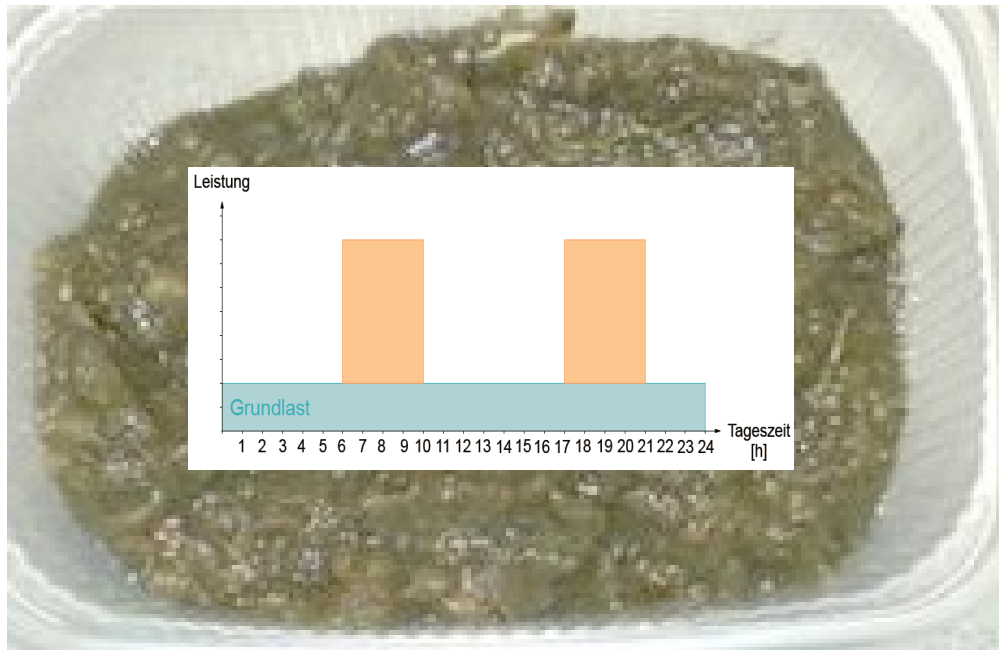


Flexibilisierung mit gezieltem Einsatz von Zuckerrüben



Marian Kazda, Kerstin Maurus und Sharif Ahmed
Institut für Systematische Botanik und Ökologie
Universität Ulm

