

Gärprodukte

# ANAEROBE VERGÄRUNG VON PFLANZENKOHLEHALTIGEM WIRTSCHAFTSDÜNGER

---

CHRISTIANE TERBOVEN, JANIN LAUMER, DR. MATTHIAS PLÖCHL

Abschlussveranstaltung des Projekts

Gärprodukte zur Verbesserung der Stallhaltung und der Bodenstruktur - ein integraler Ansatz

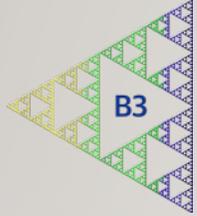
Seddiner See, 30. März 2023





# EINLEITUNG

---



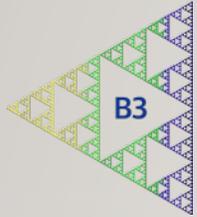
## Aufgabe der operativen Gruppe

- Aufbau einer Prozesskette in einem landwirtschaftlichen Betrieb, um die Verwendung von Pflanzenkohle im Stall und auf dem Feld zu realisieren.

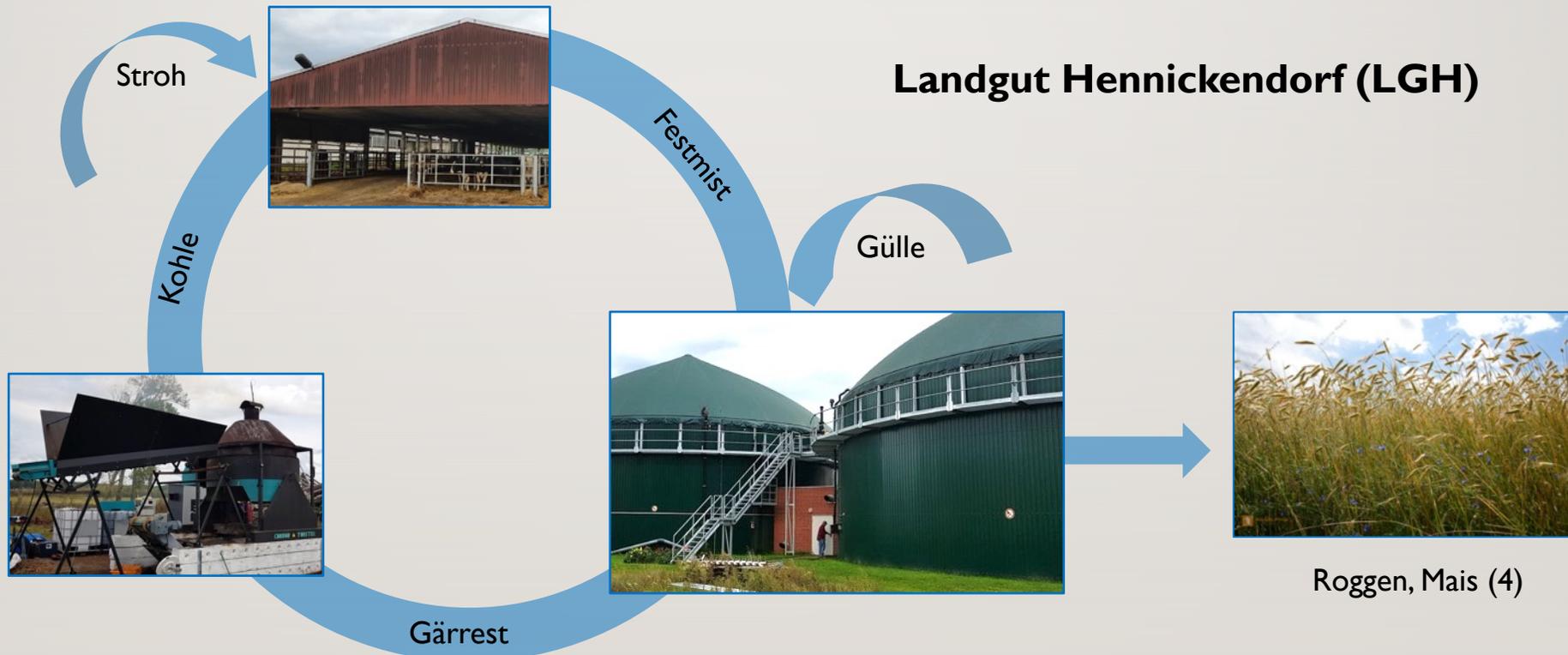
Gärprodukte



# EINLEITUNG



## Prozesskette

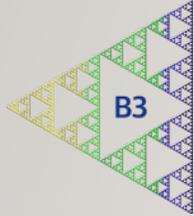


Gärprodukte



# EINLEITUNG

---



## Aufgabe der operativen Gruppe

- Aufbau einer Prozesskette in einem landwirtschaftlichen Betrieb, um die Verwendung von Pflanzenkohle zu realisieren.

## Fragestellungen

- Welchen Einfluss hat Pflanzenkohle auf die anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdünger?
- Wird die Kohle mit dem Gärrest ausgetragen oder verbleibt sie im Reaktor?

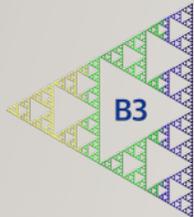
Gärprodukte





# EINLEITUNG

---



## Untersuchungen

### 1) Praxistest mit der **BGA Landgut Hennickendorf (B3Pb)**

Anaerobe Vergärung von pflanzenkohlehaltigem Festmist

### 2) Labortest I (**ATB**)/ausgeblendet

Anaerobe Vergärung von Schweinegülle in Anwesenheit von Pflanzenkohle

### 3) Labortest II (**B3PB**)

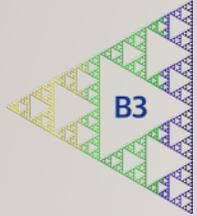
Pflanzenkohle stabilisiert die anaerobe Vergärung

Gärprodukte



# EINLEITUNG

---



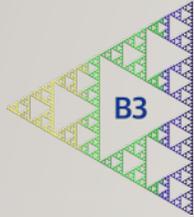
## Vorteile von Pflanzenkohle im Biogasreaktor

- Adsorption von Ammonium
- Ad-/Absorption von (Alkali-)Metallverbindungen
- Immobilisierung von Mikroorganismen
- Unterstützung des syntrophen Elektrontransfers (DIET)
- Anreicherung des Substrats mit Spurenelementen



# EINLEITUNG

---



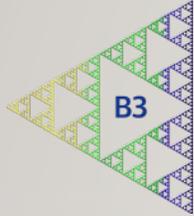
## Vorteile von Pflanzenkohle im Biogasreaktor

- Adsorption von Ammonium
- Ad-/Absorption von (Alkali-)Metallverbindungen
- Immobilisierung von Mikroorganismen
- Unterstützung des syntrophen Elektrontransfers (DIET)
- Anreicherung des Substrats mit Spurenelementen



# EINLEITUNG

---



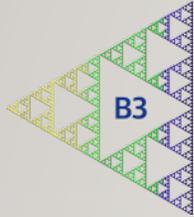
## Vorteile von Pflanzenkohle im Biogasreaktor

- Adsorption von Ammonium
- Ad-/Absorption von (Alkali-)Metallverbindungen
- Immobilisierung von Mikroorganismen
- Unterstützung des syntrophen Elektrontransfers (DIET)
- Anreicherung des Substrats mit Spurenelementen



# EINLEITUNG

---



## Adsorption von Ammonium an der Pflanzenkohle

- Stickstoffreiche Substrate (Proteine, Harnstoff, Ammonium,...)
- Gefahr einer Hemmung durch freies Ammoniak ( $\text{NH}_3$ )



Ammonium      Ammoniak

- Hemmkonzentration  $> 500 - 700 \text{ NH}_3 \text{ mg/L (2)}$

## Adsorption von Ammonium an Pflanzenkohle

### Funktionelle Gruppen

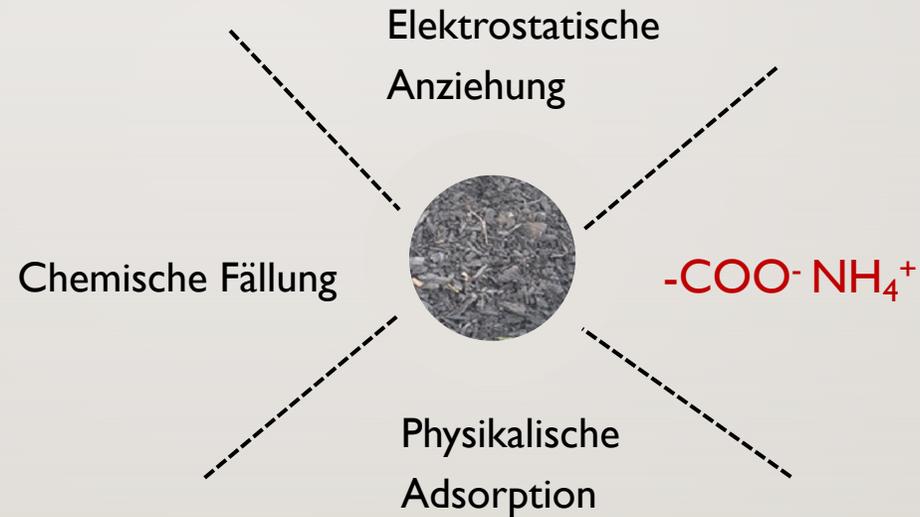
- OH
- COOH
- CO
- Metalle
- ...



## Adsorption von Ammonium an Pflanzenkohle

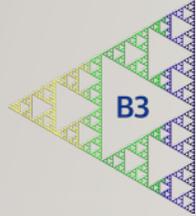
### Funktionelle Gruppen

- OH
- COOH
- CO
- Metalle
- ...



# EINLEITUNG

---



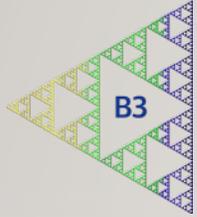
## Vorteile von Pflanzenkohle im Biogasreaktor

- Adsorption von Ammonium
- Adsorption von (Alkali-)Metallverbindungen
- Immobilisierung von Mikroorganismen
- Unterstützung des syntrophen Elektrontransfers (DIET)
- Anreicherung des Substrats mit Spurenelementen



# EINLEITUNG

---



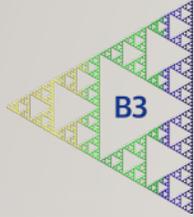
## Vorteile von Pflanzenkohle im Biogasreaktor

- Adsorption von Ammonium
- Adsorption von (Alkali-)Metallverbindungen
- Immobilisierung von Mikroorganismen
- Unterstützung des syntrophen Elektrontransfers (DIET)
- Anreicherung des Substrats mit Spurenelementen



# EINLEITUNG

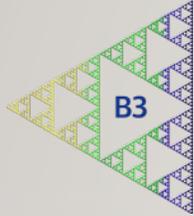
---



## Anreicherung des Substrates mit Spurenelementen

- Co, Fe, Mn, Mo, Ni und Zn sind essentiell für den Biogasbildungsprozess
- Diese Elemente sind beteiligt an enzymatischen Umsetzungen und Bestandteile von Coenzymen.

