



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Vergärung von Pferdemist



Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

21. März 2024

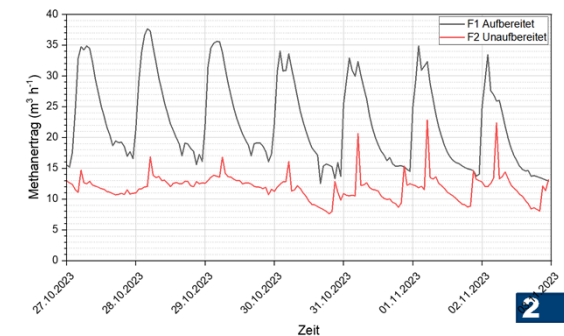
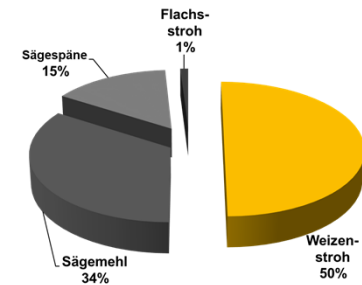
Chancen und Herausforderungen bei der Vergärung von Pferdemist

*Dr. Hans Oechsner;
Rene Heller, Dr. Benedikt Hülsemann
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie,
Universität Hohenheim*



Gliederung

- Potenzial
- Qualität des Pferdemistes
- Mögliche Vergärungsverfahren
- Untersuchungen mit mechanischer Aufbereitung
 - Querstromzerspaner
 - Kugelmühle
 - Abbaukinetik
- Wirtschaftlichkeit bei Aufnahme von Pferdemist
- Zusammenfassung, Ausblick



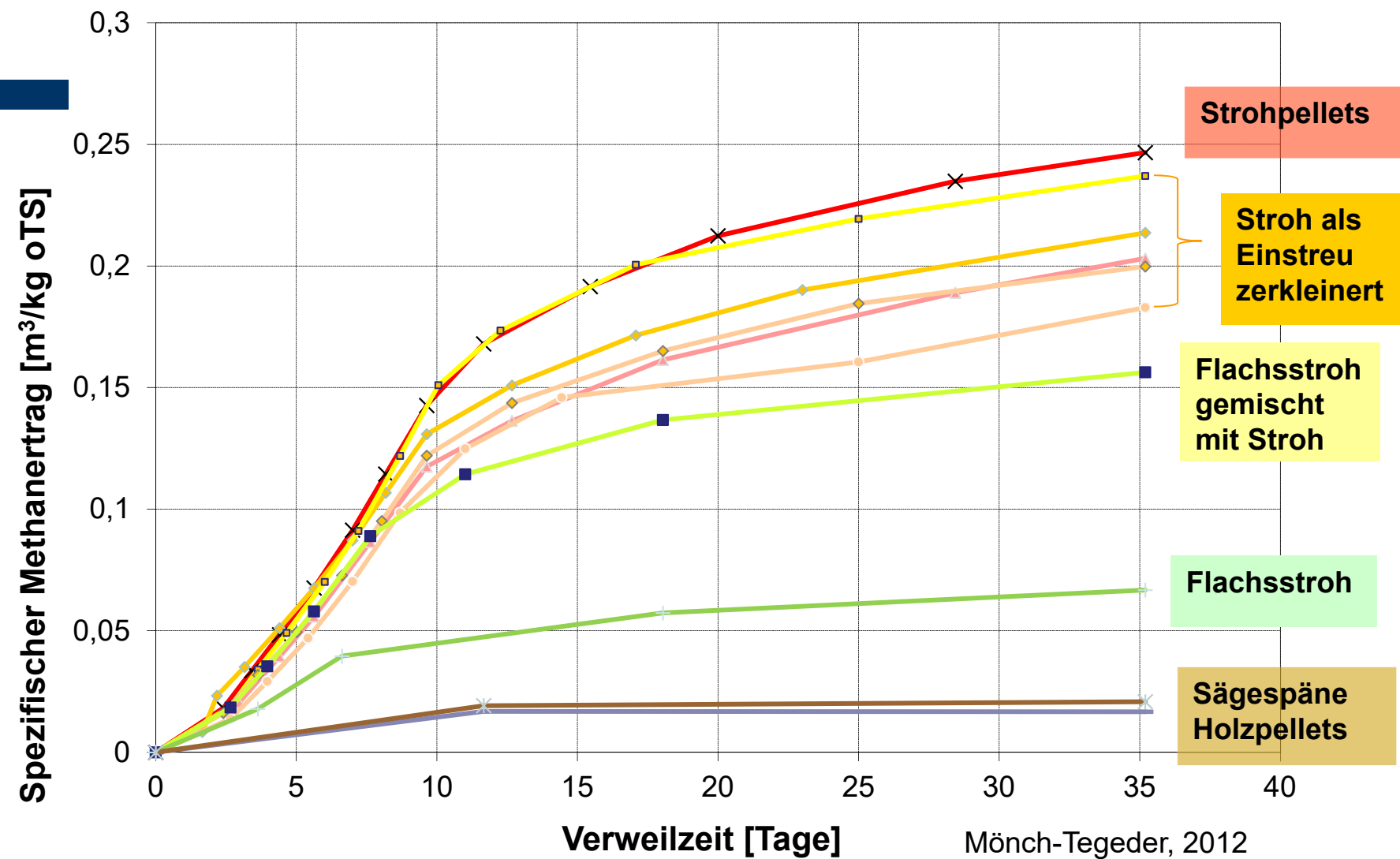
Pferdemist als Futter für den Biogasfermenter?

- Mehr als 1,2 Mio Pferde werden in Deutschland gehalten
- Mistanfall: 10 - 20 t FM je Pferd und Jahr
- 13 – 23 Mio. t Pferdemistanfall / a
 - 50 – 70 % Strohanteil (schwankender Anteil)
 - Sägespäne als Einstreu problematisch
 - Fremdkörper im Pferdmist vermeiden
 - TS-Gehalt im frischen Mist (33 - 54 %)
 - oTS-Gehalt an der TS (Durchschnittlich 88,5 %)
 - Energetische Nutzung in Biogasanlagen zur Steigerung des Methanpotenzials
 - Kontinuierliche Verfügbarkeit