Zukunft der Biogaserzeugung

Herausforderungen

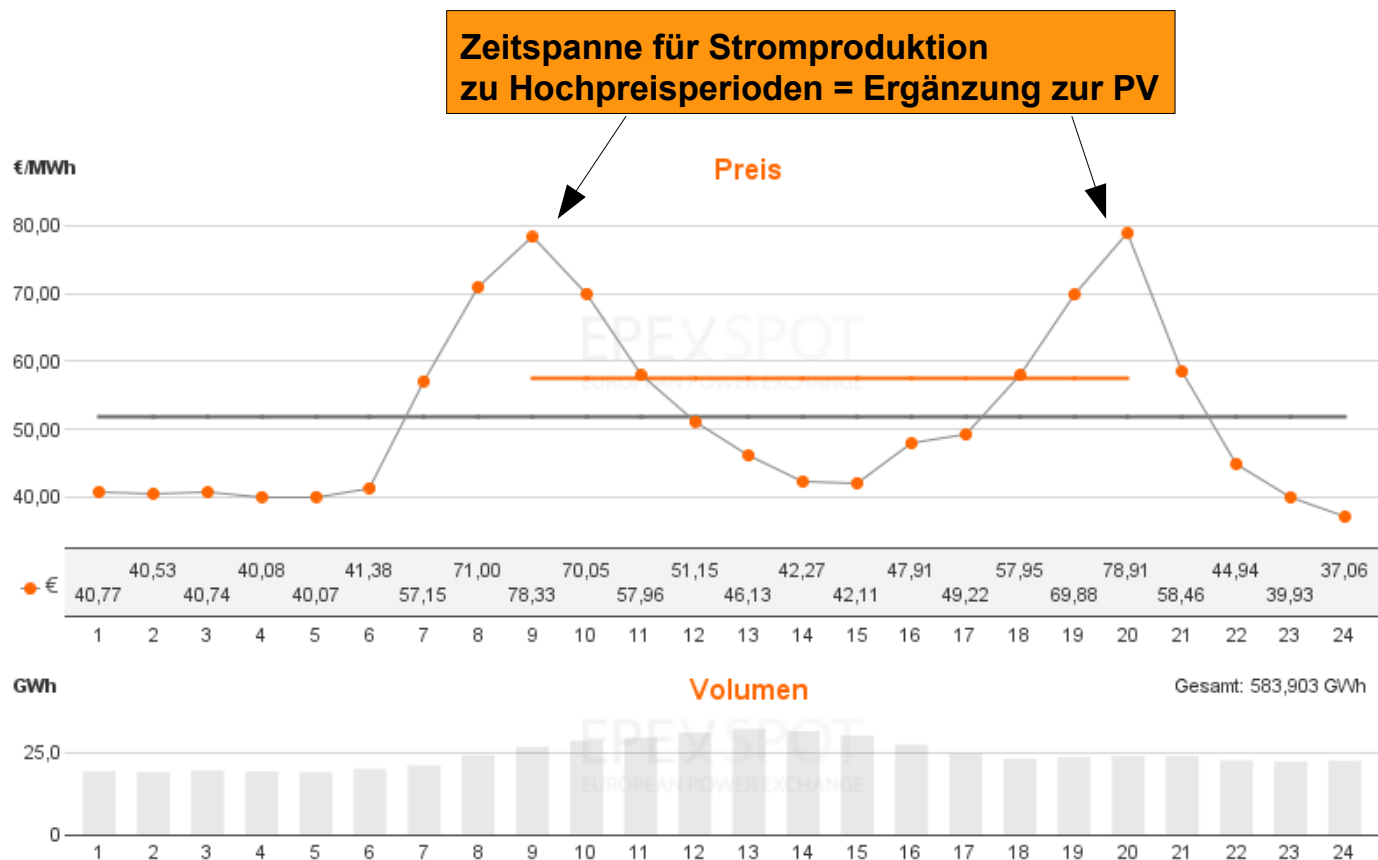
- Vergütung für die meisten Biogasanlagen zeitlich begrenzt
- Hohe technische Auflagen
- Hohe Gestehungskosten für produzierten Strom
(Wind und Photovoltaik produzieren oft günstiger)