# EINLEITUNG



## Anreicherung des Substrates mit Spurenelementen

Empfohlene Dosierung an essentiellen Spurenelementen

Verbindung	g/L
Nitrilotriessigsäure	64
Eisen(II)-chlorid-4-hydrat	1
Mangan(II)-chlorid-4-hydrat	0,5
Kobalt(II)-chlorid-6-hydrat	0,9
Calcium(II)-chlorid-2-hydrat	0,5
Zinkchlorid	0,5
Kupfer(II)-chlorid	0,1
Borsäure	0,1
Dinatriummolybdat (-2-hydrat)	0,1
Nickel(II)-chlorid-6-hydrat	0,1
Natriumchlorid	5
Natriumselenit-5-hydrat	0,1
Summe	73

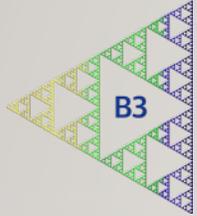
Spurenelementelösung DSMZ I 44, 5-fach konz. (6)

Empfohlene Dosierung: 10 mL pro kg oTS

DSMZ Leibniz Institut für Mikroorganismen und Zellkulturen

# EINLEITUNG

---



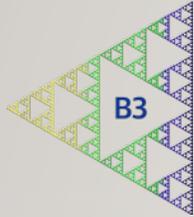
## Anreicherung des Substrates mit Spurenelementen

Empfohlene Dosierung an essentiellen Spurenelementen

Element	Substrat (6) mg/kg <sub>oTS</sub>
Co	2,23
Fe	2,81
Mn	1,39
Mo	0,40
Ni	0,25
Zn	2,40

# EINLEITUNG

---

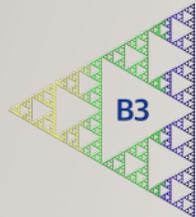


## Anreicherung des Substrates mit Spurenelementen

Empfohlene Dosierung an essentiellen Spurenelementen

Element	Substrat (6) mg/kg <sub>oTS</sub>
Co	2,23
Fe	2,81
Mn	1,39
Mo	0,40
Ni	0,25
Zn	2,40

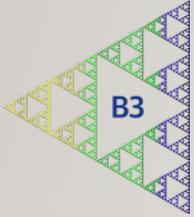
# EINLEITUNG



## Anreicherung des Substrates mit Spurenelementen

Empfohlene Dosierung an essentiellen Spurenelementen

Element	Substrat (6) mg/kg <sub>oTS</sub>	Reaktor (2) mg/L
Co	2,23	0,12
Fe	2,81	> 1 - 10
Mn	1,39	> 0,005 - 50
Mo	0,40	0,15
Ni	0,25	0,015
Zn	2,40	k.A.



Gärprodukte

# PRAXISTEST LGH

**Vergärung von pflanzenkohlehaltigem Festmist in der BGA der LGH**

---

Christiane Terboven, Janin Laumer, Dr. Matthias Plöchl

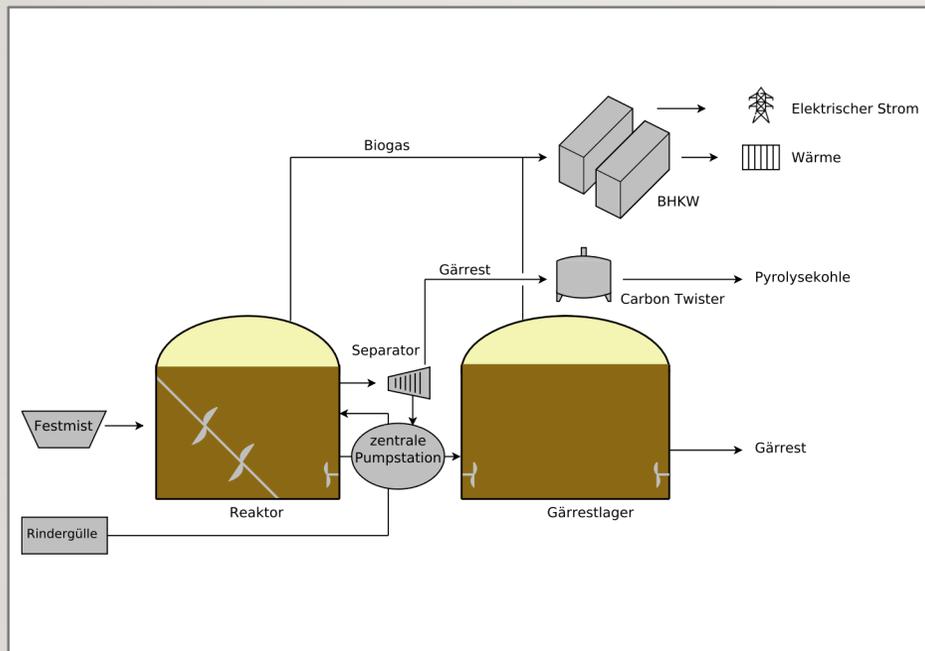


## Biogasanlage



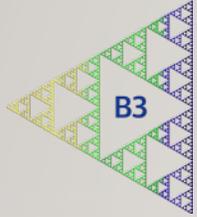
Inbetriebnahme:	2016
Bemessungsleistung:	223 kW <sub>el</sub>
Installierte Leistung:	446 kW <sub>el</sub>
Reaktor (netto):	3002 m <sup>3</sup>
Gärrestlager (netto):	4988 m <sup>3</sup>
Gasspeichervolumen:	2464 m <sup>3</sup>
Hersteller:	Consentis

## Biogasanlage



Inbetriebnahme:	2016
Bemessungsleistung:	223 kW <sub>el</sub>
Installierte Leistung:	446 kW <sub>el</sub>
Reaktor (netto):	3002 m <sup>3</sup>
Gärrestlager (netto):	4988 m <sup>3</sup>
Gasspeichervolumen:	2464 m <sup>3</sup>
Hersteller:	Consentis

# PRAXISTEST LGH



## Eingangsstoffe



### Testphase

Dauer: 60 Wochen

### Substratmischung

58,7 % Festmist

41,3 % Gülle

### Gehalt an Pflanzenkohle

Stall: 70 L/d (8,4 kg<sub>TS</sub>/d)

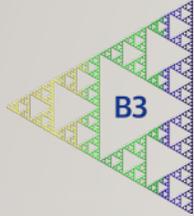
Festmist: 0,42 kg<sub>TS</sub>/t

Substrat: 0,25 kg<sub>TS</sub>/t



# PRAXISTEST LGH

---



## Eingangsstoffe

### Chemische Parameter der Substratmischung

TS-Gehalt:  $17,5 \pm 2,8\%$

oTS-Gehalt:  $15,3 \pm 2,9\%$

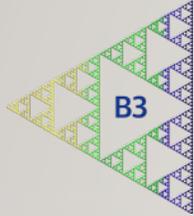
Ammoniumstickstoff:  $693 \pm 546$  mg/kg

Gesamtstickstoff:  $3662 \pm 1142$  mg/kg

Gärprodukte



# PRAXISTEST LGH

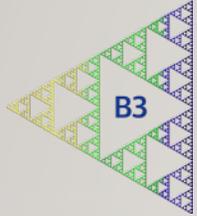


## Eingangsstoffe

Essentielle Spurenelemente in der Substratmischung

Eingangsstoffe	Co	Fe	Mn	Mo	Ni	Zn
Festmist	0,15	235,56	50,82	0,24	0,22	37,78
Gülle	0,01	13,66	2,79	0,01	1,39	8,25
Mischung	0,09	143,92	30,98	0,15	0,70	25,58

# PRAXISTEST LGH



## Eingangsstoffe

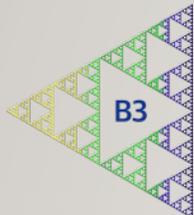
Essentielle Spurenelemente in der Substratmischung

Eingangsstoffe	Co	Fe	Mn	Mo	Ni	Zn
Festmist	0,15	235,56	50,82	0,24	0,22	37,78
Gülle	0,01	13,66	2,79	0,01	1,39	8,25
Mischung	0,09	143,92	30,98	0,15	0,70	25,58



oTS-Gehalt der Substratmischung: 15,3%

# PRAXISTEST LGH



## Eingangsstoffe

Essentiellen Spurenelemente in der Substratmischung

Element	Spurenelementelösung		Substrat- mischung mg/kg <sub>oTS</sub>
	Empfehlung mg/kg <sub>oTS</sub>	LGH mg/kg <sub>oTS</sub>	
Co	2,23	0,13	0,60
Mn	1,39	0,06	202
Mo	0,40	0,07	0,95
Ni	0,25	0,21	4,59
Zn	2,40	0,06	167

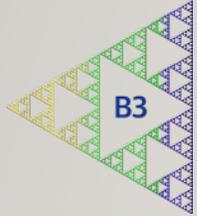
Kohle: 2,02 mg Co/kg<sub>TS</sub>

Reaktor: 0,16 mg Co/L

Co-Ausgleich (theoretisch) durch Kohle:

17 kg<sub>TS</sub> Kohle/t Festmist

# PRAXISTEST LGH



## Eingangsstoffe

Essentiellen Spurenelemente in der Substratmischung

Element	Spurenelementelösung		Substrat- mischung mg/kg <sub>oTS</sub>
	Empfehlung mg/kg <sub>oTS</sub>	LGH mg/kg <sub>oTS</sub>	
Co	2,23	0,13	0,60
Mn	1,39	0,06	202
Mo	0,40	0,07	0,95
Ni	0,25	0,21	4,59
Zn	2,40	0,06	167