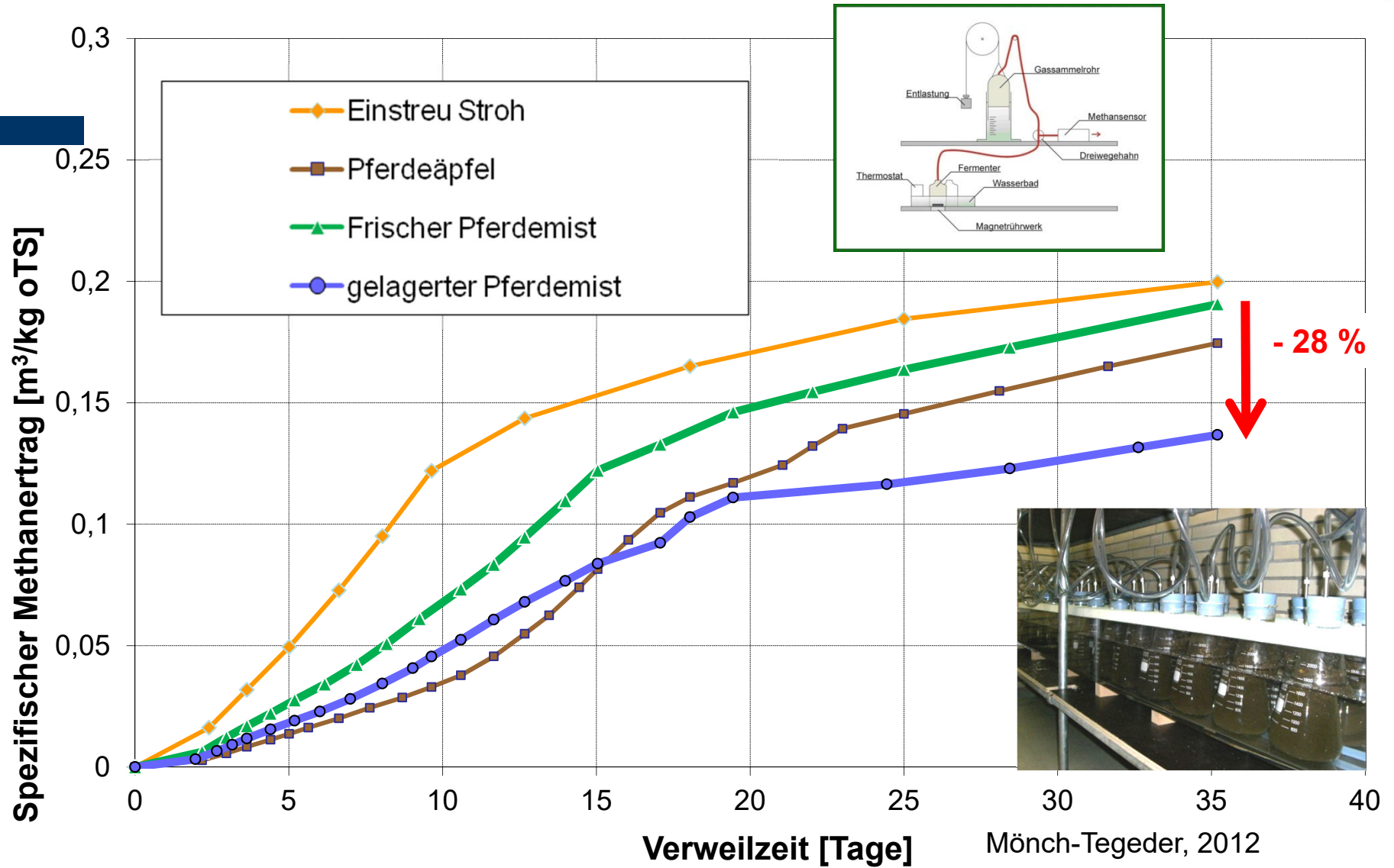
Quellen der Potenzialdaten: Ipsos-Studie, 2019; Häußermann et al., 2002; Winter, 2014, Raupp und Elsässer, 2012; Mönch-Tegeeder et al, 2014



Spezifischer Methanertrag verschiedener Einstreu



Spezifischer Methanertrag von Pferdemist



Vergärbarkeit von Pferdemist

Erkenntnisse aus Labor- und Praxisversuchen

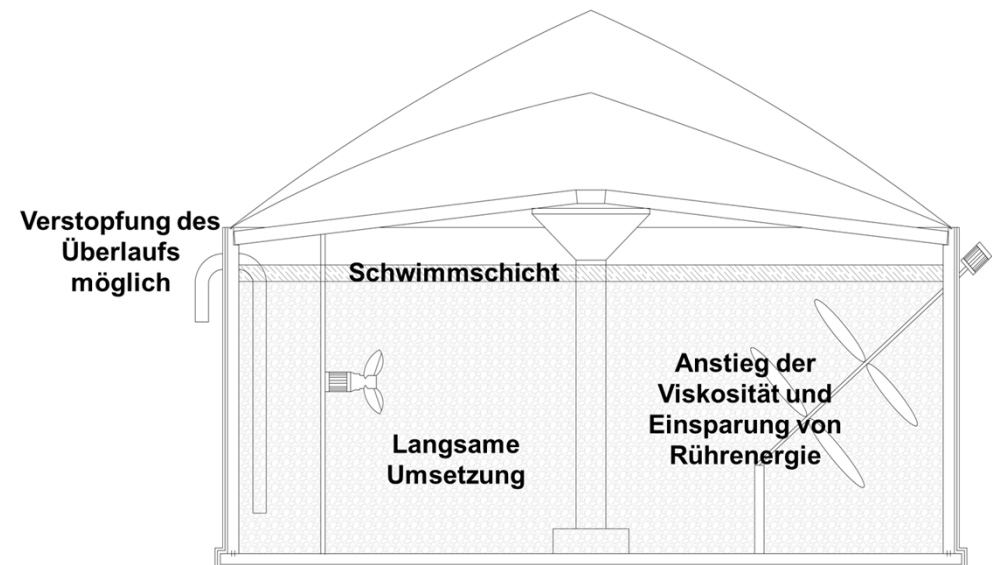
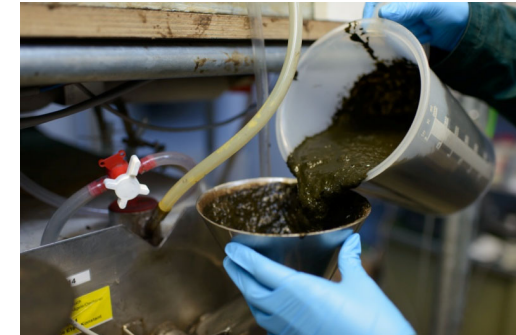
- Gute Umsetzbarkeit von strohhaltigem Pferdemist
- **oTS:** PM 198 m³ CH₄ / t **oTS:** Mais 330 – 350 m³ CH₄ / t
- **FM:** Pferdemist ca. 80 m³ CH₄ / t
 - **FM:** Mais 100 – 120 m³ CH₄ / t
- Unzureichender Abbau der alternativen Einstreumaterialien
- Verlust von organischen Bestandteilen und Verringerung der Methanausbeute während der Lagerung (- 28 %)
- Aufbereiteter Mist – höhere Verlustgefahr
- C:N-Verhältnis von strohhaltigem Mist im oberen Bereich bei \varnothing 31,3 (25,6 – 41,9)
Mönch-Tegeder, et al: 2014
- Spurennährstoffgehalte vergleichbar mit Grassilagen, Ergänzung bei hohem PM-Anteil empfohlen



Verfügbare Reste sind meist nicht leicht vergärbar – häufig hoher Fasergehalt

Pferdemist:

- schwierige Handhabbarkeit im Fermenter
 - Schwimmschichtbildung
 - Langsame Abbaukinetik
 - Pumpen können verstopfen
 - Hoher Rühraufwand
- technische Lösung erforderlich
Kosten, Energiebedarf
- Alternative Verfahren nutzbar?



Mögliche Verfahrenswege zur Nutzung von Pferdemist zur Biogasenerzeugung

Geringer Pferdemistanteil bis ca. 10 % Massenanteil

- Im bestehenden CSTR-Fermenter – kaum Änderungen erforderlich
- Wässern und verdichten des Pferdemistes
- Nachzerkleinerung im flüssigen Gutstrom
 - Rotacut und Ähnliche
 - Kavitation, ...



Professioneller Einsatz von Pferdemist >10 %

- „Trockenfermentation“ (MLR-Projekt)
- Bei CSTR Mechanische Aufbereitung vor Eintrag in den Fermenter unerlässlich
 - Absätziges Aufbereitungsverfahren (Extruder)
 - Querstromzerspaner und Ähnliche
 - Kugelmühle (FNR-Projekt)



