



# EINFLUSS GÄRRESTEBASIERTER PYROLYSEKOHLE AUF EMISSIONEN VON RINDERFESTMIST

---

FRANKENFÖRDER FORSCHUNGSGESELLSCHAFT MBH

M.SC. ANNA-LUISE BÖHM

Abschlussveranstaltung des Projekts

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

Seddiner See, 30. März 2023

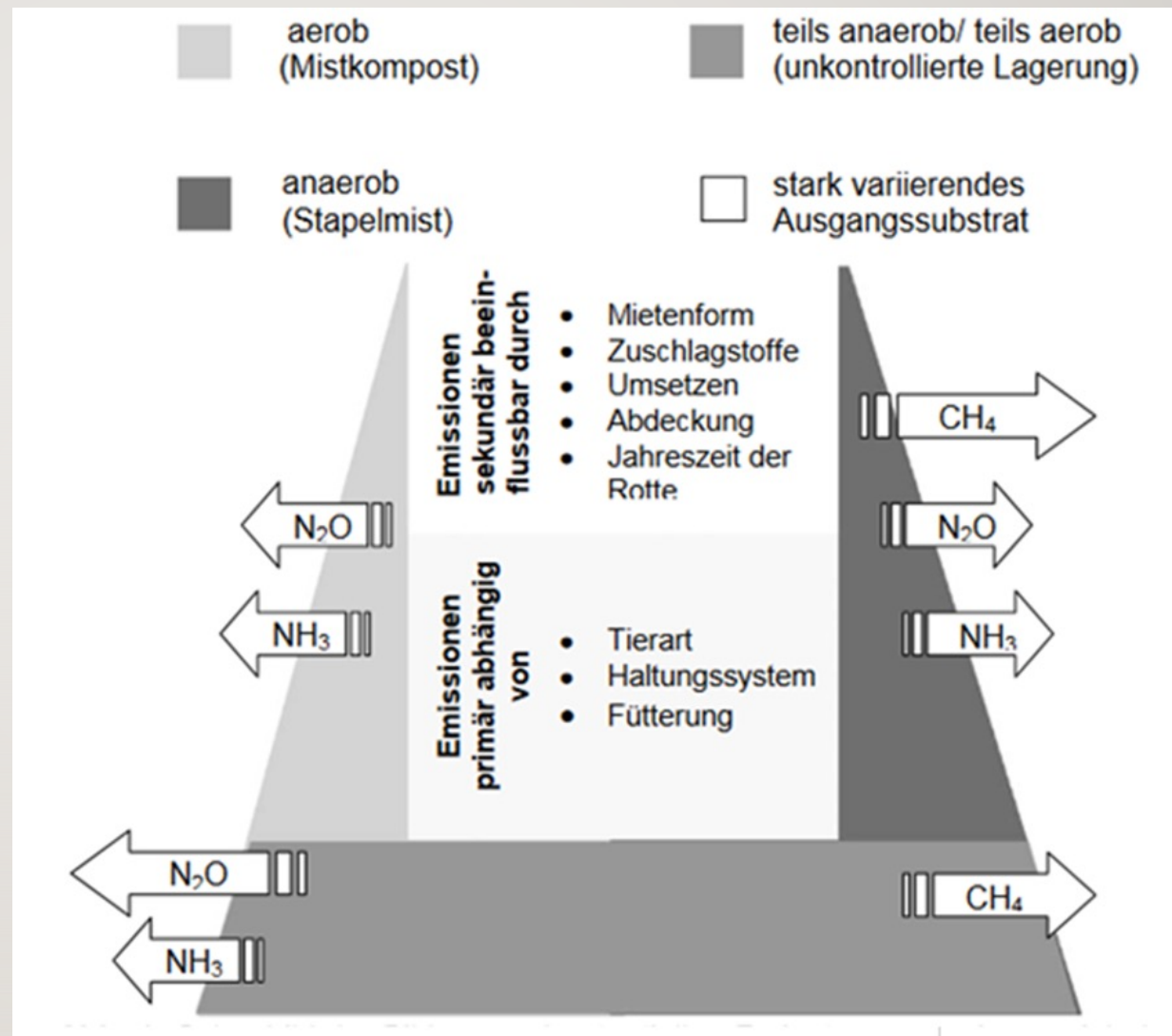
Gärprodukte





Abb. 1: Bildung und potenzielle Freisetzung von Ammoniak, Lachgas und Methan

(Pfeillänge steht für die potenziell emittierte Menge), sowie Parameter zur Emissionsregulierung bei unterschiedlichen Aufbereitungsverfahren von Festmist. (OLTMANN ET AL. 2004)





Gärprodukte

Tab I:  
**Versuchsanordnung**

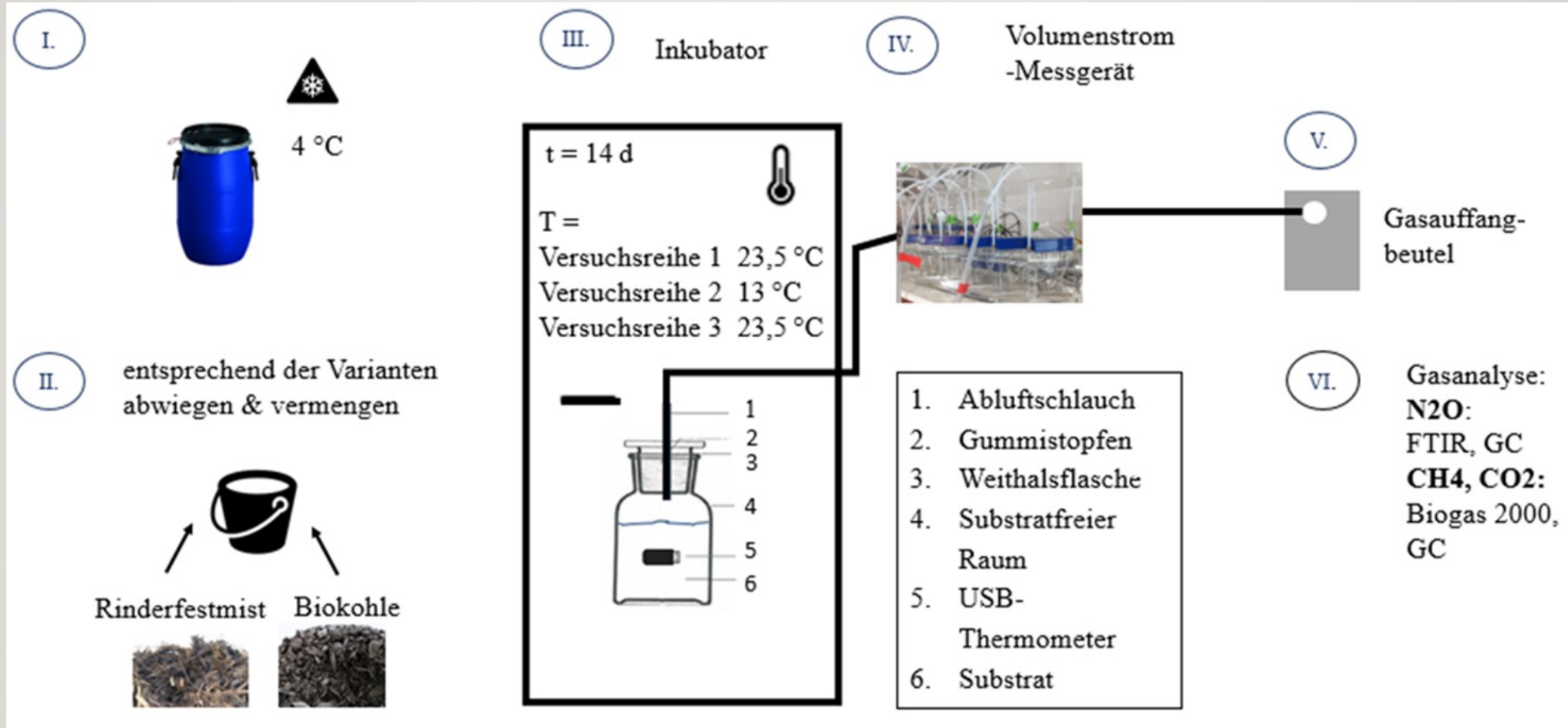
- RM = Rinderfestmist
- BK = Biokohle
- BKg = gärrestbasierte Pyrolysekohle
- BKa = Aktivkohle
- FM = Frischmasse
- TM = Trockenmasse

