

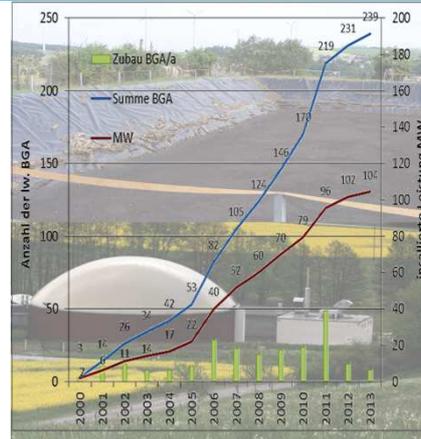
# Bewertung der Einsatzstoffe für die Biogaserzeugung

## 53. Biogas - Fachtagung Thüringen Biogassubstrate und Gärreste

26. November 2019, Waltershausen

**G. Reinhold**

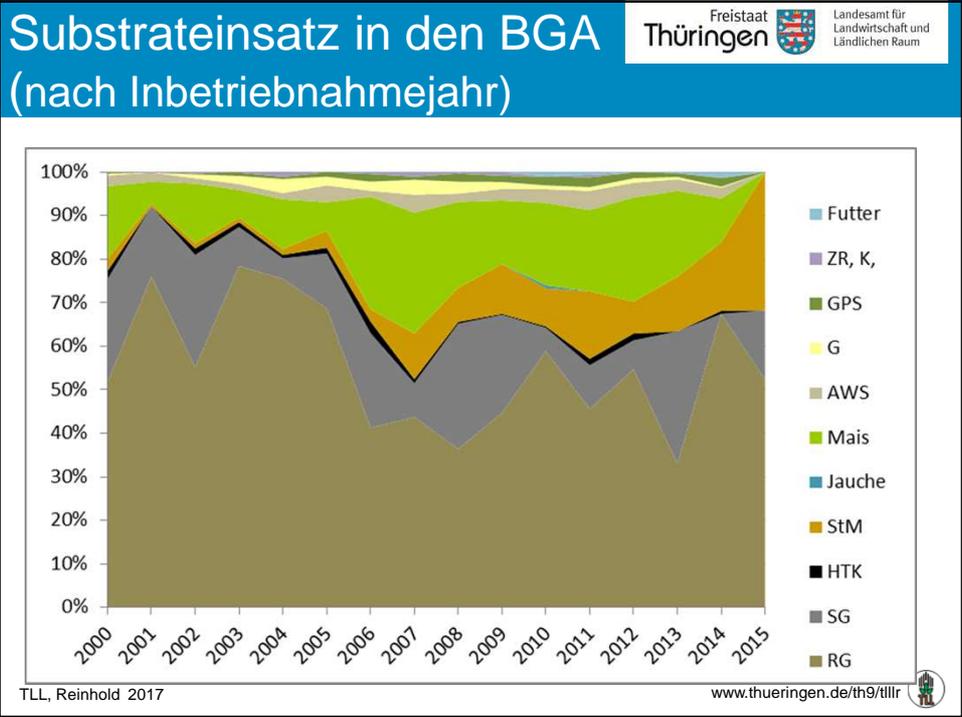
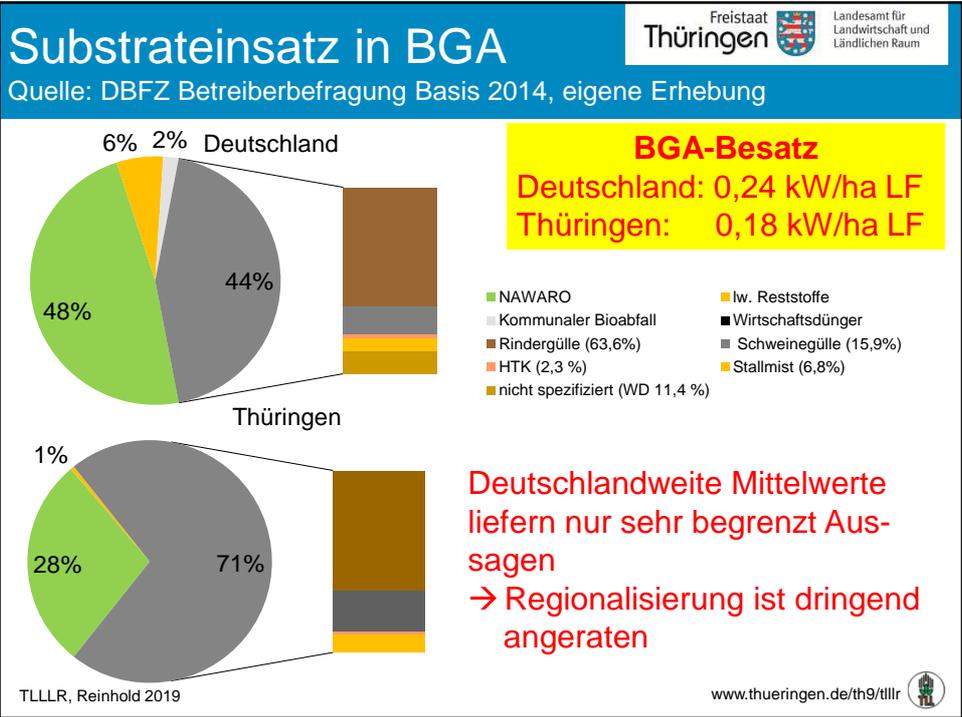
Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum  
Naumburger Str. 98, 07743 Jena  
gerd.reinhold@tllr.thueringen.de

