

Die Korrektur des TS-Gehaltes von Silagen als Substrat für die Biogasgewinnung

Prof. Dr. F. Weißbach
Rostock

120. VDLUFA-Kongress
16.-19. 09. 2008, Jena

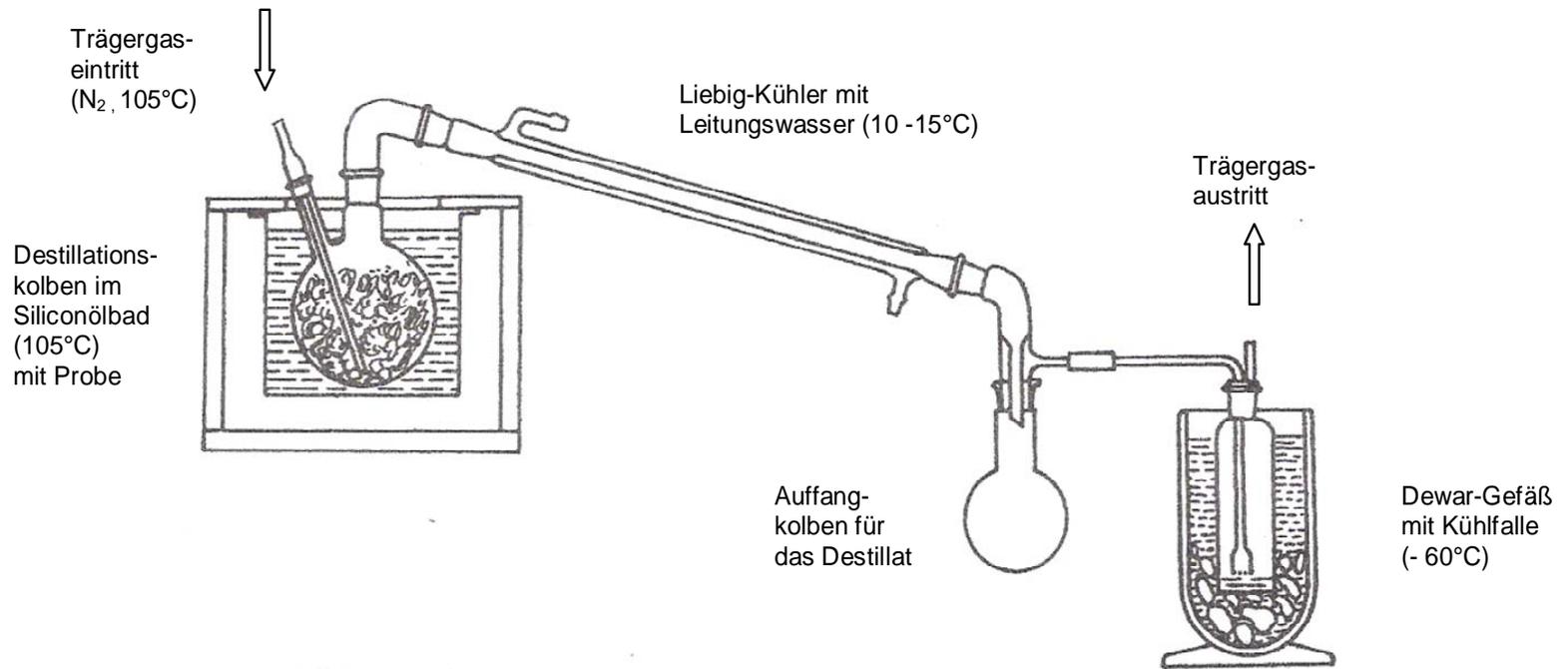
Die VDI-Richtlinie 4630 „Vergärung organischer Stoffe“

enthält den Hinweis, dass „**bei Substraten mit hohem Anteil an leicht flüchtigen Substanzen**“ der auf übliche Weise bestimmte Gehalt an oTS ohne entsprechende Korrektur „...**eine verfälschte Bezugsgröße hinsichtlich des ermittelten Biogaspotenzials darstellt und sich dann ein erhöhter Wert ergibt.**“

Prinzipiell notwendige Informationen

- Welche Stoffe gehen beim Trocknen verloren?
- Wie viel vom jeweiligen Stoff verdampft und wovon hängt die Flüchtigkeitsquote ab?
- Kann man aus der Gehaltsdifferenz zwischen Silage und Trocknungsrückstand auf die Flüchtigkeitsquote schließen?