„Trockenfermentation“ Feststofffermentierung

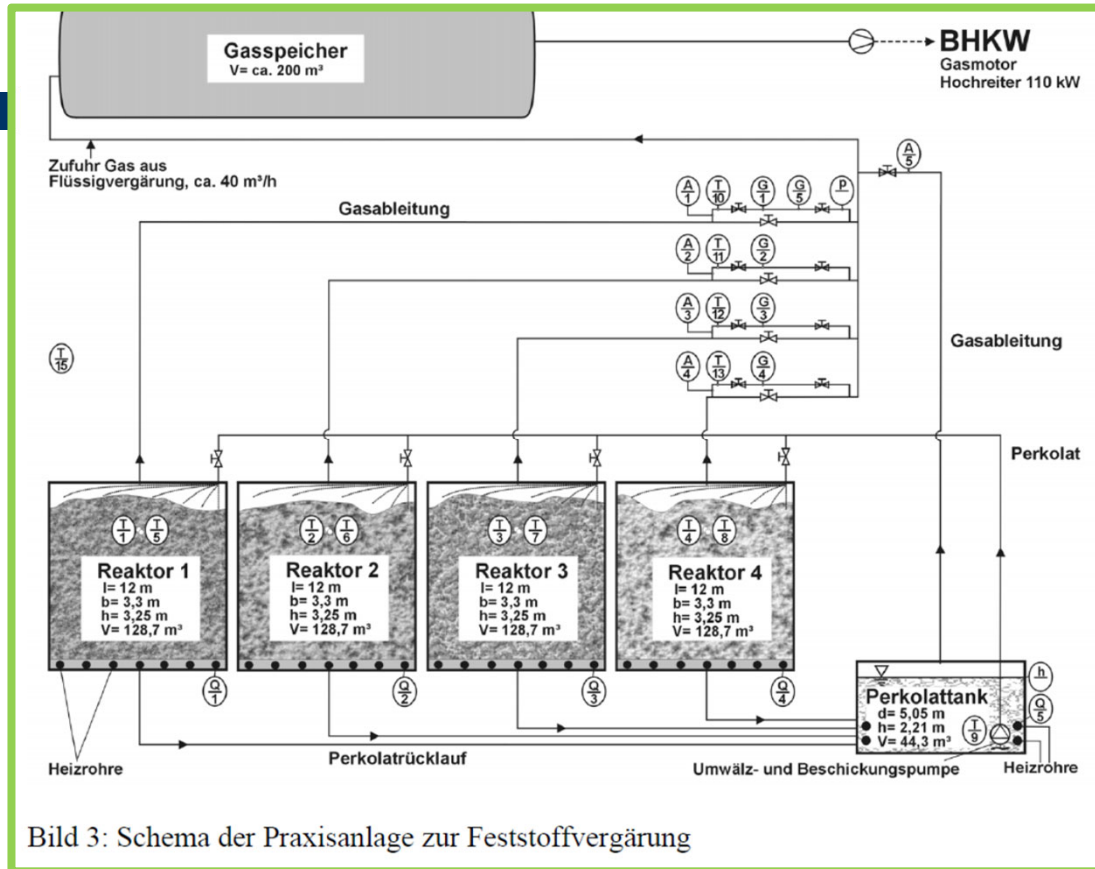
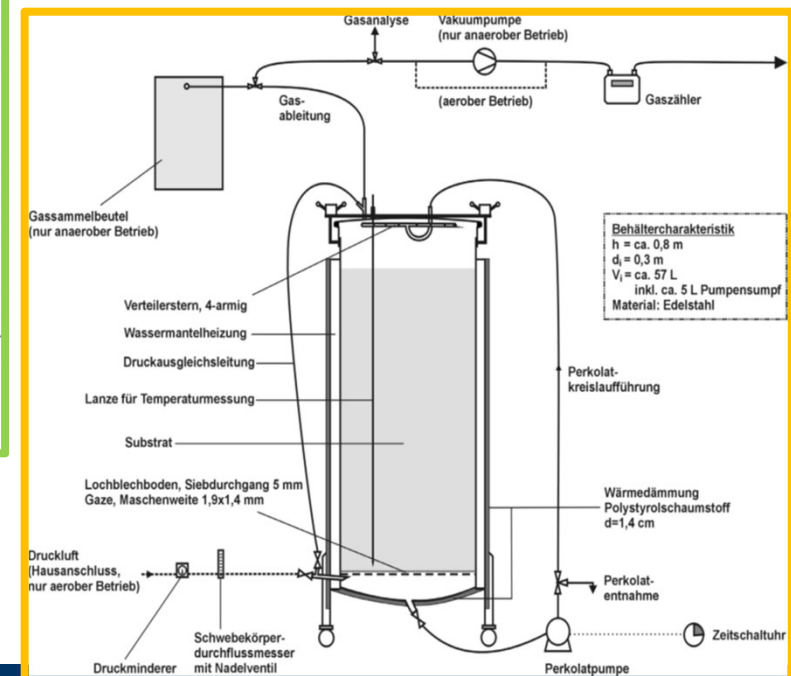


Bild 3: Schema der Praxisanlage zur Feststoffvergärung

Kusch et al. 2004
MLR Ba-Wü.-Projekt 2003-2006



„Trockenfermentation“ Feststofffermentierung



Kleinbiogasanlage für Pferdemist und weitere Feststoffe

- Anlagenleistung: 70 kW
- Drei Fermenter mit je 360 m³
- Länge 20 m
- 3 Perkolattanks mit je 20 m³
- FEBIO-Projekt (PtJ, BMWK)

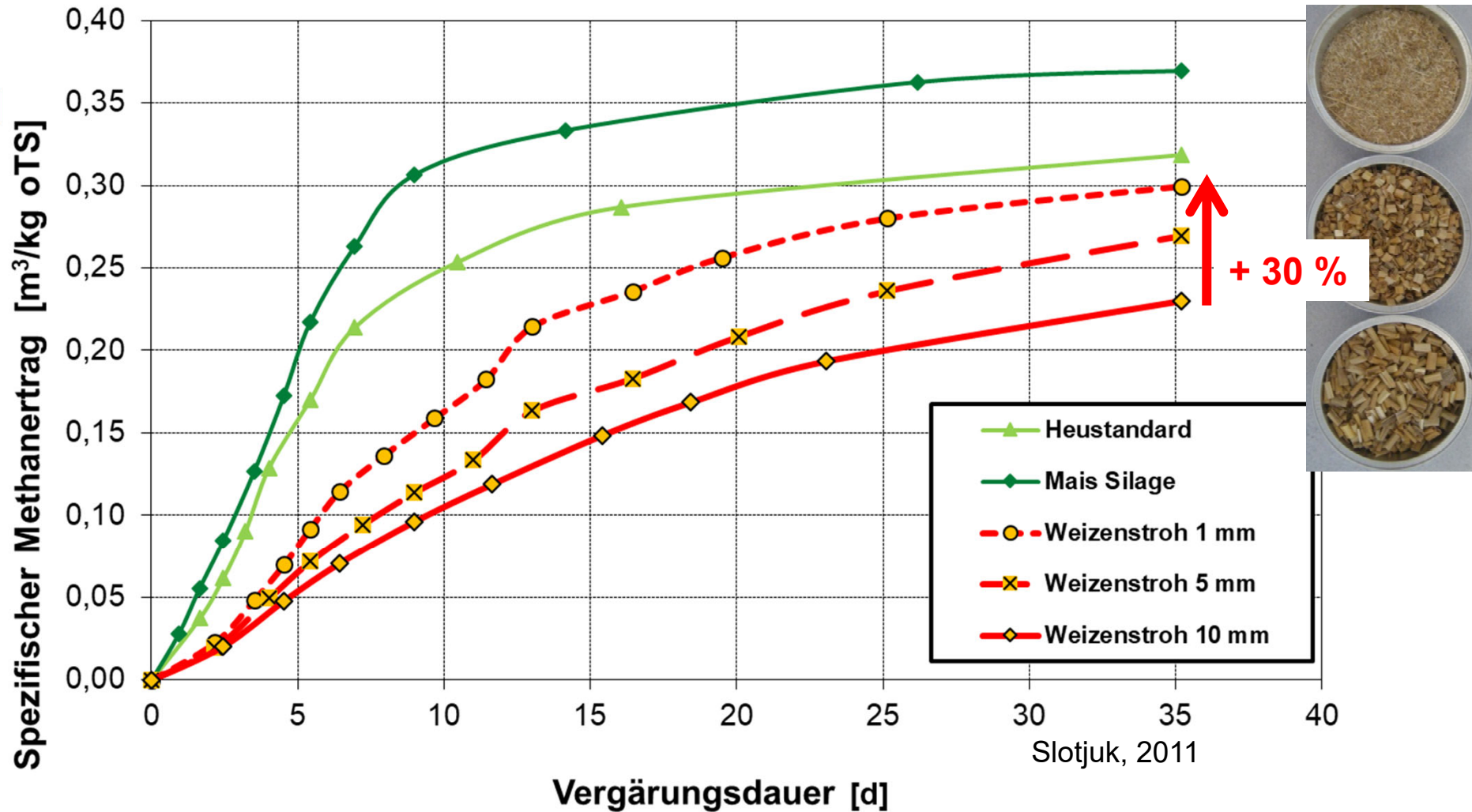
Fotos: Pertagnol 2020

„Trockenfermentation“ Feststofffermentierung

Anforderungen an einen optimalen Betrieb:

- Mehrere Garagen-Fermenter müssen parallel und zeitversetzt betrieben werden
- Kombination mit einem Perkolattank erforderlich
- Verweilzeit möglichst lang (oft < 28 Tage)
- Struktureiches Material erforderlich - Durchrieselung
- Jeweilige Rückführung von mindestens 30 % Gärrest zur Beimpfung
- Gute Heizung und Dämmung erforderlich
- Mesophiler bis thermophiler Betrieb
- Täglicher Aufwand geringer als bei Flüssigvergärung
- **Keine vollständige Ausfäulung – Restgaspotenzial, Methanverlust**
- Relativ hohe Investitionen

Weizenstroh – unterschiedliche Partikelgröße



Absätzigige Aufbereitung und Zwischenlagerung in einer Miete



Untersuchung an einem Betrieb in
Süddeutschland

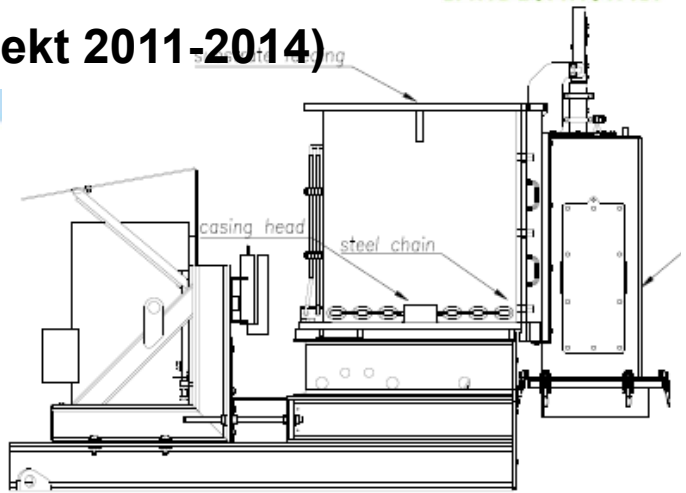
Substrat	TS-Gehalt	oTS-Anteil	Spezifischer Methanertrag	Variationskoeffizient	Potenzialverlust
	[% FM]	[% TM]	[Nm ³ /kg oTS]	[%]	%
Pferdemist frisch	59,01	92,15	0,161	16,7	
Pferdemist geschreddert	41,87	86,34	0,170	3,3	
Pferdemist geschreddert 28 Tage gelagert	28,04	77,14	0,130	3,4	23,5

Mechanische Vorbehandlung als mögliche Lösung

– Querstromzerspaner (PTJ / BMWF - Projekt 2011-2014)



Rotierende Ketten



gen bei der Vergärung von Pferdemist
Pferdemist, 21. März 2024

- ursprünglich aus der Recycling-Industrie
- Arbeitskammer Durchmesser: 0,9 bis 2,5 m
- Anschlussleistung 55 (bis 315 kW)
- Kettendrehzahl: 1200 /min
- Einsatz in Batch- oder Durchflussbetrieb

Mit Querstromzerspamer aufbereitete Substrate



Untersuchungen im Praxismaßstab

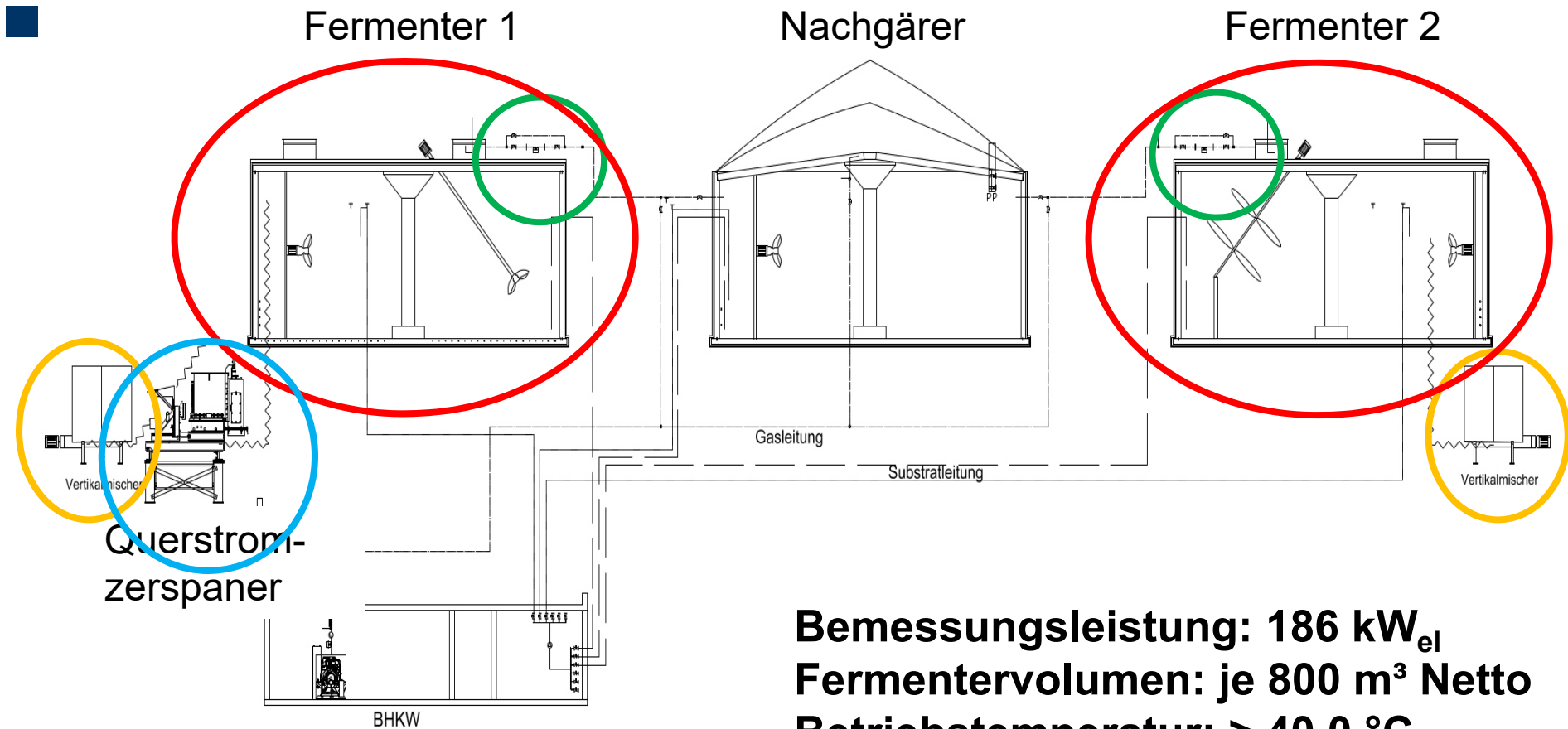
- Einfluss auf die Prozessbiologie
- Einfluss auf die Substratausnutzung
- Verfahrenstechnische Anforderungen
- Notwendigkeit einer Substrataufbereitung