Versuchsreihe	Temp. [°C]	Datum	Substrate	Variante	Substratmenge [g]				BK(TM)/RM(TM) [%]	n <sub>i</sub> *
					RM		BK			
					FM	(TM)	FM	(TM)		
1	23,5	13.03.- 27.03. 2019	RM/BKg TM: 27,62 % / 45,05 %	0	450	(124,3)	0	0	0	4
				5	450	(124,3)	13,8	(6,2)	5	4
				25	450	(124,3)	69,0	(31,1)	25	4
				25o	450	(124,3)	69,0	(31,1)	25	4
				50	450	(124,3)	138,0	(62,2)	50	4
				Kontrolle	0	0	276	(124,3)	100	3
2	13	29.03.- 12.04. 2019	RM/BKgTM: 27,62 % / 45,05 %	0	450	(124,3)	0	0	0	4
				5	450	(124,3)	13,8	(6,2)	5	4
				25	450	(124,3)	69,0	(31,1)	25	4
				25o	450	(124,3)	69,0	(31,1)	25	4
				50	450	(124,3)	138,0	(62,2)	50	4
				Kontrolle	0	0	276	(124,3)	100	3
3	23,5	18.04.- 02.05. 2019	RM/BK <sub>a</sub> TM: 28,19 % / 95,34 %	0	450	(126,8)	0	0	0	4
				5	450	(126,8)	6,7	(6,3)	5	4
				25	450	(126,8)	33,3	(31,7)	25	4
				25o	450	(126,8)	33,3	(31,7)	25	4
				50	450	(126,8)	66,5	(63,4)	50	4
				Kontrolle	0	0	133,0	(126,8)	100	3

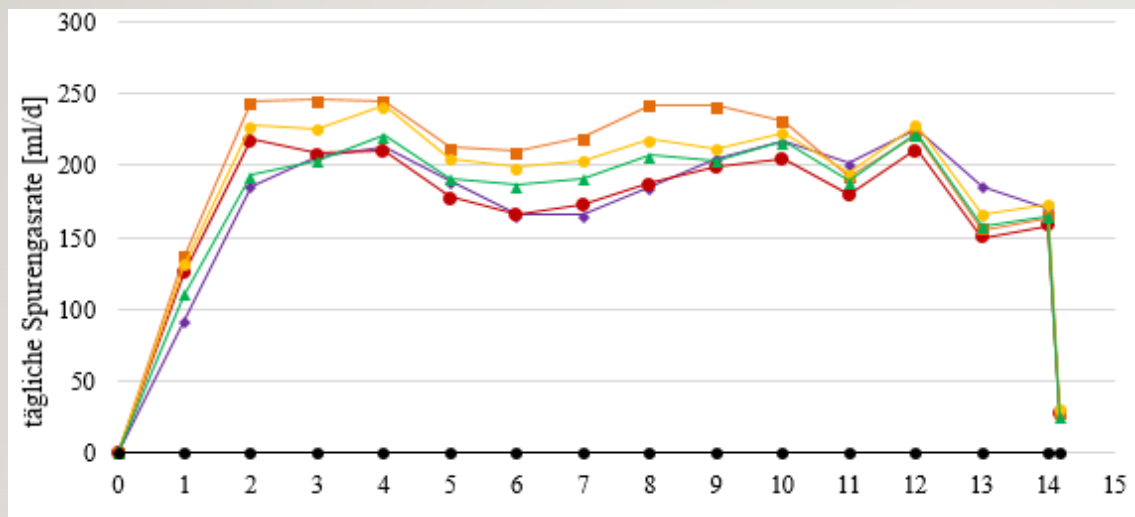
\* Anzahl der Wiederholungen



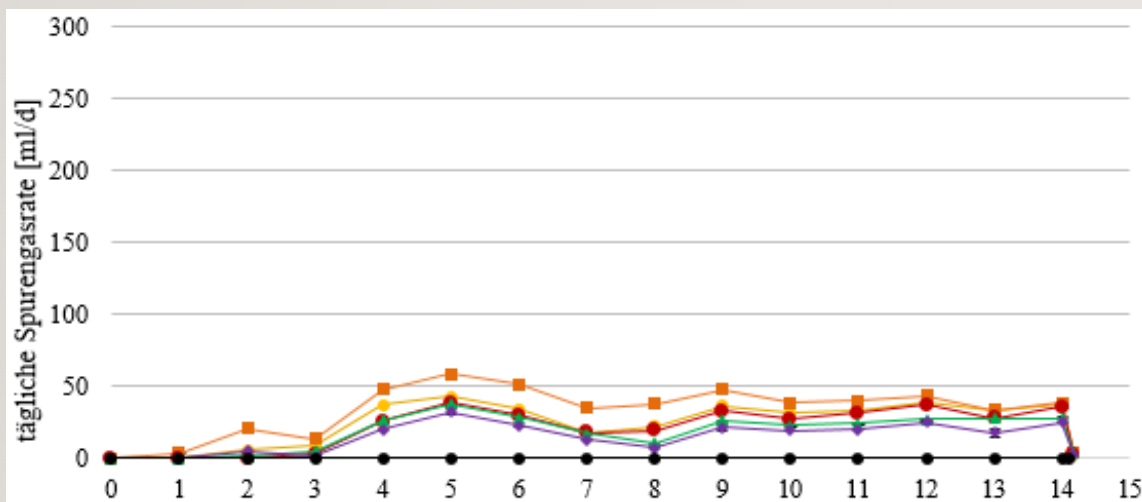
Abb. 2: Schematische Darstellung des Versuchsablaufs