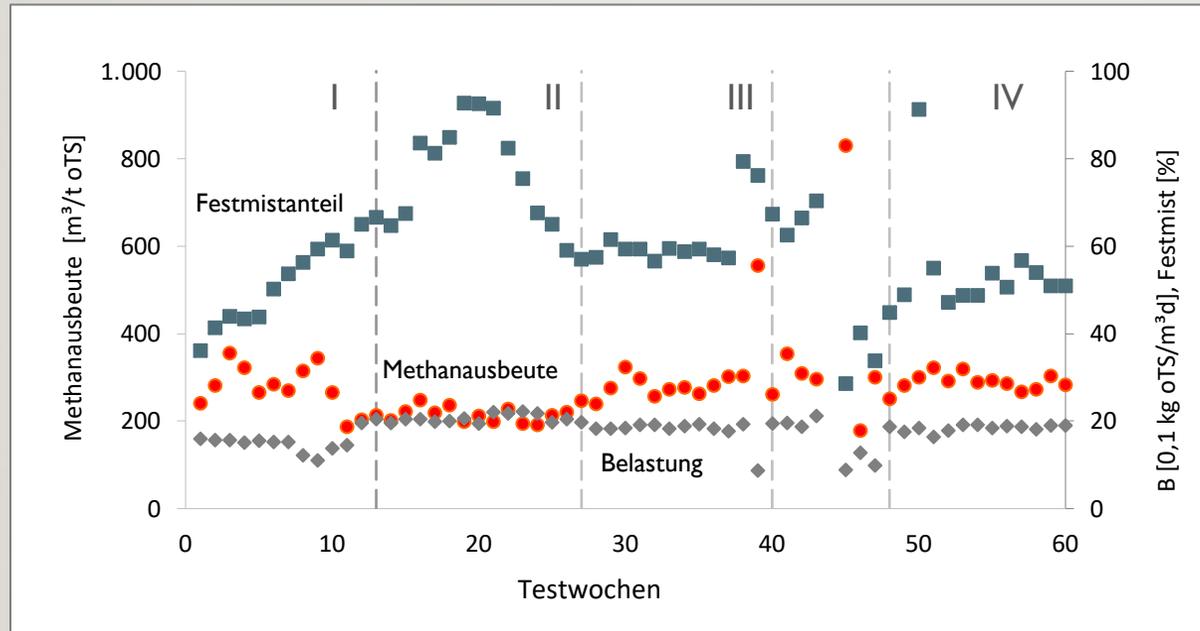
Kohle: 2,02 mg Co/kg<sub>TS</sub>

Reaktor: 0,16 mg Co/L

Co-Ausgleich (theoretisch) durch Kohle:

17 kg<sub>TS</sub> Kohle/t Festmist

## Methanbildung



### Testphase

Belastung: **1,79 kg<sub>oTS</sub>/m<sup>3</sup> d**  
 (~ 36 t/m<sup>3</sup> d)

Ausbeute: **276 m<sup>3</sup> Methan/t<sub>oTS</sub>**  
 (42 m<sup>3</sup> Methan/t)

### Erwartung gemäß FNR (2)

Ausbeute: **232 m<sup>3</sup> Methan/t<sub>oTS</sub>**  
 (27 m<sup>3</sup> Methan/t)

## Methanbildung

Vergleich der Zeiträume I bis IV (Testphase)

Zeit- raum	Dauer d	t <sub>M</sub> d	Belastung kg <sub>oTS</sub> /m <sup>3</sup> d	Substrat		Kohle kg <sub>Ts</sub> /m <sup>3</sup>	Methanausbeute m <sup>3</sup> /t <sub>oTS</sub>	Erwartung m <sup>3</sup> /t <sub>oTS</sub>	Abweichung %
				%Mist	%oTS				
I	91	86	1,54	50,6	13,2	0,25	277	232	20
II	98	94	2,05	74,3	19,3	0,53	224	231	-3
III	91	89	1,78	61,6	16,0	0,78	302	232	30
IV	91	75	1,84	52,4	13,7	1,19	300	232	29

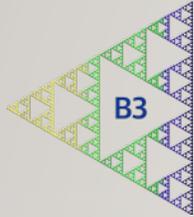
t<sub>M</sub>: mittlere hydraulische Verweilzeit

### Methanausbeute

Erwartung (FNR, 2)

Gülle: 110 - 360 m<sup>3</sup>/t<sub>oTS</sub>

Festmist: 130 - 330 m<sup>3</sup>/t<sub>oTS</sub>



## Methanbildung

Vergleich der Zeiträume I bis IV (Testphase)

Zeit- raum	Dauer d	t <sub>M</sub> d	Belastung kg <sub>oTS</sub> /m <sup>3</sup> d	Substrat		Kohle kg <sub>Ts</sub> /m <sup>3</sup>	Methanausbeute m <sup>3</sup> /t <sub>oTS</sub>	Erwartung m <sup>3</sup> /t <sub>oTS</sub>	Abweichung %
				%Mist	%oTS				
I	91	86	1,54	50,6	13,2	0,25	277	232	20
II	98	94	2,05	74,3	19,3	0,53	224	231	-3
III	91	89	1,78	61,6	16,0	0,78	302	232	30
IV	91	75	1,84	52,4	13,7	1,19	300	232	29

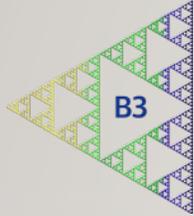
t<sub>M</sub>: mittlere hydraulische Verweilzeit

### Methanausbeute

Erwartung (FNR, 2)

Gülle: 110 - 360 m<sup>3</sup>/t<sub>oTS</sub>

Festmist: 130 - 330 m<sup>3</sup>/t<sub>oTS</sub>



## Methanbildung

Vergleich 2019 bis 2022 – Zeitraum III (Kalenderwoche I bis 23)

Jahr	$t_M$ d	Belastung $\text{kg}_{\text{OTS}}/\text{m}^3 \text{ d}$	Substrat $\%_{\text{OTS}}$	Methanausbeute $\text{m}^3 / \text{t}_{\text{OTS}}$	Erwartung $\text{m}^3 / \text{t}_{\text{OTS}}$	Abweichung %
2019	69	1,23	8,5	302	233	30
2020	84	1,44	12,0	303	232	31
2021	69	2,05	14,2	235	232	1
2022	89	1,78	16,0	302	232	30

$t_M$ : mittlere hydraulische Verweilzeit

### Methanausbeute

Erwartung (FNR, 2)

Gülle: 110 - 360  $\text{m}^3/\text{t}_{\text{OTS}}$

Festmist: 130 - 330  $\text{m}^3/\text{t}_{\text{OTS}}$

## Gärrest als Rohstoff für die Kohleherstellung

Parameter	Einheit	Gärrest	Kohle	Kohle/Gärrest
TS	%	32	48	-
oTS	% <sub>TS</sub>	87	52	0,6
N <sub>ges</sub>	mg/kg <sub>TS</sub>	17422	9693	0,6
P	mg/kg <sub>TS</sub>	8693	13580	1,6
K	mg/kg <sub>TS</sub>	14893	19497	1,3

## Gärrest als Rohstoff für die Kohleherstellung

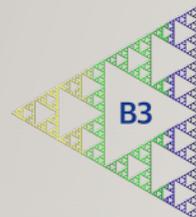
Element	Gärrest mg/kg <sub>TS</sub>	Kohle mg/kg <sub>TS</sub>	Kohle/Gärrest
Co	0,93	2,02	2,2
Fe	1786	5178	2,9
Mn	192	427	2,2
Mo	1,06	1,46	1,4
Ni	3,13	6,76	2,2
Zn	152	204	1,3

# PRAXISTEST LGH

---

## Fazit

- Ein Einfluss der Pflanzenkohle auf die Methanausbeute war nicht erkennbar.
- Der Mangel an Kobalt in der Substratmischung konnte mit einer Dosierung von 0,13 mg Co/kg<sub>oTS</sub> ausgeglichen werden.
- Im Vergleich zum Gärrest wird Kobalt in der Kohle angereichert mit einem Faktor von 2,2 bez. auf die TS.
- Theoretisch wäre ein Ausgleich des Kobaltmangels mit Gärrestkohle möglich bei einem Kohleanteil von 17 kg<sub>TS</sub>/t Festmist.

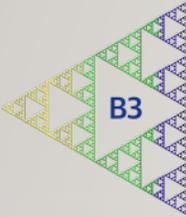


# LABORTEST I

---

## Fazit

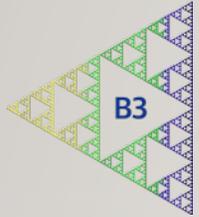
- Die Zugabe an Kohle führte kurzfristig zu einer Steigerung der Methanbildung und kann auf den Eintrag an Spurenelementen zurückgeführt werden.
- Erkennbar war die Immobilisierung von Mikroorganismen an der Kohle bei einer Verweilzeit von 2 Tagen an einer höheren Abbaurate.

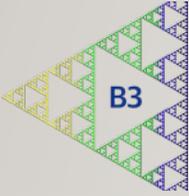


# LITERATUR UND BILDNACHWEISE

---

- (1) Greipmeier, M., 2002. Experimentelle Untersuchungen an einer zweistufigen fuzzy-geregelten anaeroben Abwasserreinigungsanlage mit neuartigem Festbettmaterial. Dissertation, TU Münden.
- (2) FNR 2016: Leitfaden Biogas. Von der Gewinnung zur Nutzung.
- (3) In Anlehnung an Almanassra, I.W., McKay, G., Kochkodan, V., Atieh, M.A., Al-Ansari, T., 2021. A State of the Art Review on Phosphate Removal from Water by Biochars. Chemical Engineering Journal, 409, 128211, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128211>.
- (4) <https://www.ecosia.org/images?q=Roggenfeld#id=1D4AD8CA8B5B310F786A556502948820894AEF4C>, 20.10.2021
- (5) <https://www.garant-kotte.de/product/ausbringtechnik/tankwagen-mit-kreiselpumpen-Technik/>, verändert, 20.10.2021
- (6) Abdoun, E., Weiland, P., 2009. Optimierung der Monovergärung von nachwachsenden Rohstoffen durch die Zugabe von Spurenelementen. Heft 68, Bornimer Agrartechnische Berichte.
- (7) Sanchez, E., Herrmann, C., Werner, M., Borja, R., 2021. Effect of organic loading rate on the anaerobic digestion of swine waste with biochar addition. Environmental Science and Pollution Research, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13428>.