Verwertbarkeit von Pferdemist im Praxismaßstab

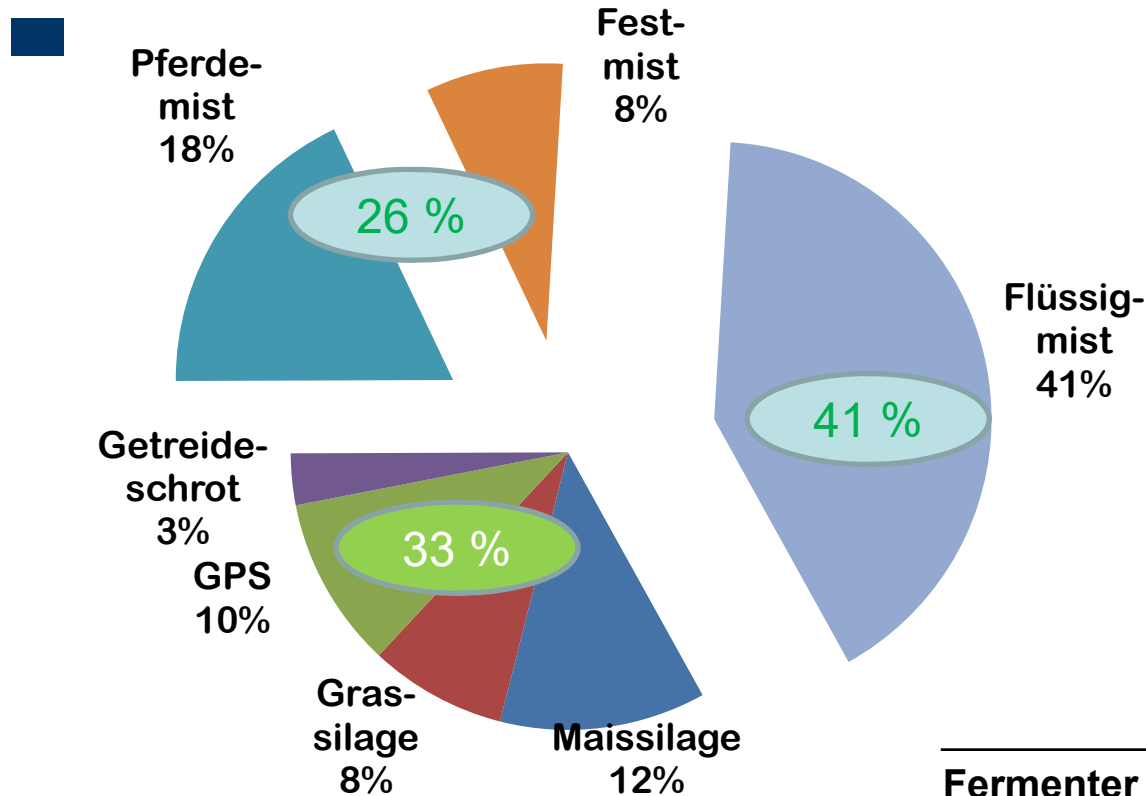
Forschungsbiogasanlage der Universität Hohenheim

„Unterer Lindenhof“



Bemessungsleistung: 186 kW_{el}
Fermentervolumen: je 800 m³ Netto
Betriebstemperatur: > 40,0 °C

Nutzbarkeit von Pferdemist Futterrations

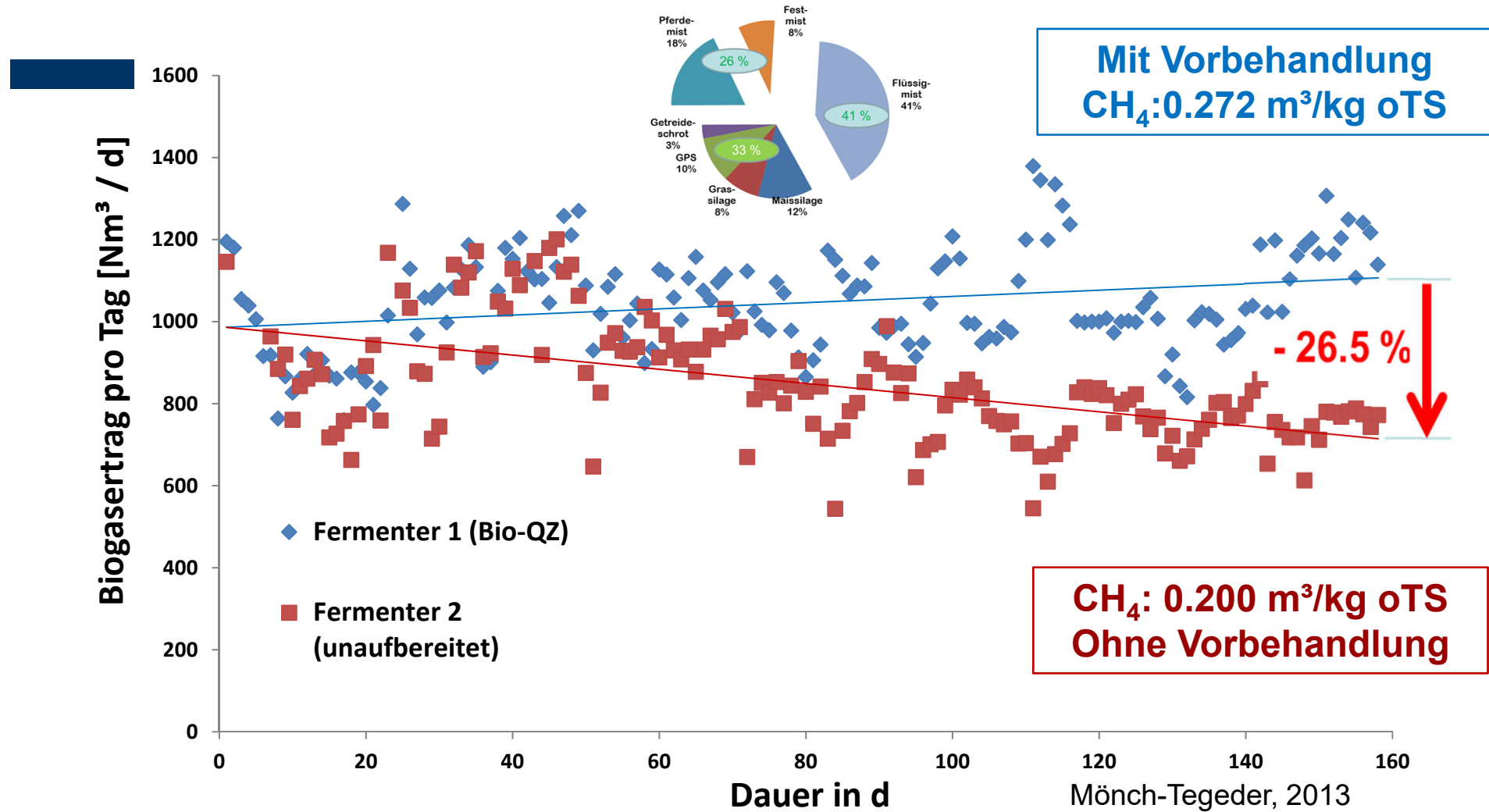


Vorbehandlung
bei Fermenter 1

	Futter- menge [t/d]	HRT [d]	OLR [kg/m ³ d]
Fermenter 1 aufbereitet	10.5 ± 2.0	78.8 ± 14.1	2.9 ± 0.5
Fermenter 2 Kontrolle	10.4 ± 2.3	79.5 ± 15.6	2.8 ± 0.6