a) VR 1



b) VR 2



c) VR 3

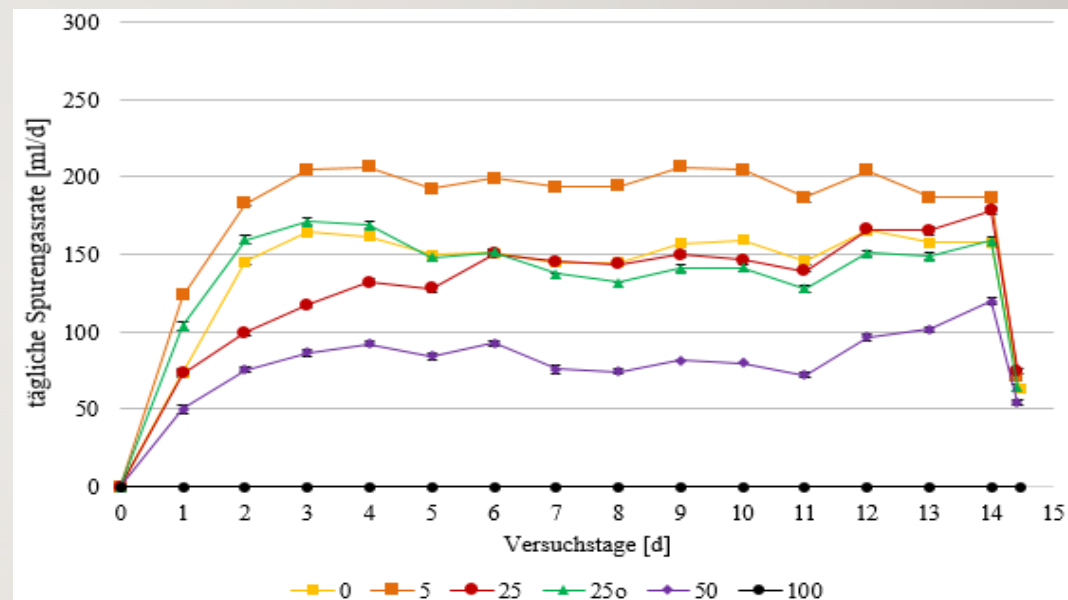


Abb. 3: Darstellung der **täglichen Spurengasrate** der Rindermist-Biokohle Gemische mit einem Biokohleanteil 0, 5, 25, 25o, 50 und 100 % TM

- a) Versuchsreihe 1 (Pyrolysekohle, 23,5 °C)
- b) Versuchsreihe 2 (Pyrolysekohle, 13 °C)
- c) Versuchsreihe 3 (Aktivkohle, 23,5 °C)

(o = oberflächlich appliziert)

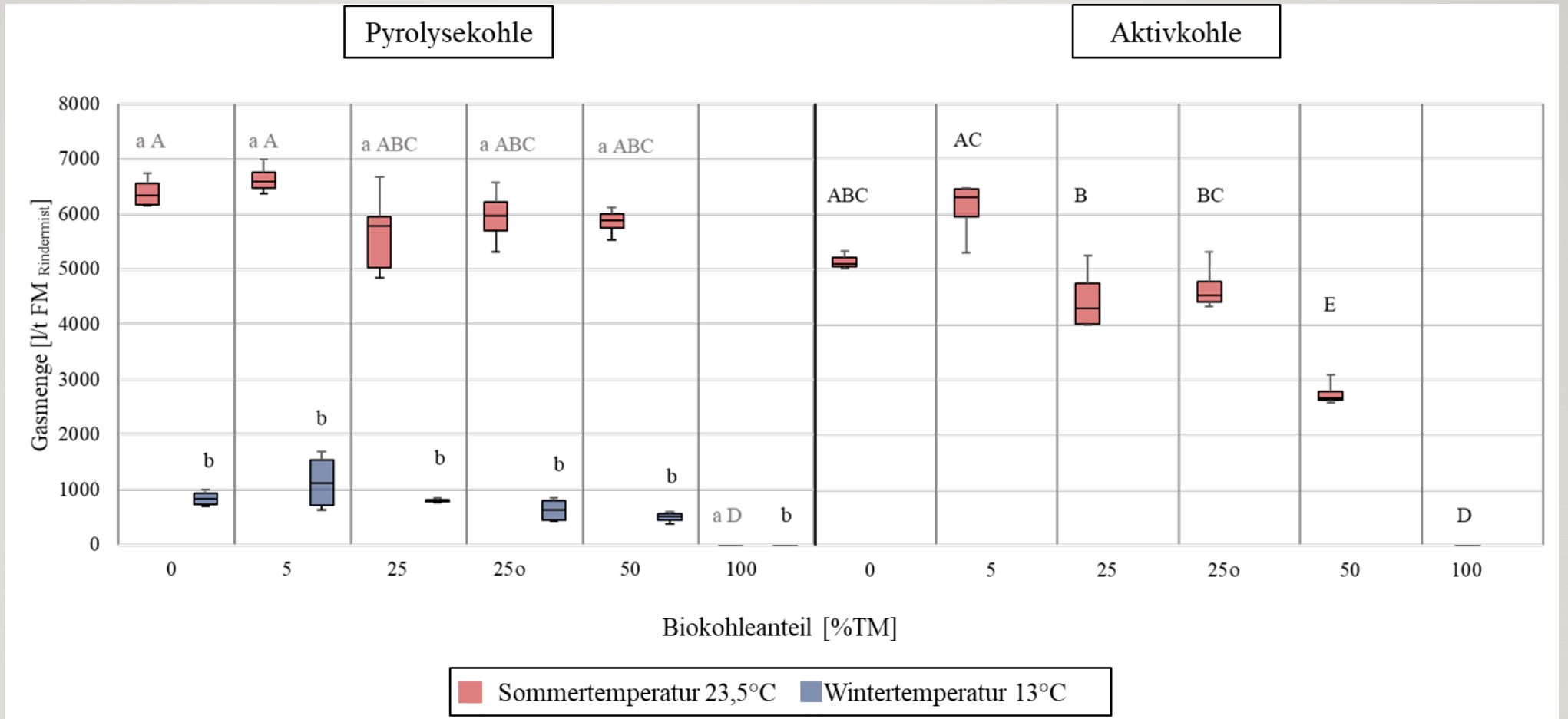


Abb. 4: **Kumulierte Spurengasmengen** der Rindermist-Biokohle Gemische mit einem prozentualen Biokohleanteil von 0, 5, 25, 25o, 50 und 100 % TM, .Versuchszeit 14 d, n = 4, 25o = 25% Biokohleanteil oberflächlich appliziert, Darstellung der homogenen Gruppen: Großbuchstaben = Einfluss der Biokohletypen, Kleinbuchstaben = Einfluss der Temperatur