Gärprodukte

# LABORTEST 2

## **Pflanzenkohle stabilisiert die anaerobe Vergärung**

---

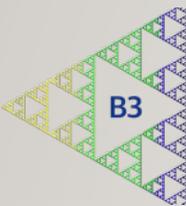
Matthias Plöchl, Janin Laumer, Christiane Terboven



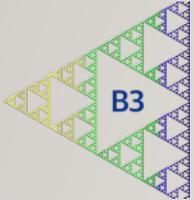
# VERSUCHSBEDINGUNGEN

---

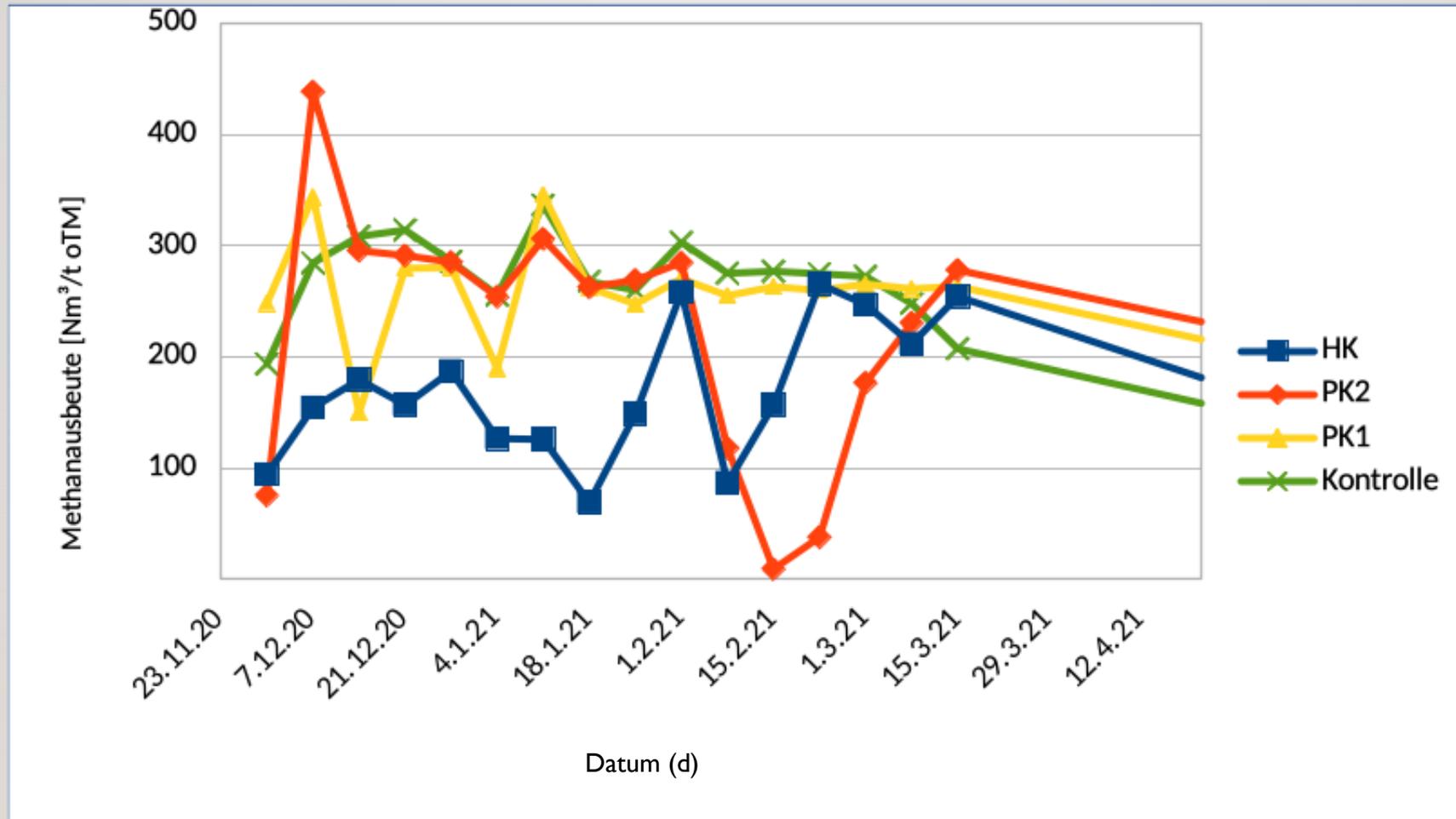
- 4 parallele quasi-kontinuierliche Versuche mit ca. 13 L Arbeitsvolumen:
  - **Versuchszeitraum Dezember 2020 bis April 2021**
    1. Kontrolle, tägliche Fütterung mit 34 g HTK und 166 g Schweinegülle
    2. PK1, tägliche Fütterung wie Kontrolle + 13,3 g<sub>FM</sub> PK1/w
    3. PK2, tägliche Fütterung wie Kontrolle + 12,2 g<sub>FM</sub> PK2/w
    4. HK, tägliche Fütterung wie Kontrolle + 14,4 g<sub>FM</sub> HK/w
  - **Versuchszeitraum April 2021 bis Januar 2022, wechselnde Fütterungsmengen**
    1. Kontrolle, tägliche Fütterung mit Futtermischung 17 % HTK und 83 % Schweinegülle
    2. PK1, tägliche Fütterung mit Futtermischung 17 % HTK und 83 % Schweinegülle + 15,5 g PK1/kg Fu.-Mi.
    3. PK2, tägliche Fütterung mit Futtermischung 17 % HTK und 83 % Schweinegülle + 22 g PK2/kg Fu.-Mi.
    4. HK, tägliche Fütterung mit Futtermischung 17 % HTK und 83 % Schweinegülle + 24 g HK/kg Fu.-Mi.



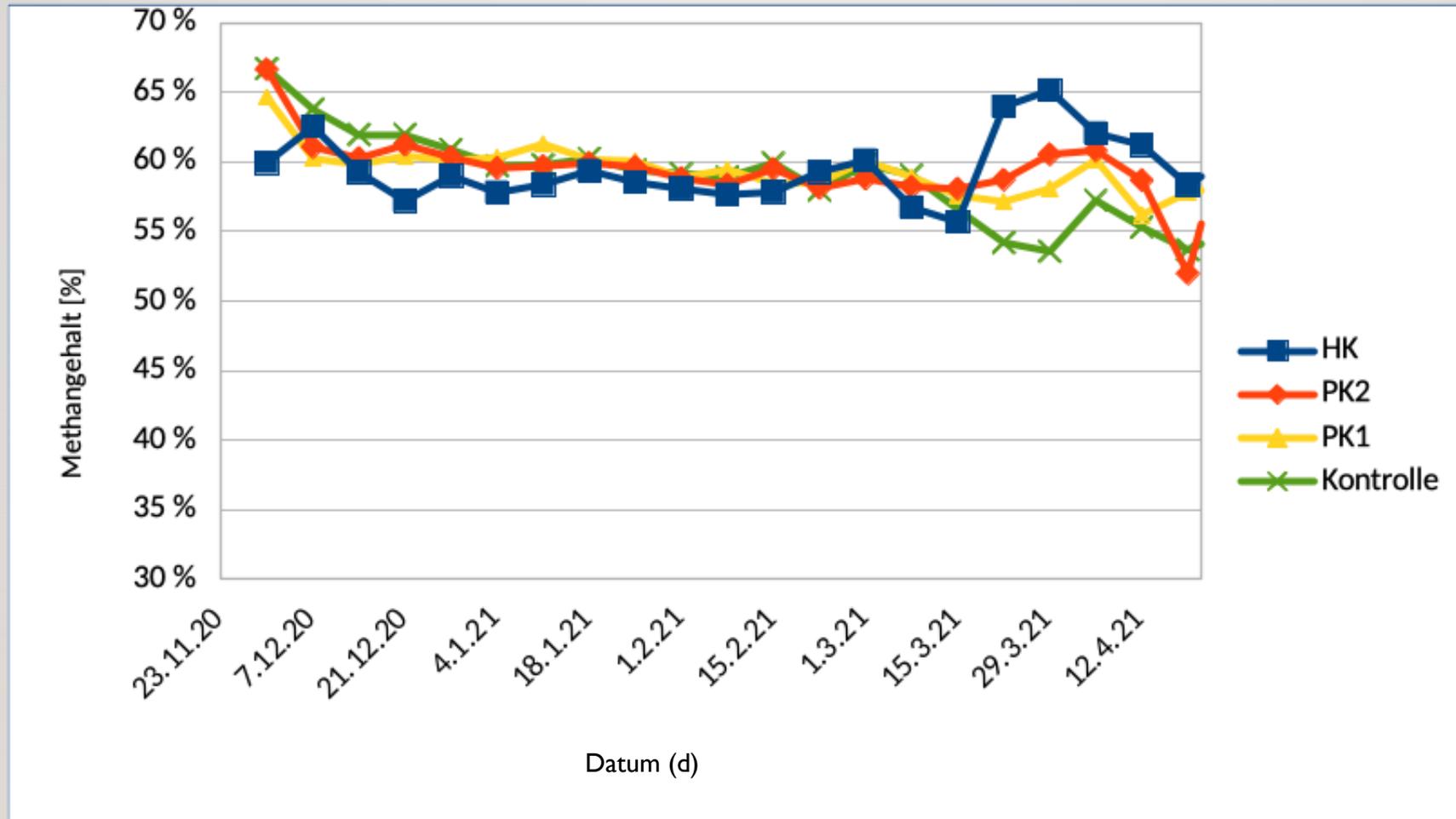
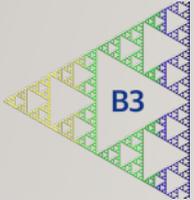
# ERGEBNISSE PHASE I