Apparatur zur trockenen Destillation von Silageproben



Die 3 Möglichkeiten für eine Korrektur des TS-Gehaltes

- Analyse von Silage und Trocknungsrückstand auf flüchtige Stoffe
- Analyse nur der Silage auf flüchtige Stoffe
- Ohne jede Analyse auf flüchtige Stoffe, nur anhand des Niveaus der unkorrigierten TS

Aktuelle Studie zu Silagen

- Mit welchen Gehalten an flüchtigen Stoffen ist in der Praxis zu rechnen?
- Sind die Flüchtigkeitsquoten der einzelnen Stoffe konstant?
- Was ist mit Vorkommen und Flüchtigkeit von zweiwertigen Alkoholen?

Konzentration an potenziell flüchtigen Gärprodukten in Silagen

	Konzentration in g/kg FM		
	Maissilage (n = 142)	Grassilage (n = 182)	Zuckerrübensilage (n = 44)
Säuren			
Essigsäure	10,0 (2,6 ... 19,2)	8,3 (2,5 ... 20,7)	7,7 (1,7 ... 17,9)
Propionsäure	0,3 (0,1 ... 1,7)	0,5 (0,1 ... 6,9)	0 (0 ... 0,1)
Isobuttersäure	0 (0 ... 0,2)	0,2 (0 ... 1,4)	0,5 (0 ... 0,6)
Buttersäure	0,1 (0 ... 1,2)	2,1 (0 ... 17,0)	0 (0)
Isovaleriansäure	0,1 (0 ... 0,2)	0,4 (0 ... 3,3)	0,1 (0 ... 0,1)
Valeriansäure	0,1 (0 ... 0,1)	0,1 (0 ... 1,5)	0 (0)
Capronsäure	0 (0 ... 0,1)	0,2 (0 ... 3,0)	0 (0)
Milchsäure	15,2 (3,8 ... 26,0)	14,6 (1,1 ... 34,0)	12,0 (5,9 ... 28,5)

Konzentration an potenziell flüchtigen Gärprodukten in Silagen

	Konzentration in g/kg FM		
	Maissilage (n = 142)	Grassilage (n = 182)	Zuckerrübensilage (n = 44)
Alkohole			
Methanol			1,3 (0 ... 2,8)
Ethanol	5,8 (0,1 ... 13,2)	2,5 (0,2 ... 23,6)	37,2 (3,8 ... 77,3)
Propanol	0,3 (0 ... 3,2)	0,2 (0 ... 4,7)	0,1 (0 ... 0,2)
Butanol	0 (0 ... 0,1)	0 (0 ... 0,2)	0 (0)
1,2-Propandiol	0,7 (0 ... 6,8)	0,6 (0 ... 8,1)	0,2 (0 ... 0,5)
2,3-Butandiol	0,1 (0 ... 0,5)	0,3 (0 ... 2,6)	0,5 (0 ... 0,6)