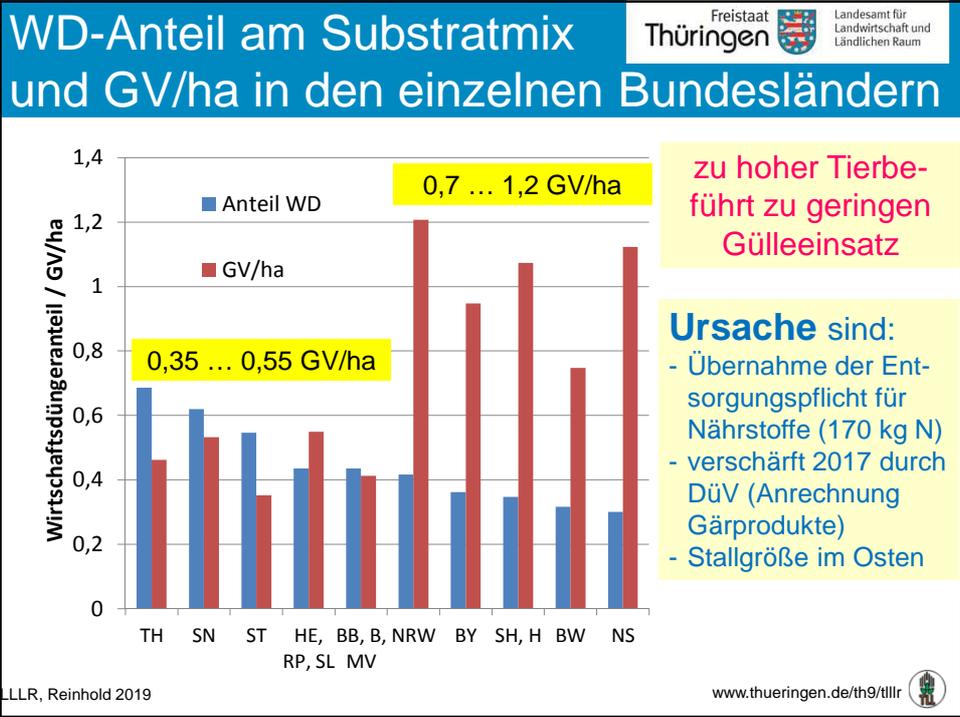
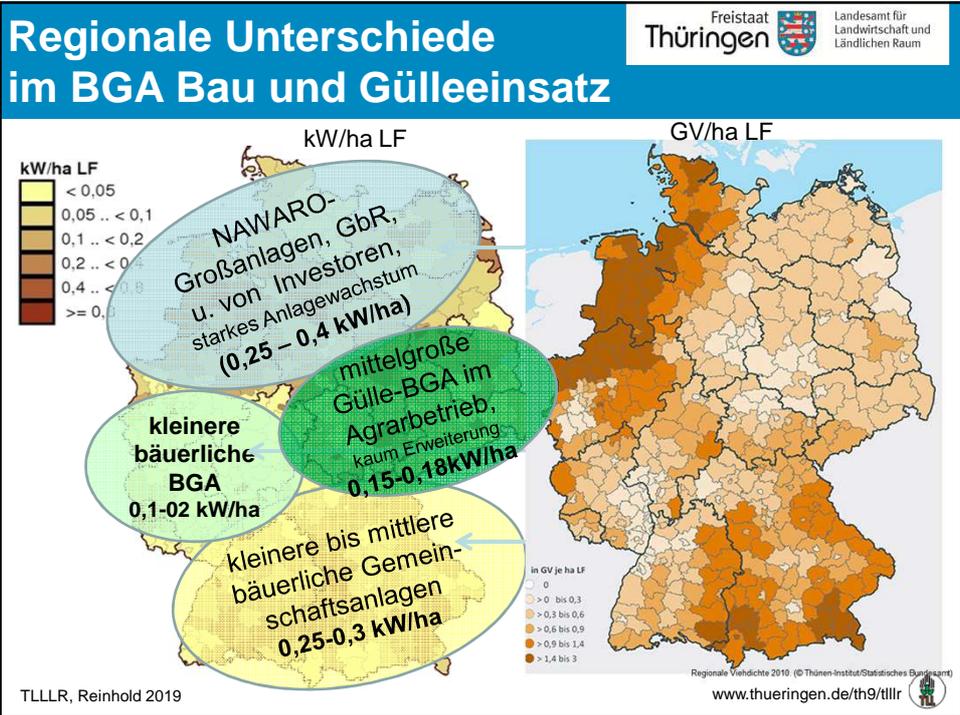


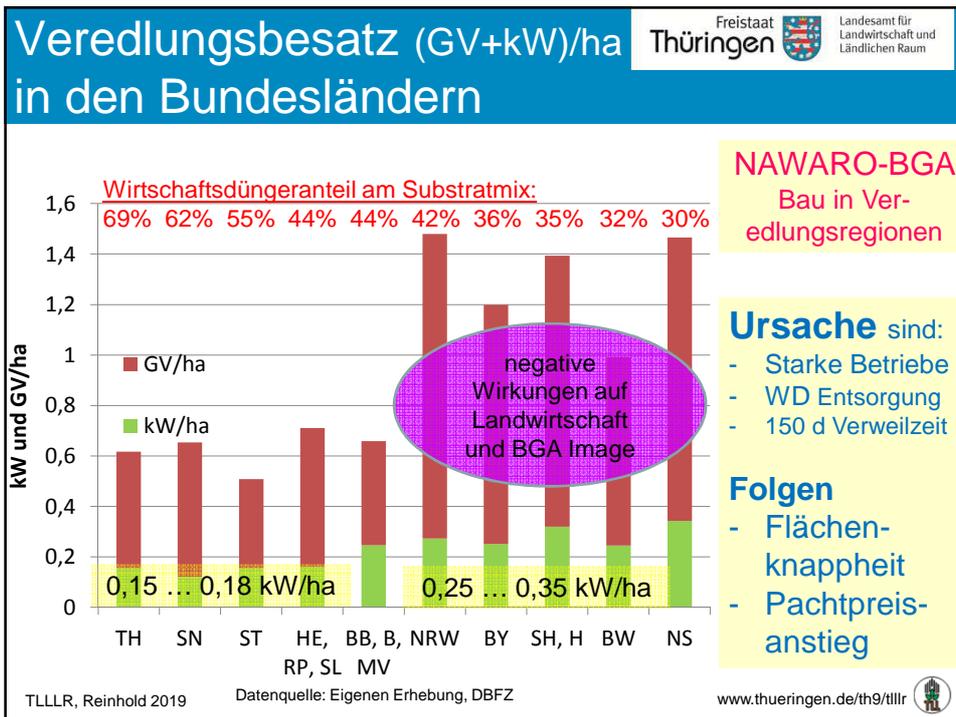
## Agenda

- Substrateinsatz in Thüringer BGA
- Eigenschaften, Gasertrag und Inhaltsstoffe der Substrate
- Verfahrenstechnische Eignung
- Getreide-, Maisstroh und Stallmist als Alternative
- Zusammenfassung / Schlussfolgerungen