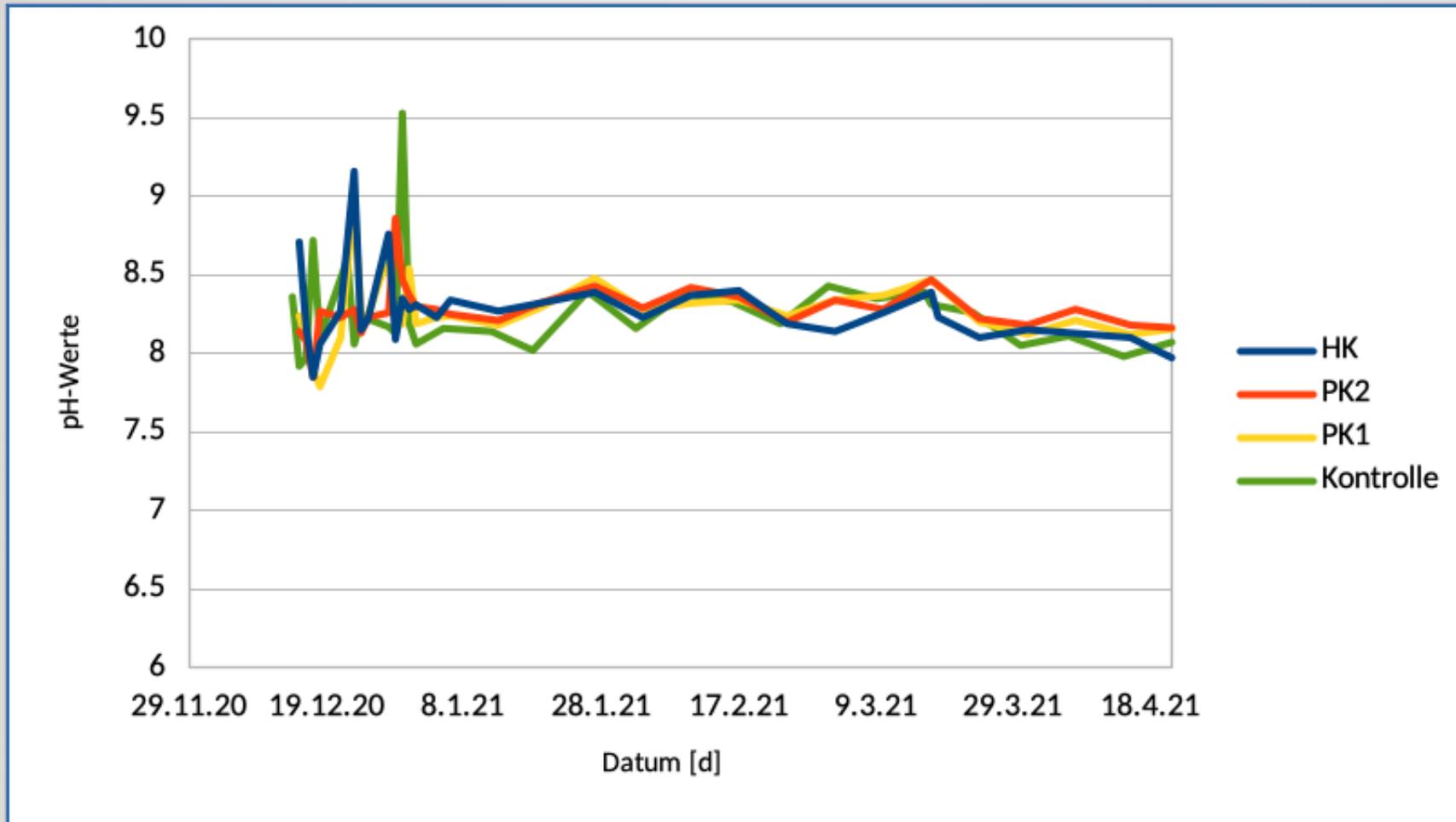
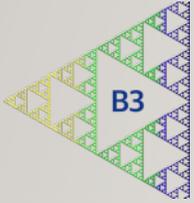
Gärprodukte



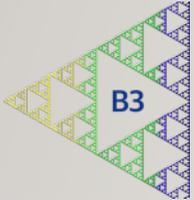
# ERGEBNISSE PHASE I



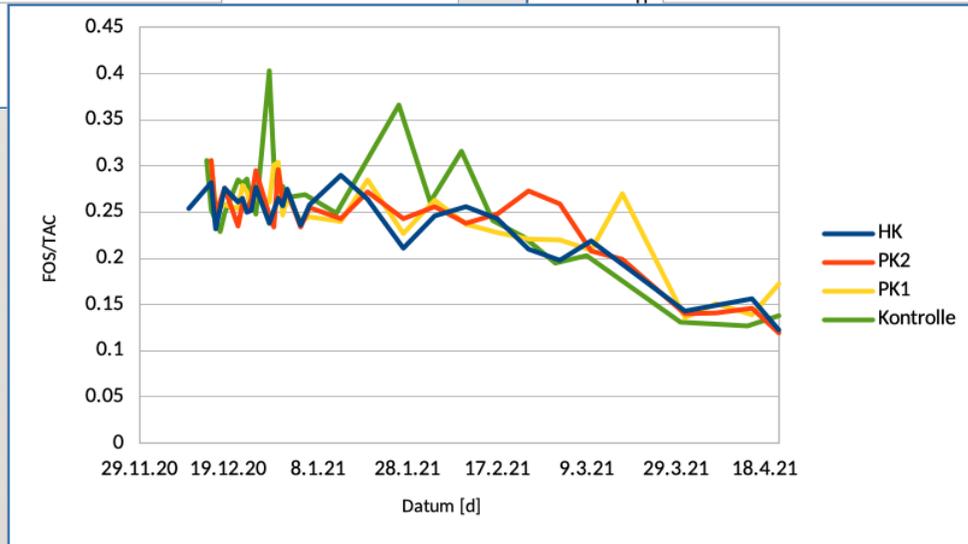
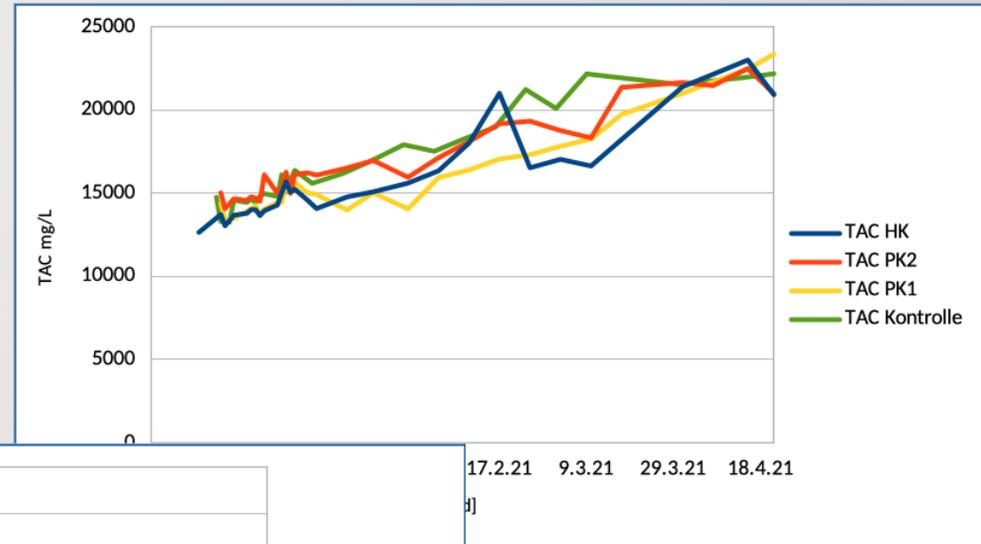
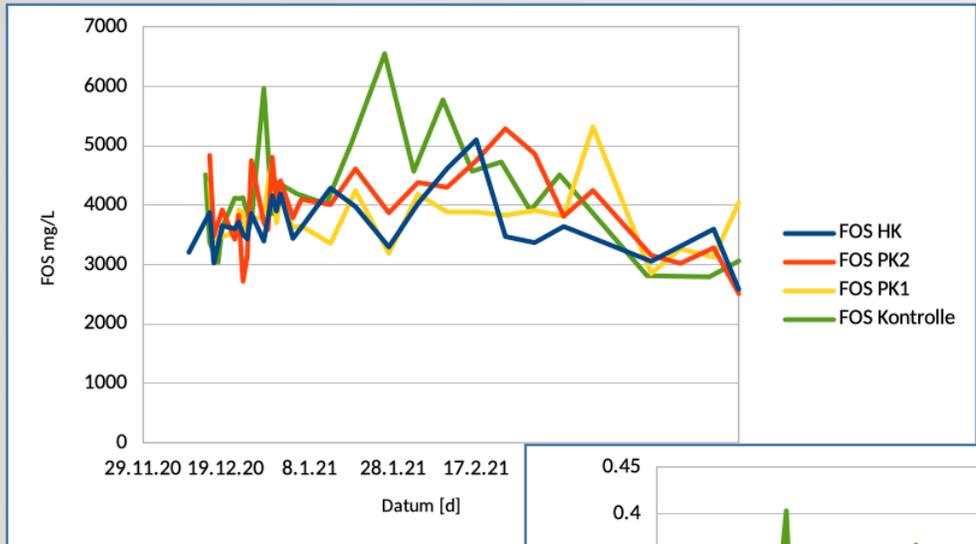
# ERGEBNISSE PHASE I



# ERGEBNISSE PHASE I

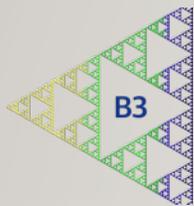


Gärprodukte



# ERGEBNISSE PHASE I

## ZUSAMMENSETZUNG REAKTORABLÄUFE



Gärprodukte

Datum	Kontrolle						S
	pH	TM	OTM	Nges	NH4-N P	S	
g/kg FM							
17.12.20	8,4	38	20,6	5,8	3,45	0,132	
28.12.20	8,4	43	25,5	4,99	3,11	0,288	0,409
29.01.21	8,3	34	19,82	3,57	2,79	0,187	0,333
05.02.21							
12.02.21	8,3	38	21,96	3,95	3,4	0,092	0,369
19.02.21							
26.02.21	8,5	16	7,28	3,41	3,22	0,045	0,186
05.03.21	8,4	16	7,79	3,66	3,5	0,051	0,179
12.03.21	8,4	14	6,82	3,65	3,5	0,043	0,155

Datum	PK2						S
	pH	TM	OTM	Nges	NH4-N P	S	
g/kg FM							
17.12.20	8,5	31	17,21	5,35	3,27	0,1	
28.12.20	8,8	46	28,2	3,84	2,92	0,295	0,428
29.01.21	8,8	17	7,97	2,62	2,31	0,041	0,187
05.02.21							
12.02.21							
19.02.21							
26.02.21	8,6	18	8,39	3,31	3,26	0,05	0,209
05.03.21	8,6	18	8,57	3,53	3,33	0,049	0,205
12.03.21	8,5	9	4,28	3,49	3,38	0,024	0,096

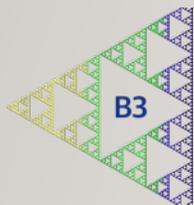
Datum	PK1						S
	pH	TM	OTM	Nges	NH4-N P	S	
g/kg FM							
17.12.20	8,6	41	21,89	5,08	3,76	0,135	
28.12.20	8,4	40	23,88	3,78	3,14	0,267	0,372
29.01.21	8,4	40	23,88	3,78	3,14	0,267	0,372
05.02.21	8,3	17	7,85	2,91	2,75	0,056	0,19
12.02.21	8,4	15	6,83	2,93	2,76	0,053	0,159
19.02.21	8,3	15	7,46	2,93	2,84	0,048	0,161
26.02.21	8,6	16	7,26	2,93	2,77	0,049	0,182
05.03.21	8,7	18	8,96	3,04	2,81	0,05	0,191
12.03.21	8,5	18	8,57	3,13	3,01	0,056	0,193