Pferdemistgemisch im Praxisbetrieb

Mit und ohne mechanischer Vorbehandlung



Substrataufbereitung mit einer Kugelmühle

FNR-Projekt seit 2020



vormischen,
dosieren, fördern



zerkleinern, zerfasern

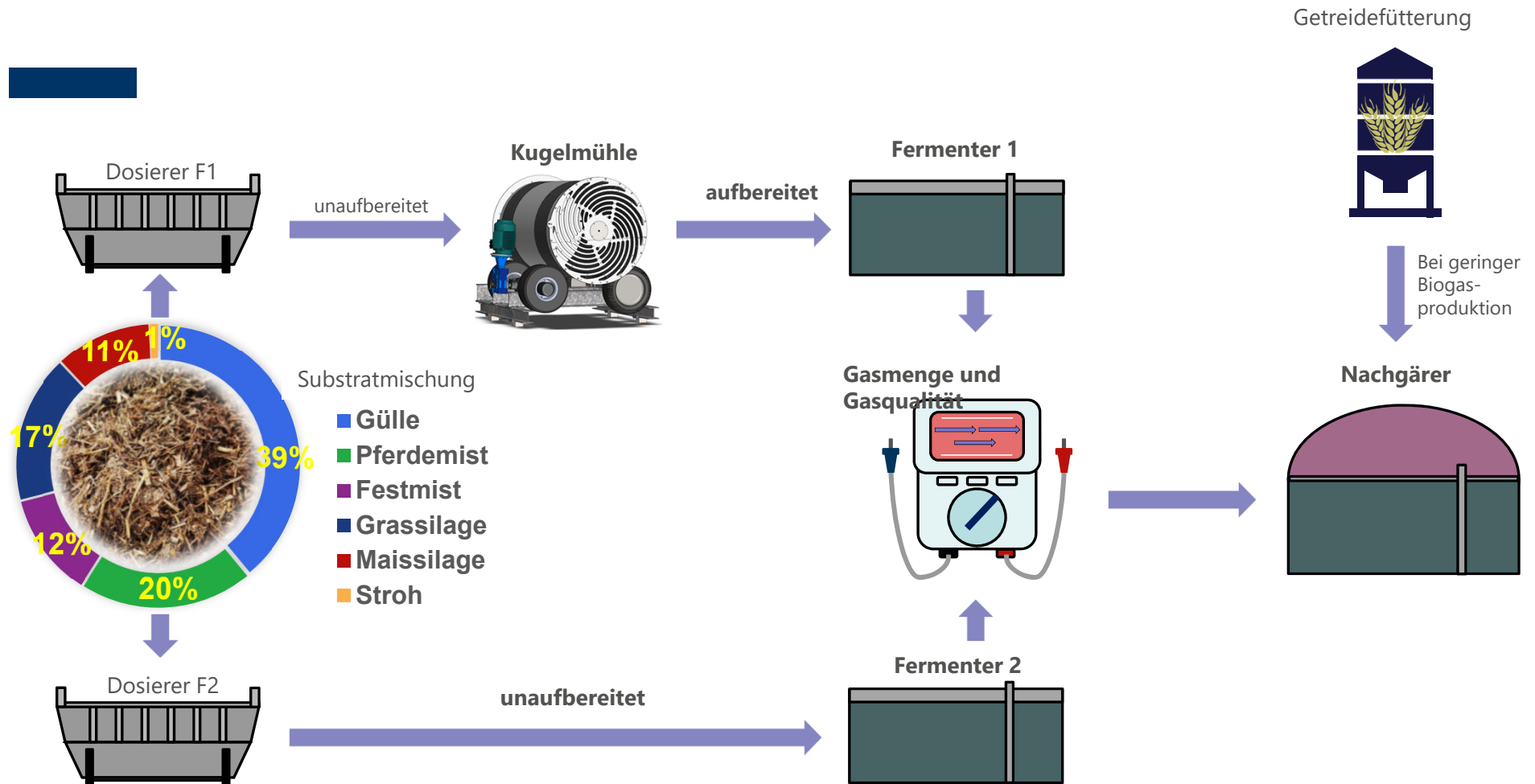


austragen, auffangen,
in BGA fördern



2,5 t Stahlkugeln
je 2,1 kg

Pferdemist–Aufbereitung mit der Kugelmühle



Heller, 2024

Pferdemist–Aufbereitung mit der Kugelmühle - Aufbereitungseffekt

- Versuchsdauer: **5 Monate** → 28.04.-26.09.2023
- Fermenterinhalt aus F1 und F2 für Versuchsstart vollständig **durchmischt**
- Füllgewicht Kugelmühle: 1300 kg
Drehzahl: 8 min⁻¹
Durchsatz: 1,5-3 t h⁻¹
- **Energiebedarf** je nach Substratbeschaffenheit und Betriebsparameter (6-20 kWh t FM 1)



Unbehandelt
176.2 ± 44.1 L_{CH4} kg_{oTS}⁻¹

+37%

Vorbehandelt
241.6 ± 16.0 L_{CH4} kg_{oTS}⁻¹



Mischeffekt in den beiden Fermentern

Fermenter 1 – Substrat aufbereitet durch Kugelmühle



Fermenter 2 – Substrat unaufbereitet



Heller, 2024

Pferdemist–Aufbereitung mit der Kugelmühle

Gasbildungskinetik

- Versuchsdauer über **2 Monate** 27.9. – 29.11.
- Fermenterinhalt aus F1 und F2 für Versuchsstart vollständig durchmischt
- **Stoßfütterung** – 1 Mal am Tag
- Täglich 4.800 kg Feststoff + 4000 kg Gülle/d
- Überprüfung der **Abbaukinetik** des Substratgemisches
- Eignung des aufbereiteten Pferdemistes als Substrat für eine **flexible Fütterung**



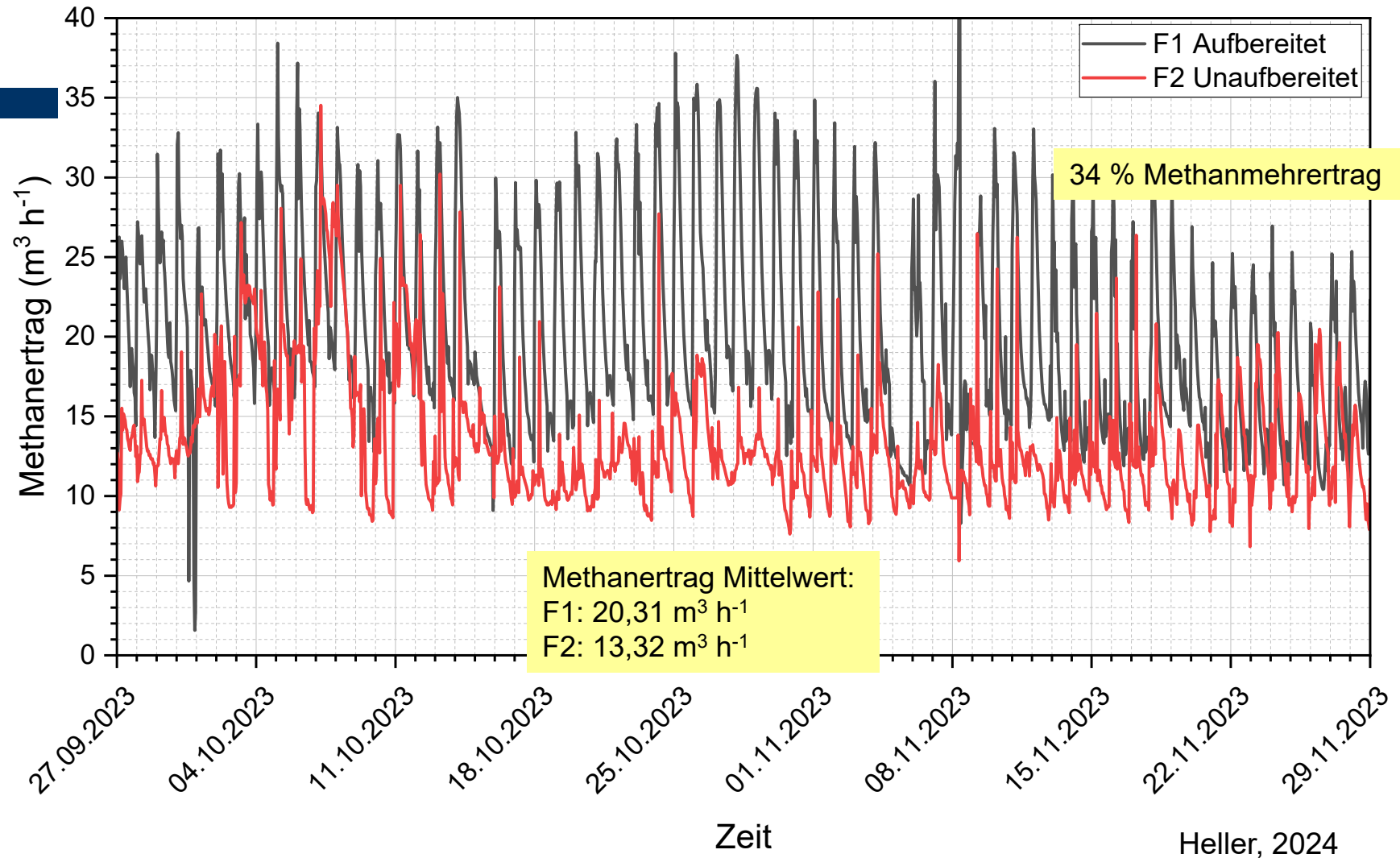
Unbehandelt
 $176.2 \pm 44.1 \text{ L}_{\text{CH}_4} \text{ kg}_{\text{oTS}}^{-1}$