- ## Folgen der Fehlentwicklungen
- Freistaat Thüringen

Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum


- positiv belegte BGA werden zu „Methanfabriken“
  - positive Leistungen wie
    - Geruchsabbau und Hygienisierung
    - Steigerung Düngereffizienz (Düngewirkung, Nährstoffkreislauf, ...)
 werden nicht anerkannt
  - Wirtschaftsdünger Gärrest wird zu „Grundwasserverschmutzter“
  - Mais Einsatz wird abgelehnt → **Maisdeckel in BGA**  
     besser wäre Maisdeckel im Landkreis  
 → Suche nach alternativen Fruchtarten  
     Ist Stroh Einsatz die Lösung?  
     **ja, aber begrenzte Einsatzmenge (TS)**
- TLL, Reinhold 2019      [www.thueringen.de/th9/tlllr](http://www.thueringen.de/th9/tlllr)

# Wirkung des EEG auf Substrateinsatz in Thüringen

	n	Satelliten	Leistung kW el	WD-Anteil %	Mist-Anteil %	Verweilzeit d	BR kg/m³ d
<b>BGA (o. Satellit)</b>	<b>225</b>	<b>31</b>	<b>463</b>	<b>70%</b>	<b>10%</b>	<b>132</b>	<b>2,11</b>
EEG 2000	25	1	455	81%	1%	83	2,31
EEG 2004	87	6	553	63%	8%	125	2,40
EEG 2009	80	20	411	70%	12%	140	2,06
EEG 2012	31	4	375	78%	14%	171	1,33
EEG 2014	2	0	75	100%	33%	108	1,01

WD - Wirtschaftsdünger;  
BR - Raumbelastung

## Misteinsatz steigt da:

- Verfügbarkeit (kaum noch Potential bei Rindergülle in TH)
- kleinere Behältervolumina (150 d gasdicht)
- Stickstoffkonservierung (kaum Rotteverlust)
- hohe Transportwürdigkeit
  - 20 m³ RG = 275 m³ CH<sub>4</sub>
  - 20 t Mist = 1100 m³ CH<sub>4</sub> (= 4 fache Menge)
- Möglichkeit zum „verdeckten“ Stroheinsatz

Reinhold, 2019



# Kriterien für Substratauswahl

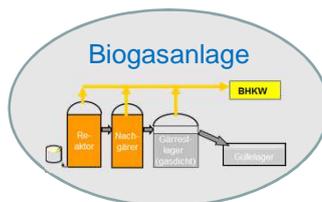
## Stoffeigenschaften

### TS- und oTS-Gehalt

- Aufwand Durchmischung
- Faulraumgröße (150 d gasdicht)
- Siloraumbedarf (z. B. Maisstroh)
- Störstoffe (Bindegarn, ...)
- Hemmstoffe (NH<sub>4</sub>-N)
- Aufbereitungsbedarf (Zerkleinerung)

### Biogas- und Methanertrag

- m³ CH<sub>4</sub>/t FM (Faulraumgröße)
- m³ CH<sub>4</sub>/t oTS (Substratvergleich)



## Ökonomie

### Substratkosten

- Basis: - €/t Frischmasse u.  
- €/m³ Methan
- Herstellungskosten
  - Nutzungskosten
  - Substratpreis

### Verfügbarkeit

- Transportkosten
- zeitliche Verfügbarkeit
- Lagerbarkeit

### Gärrestanfall

- m³/t Substrat
- m³/1000 kWh
- Lagerraumbedarf (DüV 6/9 Monate)

### Düngewert und dessen Realisierbarkeit

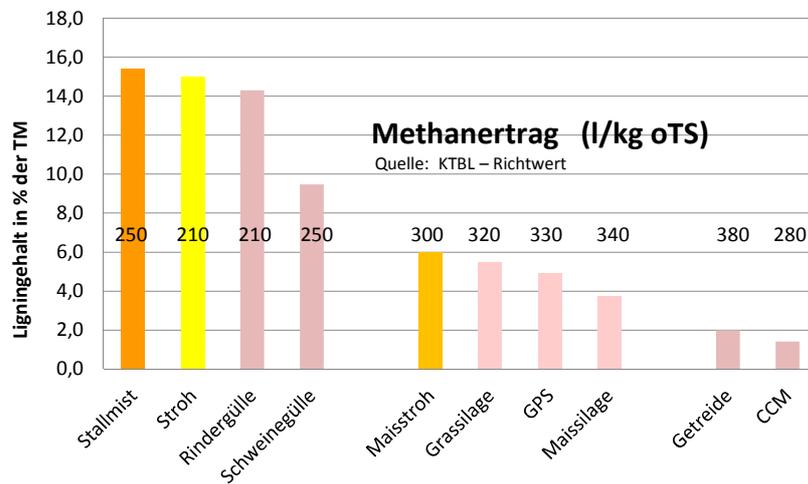
- Düngewert (N, P, K)
- Applikationskosten

TLL; Reinhold 2019

www.thueringen.de/th9/tllr



# Lignin-Gehalte und Gasertrag



TLL, Reinhold 2019

www.thueringen.de/th9/tllr

# Substratkosten – Wirtschaftsdünger

Substrat	TM	oTM	CH <sub>4</sub> -Ertrag	Kosten		incl 5 km Transport	
	% FM	% TM		€/t	€/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	€/t	€/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>
Geflügelmist	40	75	280	20 <sup>1)</sup>	0,24		0,24
Rindermist	25	85	250	2	0,04	5 <sup>2)</sup>	0,09
Rindergülle	10	80	210	0	0	3	0,18
Schweinegülle	6	80	250	0	0	3	0,25

1) Mischkalkulation incl. Transport 2) incl. Aufbereitung

mobiler Transport der Wirtschaftsdünger zur Biogaserzeugung ist nur bei hohem TS-Gehalt und Gasertrag ökonomisch machbar.