Datum	HK						S
	pH	TM	OTM	Nges	NH4-N P	S	
g/kg FM							
17.12.20	8,6	44	25,39	4,95	3,66	0,128	
28.12.20	8,6	37	22,98	3,56	3,1	0,204	0,359
29.01.21							
05.02.21							
12.02.21							
19.02.21							
26.02.21	8,6	19	9,29	3,48	3,15	0,067	0,224
05.03.21	8,6	17	8,04	3,45	3,2	0,05	0,207
12.03.21	8,7	17	8,35	3,09	3,09	0,055	0,201



# ERGEBNISSE PHASE I

## ZUSAMMENSETZUNG SCHLAMM

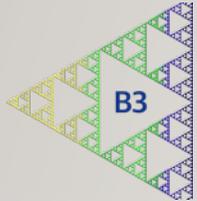


Gärprodukte

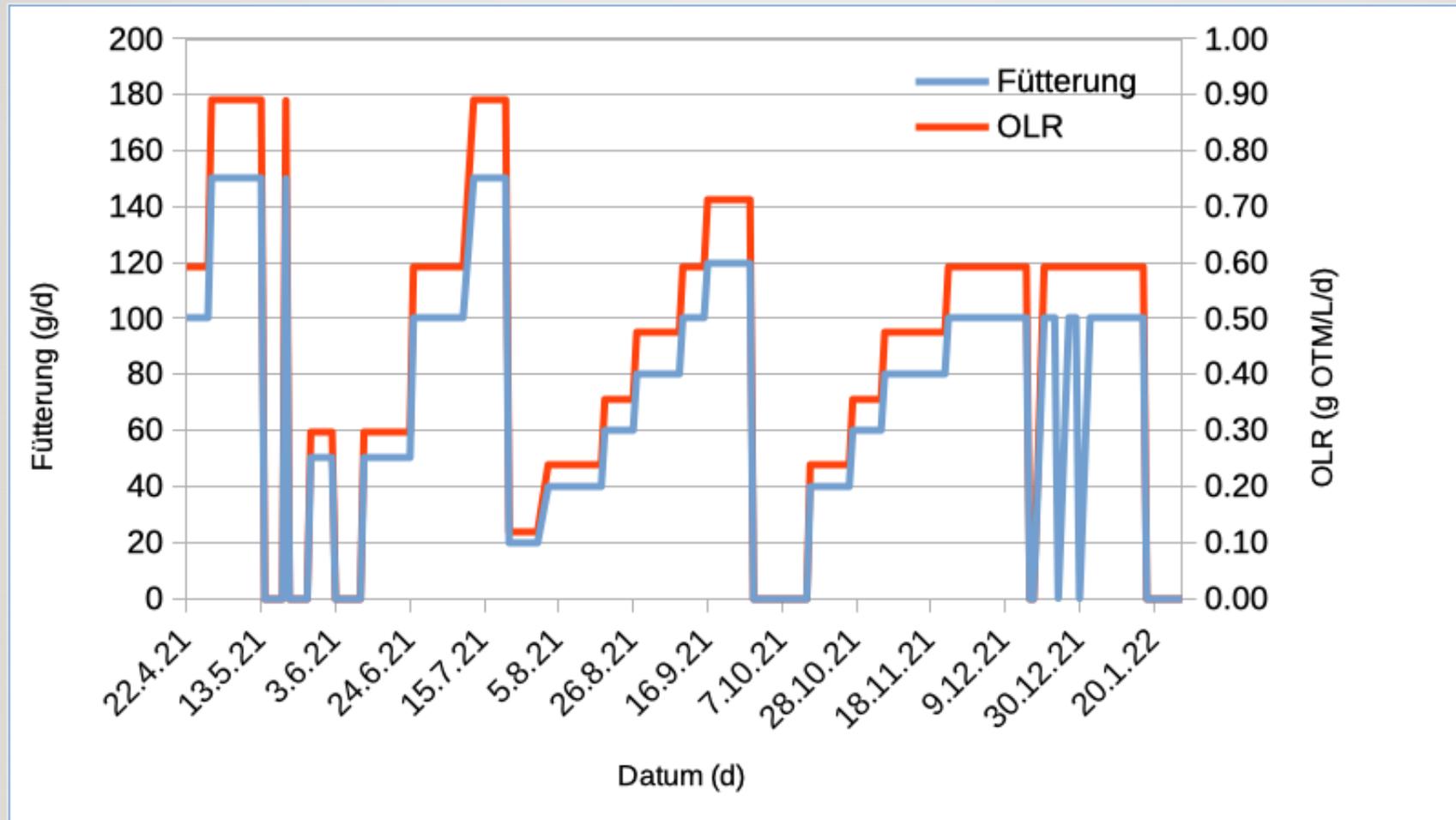
Datum	pH	TM	OTM	g/kg FM				mg/kg FM								
				Nges	NH4-N	P	S	Mn	Mo	Fe	Co	Se	Sn	Cu	Ni	Zn
13.5.21		184	99,5	7,60			1,03	110	1,10	576	1,23	0,520	1,41	10,4	1,62	41,2
17.12.20		224		6,99			1,68	120	0,92	1230	0,430	0,336	8,38	31,6	3,92	62,7
15.1.21		250		7,33			1,88	130	1,05	1170	0,373	0,400	0,83	25,8	2,19	62,3
13.5.21		237	113,3	7,28			1,23	150	1,19	884	1,14	0,474	1,38	14,4	1,84	61,6
17.12.20		263		8,52			1,89	170	0,99	1670	0,560	0,395	1,87	35,2	2,44	71,3
15.1.21		299		9,15			2,18	200	1,23	1600	0,514	0,449	1,40	35,3	2,48	84,0
13.5.21		207	106,0	7,33			1,06	120	0,94	818	0,884	0,331	2,04	15,8	1,93	59,8
17.12.20		365		9,23			2,15	220	1,23	2040	0,712	0,475	3,12	41,6	4,67	88,0
15.1.21		390		5,50			2,77	187	1,69	1993	0,581	0,585	2,31	41,7	2,93	97,5



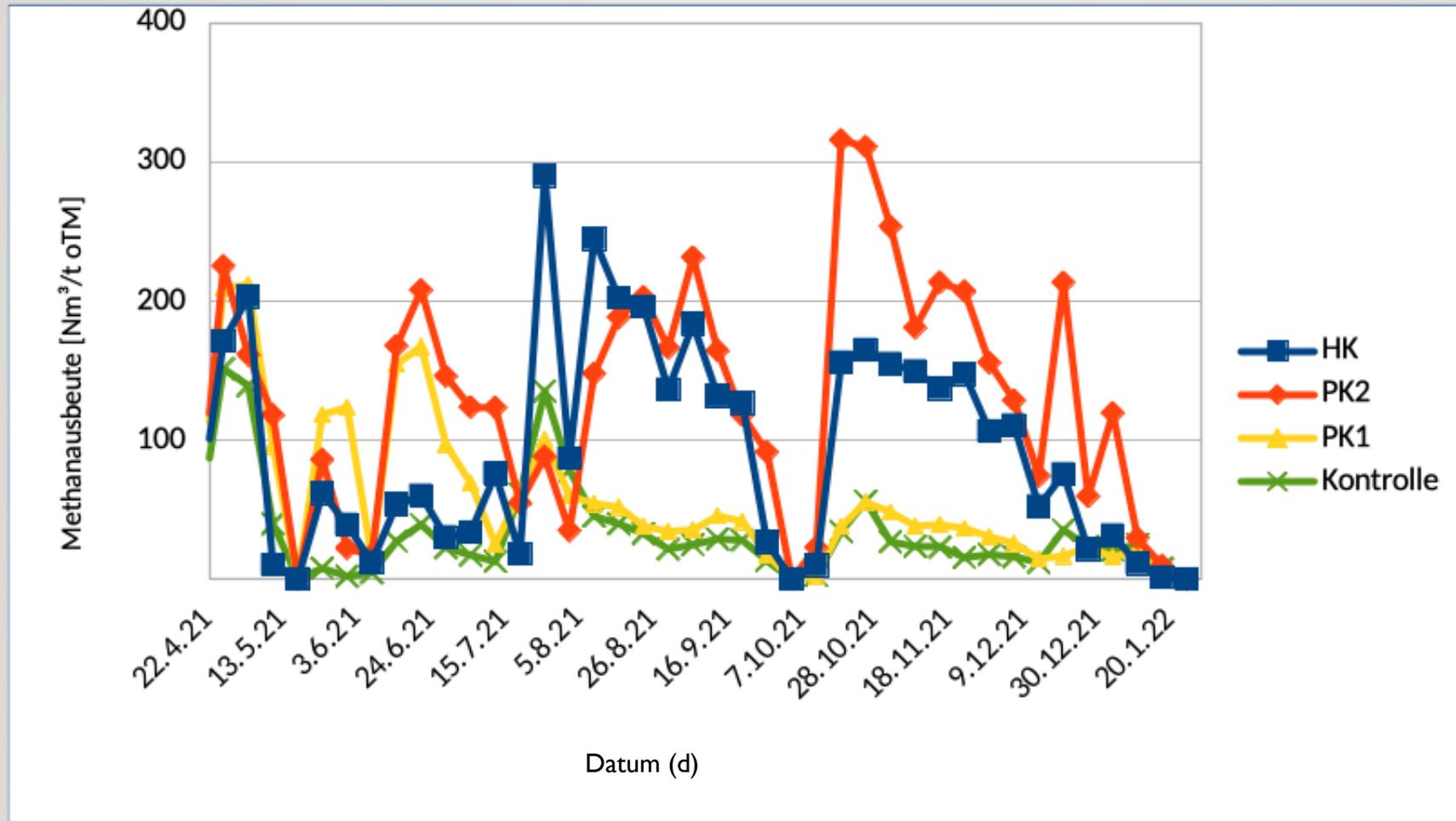
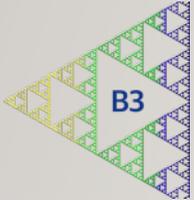
# FÜTTERUNG IN PHASE 2