Mittlere Flüchtigkeitsquoten der Gärprodukte beim Trocknen von Silagen

Summe der niederen Fettsäuren

Maissilagen (pH ≤ 4) Mittelwert: FQ = 95 %

Grassilagen (pH 4...6) Mittelwert : FQ = 77 %

Regression: FQ [%] = 105 – 0,59 pH

Milchsäure

Mittelwert: FQ = 8 %

1,2-Propandiol

Mittelwert: FQ = 77 %

2,3-Butandiol

Mittelwert: FQ = 87 %

Summe der anderen Alkohole

Mittelwert: FQ = 100%

Schlussfolgerungen aus der aktuellen Studie

- Enorme Schwankungen des Gehalts an flüchtigen Stoffen in den Silagen



deshalb: exakte TS-Korrektur ohne
Analyse der Silage nicht möglich

- Flüchtigkeitsquoten innerhalb einer Silageart weitgehend konstant



deshalb: mittlere Flüchtigkeitsquoten auf
alle Silagen der gleichen Art übertragbar

Exakte Korrekturgleichungen

für Maissilagen:

$$TS_k \text{ [g/kg]} = TS_n + 0,95 \text{ FS} + 0,08 \text{ MS} + 0,77 \text{ PD} + 1,00 \text{ AA}$$

für Grassilagen:

$$TS_k \text{ [g/kg]} = TS_n + (1,05 - 0,059 \text{ pH}) \text{ FS} + 0,08 \text{ MS} + 0,77 \text{ PD} + 0,87 \text{ BD} \\ + 1,00 \text{ AA}$$

für Zuckerrübensilagen:

$$TS_k \text{ [g/kg]} = TS_n + 0,95 \text{ FS} + 0,08 \text{ MS} + 1,00 \text{ AA}$$

TS_k = korrigierter TS-Gehalt

TS_n = nicht korrigierter TS-Gehalt

FS = Summe der Gehalte an niederen Fettsäuren ($C_2 \dots C_6$)

MS = Gehalt an Milchsäure

PD = Gehalt an 1,2-Propandiol

BD = Gehalt an 2,3-Butandiol

AA = Summe der Gehalte an Alkoholen ($C_1 \dots C_4$), soweit sie nicht als Einzelverbindungen gesondert berücksichtigt werden

Alle Gehaltswerte sind als g/kg FM in die Gleichungen einzusetzen.

Vereinfachte Korrekturgleichungen

Für Maissilagen:

$$\mathbf{TS_k [g/kg] = 24,5 + 0,980 TS_n}$$

Für Grassilagen:

$$\mathbf{TS_k [g/kg] = 26,2 + 0,970 TS_n}$$

Für Zuckerrübensilagen ist eine vereinfachte Korrekturgleichung nicht möglich.

Korrektur der auf TS bezogenen Inhaltsstoffe

- Alle in der getrockneten Probe bestimmten und auf TS_n (3 h, 105°C) bezogenen Gehaltswerte (XA , XP , XL , XF , ADF , NDF usw.) sind mit dem Quotienten aus