Bei Gülle werden schnell 50 % - 80 % vom Maiskosten (0,35 €/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>) erreicht

TLL, Reinhold 2019

www.thueringen.de/th9/tllr

# Auswahlkriterium

## Substratkosten - NaWaRo

Substrat	TM	oTM	CH4-Ertrag	Kosten	Kosten
	% FM	% TM	l <sub>r</sub> /kg oTM	€/t	€/m <sup>3</sup> CH
Maissilage	35	95	340	40	0,35
Getreide-GPS	35	95	330	48	0,44
Getreidekorn	87	97	380	150	0,47
Körnermais	87	98	380	180	0,56
Grassilage	35	90	320	43	0,43
Kleegrassilage	30	90	320	59	0,68
Klee-/Luzernesilage	30	90	290	60	0,77

1) ohne Nährstoffwert, Häckselgutlinie, Mietenlagerung

Maissilage ist das kostengünstigste Substrat  
 Maisstroh und Stroh sind lohnende Alternativen

TLL, Reinhold 2019

www.thueringen.de/th9/tllr 

# Welches Substrat ist günstiger?

- **Maissilage 40 €/t FM**
  - 32 % TS, 93 % oTS
  - 50 % CH<sub>4</sub>
  - 650 l Biogas / kg oTS
- **Getreide 13 €/dt**
  - 86 % TS, 98 % oTS
  - 52 % CH<sub>4</sub>
  - 670 l Biogas / kg oTS

$$\frac{40 \text{ €/t}}{1 \text{ t} * 32 \% * 93 \% * 50 \% * 650 \text{ m}^3 / \text{t}_{\text{oTS}}} = 0,414 \text{ €/m}^3 \text{ CH}_4$$

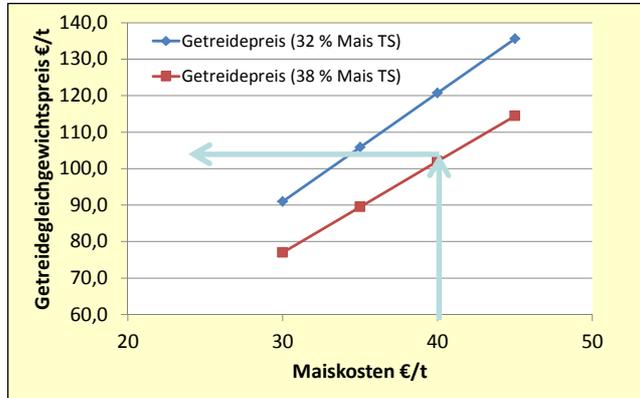
$$\frac{130 \text{ €/t}}{1 \text{ t} * 86 \% * 98 \% * 52 \% * 670 \text{ m}^3 / \text{t}_{\text{oTS}}} = 0,434 \text{ €/m}^3 \text{ CH}_4$$

<b>Kosten:</b>	<b>100 %</b>	<b>105 %</b>
<b>aber:</b> Gärrestlagerbedarf und Applikationskosten beachten		
m <sup>3</sup> Gärrest/t Substrat	100 %	20 %
m <sup>3</sup> Lagerraum/MWh	100 %	13 %
<b>aber:</b> Düngewert	100 %	313 %

TLL Jena 2019, Reinhold

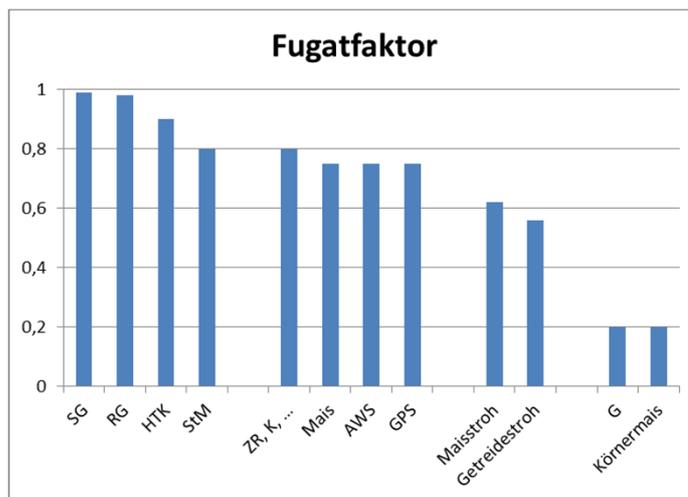
www.thueringen.de/th9/tllr 

# Gleichgewichte Maissilagekosten - Getreidepreis

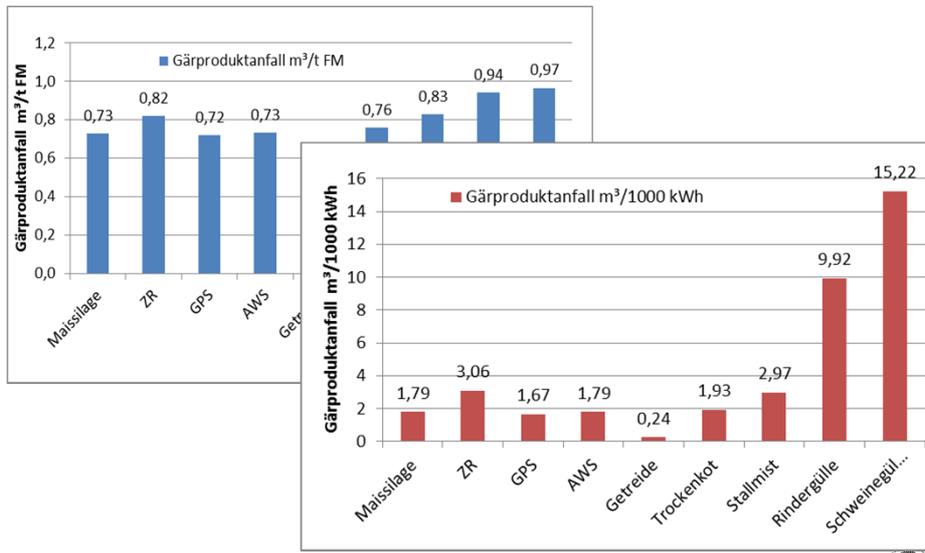


Incl. gesparte Ausbringungskosten (ca. 2 €/t Getreide)  
(Festkosten (Silo) sind ggf. noch abzuziehen)