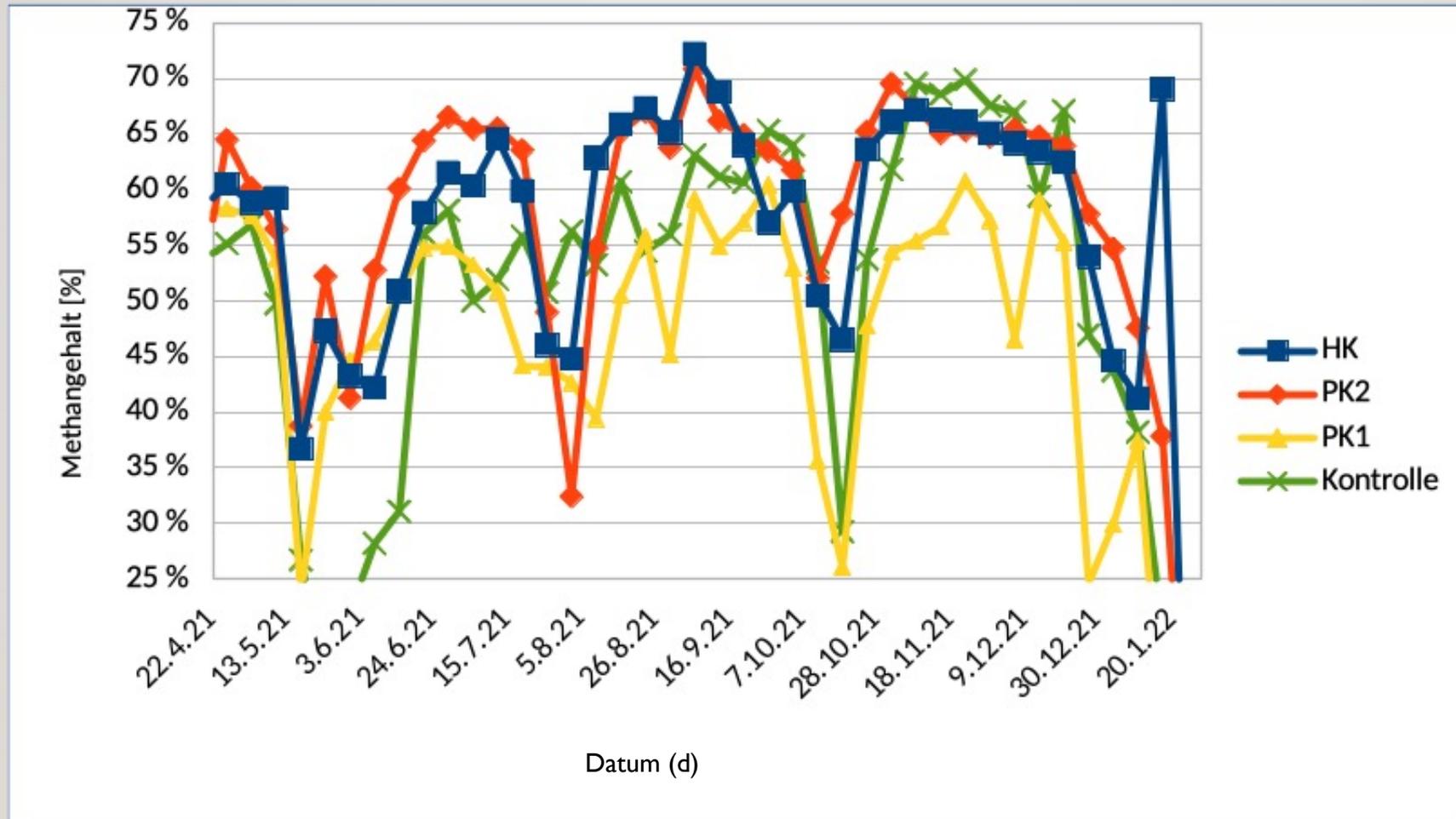
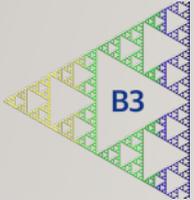
Gärprodukte