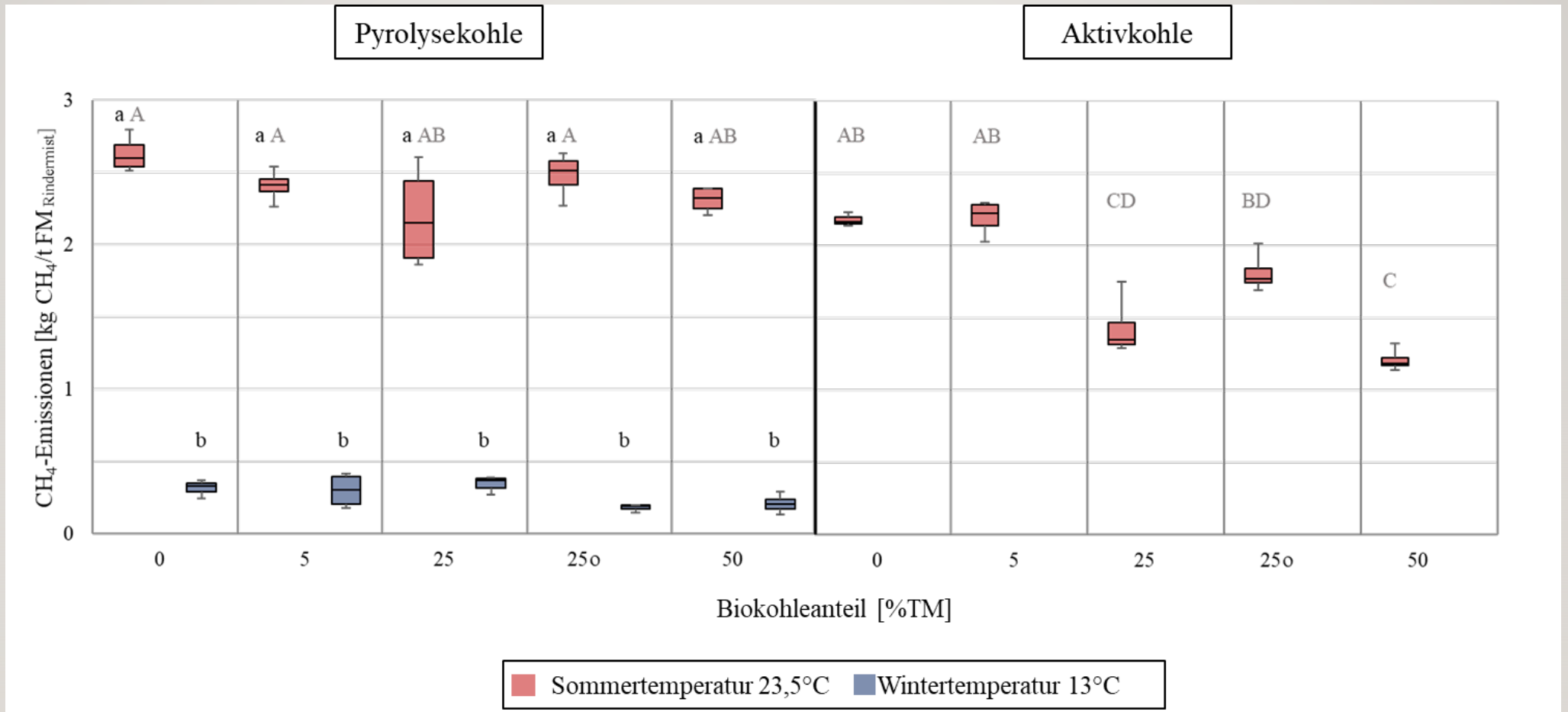


Abb. 5: **Methankonzentrationen** der 3 Versuchsreihen der Rindermist-Biokohle Gemische mit einem Biokohleanteil 0, 5, 25, 25o und 50 % TM, Versuchszeit 14 d, n = 4, 25o = 25% Biokohleanteil oberflächlich appliziert, Darstellung der homogenen Gruppen: Großbuchstaben = Einfluss der Biokohletypen, Kleinbuchstaben = Einfluss der Temperatur



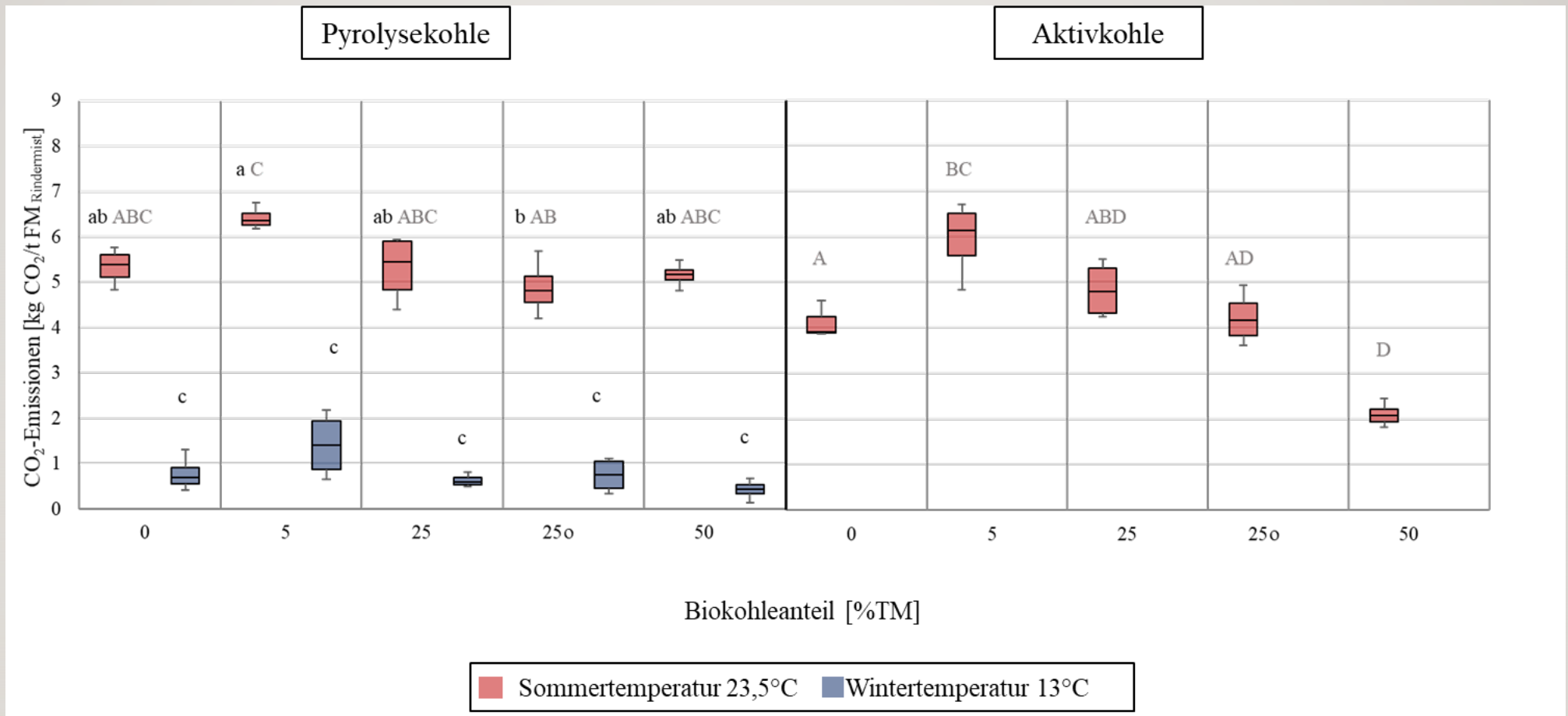


Abb. 6: **Kohlenstoffdioxidkonzentration** der 3 Versuchsreihen der Rindermist-Biokohle Gemische mit einem Biokohleanteil 0, 5, 25, 25o und 50 %, n = 4, Versuchszeit 14 d, 25o = 25% Biokohleanteil oberflächlich appliziert, Darstellung der homogenen Gruppen: Großbuchstaben = Einfluss der Biokohletypen, Kleinbuchstaben = Einfluss der Temperatur