Chancen

- Biomethan
- Flexible Stromproduktion

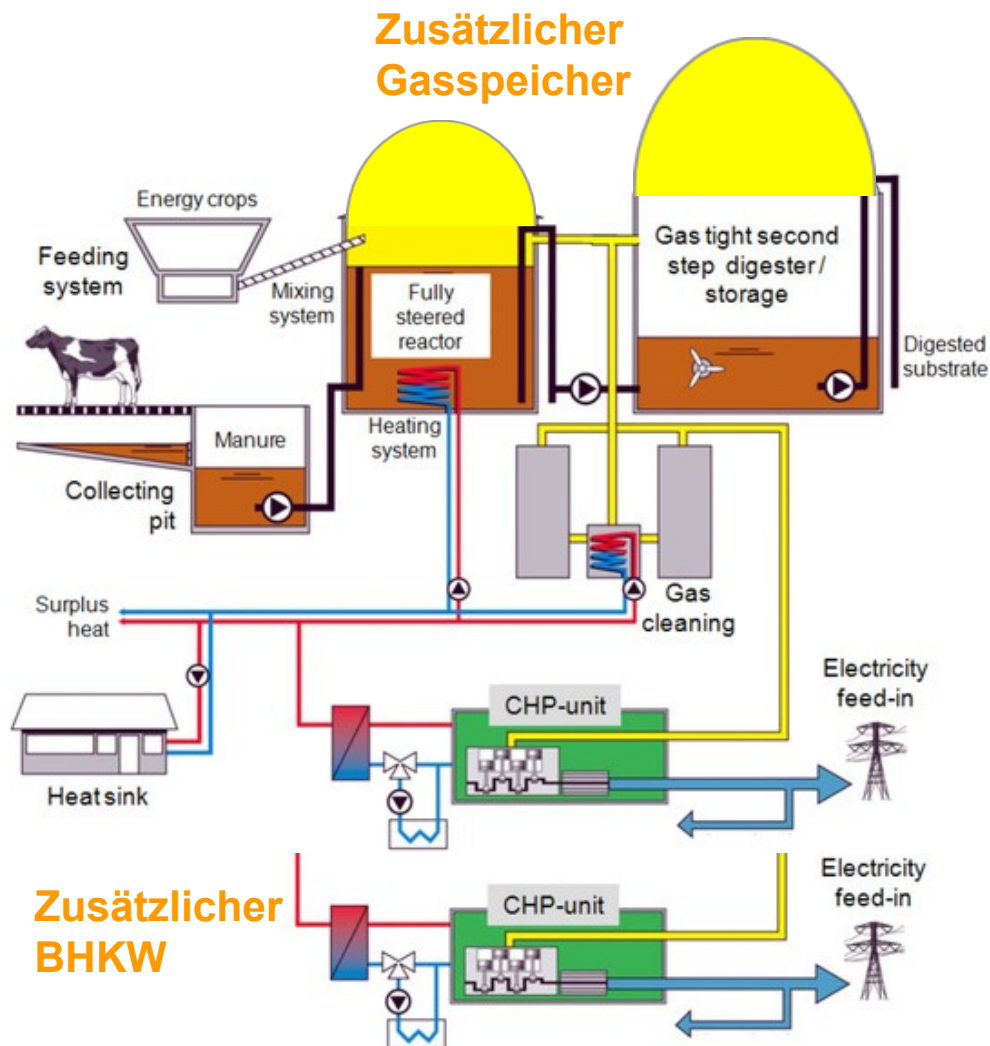


Zukunft der Biogaserzeugung = = Bedarfsgerechte Stromproduktion

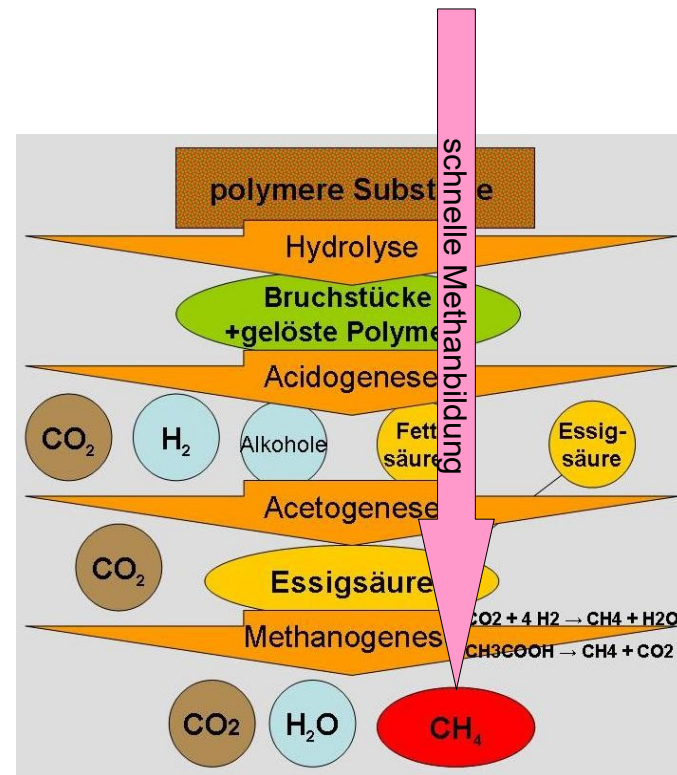
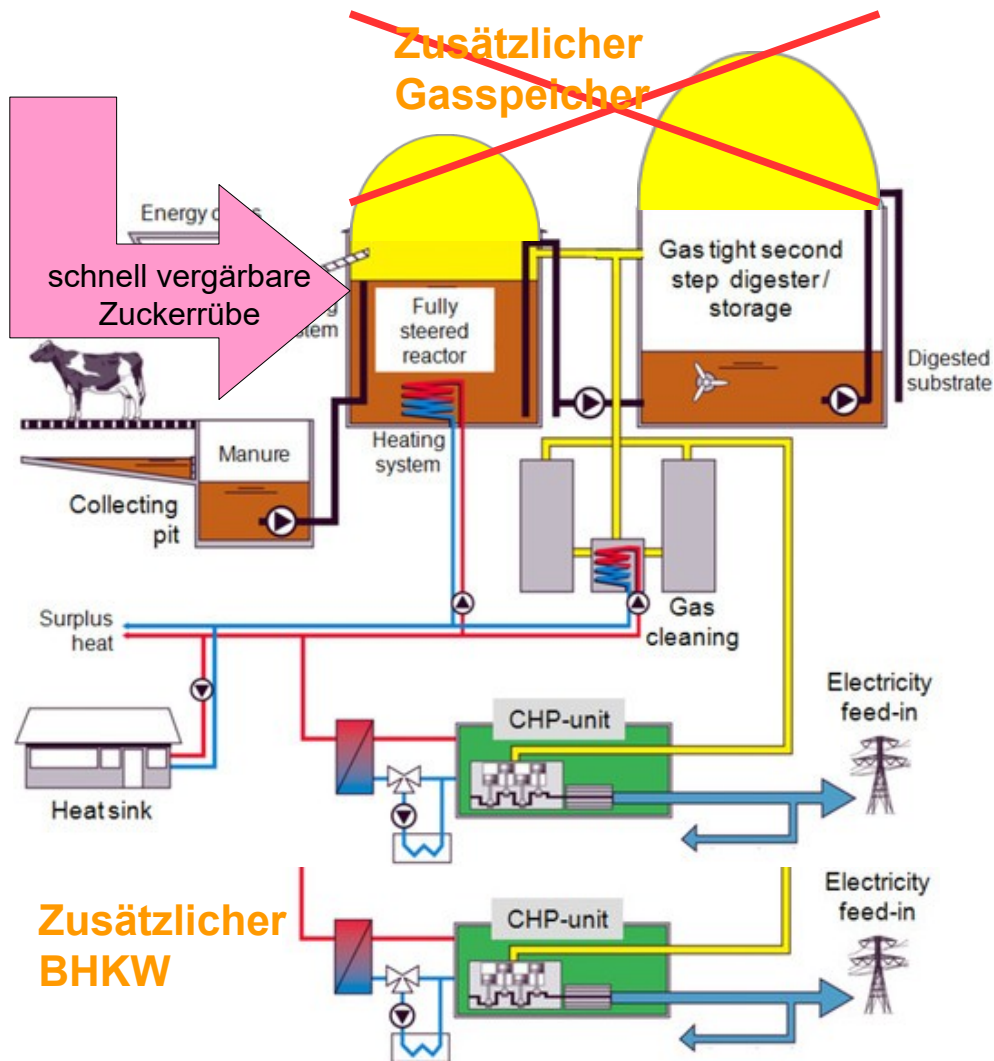


<http://www.epexspot.com/de/marktdaten/dayaheadauktion/>
(21. März 2018)

Technische Voraussetzungen für bedarfsgerechte Stromproduktion: Zusätzlicher Gasspeicher + 2. BHKW



Bedarfsgerechte Stromproduktion mit biologischem Ansatz



Substratcharakterisierung der Maissilage und der Zuckerrübensilage

Tabelle 1: Charakterisierung der in Gärversuch 1 verwendeten Substrate Maissilage und Zuckerrübensilage; FM = Frischmasse, TS = Trockensubstanz, oTS = organische Trockensubstanz, C = Kohlenstoff, N = Stickstoff, ADFom = Säure-Detergentien-Faser nach Veraschung, ADL = Säure-Detergenz-Lignin, aNDFom = Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung.