+37%

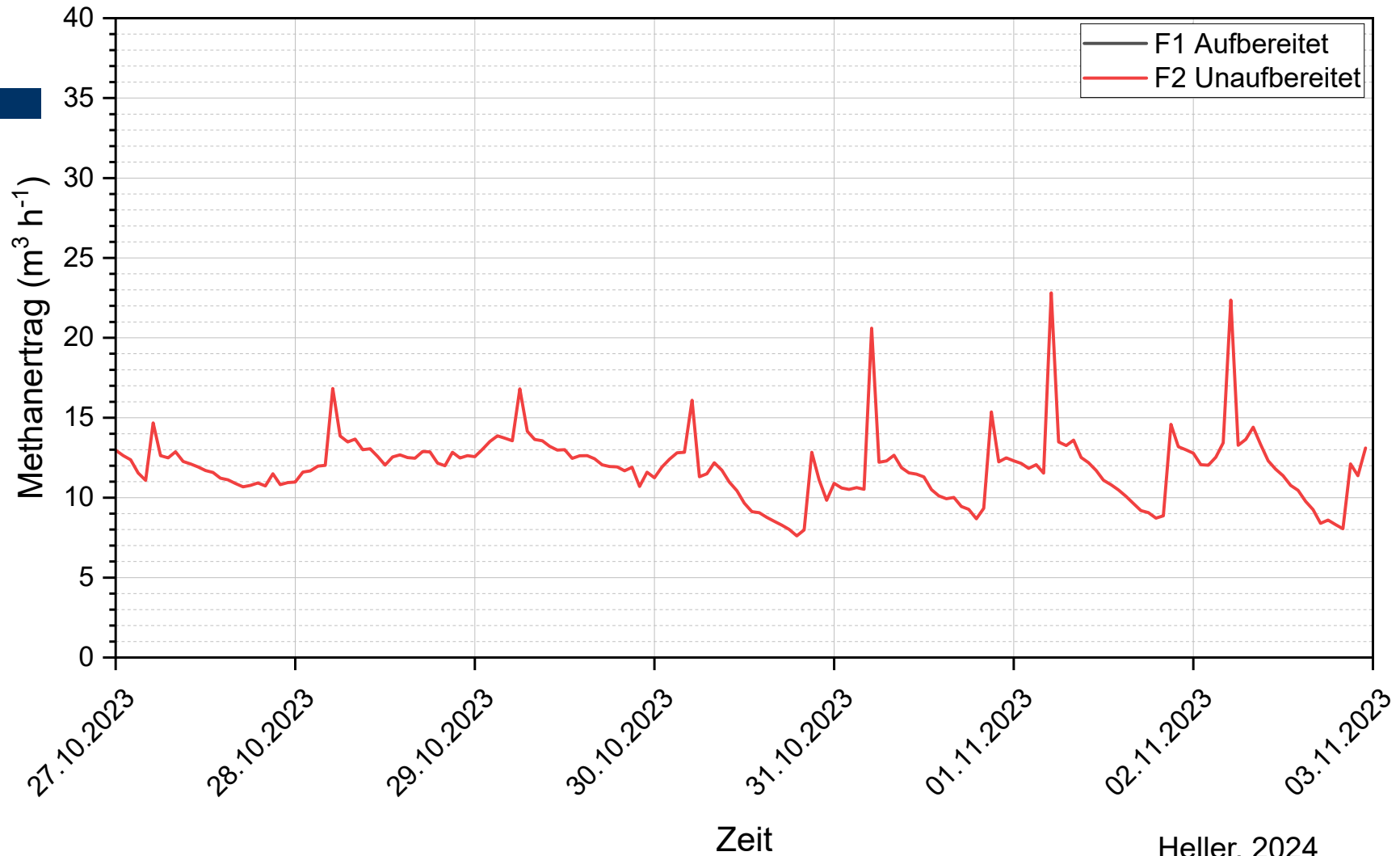
Vorbehandelt
 $241.6 \pm 16.0 \text{ L}_{\text{CH}_4} \text{ kg}_{\text{oTS}}^{-1}$



Pferdemist – Abbaukinetik bei Stoßfütterung

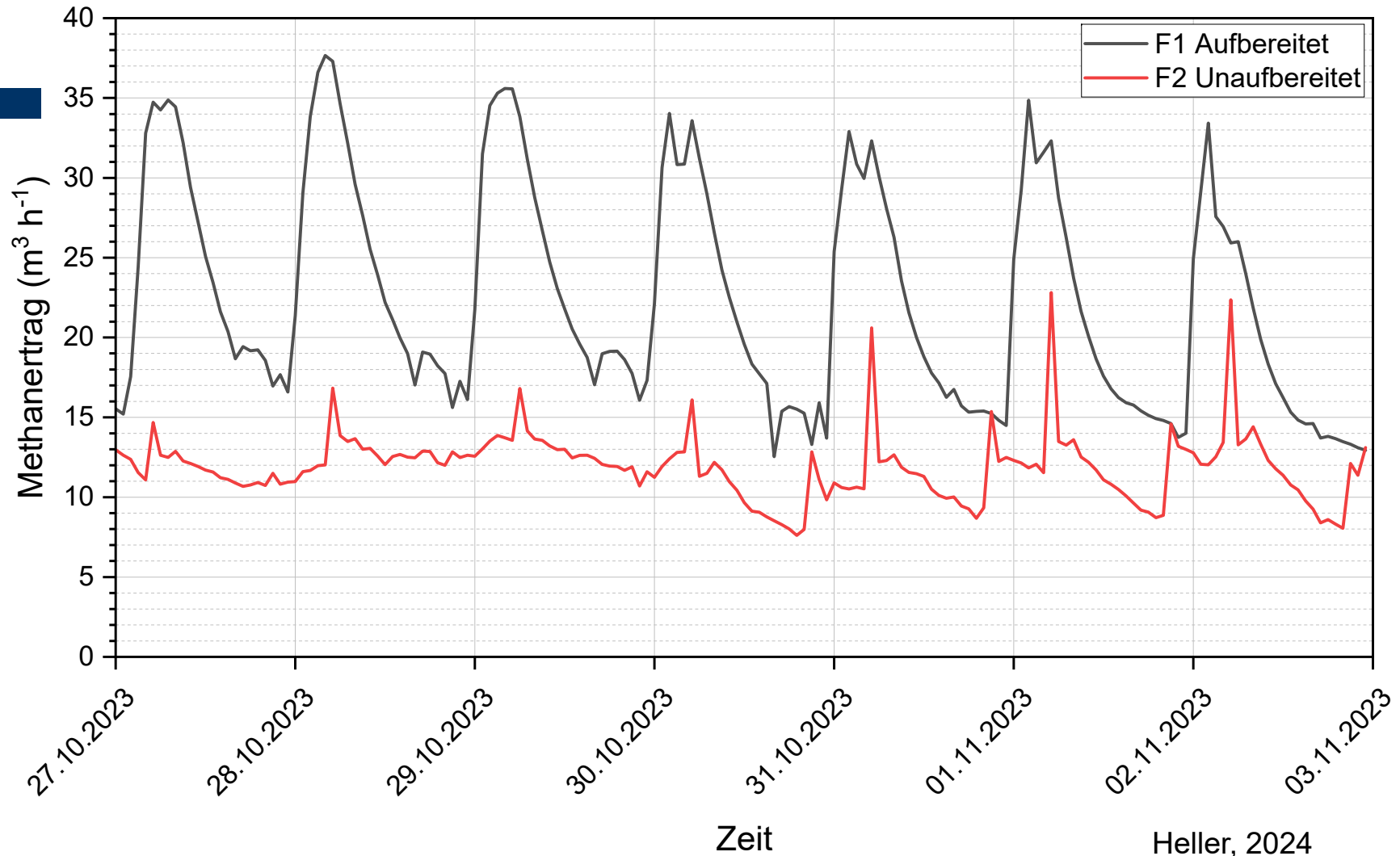


Pferdemist – Abbaukinetik bei Stoßfütterung



Heller, 2024

Pferdemist – Abbaukinetik bei Stoßfütterung



Heller, 2024

Kostenvergleich bei unterschiedlichem PM-Anteil

		ohne PM	8 % PM ohne weitere Aufbereitung	30 % PM mit Aufbereitung	50 % PM mit Aufbereitung
Anteil Pferdemist					
GV Pferd			22	89	148
GV Rind		110	110	110	110
NaWaRo-Fläche	ha Mais	73	68	49	24