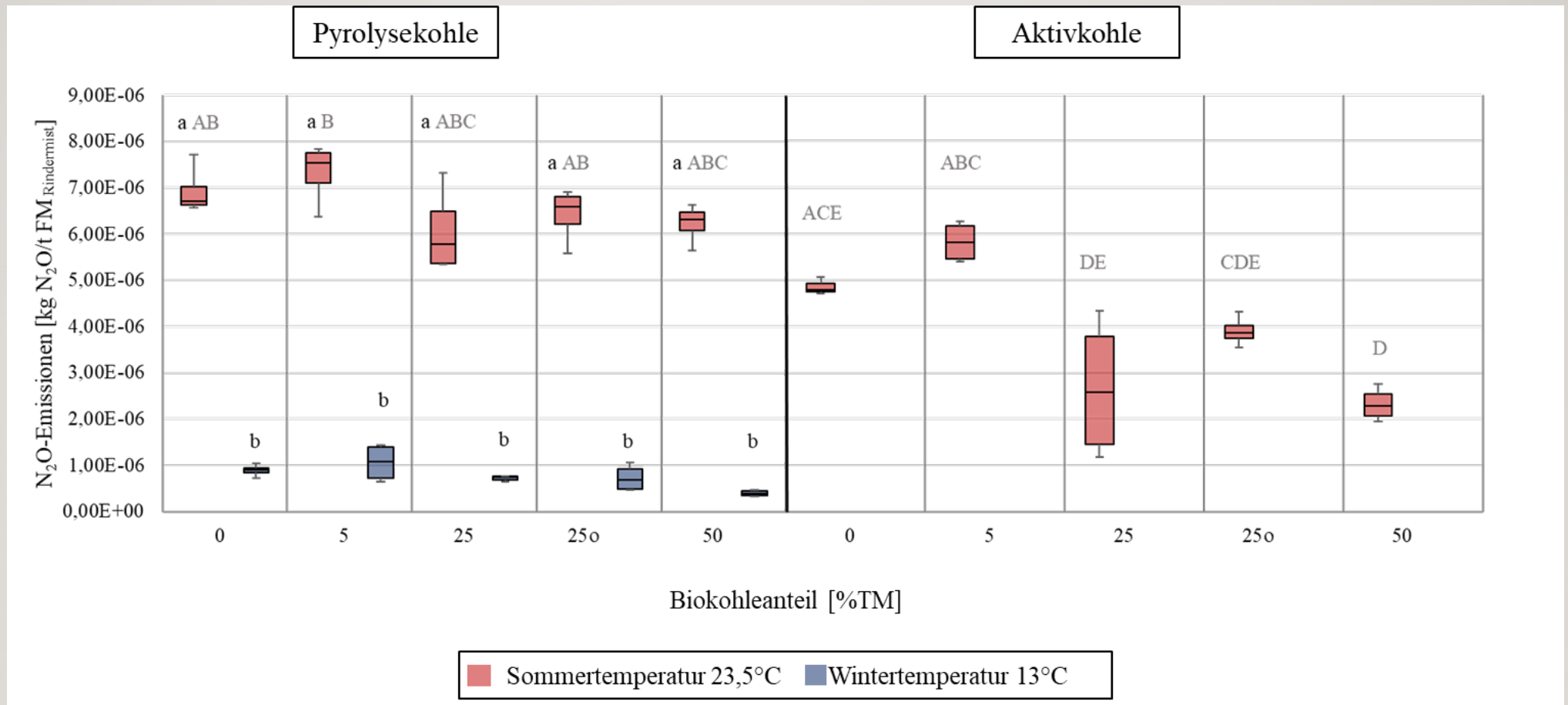


Abb. 7: **Lachgaskonzentration** der 3 Versuchsreihen der Rindermist-Biokohle Gemische mit einem Biokohleanteil 0, 5, 25, 25o und 50 % mit der dazugehörigen Standardabweichung (n=4), Versuchszeit 14 d, 25o = 25% Biokohleanteil oberflächlich appliziert, Darstellung der homogenen Gruppen: Großbuchstaben = Einfluss der Biokohletypen, Kleinbuchstaben = Einfluss der Temperatur

Tab. 2: Treibhauspotentiale der Varianten der drei Versuchsreihen

VR*	BK-Anteil	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		Σ CO <sub>2</sub> -eq	THG-Bildung
		MW	CO <sub>2</sub> -eq	MW	CO <sub>2</sub> -eq	MW	CO <sub>2</sub> -eq		
	[%TM]	[kg/t FM <sub>Rindemist</sub> ]	[kg CO <sub>2</sub> -eq/t FM]	[kg/t FM <sub>Rindemist</sub> ]	[kg CO <sub>2</sub> -eq/t FM]	[kg/t FM <sub>Rindemist</sub> ]	[kg CO <sub>2</sub> -eq/t FM]	[kg CO <sub>2</sub> -eq/t FM]	[%]
1	0	5,33	65,78	<u>2,63</u>	65,78	6,93E-06	2,06E-03	71,11	0,00
	5	<u>6,41</u>	60,30	2,41	60,30	<u>7,31E-06</u>	2,18E-03	66,71	-6,18
	25	5,31	54,87	<u>2,19</u>	54,87	<u>6,06E-06</u>	1,81E-03	60,18	-15,37
	50	5,15	57,82	2,31	57,82	<u>6,23E-06</u>	1,86E-03	62,97	-11,45
	25o	<u>4,88</u>	62,07	2,48	62,07	6,42E-06	1,91E-03	66,95	-5,86
2	0	0,77	7,98	0,32	7,98	8,87E-07	2,64E-04	8,75	0,00
	5	<u>1,41</u>	7,50	0,30	7,50	<u>1,06E-06</u>	3,15E-04	8,91	1,84
	25	<u>0,63</u>	8,59	<u>0,34</u>	8,59	<u>7,13E-07</u>	2,13E-04	9,22	5,43
	50	<u>0,42</u>	5,22	0,21	5,22	<u>3,98E-07</u>	1,19E-04	5,64	-35,48
	25o	0,74	4,53	<u>0,18</u>	4,53	7,27E-07	2,17E-04	5,27	-39,76
3	0	4,12	54,43	2,18	54,43	4,85E-06	1,45E-03	58,56	0,00
	5	<u>5,95</u>	54,80	<u>2,19</u>	54,80	<u>5,82E-06</u>	1,74E-03	60,75	3,75
	25	4,83	35,84	1,43	35,84	2,66E-06	7,94E-04	40,67	-30,55
	50	<u>2,09</u>	30,21	<u>1,21</u>	30,21	<u>2,32E-06</u>	6,90E-04	32,31	-44,83
	25o	4,21	45,26	1,81	45,26	3,90E-06	1,16E-03	49,48	-15,51