$$TS_n / TS_k$$

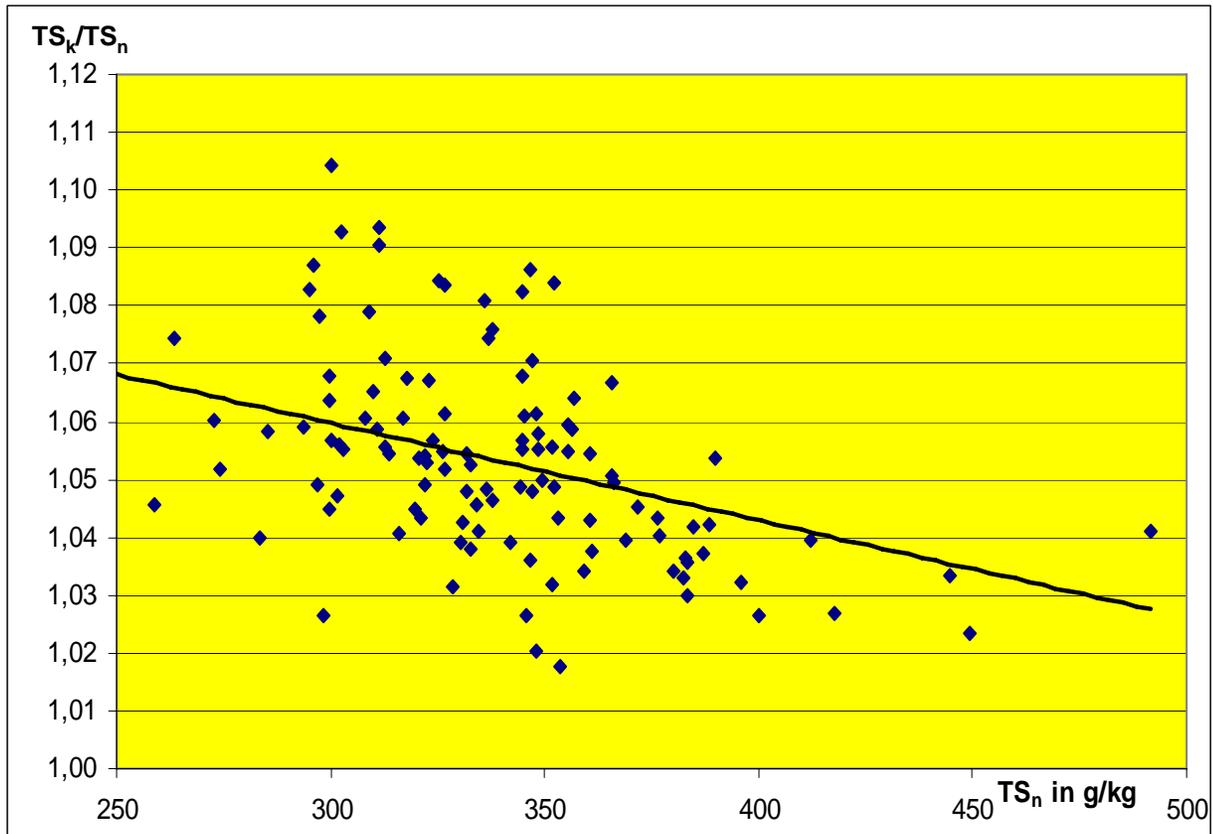
zu multiplizieren.