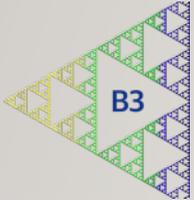
# ERGEBNISSE PHASE 2



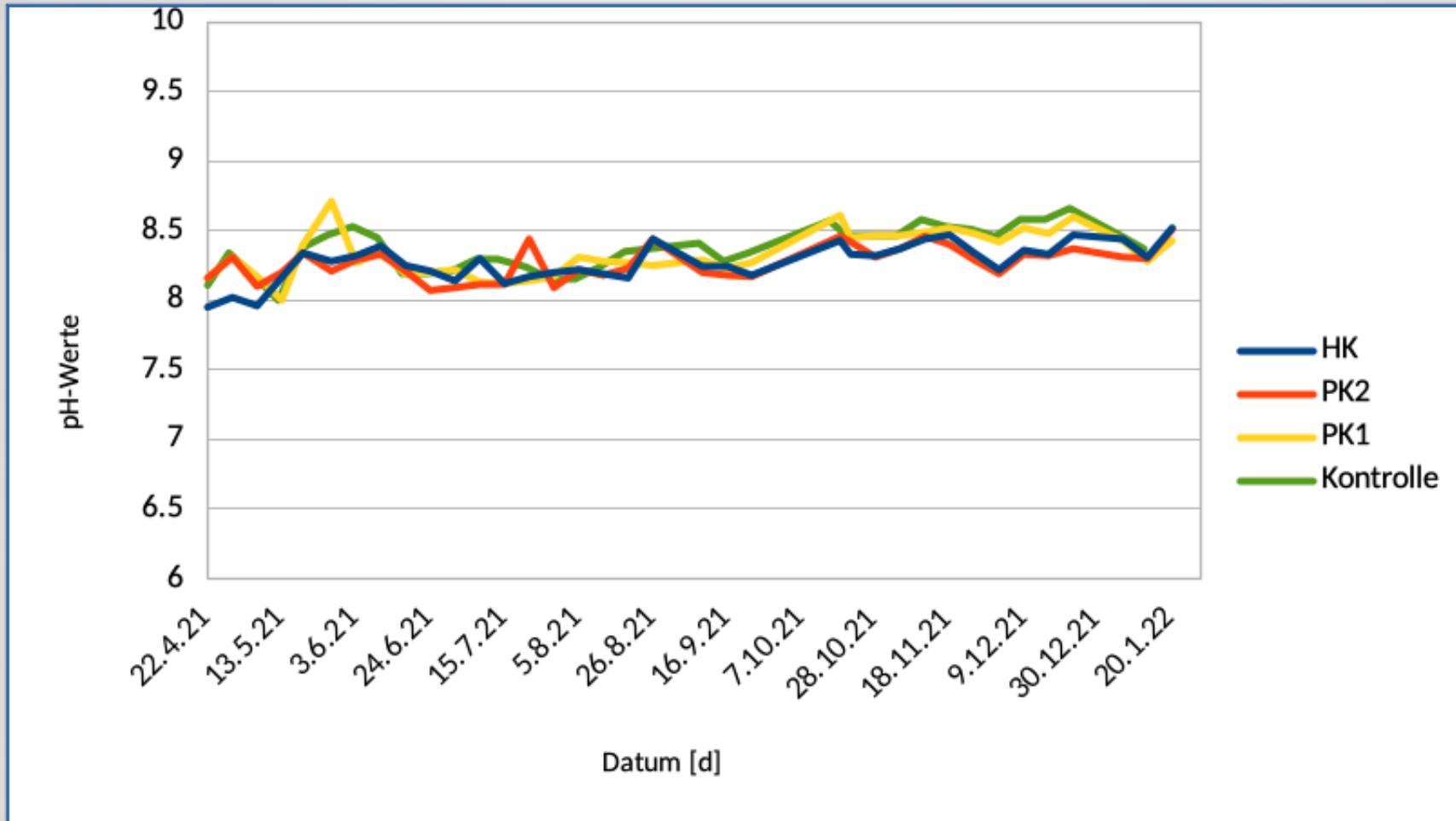
# ERGEBNISSE PHASE 2



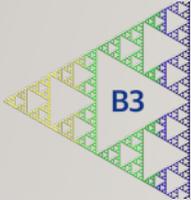
# ERGEBNISSE PHASE 2



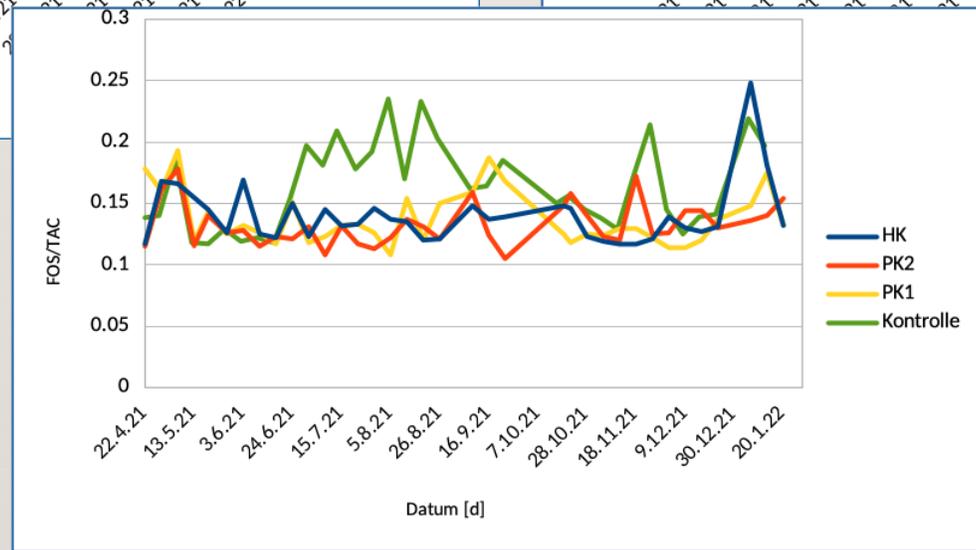
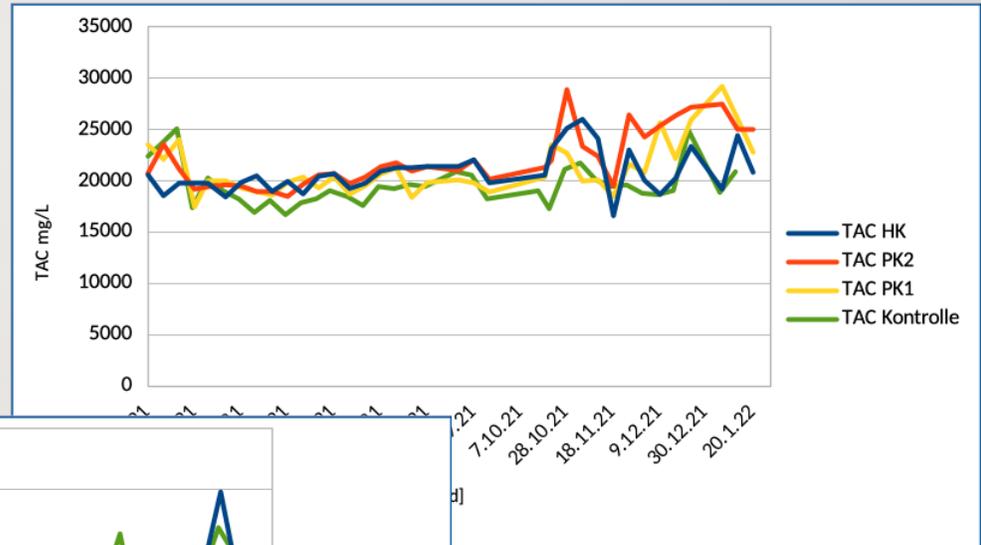
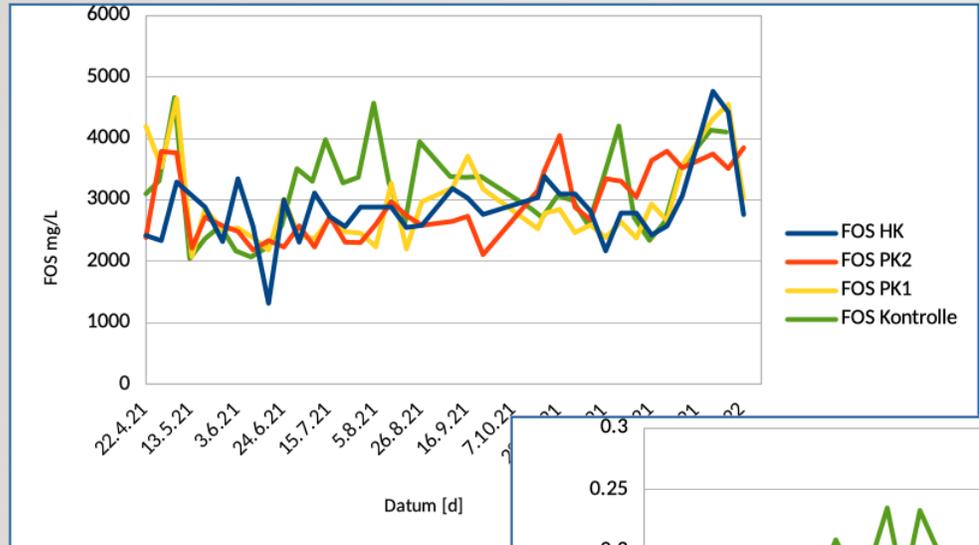
Gärprodukte



# ERGEBNISSE PHASE 2

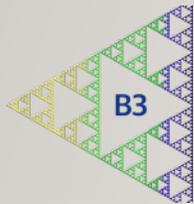


Gärprodukte



# ERGEBNISSE PHASE 2

## ZUSAMMENSETZUNG REAKTORABLÄUFE



Gärprodukte

Datum	Kontrolle						
	pH	TM	OTM	Nges	NH4-N P	S	
	g/kg FM						
07.06.21	7,8	21,0	13,5	2,10	1,44	0,026	0,139
10.08.21	8,7	17,0	8,8	4,18	3,66	0,048	0,187
16.09.21	8,4	28,0	16,1	4,54	4,03	0,137	0,302
11.10.21	8,3	24,0	12,6	4,56	4,03	0,108	0,298
11.10.21	8,3	30,0	16,7	4,50	3,93	0,136	0,348
12.11.21	8,5	36,0	21,6	4,46	4,14	0,199	0,400
15.12.21	8,6	36,0	21,3	5,00	4,25	0,212	0,612
15.02.22	8,7	36	21,6	4,82	4,25	0,229	0,468

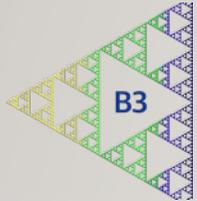
Datum	PK2						
	pH	TM	OTM	Nges	NH4-N P	S	
	g/kg FM						
07.06.21	7,8	21,0	13,5	2,100	1,441	0,026	0,139
10.08.21	8,1	17,0	8,6	3,540	3,660	0,041	0,194
16.09.21	8,5	32,0	18,3	4,768	4,224	0,175	0,336
11.10.21	8,1	27,0	14,1	5,049	4,428	0,131	0,316
11.10.21	8,0	32,0	18,4	4,768	4,256	0,149	0,346
12.11.21	8,3	50,0	31,8	4,940	4,530	0,306	0,445
15.12.21	8,2	39,0	23,2	4,875	4,524	0,205	0,382
15.02.22	8,6	48,0	30,3	4,896	4,219	0,278	0,571

Datum	PK1						
	pH	TM	OTM	Nges	NH4-N P	S	
	g/kg FM						
07.06.21	7,8	21,0	13,5	2,10	1,44	0,026	0,139
10.08.21	8,6	18,0	9,77	3,69	3,40	0,042	0,164
16.09.21	8,4	30,0	17,6	4,98	4,14	0,179	0,276
11.10.21	8,3	27,0	14,4	4,67	4,24	0,133	0,294
11.10.21	8,3	33,0	19,6	4,75	4,13	0,161	0,330
12.11.21	8,5	33,0	19,3	4,72	4,19	0,151	0,393
15.12.21	8,5	32,0	18,5	5,09	4,35	0,150	0,410
15.02.22	8,6	44,0	27,8	5,19	3,95	0,233	0,590

Datum	HK						
	pH	TM	OTM	Nges	NH4-N P	S	
	g/kg FM						
07.06.21	7,8	21,0	13,5	2,10	1,44	0,026	0,139
10.08.21							
16.09.21	8,2	41,0	25,4	4,84	4,10	0,270	0,390
11.10.21	8,1	24,0	12,5	4,39	4,06	0,101	0,259
11.10.21	8,1	34,0	20,2	4,73	4,15	0,183	0,343
12.11.21	8,3	33,0	19,5	4,88	4,22	0,169	0,300
15.12.21	8,3	29,0	16,1	4,41	4,26	0,136	0,293
15.02.22	8,9	42,0	26,2	4,62	3,80	0,217	0,475

# ERGBNISSE PHASE 2

## ZUSAMMENSETZUNG SCHLAMM



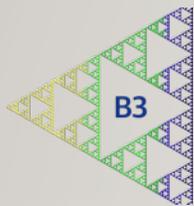
Gärprodukte

Datum	pH	TM	OTM	Nges	NH4-N P	S	Mn	Mo	Fe	Co	Se	Sn	Cu	Ni	Zn
				g/kg FM			mg/kg/FM								
10.08.21	7,50	115			0,741	0,85	91	0,68	258	0,117	0,207	<0.115	13,7	0,8	82,6
15.12.21	8,60	75	38,3	4,92	4,703	0,313	51	0,17	143	0,05	0,090	<0.075	2,9	0,42	22,9
10.08.21	7,50	79			0,396	0,569	51	0,39	182	0,081	0,134	<0.079	8,45	0,57	50,5
15.12.21	8,50	179	71,6	4,98	4,386	1,14	120	0,46	780	0,192	0,143	<0.179	9,36	1,13	50,1
10.08.21	7,50	86			0,513	0,59	64	0,47	254	0,104	0,155	<0.086	10,1	0,69	58,7
15.12.21	8,20	218	76,74	5,14	4,295	1,493	140	0,60	1000	0,244	0,170	<0.218	13	1,5	66,5
10.08.21	7,50	112			0,564	0,88	76	0,55	239	0,113	0,179	<0.112	11,2	0,75	68,0
15.12.21	8,10	218	106,6	5,78	4,273	0,409	94	0,28	780	0,172	0,126	<0.218	4,67	0,89	30,5

# FAZIT

---

- direkte Zugabe von PK1 und PK2 in den Fermenter führt zu besseren Ausbeuten und stabilerem Prozessverlauf
- bei HK scheint die Zugabe zur Futtermischung vorteilhafter zu sein
  - vermutlich eine leichtere Trennung zwischen Flüssigphase zur Fütterung und HK, die oft aufschwimmt und stückiger ist als die PKs
  - beide untersuchten PKs haben offensichtlich ein viel höheres Potential Flüssigkeit aufzunehmen, quellen auf und schweben in der Futterlösung, somit wird immer etwas Kohle mit in den Reaktor gefüttert
- deutlicher Unterschied zwischen den beiden PKs
  - während Phase 1 zeigt PK2 bessere Wirkung als die PK1
  - wird in Phase 2 noch deutlicher
- keine Auswirkung auf den Stickstoff- und Ammoniumgehalt
- deutlich ist die Aufnahme von Schwefel, Phosphor und den meisten Spurenelementen sowohl bei PK-Zugabe zum Reaktor oder zur Futtermischung
- Kohle sollte vor Zugabe mit Spurenelementen beladen
- PK gut geeignet falls erhöhte Schwefel- und/oder Phosphorgehalt in den Einsatzstoffen



# LITERATUR UND BILDNACHWEISE

---

- (1) Greipmeier, M., 2002. Experimentelle Untersuchungen an einer zweistufigen fuzzy-geregelten anaeroben Abwasserreinigungsanlage mit neuartigem Festbettmaterial. Dissertation, TU Münden.
- (2) FNR 2016: Leitfaden Biogas. Von der Gewinnung zur Nutzung.
- (3) In Anlehnung an Almanassra, I.W., McKay, G., Kochkodan, V., Atieh, M.A., Al-Ansari, T., 2021. A State of the Art Review on Phosphate Removal from Water by Biochars. Chemical Engineering Journal, 409, 128211, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128211>.
- (4) <https://www.ecosia.org/images?q=Roggenfeld#id=1D4AD8CA8B5B310F786A556502948820894AEF4C>, 20.10.2021
- (5) <https://www.garant-kotte.de/product/ausbringtechnik/tankwagen-mit-kreiselpumpen-Technik/>, verändert, 20.10.2021
- (6) Abdoun, E., Weiland, P., 2009. Optimierung der Monovergärung von nachwachsenden Rohstoffen durch die Zugabe von Spurenelementen. Heft 68, Bornimer Agrartechnische Berichte.
- (7) Sanchez, E., Herrmann, C., Werner, M., Borja, R., 2021. Effect of organic loading rate on the anaerobic digestion of swine waste with biochar addition. Environmental Science and Pollution Research, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13428>.