# Substratauswahl: Lagerraumbedarf



# Substratauswahl: Gärproduktanfall

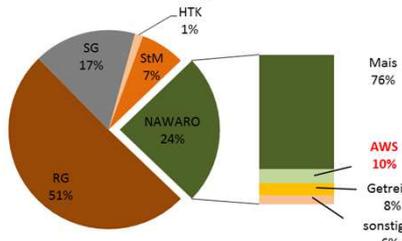


TLL, Reinhold 2016

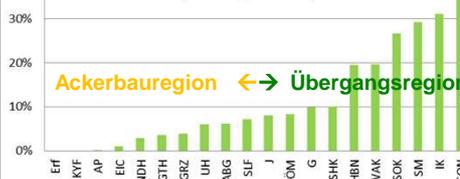
www.thueringen.de/th9/tllr

# Graseinsatz in Thüringer BGA

Substratmix Thüringer BGA 2013



Anteils AWS an den NaWaRo (Thüringen 2014)



## Für AWS –Einsatz (Grünlandregionen)

- Hoher Grünlandanteil
- Geringer Anteil maisfähiger Fläche
- Keine Verwertungsalternativen für den 4. u. 5. Schnitt (Intensivgrünland)
- Maisdeckel EEG 2012

## Gegen AWS-Einsatz (Ackerebene)

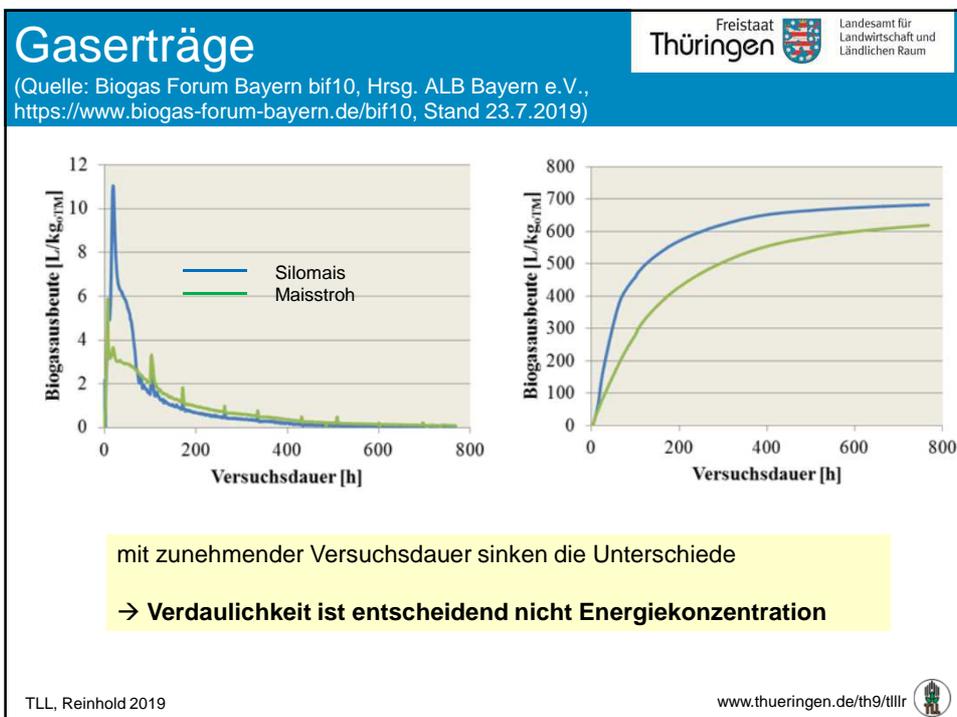
- Kosten Mais 10 ... 12 ct/kWh, AWS 14 ... 16 ct/kWh
- Geringer Grünlandanteil
- Durchmischungsaufwand
- Schwimmschichtbildung

TLL, Reinhold 2019

www.thueringen.de/th9/tllr

Alternative Substrate:		Freistaat Thüringen		Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum
Getreidestroh, Maisstroh und Stallmist				
Parameter	Getreidestroh	Maisstroh	Stallmist	
TS / oTS	87 % / 95 %	30-50 % / 90-95 %	25 % / 80 %	
Dichte (kg <sub>FM</sub> /m <sup>3</sup> )	40 - 60 Häcksel 100 - 140 Ballen	120 – 160 (60 kg <sub>TM</sub> /m <sup>3</sup> )	700 – 900 (200 kg <sub>TM</sub> /m <sup>3</sup> )	
Ertrag (t/ha) / Ernteverluste %	3 – 4 t/ha / ca. 50 %	4 – 6 t/ha / 50 - 60 %	13 – 16 t/GV a ggf. Rotteverluste	
Konservierung	keine	Silierung (Verdichtung schwierig)	keine	
Aufbereitung	Zerkleinerung (Aufschwimmen, Gasertrag)	Ggf. Zerkleinern (Gasausbeute, Aufschwimmen)	Zerkleinerung (bei hohen Strohanteil und Tiefstreu nötig)	
Störstoffe	Ggf. Bindegarn	Steine, Erde	Bindegarn	
Methanertrag oTM FM	210 l/kg <sub>oTM</sub> / 310 l/kg <sub>FM</sub>	320l/kg <sub>oTM</sub> / 200 l/kg <sub>FM</sub>	250 l/kg <sub>oTM</sub> / 100 l/kg <sub>FM</sub>	
Ligningehalt	14-16 %	2 - 4 %	12 – 15 %	
Fugatfaktor	0,6	0,7	0,93	

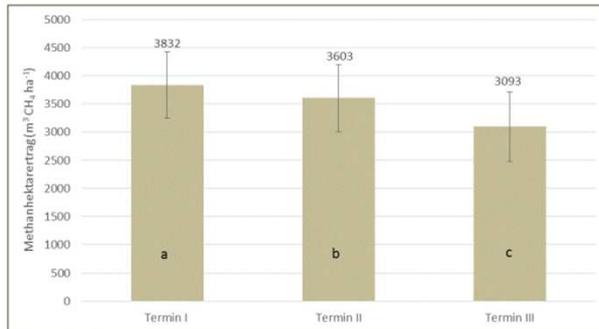
TLL, Reinhold 2019 www.thueringen.de/th9/tllr 