$$\text{Beispiel: } XA_k [\%] = XA_n \times TS_n / TS$$

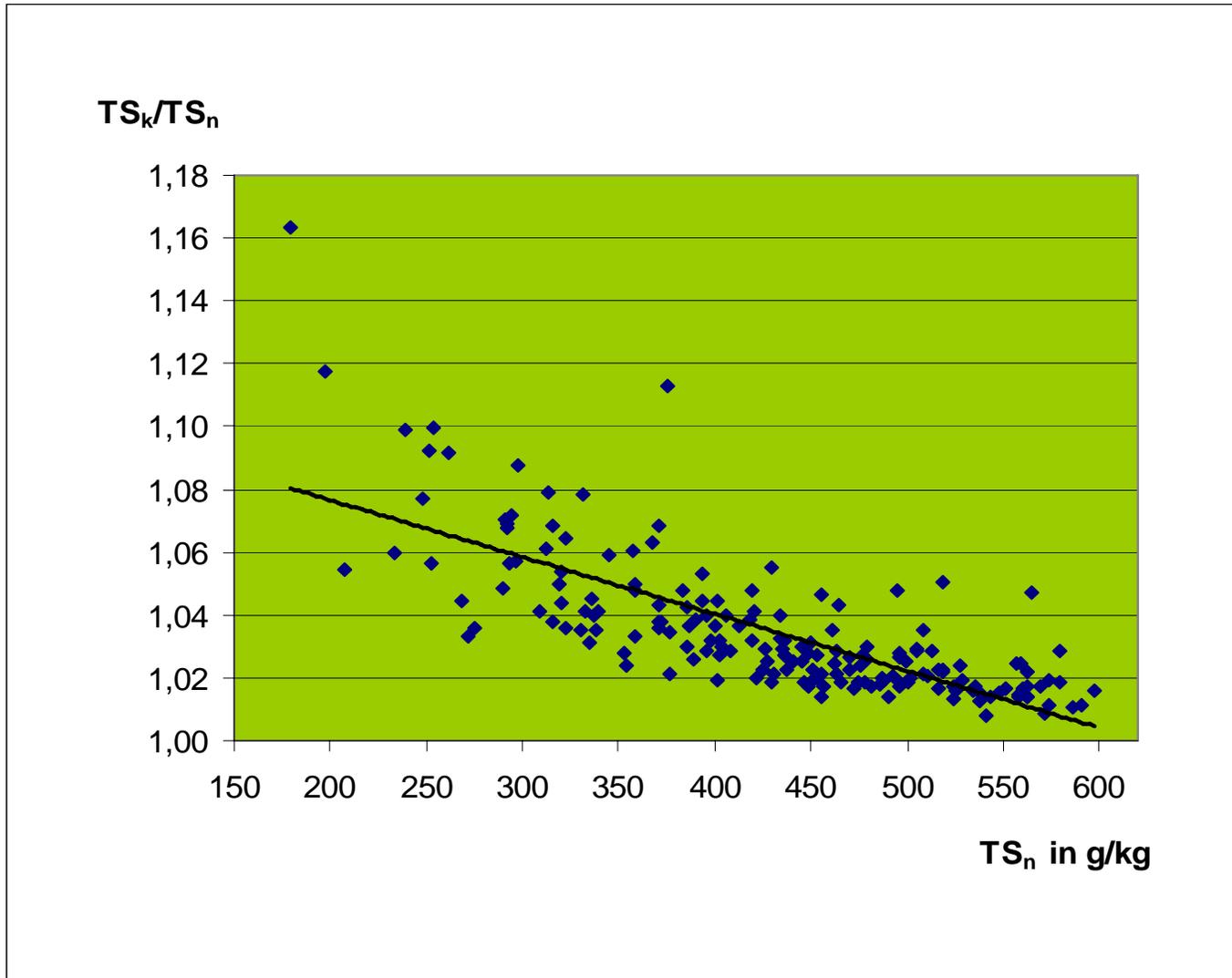
- Alle Differenzfraktionen (oTS bzw. OS, NFE usw.) sind mit den auf TS_k bezogenen Gehaltswerten neu zu berechnen.