VR = Versuchsreihe, BK = Biokohle, THG = Treibhausgas

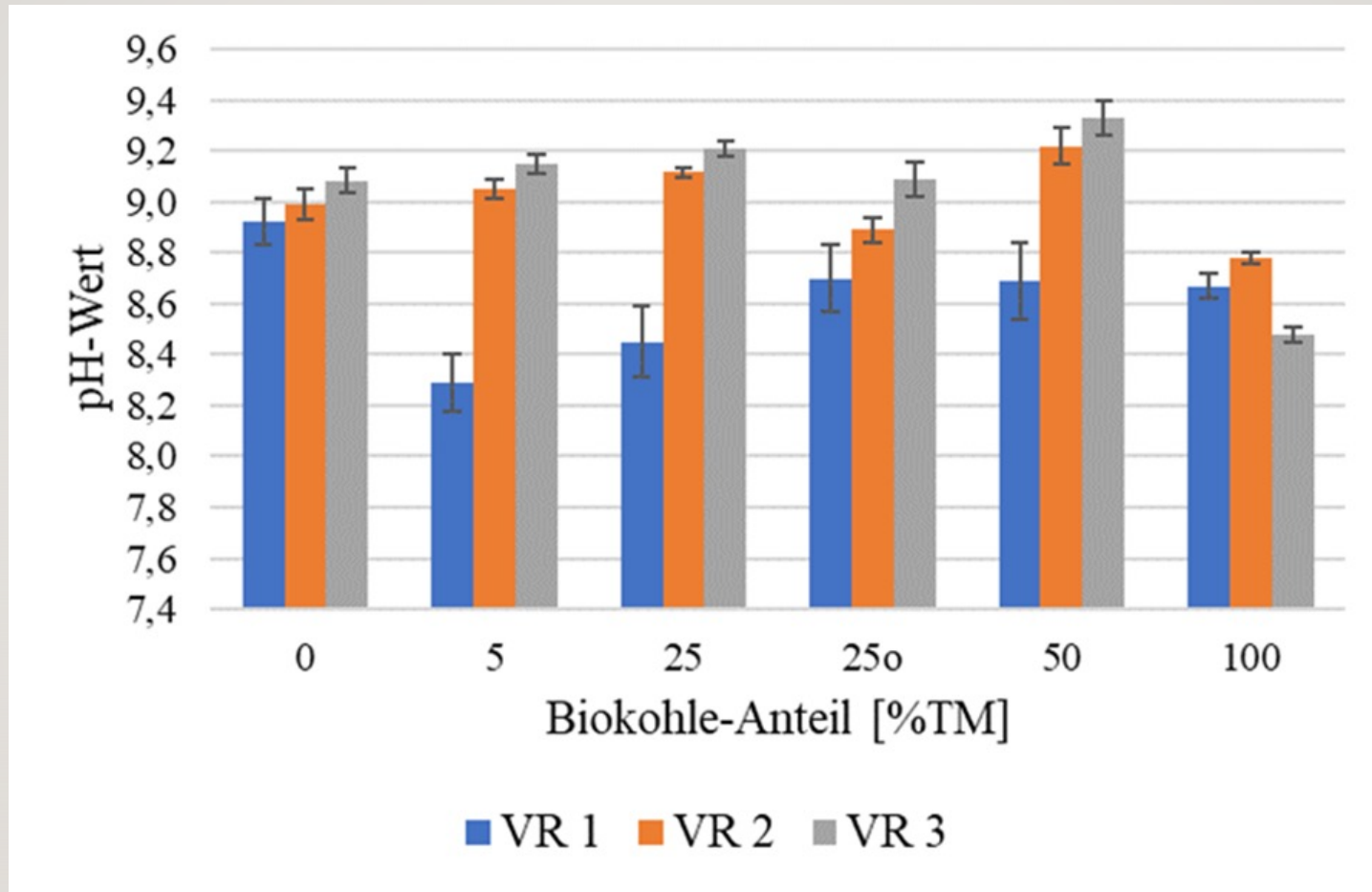


Abb. 9: pH-Wert der Rinderfestmist-Biokohle-Gemische nach Versuchsende (14 d). VR 1 = Versuchsreihe 1 (Pyrolysekohle, 23,5 °C), VR 2 = Versuchsreihe 2 (Pyrolysekohle, 13 °C), VR 3 = Versuchsreihe 3 (Aktivkohle, 23,5 °C), Darstellung von Mittelwerten und Standardabweichung (n = 4)



# FAZIT

---

- Das Adsorptionsverhalten der Pyrolysekohle und das Emissionsverhalten des Rinderfestmistes sind stark temperaturabhängig
- Eine Beimengung von 5% Biokohle zu Rinderfestmist führt zu einer Reduktion von Treibhausgasen
- Ein emissionsenkender Effekt bei oberflächlicher Applikation von Biokohle ist nur bei niedrigen Temperaturen zu verzeichnen
- Eine Beimengung von 25% Pyrolysekohle führt zu einer maximalen Methan- und Lachgasreduktion unter warmen Bedingungen



# HANDLUNGSEMPFEHLUNG:

---

## Verwendung von **Pyrolysekohle bei Sommertemperaturen:**

- Reduktion der Emissionen schon bei niedrigem Biokohleanteil
- Stärkste Emissionsreduktion bei 25% Biokohleanteil

## Verwendung von **Pyrolysekohle bei Wintertemperaturen:**

- Reduktion der Emissionen bei Biokohleanteil von über 25%
- Stärkste Emissionsreduktion bei oberflächlicher Applikation (hier 25% Biokohleanteil)

## Verwendung von **Aktivkohle bei Sommertemperaturen:**

- Reduktion der Emissionen bei Aktivkohleanteil von über 5%
- Stärkste Emissionsreduktion bei 50% Aktivkohleanteil



# VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

---



Gärprodukte





# QUELLEN

---

**Kasang, D. (2019).** [www.bildungserver.hamburg.de](http://www.bildungserver.hamburg.de). Von Treibhausgase-Einleitung und Übersicht, Tab. I

<https://bildungserver.hamburg.de/treibhausgase/2051680/einleitung/> abgerufen

**Ok, Y. S., Uchimiya, S. M., Chang, S. X., & Bolan, N. (2016).** Biochar: production, characterization and applications. Taylor & Francis Group, LLC.

**Oltmanns, M., Müller-Lindenlauf, M., & Raupp, J. (2004).** Konsequenzen der Mistaufbereitung für die Emission klimarelevanter Gase. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 16, S. 161-162.

**Schmidt, H.-P., Kammann, C., Gerlach, A., & Gerlach, H. (2016).** Der Einsatz von Pflanzenkohle in der Tierfütterung. Arbaz, Switzerland, Ithaka-Journal.

**Umweltbundesamt (UBA). (2016).** Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer „veränderter“ Biomasse als Bodenhilfsstoffe oder für die CSequestrierung in Böden. ISSN 1862-4804, Dessau-Roßlau

**Umweltbundesamt (UBA). (2018).** Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. Von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#textpart-1> abgerufen





# ANHANG

---



Gärprodukte



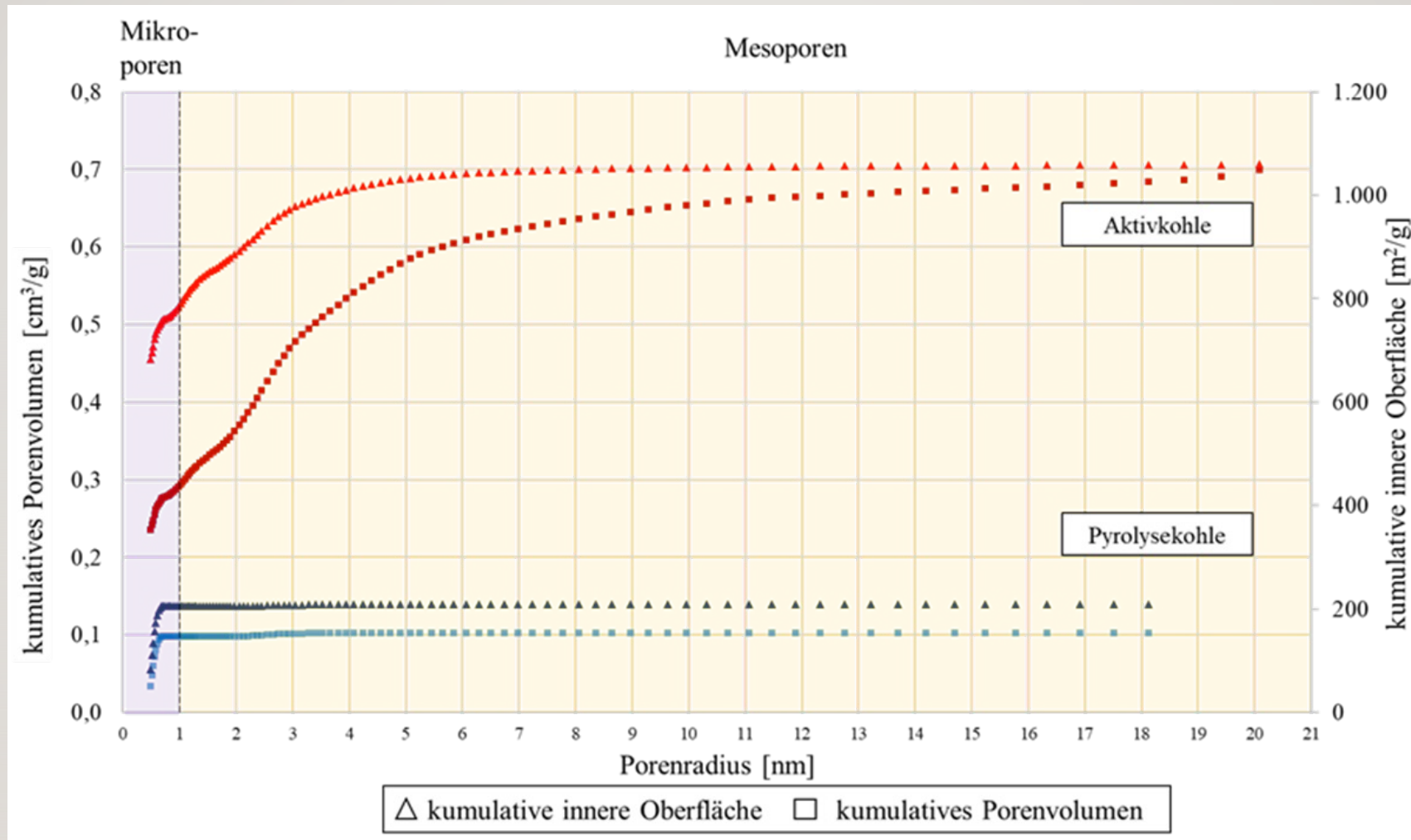


Abb. 10: Kumulative innere Oberfläche und kumulatives Porenvolumen von Aktivkohle und Pyrolysekohle. Bestimmung mittels BET-Analyse