# Methanhektarerträge von Maisstroh

Quelle: <https://www.lfl.bayern.de/ipz/mais/076707/index.php>

**potentielle Methanhektarerträge** (gesamter Maisstrohaufwuchs): - ca. 50 % vom Silomais



**reale Methanhektarerträge** (Bezug abgefahrene Menge):

**ca. 1500 m³/ha**  
(ca. 21 % vom Silomaishektarertrages)

Entscheidend für Gasertrag ist Verdaulichkeit und nicht Energiekonzentration

**Richtwert Methanertrag aus Labor** (85 – 90 % vom Silomais):  
290 – 310 l / kg oTM

# Vor- und Nachteile des Maisstroheinsatzes

## Vorteile/Effekte:

- sinkende Substratkosten, Zählt nicht in den Maisdeckel
- Entlastung Fruchtfolge (bei zu hoher Maisanteil)
- Reststoffnutzung (Flächenfreilegung, Reduzierung Flächenknappheit bei hoher Viehdichte)
- NH<sub>3</sub>-Hemmung der Gaserzeugung (z. B. bei hohe Trockenkoteinsatz)

## Hemmnisse/Rahmenbedingungen

- Körnermaisbau und entsprechende Erntetechnik erforderlich (Umwidmung von Körnermais in Silomais bei Futterknappheit)
- Möglichst mit Zusatzsubstrat silieren (Zwischenfrucht, ZR, ...)
- Gefahr von Schwimmschichten
- Gefahr von Schmutzeintrag und Steinen

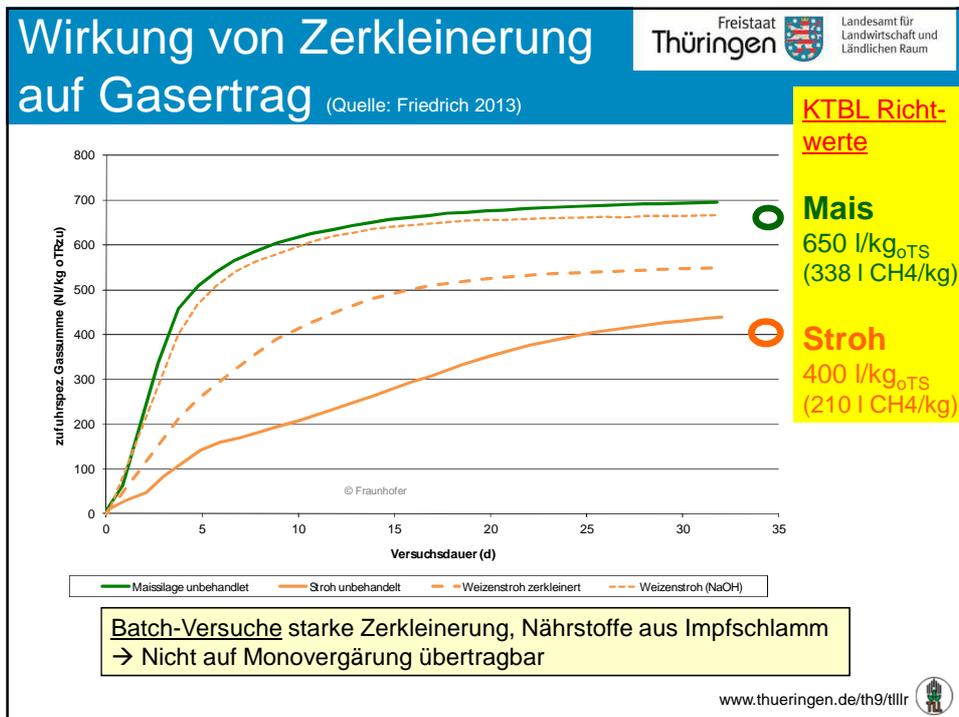
Gaserträge von Stroh <small>Quelle: KTBL -Datenbank</small>	Substratbeschreibung	Gaserträge		
		Biogas	Methan	Methan
		[l/kg oTS]	[%]	[l/kg oTS]
Weizenstroh	545			
Hartweizenstroh mit	453			
Wintergerstenstroh	569	54	307	
Getreidestroh	579	53	305	
Triticale, Ernte 2005, U	569	52	295	
Triticale, Ernte 2005, U	580	52	299	
Weizenstroh, Ernte 20	564	52	292	
	484	57	275	
Weizenstroh, Ernte 20	537	53	288	
Raps-Stroh 901/1	539	52	282	
Raps-Stroh 901/4	498	52	260	
Hafer-Stroh/1	589	52	308	
Hafer-Stroh/4	584	52	302	
Dinkel-Stroh/1	624	53	328	
Dinkel-Stroh/4	522	51	267	
Gerste-Stroh/1	573	52	295	
Gerste-Stroh/4	529	53	279	
Weizen-Stroh/1	589	51	299	
Weizen-Stroh/4	560	52	289	
	478			
	548	52	292	
<b>Stdbw.</b>	<b>43,7</b>		<b>16,5</b>	
<b>Variationskoeff.</b>	<b>8%</b>		<b>6%</b>	

**Batch-Versuche**  
 → optimale Bedingungen  
 → Zerkleinerung OK  
 → Nährstoffe OK  
 → Einmischen OK

**gilt nur für geringe Strohanteile**

→ **KTBL- Richtwert 210 l/kg<sub>oTS</sub>**

TLL, Reinhold 2019



## Getreidestroh vergären Mono- oder Mit-Vergärung

### Strohvergärungseigenschaften

- Lignin-Gehalt (14 ... 16 %) und schwer vergärbare Anteile
  - im anaeroben Bereich nicht umsetzbar → Ausgangsstoff für Humusbildung bleibt erhalten
- Biogasbildung 400 l/kg<sub>oTS</sub> (Mais 650 l/kg) Abhängig von Aufbereitung

### Monovergärung erscheint nicht sinnvoll, da:

- hoher TS-Gehalt → Flüssigkeitszufuhr nötig
- geringe Dichte → wenig transportwürdig → regionaler Einsatz
- wenig Mikronährstoffe, langsamer Abbau