$$\text{Beispiel: } \text{oTS} [\%] = 100 - XA_k$$

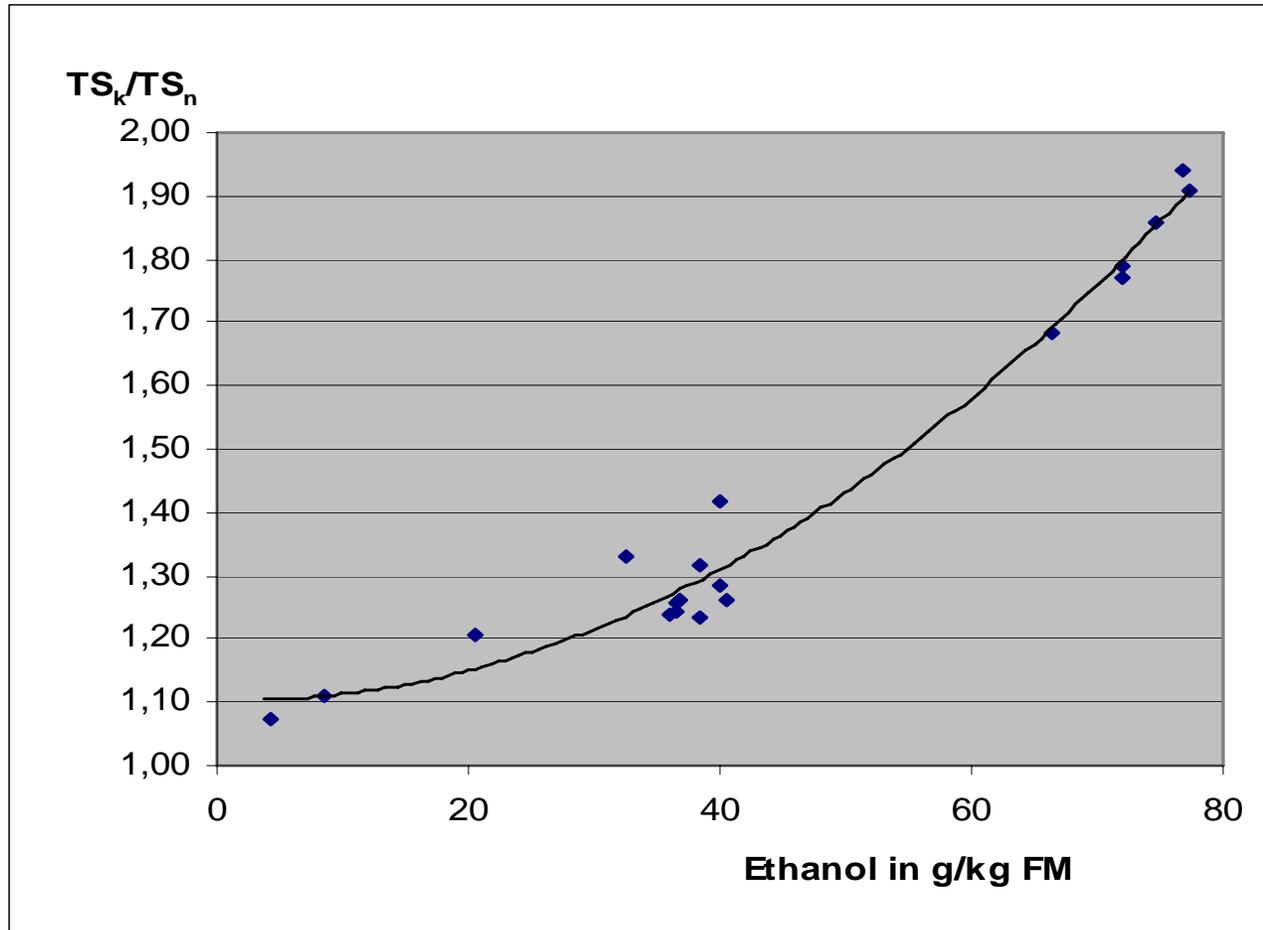
Warum vereinfachte Korrekturverfahren für die Auswertung von Fermentationsversuchen mit Maissilagen untauglich sind



Warum vereinfachte Korrekturverfahren für die Auswertung von Fermentationsversuchen mit Grassilagen untauglich sind



Warum vereinfachte Korrekturverfahren bei Zuckerrübensilagen generell nicht möglich sind