Gärprodukte

	VR	Biokohle-Anteil [%]						
		0	5	25	25o	50	100	
TM105	1	<b>27,47</b> ± 0,47	<b>32,64</b> ± 8,98	<b>30,21</b> ± 1,05	<b>32,96</b> ± 2,61	<b>32,56</b> ± 1,33	<b>56,03</b> ± 4,15	MW SD
	2	<b>28,16</b> ± 0,74	<b>28,53</b> ± 1,65	<b>33,58</b> ± 0,61	<b>32,48</b> ± 1,48	<b>35,02</b> ± 0,68	<b>61,08</b> ± 3,27	MW SD
	3	<b>27,77</b> ± 0,67	<b>29,23</b> ± 0,7	<b>30,85</b> ± 0,95	<b>30,52</b> ± 0,88	<b>36,02</b> ± 1,11	<b>94,55</b> ± 0,28	MW SD
oTM	1	<b>69,94</b> ± 0,93	<b>69,56</b> ± 1,26	<b>73,16</b> ± 2,01	<b>76,92</b> ± 0,80	<b>75,87</b> ± 0,92	<b>90,21</b> ± 1,19	MW SD
	2	<b>66,24</b> ± 2,95	<b>70,27</b> ± 2,97	<b>72,43</b> ± 3,04	<b>68,69</b> ± 4,01	<b>78,09</b> ± 1,00	<b>84,63</b> ± 7,68	MW SD
	3	<b>69,30</b> ± 2,73	<b>65,25</b> ± 6,05	<b>76,83</b> ± 1,19	<b>76,21</b> ± 3,68	<b>78,00</b> ± 1,79	<b>98,26</b> ± 1,86	MW SD
NH <sub>4</sub> -N	1	<b>1117,00</b> ± 82,84	<b>1062,00</b> ± 36,74	<b>962,75</b> ± 64,67	<b>1071,28</b> ± 132,53	<b>900,45</b> ± 70,95	<b>53,74</b> ± 42,68	MW SD
	2	<b>1086,75</b> ± 11,44	<b>992,43</b> ± 130,5	<b>905,90</b> ± 15,54	<b>1013,88</b> ± 35,16	<b>809,98</b> ± 86,96	<b>3,25</b> ± 0,09	MW SD
	3	<b>979,07</b> ± 47,99	<b>913,45</b> ± 84,43	<b>675,98</b> ± 50,94	<b>932,90</b> ± 108,11	<b>752,20</b> ± 58,1	<b>184,87</b> ± 76,3	MW SD
N-Kjeld.	1	<b>5213,50</b> ± 343,1	<b>5927,75</b> ± 1469,93	<b>4711,50</b> ± 189,92	<b>4742,75</b> ± 203,37	<b>4132,75</b> ± 250,05	<b>1244,10</b> ± 256,35	MW SD
	2	<b>5032,75</b> ± 150,4	<b>5003,50</b> ± 117,67	<b>4626,50</b> ± 136,25	<b>4599,50</b> ± 277,46	<b>4163,75</b> ± 249,74	<b>1256,33</b> ± 147,85	MW SD
	3	<b>5133,75</b> ± 174,59	<b>5158,50</b> ± 390,64	<b>5213,75</b> ± 189,29	<b>5290,50</b> ± 130,24	<b>5086,75</b> ± 273,87	<b>1405,67</b> ± 58,73	MW SD
C/N.	1	<b>19,44</b> 1,78	<b>21,25</b> 1,34	<b>29,40</b> 1,98	<b>30,97</b> 3,55	<b>37,16</b> 2,24	<b>593,03</b> 238,52	MW SD
	2	<b>20,23</b> 1,34	<b>24,71</b> 2,45	<b>40,74</b> 5,62	<b>36,16</b> 5,34	<b>49,95</b> 4,00	<b>567,18</b> 207,06	MW SD
	3	<b>21,09</b> 0,91	<b>23,22</b> 1,21	<b>30,57</b> 1,33	<b>25,74</b> 4,42	<b>47,78</b> 8,77	<b>1032,97</b> 324,98	MW SD

Tab. 3: Stoffkennwerte der Substrate zu Versuchsende

- VR: Versuchsreihe:  
 1 (Pyrolysekohle, 23,5 °C)  
 2 (Pyrolysekohle, 13 °C)  
 3 (Aktivkohle, 23,5 °C)
- TM105: Trockenmasse-Gehalt bei 105 °C  
 Trocknungstemperatur [% FM]
- oTM: organische Trockenmasse [% TM]
- NH<sub>4</sub>-N: Ammoniumstickstoff-Gehalt der  
 Frisch-masse [mg/kg FM]
- N-Kjeld.: Stickstoffgehalt, Stickstoffbestimmung  
 nach Kjeldahl [mg/kg FM]
- C/N: Verhältnis von Kohlenstoff/Stickstoff
- MW: Mittelwert
- SD: Standardabweichung



Ergebnisse der  
Laboruntersuchungen:

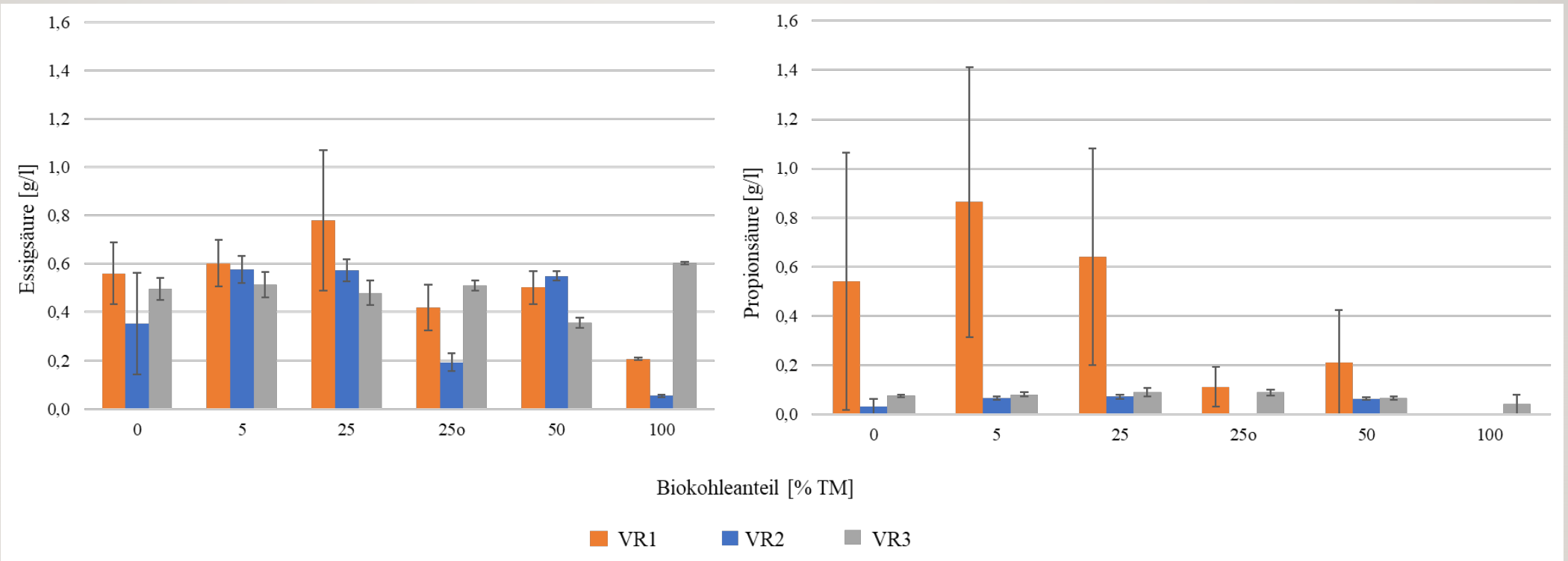


Abb. 11: Massenkonzentration der Gärssäuren der Rinderfestmist-Biokohle-Gemische der Versuchsreihen (VR) 1 (23,5 °C, Pyrolysekohle), 2 (13 °C, Pyrolysekohle), und 3 (23,5 °C, Aktivkohle). Darstellung von Mittelwerten und Standardabweichung (n = 4)



## Ergebnisse der Laboruntersuchungen:

Abb. 12: Nährstoffgehalt der Biokohletypen der Versuchsreihen (VR):

1 (23,5 °C, Pyrolysekohle)

2 (13 °C, Pyrolysekohle)

3 (23,5 °C, Aktivkohle)

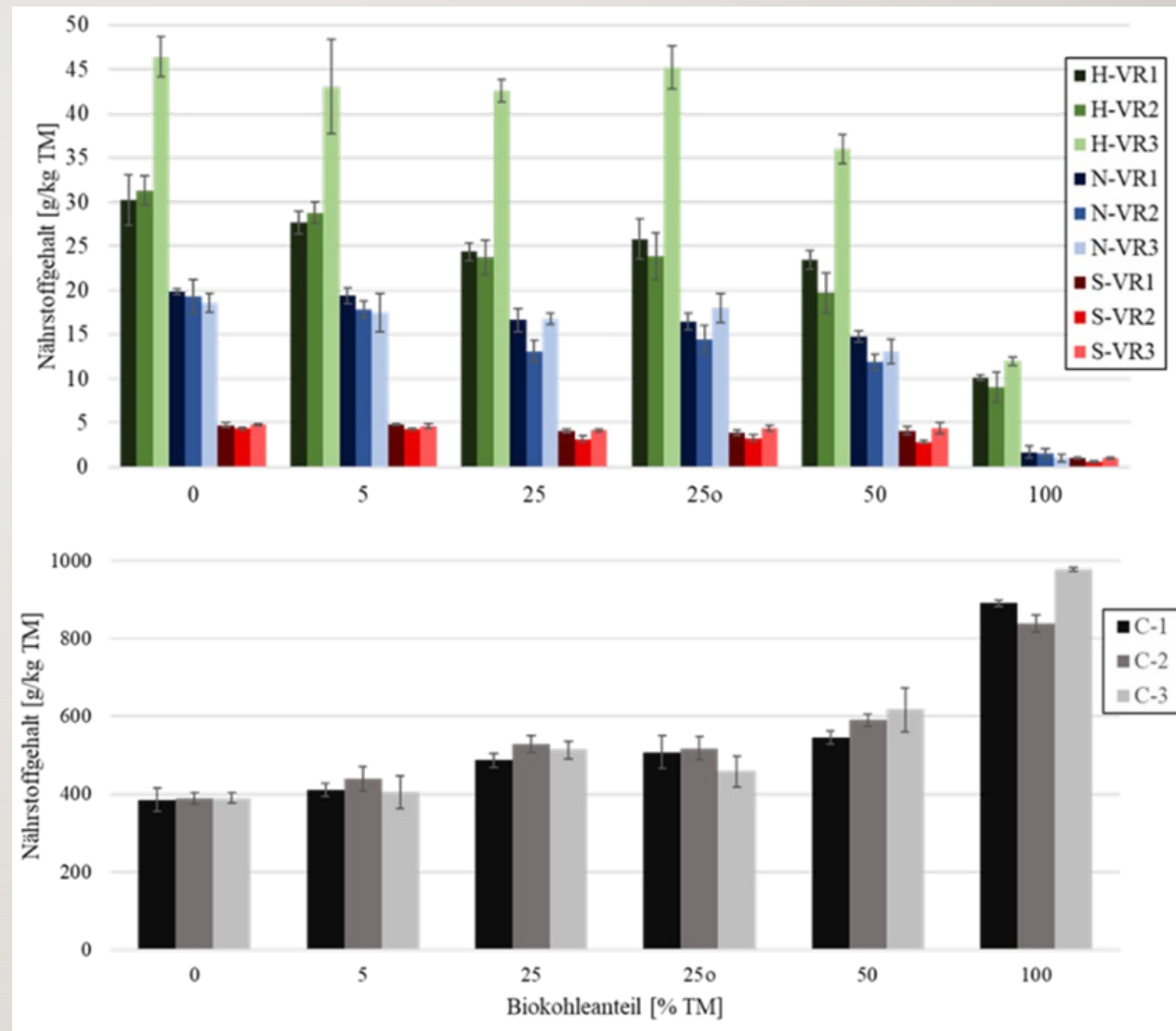
H = Wasserstoff

N = Stickstoff

S = Schwefel

C = Kohlenstoff

Darstellung von Mittelwerten und Standardabweichung (n = 4)



Tab. 4: Trockenmassevergleich der Biokohle-Rinderfestmistgemische

		TM [g/kg FM] der Varianten					
		0	5	25	50	25o	100
VR 1	zu Versuchsstart*	276,2	281,4	299,4	317,2	299,4	450,5
	nach Versuchsende**	↓ 274,7	↑ 326,4	↑ 302,1	↑ 325,6	↑ 329,6	↑ 560,3
VR 2	zu Versuchsstart*	276,2	281,4	299,4	317,2	299,4	450,5
	nach Versuchsende**	↑ 281,6	↑ 285,3	↑ 335,8	↑ 350,2	↑ 324,8	↑ 610,8
VR3	zu Versuchsstart*	281,8	290,8	328,0	368,2	328,0	953,4
	nach Versuchsende**	↓ 277,7	↑ 292,3	↓ 308,5	↓ 360,2	↓ 305,2	↓ 945,5

\*Berechnung anhand der Trockenmassewerte der Ausgangssubstrate

\*\*Werte stellen den Mittelwert der Einzelmesswerte nach Versuchsende dar (n=4)

Varianten: Rindermist-Biokohle Gemische mit einem Biokohleanteil 0, 5, 25, 50 und 100 % TM  
25o = 25% Biokohleanteil oberflächlich appliziert

VR 1: Versuchsreihe 1 (Pyrolysekohle, 23,5 °C)

VR 2: Versuchsreihe 2 (Pyrolysekohle, 13 °C)

VR 3: Versuchsreihe 3 (Aktivkohle, 23,5 °C)