### Mitvergärung z.B. mit dünner Schweingülle empfohlen

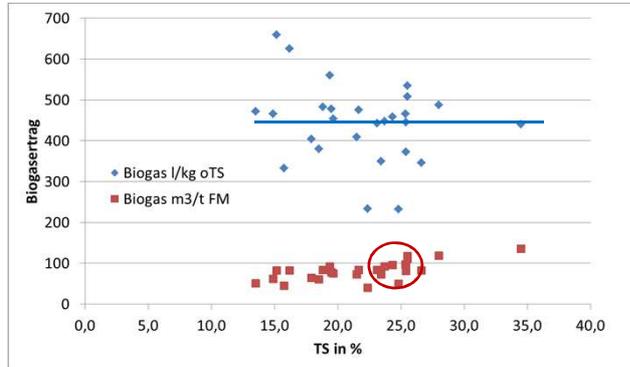
- TS-Gehalt im Fermenter (Ziel < 12 %) begrenzt Einsatzmenge
- lange Verweilzeit → verbesserte Gasbildung
- Zerkleinerung sinnvoll (Wasseraufnahme, Aufschwimmen ...)
- auch Einsatz über den Stall als „Stallmist“ möglich (Zerkleinerung, Wasseraufnahme, ...)

## Hinweise zum Getreide- stroheinsatz

- Zwischen 2 % und 10 % der Fütterungsmenge sind meist unproblematisch
- Häcksellinie bzw. Bindegarn 100 % entfernen
- Eingereignetes Stroh nutzen (Wachsschicht ist weg)
- Sickersaftaustritt im Stroh binden z. B. Stroh an die Wand des Fahrsilos geben
- Stroh evtl. als unterste Schicht ins Fahrsilo und mit Mais übersilieren → Strohaufschluss
- Stroh auf Treibwege der Tiere geben
- Stroh schwimmt auf → Einweichen oder Zerkleinern
- Effiziente Rührtechnik notwendig

# Gasertrag Stallmist

(Quelle: KTBL Datenbank)



## Einflussfaktoren:

- Strohanteil,
- Tiefstreu oder tägl. Entmistung
- Lagerdauer vor BGA,
- Zerkleinerung (im Labor), Häcksel oder Langstroh,
- Verweilzeit (150 d gasdicht)
- TS- Gehalt ( $m^3/t_{FM}$ )

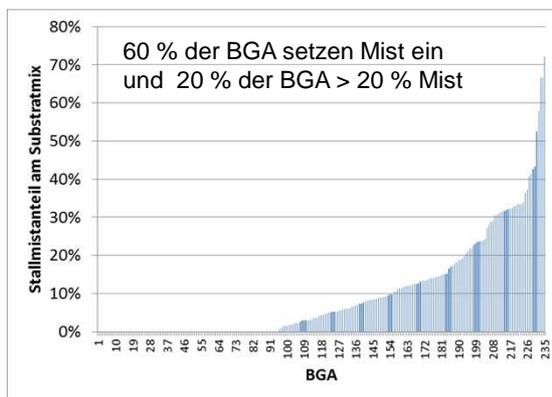
**Biogasertrag** (KTBL Richtwert):  
 450 l/kg<sub>oTM</sub> bzw. 100 m<sup>3</sup>/t<sub>FM</sub> (bei 25 % TM)

TLL, Reinhold 2019

www.thueringen.de/th9/tllr



# Stallmisteinsatz in den Thüringer BGA



## Motivation:

- Substratkosten
- Reststoffnutzung
- Transportwürdigkeit
- Güllebonus (für Trockenvergärer)
- Düngewirkung (kaum N-Verluste, Einsatzzeit)
- einheitliche WD-Qualität
- Auslastung Investition (150d gasdichter Raum)
- kein Miststreuer mehr erforderlich

## Nachteile:

Bindegarn, Lagerraumbedarf und –kosten, notwendige Zerkleinerung von Tiefstreu u. Langstroh (Kälbermist), Schwimmschichtbildung bei hohem hoher Einstreumengen, hohe TS bei hohen Mistanteilen am Substratmix,

TLL, Reinhold 2019

www.thueringen.de/th9/tllr



## *These:*

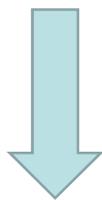
*Stroheinsatz in BGA führt zu Humusabbau*

### **häufige Fehler in der Herangehensweise:**

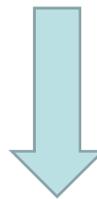
- pauschal „Mais ist **Humuszehrer**“, (der aber nicht mehr gehackt wird) und jetzt wird auch noch das Körnermaisstroh „verbrannt“
- Betrachtung nur des **Einzelschlages** und nicht der Fruchtfolge
- **Gärrestrückführung** und Wirtschaftsdüngerrückführung nicht beachtet