Input FM /d	Gesamt	t/d	13,5	14,0	15,0	15,0
	Maissilage	t/d	9,5	8,5	6,0	3,0
	Pferdemist	t/d	-	1,1	4,5	7,5
	Gülle	t/d	4,5	4,5	4,5	4,5

HRT, Verweilzeit	d	133	129	120	120
OLR, Raumbelastung	kg oTS/FV*d	1,82	1,95	2,24	2,33
Bemessungsleistung	kW	179	185	194	185

Aufbereitungskosten / a		-	1.500	29.432	31.432
Aufbereitungskosten/t Pferdemist	€/t	-	3,91	17,92	11,48

Kosteneinsparung durch Ersatz von Maissilage	€/a	-	14.186	27.235	74.510
CO ₂ -Einsparung (Strom) (Tekla) gegenüber Braunkohle	t CO ₂ /a t CO ₂ /a	- 1.251	102 1.353	369 1.620	482 1.733

Bestehende Biogasanlage, großzügige Dimensionierung, Aufnahme von Pferdemist zulasten Maissilage
Investition Aufbereiter 120.000 €; Nutzung 8 a; Zins 4 %; Stromverbrauch 11 kWh/t Substrat; 20 €/ct/kWh;
Maissilage, 45 €/t FM; CO₂ nach Tekla, LK Niedersachsen

Mechanische Aufbereitung von Pferdemist

Querstromzerspanner bzw. Kugelmühle

- **Prozessbiologie**
 - Stabiler Betrieb (geringe Konzentrationen organischer Säuren)
 - Anstieg des TS-Gehaltes in den Fermentern (+3 %)
- **Substratausnutzung**
 - Pferdemistqualität ist entscheidend
 - Nahezu vollständige Ausnutzung durch Vorbehandlung (**89 %**)
 - Unzureichender Abbau ohne Desintegration (**65 %**)
(In Bezug auf Labor-Methanerträge)
- **Verfahrenstechnik**
 - **Mit Vorbehandlung:**
 - **Keine** Probleme in Fermenter 1
 - **Ohne Vorbehandlung:**
 - **Schwimmschicht** in Fermenter 2,
 - **Handhabung** des Fermenterinhalt es problematisch

Mechanische Aufbereitung von Pferdemist

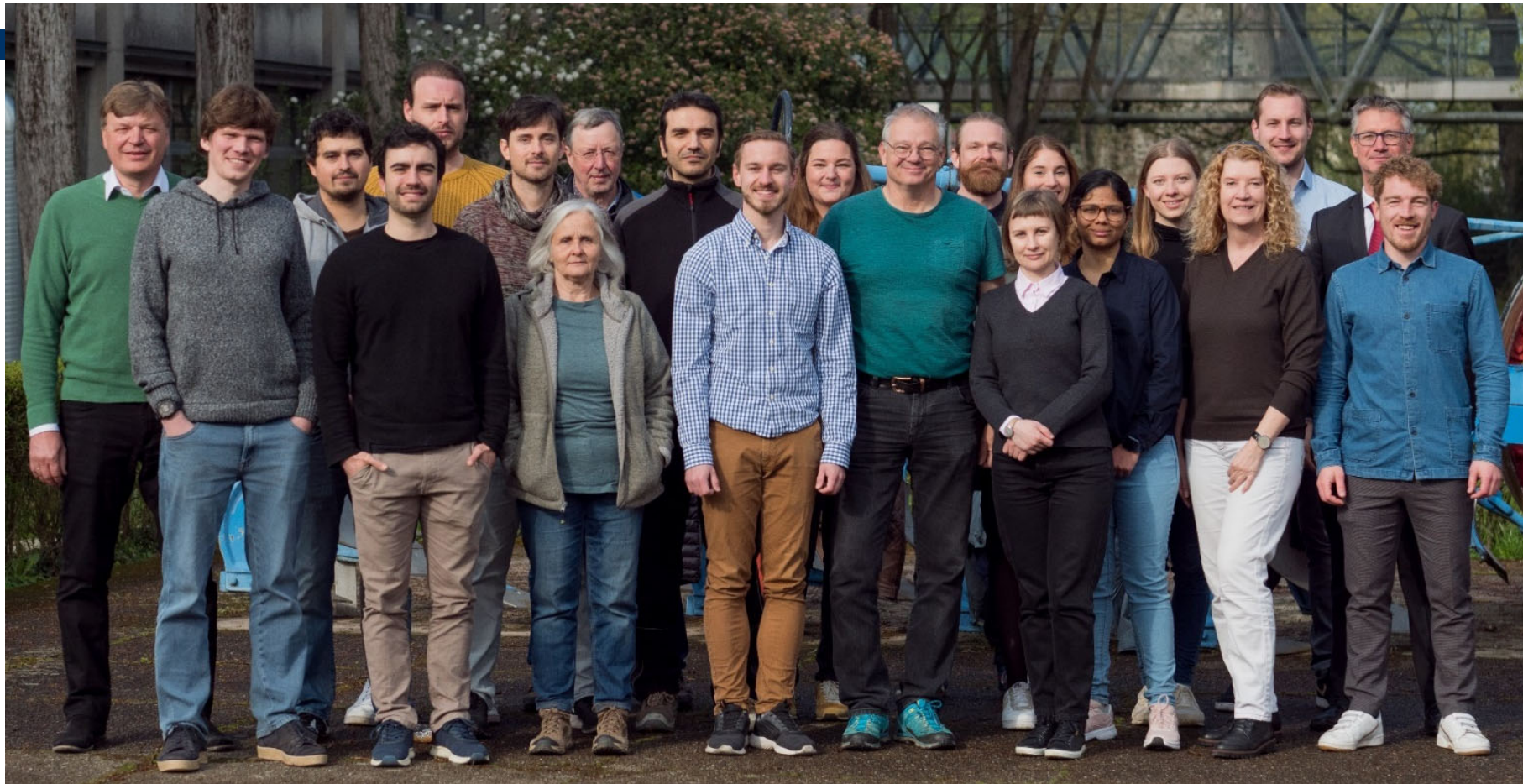
Querstromzerspanner bzw. Kugelmühle

- **Gasbildungskinetik**
 - Aufbereiteter Pferdemist kann gezielt zur bedarfsorientierten Gasproduktion genutzt werden
 - Vergleichbare Kinetik wie Maissilage
- **Wirtschaftlichkeit**
 - Pferdemist eignet sich hervorragend als Gärsubstrat
 - Kann in kleinen Mengen ohne Aufbereitung die Ertragssituation verbessern
 - Erlaubt bei Substratanteilen bis 50 % den Aufbau einer speziellen Aufbereitungstechnik
 - Ggfs. erhöht sich die Raumbelastung (Fementergöße?)
 - Möglicherweise zusätzliches Gärproduktlager erforderlich
- **Treibhausgase**
 - Deutlich Einsparung von CO₂-Emission

Nutzbarkeit von Pferdemist im Praxismaßstab

- Energieverbrauch des Bio-QZ: **11,3 ± 1,3 kWh_e / t FM**, ermöglicht die Nutzung von Substraten mit einem Strom-Ertrag von **> 300 kWh/t FM Strom**
- **Nutzbarkeit von Pferdemist in Biogasanlagen**
- Substitution von **7,8 Mio t Maissilage** wäre möglich bei Nutzung von **50 %** des in Deutschland anfallenden Pferdemistes (**10 Mio t**)
- Dies entspricht einer Maisanbaufläche von **156.000 ha** oder etwa **11 %** der derzeit für die Biogasproduktion verwendeten Ackerfläche
- Erweiterung des Substratspektrums ist möglich –
Übertragung der Ergebnisse auf andere, faserreiche Substrate z.B. Maisstroh, Trester, Pflanzenreste, ...

Das Team der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, 2023





**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**

**Herzlichen Dank für die
Förderung der Projekte durch
BMEL, FNR, BMWK und MLR**

Kontakt:

Dr. Hans Oechsner

oechsner@uni-hohenheim.de

Tel. ++49 - 711 459 22683