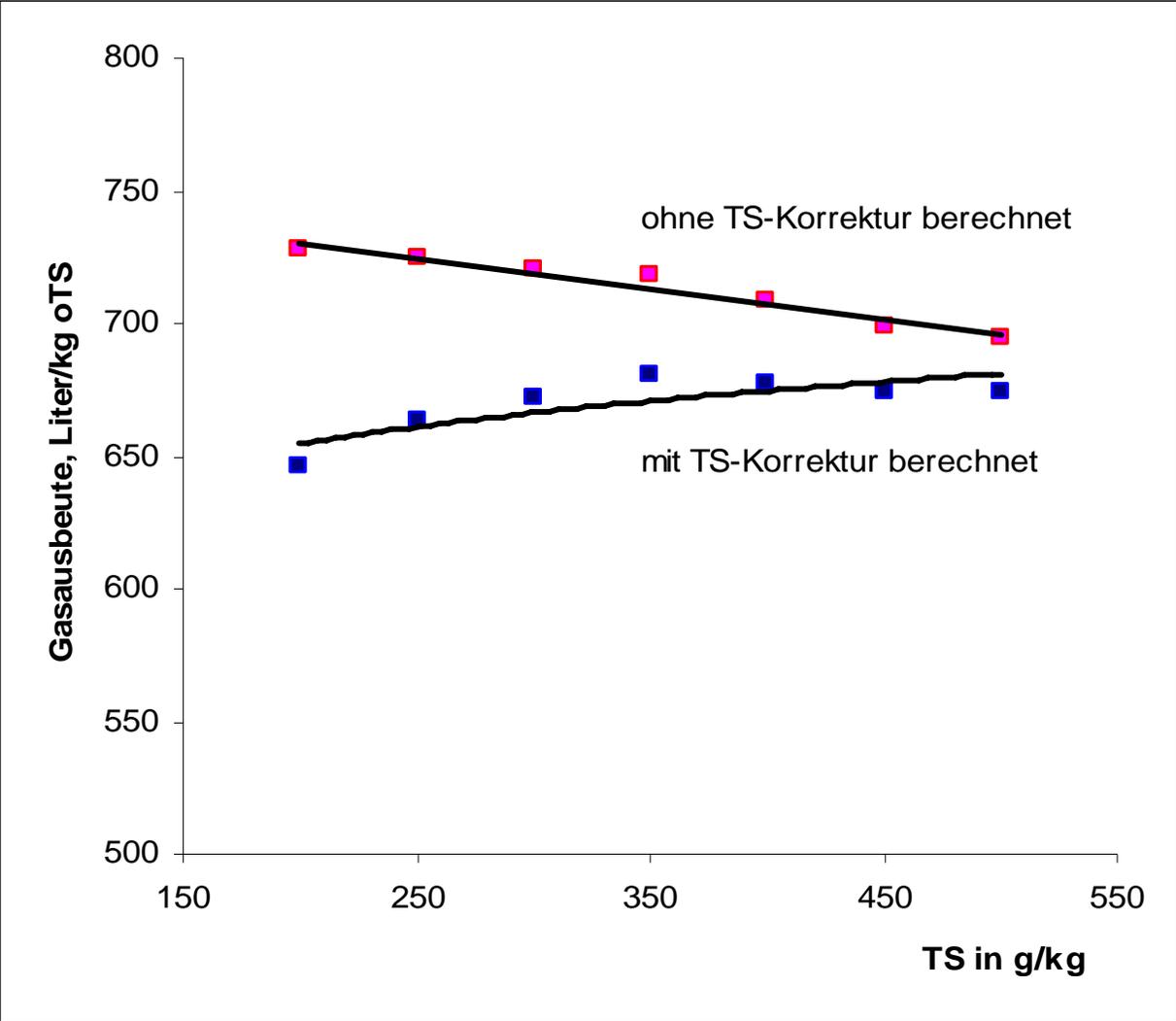


Auswirkungen der TS-Korrektur der Silage auf das Ergebnis von Fermentationsversuchen an einem Beispiel (Mukengele und Oechsner, 2007)

- spätreifer Silomais und die daraus hergestellte Maissilage -

	Spezifische Methanausbeute	
	Norm-Liter je kg oTS	relativ, %
Silomais, frisches Erntegut	351	100,0
Maissilage, TS nicht korrigiert	389	113,4
Maissilage, TS korrigiert	360	102,6

Auswirkungen der TS-Korrektur auf die Erwartungswerte für die Biogasausbeute in Abhängigkeit von der Reife des Mais



Fazit

- Die Auswertung von Fermentationsversuchen erfordert die exakte TS-Korrektur anhand einer vollständigen Gärproduktanalyse der Silage.
- Bei exakter TS-Korrektur ist keine Zunahme der spezifischen Biogasausbeute vom Grünfutter zur Silage zu erwarten.
- Bei exakter TS-Korrektur ist auch keine direkte Verbesserung der spezifischen Biogasausbeute durch Siliermittel zu erwarten.
- Empfehlungen für die Praxis sollten nur aus Untersuchungen abgeleitet werden, bei denen die TS von Silagen exakt korrigiert wurde.