*Humusbilanz im Betrieb rechnen*

**Gärprodukt = Ammoniumdünger + Rottemist**

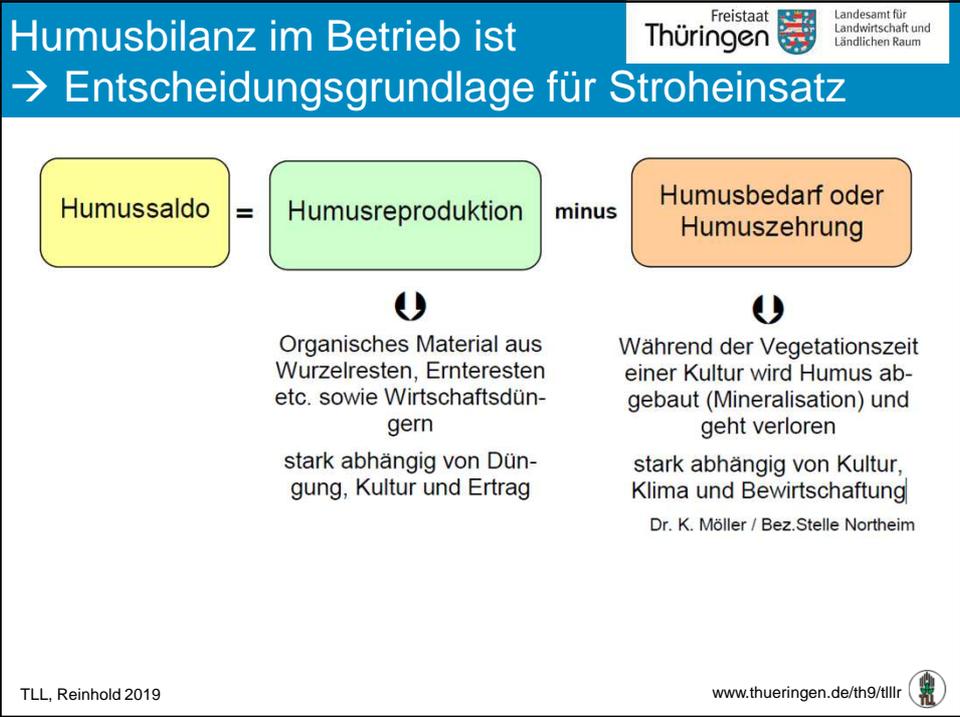
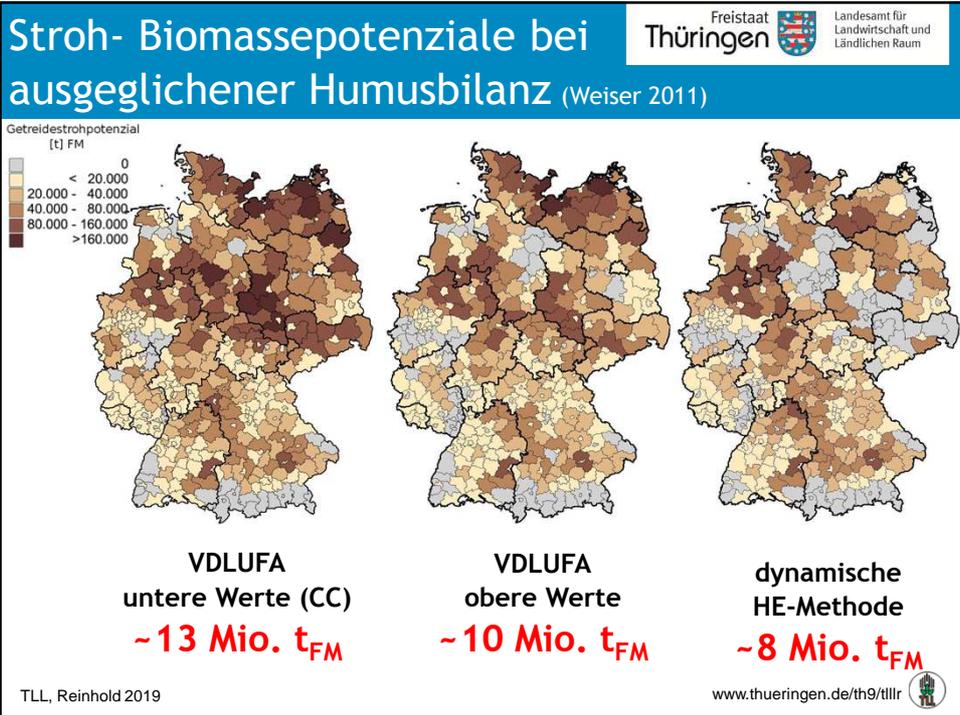


durch  
Mineralisierung von  
org. gebundenen N



durch Abbau der  
leicht umsetzbaren  
C-Verbindungen

mit stark differenzierten Eigenschaften, die durch die Fütterung der BGA bestimmt werden



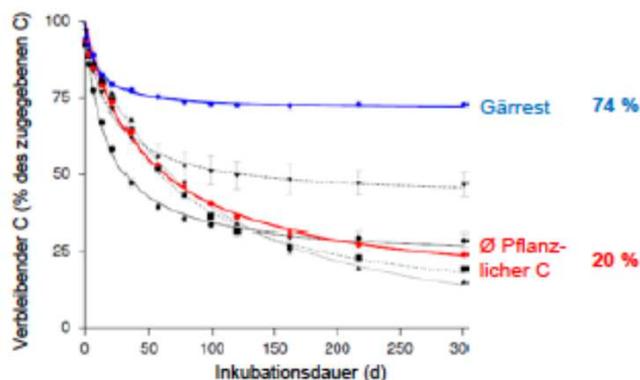
# Einflussfaktoren auf Humusproduktion u. Bodenfruchtbarkeit

- **Bodeneigenschaften**
  - Trockenrohdichte, Porenvolumen, Aggregatstabilität, Wasserkapazität, Filter und Pufferfunktion, ....
- **Standortfaktoren**
  - Klima, Textur, Wasser, Bodenzusammensetzung, ...
- **Bewirtschaftung (Viehichte, Tierarten, BGA ...)**
  - **Anbau** → **Erntereste und Wurzelrückstände**
  - Bodenbearbeitung
  - Düngung mineralisch / organisch
  - **Wirtschaftsdüngerrückführung (tierisch, pflanzlich, Gärprodukte, Komposte)**

# Mineralisierung von Gärrest und Pflanzen

Quelle: Güzower Fachgespräche, Band 57 Seite 76

Zeitlicher Verlauf der Mineralisierung von unterschiedlichen organischen C-Quellen und daraus ermittelter Anteil an Humus-C



## Humuswirkung von Getreidestrohvergärung

- Stroh unvergoren
  - 1 t Stroh → **87 kg Humus-C/t Stroh TS**
- Stroh vergoren
  - 400 l Biogas/kg<sub>oTS</sub> \* 1,3 kg/l = 520 kg
  - Rest: 480 kg \* 142 kg Humus C/t (nach VDLUFA)
  - = **68 kg Humus-C/t Gärrest TS**

## Zusammenfassung

- **Substrateinsatz ist deutlich von der Agrarstruktur abhängig**
- **Bei Substratauswahl ist auf Kosten je m<sup>3</sup> Methan und der Gärrestanfall sowie Nährstoffwert zu achten**
- **Stroh-Mit-Vergärung in Anteilen bis 10 % meist möglich (Senkt Substratkosten)**
- **Getreidestroh und Maisstroh haben sehr unterschiedlich Eigenschaften**
- **Im Stallmist wird Stroh zum Wirtschaftsdünger**
- **verfahrenstechnische Fragen wie Aufschwimmen, TS-Gehalt im Fermenter und Rührfähigkeit sind zu beachten → entsprechende Aufbereitung (Zerkleinerung)**
- **Humusbilanzen sind Entscheidungshilfen für Stroheinsatz**

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**