kWh elektrischer Energie besitzt der Mais jedoch insbesondere bei Ganzjahreseinsatz nach wie vor Vorteile. Dennoch sollte es für viele Biogasanlagenbetreiber interessant sein, sich mit der Rübe als Substratkultur zu beschäftigen, sei es als Substratergänzung zum eingesetzten Mais oder als anteilige Substitution.

Dies gilt beispielsweise für:

- Betriebe in klassischen Rübenbauregionen mit bereits vorhandenem Rübenanbau.
- Betriebe, welche aufgrund von Flächenbeschaffenheit und Zuwegung die Vegetationsperiode und damit die Wachstumsphase der Rüben optimal ausnutzen können.
- Betriebe, welche (zu) hohe Maisanteile in der Fruchtfolge haben.
- Betriebe mit unsicheren Maiserträgen.
- Betriebe in Wasserschutzgebieten, da die Rübe, sofern sie nicht vorzeitig geerntet wird, bis zum Vegetationsende biologisch aktiv ist, die Fläche begrünt und Bodenstickstoff aufnimmt, der somit vor Auswaschung geschützt wird.

Ertragsreserven bestehen für den Rübenanbau durch einen Verzicht auf das Köpfen und durch eine Maximierung der Standzeiten der Rüben. Nicht nur der Rübenkopf selbst, sondern auch die anhängenden Blattstrünke können sehr gut in Biogasanlagen verwertet werden. Bereits hierüber sind Mehrerträge von 5 bis 8 % möglich.

Eine mindestens ebenso große Bedeutung für einen möglichst hohen Rübenanbau hat die möglichst späte Ernte. Langjährige Proberodungsergebnisse zeigen im Mittel seit 2001 zwischen Mitte Juli und Ende Oktober einen durchschnittlichen Ertragszuwachs von 0,32 t/ha und Tag beim Rübenanbau, verbunden mit einer Zunahme des Zuckergehalts bedeutet das eine Steigerung des Zuckerertrages von 0,08 t/ha und Tag (Lingnau, RRV 2013). Bei gesunden Rübenbeständen bedeutet dies in 30 Tagen einen Zuwachs von 2,4 t/ha an Zuckerertrag oder nach der Formel von Hoffmann umgerechnet einen Mehrertrag an Trockenmasse von 3,68 t/ha. Vor diesem Hintergrund ist es sicherlich wichtig, das Ertragspotenzial der Rübe voll auszuschöpfen und die Ernte erst nach Abschluss des Rübenwachstums zu vollziehen.

Neben den höheren Anbaukosten stellen das Entsteinen und die Zerkleinerung der Rüben eine große Aufwandsposition dar. Hier sind weiterhin kostengünstigere Lösungen gefragt.

Wie die Lagerungsversuche in Haus Düsse zeigten, ist es durchaus möglich, die Gasverluste beispielsweise durch Lagerung von gemusterten Rüben in tiefen Lagunen oder Hochsilos in Grenzen zu halten. Die geringsten Verluste hat man jedoch bei der Verwertung von frischen Rüben. Unter den Gesichtspunkten Lagerung, Lagerverluste und Kostenstruktur besitzt der Mais als Biogassubstrat, wie oben erläutert, derzeit in den meisten Fällen noch Vorteile gegenüber der Rübe.

## 6. Offene Fragen

Im Hinblick auf den künftigen Einsatz von Rüben in Biogasanlagen sind noch einige Fragen aufzuarbeiten. Durch die Steigerung der Rübenerträge, vor allem in den letzten Jahren, ist der Einsatz der Rübe als Substrat sicherlich interessanter geworden. Die Anbaumöglichkeiten auf Grenzstandorten sollte durch eine Fortsetzung der Versuche untermauert werden. Die aus Versuchen und der Praxis bekannten Synergieeffekte beim zusätzlichen Einsatz der Rüben in einer Substratmischung, wie verbesserte Gasausbeute und Rührbarkeit des Substrates, sind in die Betrachtung und Berechnung nicht eingeflossen und müssen weiter untersucht werden. Die Frage, ob eine Vergrößerung des Gärsubstratlagers durch den Einsatz von Zuckerrüben zwangsläufig erforderlich ist, ist ebenfalls noch zu klären. Schließlich erscheint es mehr als lohnend, weiter an der Verringerung von Lager- und Silierverlusten zu arbeiten.

Bonn, den 30. April 2014

Rheinischer Rübenaer-Verband e.V.

## Impressum

### **Herausgeber:**

Rheinischer Rübenbauer-Verband e.V. (RRV)

Malteserstraße 3

D-53115 Bonn

Tel: 0228-652534

Fax: 0228-652514

E-Mail: [mail@rrvbonn.de](mailto:mail@rrvbonn.de)

Homepage: [www.rrvbonn.de](http://www.rrvbonn.de)

Sitz: Bonn, Amtsgericht (VR 2002)

Steuer-Nr.: 205/5782/1186

Vorsitzender: Bernhard Conzen

Geschäftsführer: Dr. Peter Kasten

### **Verantwortlich für den Inhalt:**

Hans-Theo Beeck (RRV)

Dr. Peter Kasten (RRV)

Dr. Waldemar Gruber (Landwirtschaftskammer NRW)

Dr. Arne Dahlhoff (Landwirtschaftskammer NRW)

Die Quellen der Literaturangaben werden auf Wunsch gerne zur Verfügung gestellt.

### **Projektförderung:**

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Bonn, April 2014