	Maissilage	Zuckerrübensilage
TS [% FM]	43,3	25,4
oTS [% TS]	79,8	79,7
pH-Wert	4,2	3,7
C-Gehalt [%]	43,6	40,7
N-Gehalt [%]	1,8	0,5
Rohprotein [% FM]	2,6	1,1
Rohfett A [% FM]	1,4	0,1
Stärke [% FM]	15,1	2,8
Gesamtzucker [% FM] (ber. als Saccharose)	< 0,4	7,5
Rohfaser [% FM]	6,6	1,1
ADFom [% FM]	8,8	1,3
ADL [% FM]	< 0,9	< 0,2
aNDFom [% FM]	14,6	2,6

Flexibilisierung mit Zuckerrübe

- 1. In wie hohen Anteilen kann die Zuckerrübe zugeführt werden?**
- 2. Mit welchem zeitlichen Vorlauf ist die Zuckerrübensilage in den Fermenter einzubringen?**

Die Fragestellungen wurden in drei mehrmonatigen kontinuierlichen Gärversuchen untersucht.

Ergebnisse aus dem FNR-Projekt FLEXIZUCKER (Förderkennzeichen: 22402115)
„Verfahrenstechnische, enzymatische und genomische Charakterisierung
einer flexiblen Biogasproduktion mit gezieltem Einsatz von Zuckerrüben“

Labor-Biogasanlage vier 10L bzw. 15L Fermenter mit 10-minütiger Erfassung der Prozessparameter (Biogasvolumen, Methangehalt)

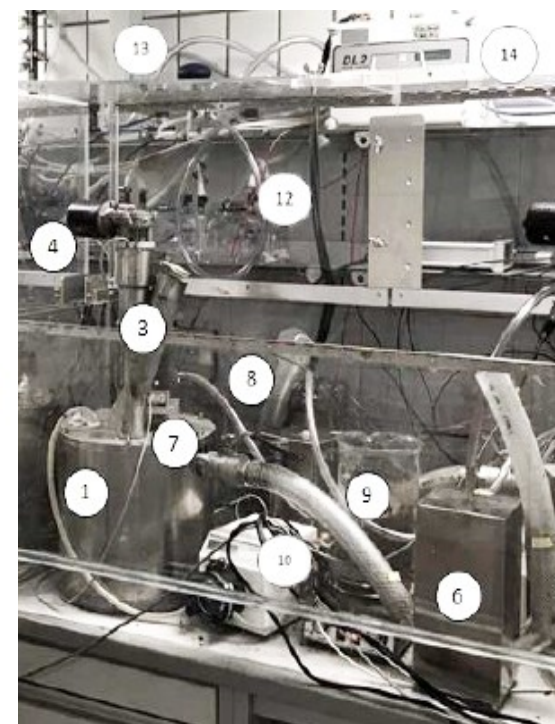
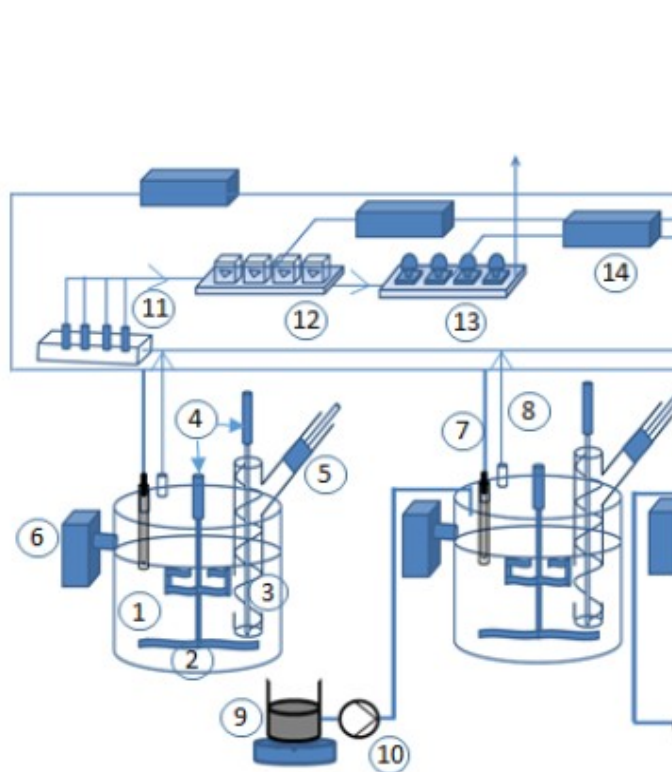
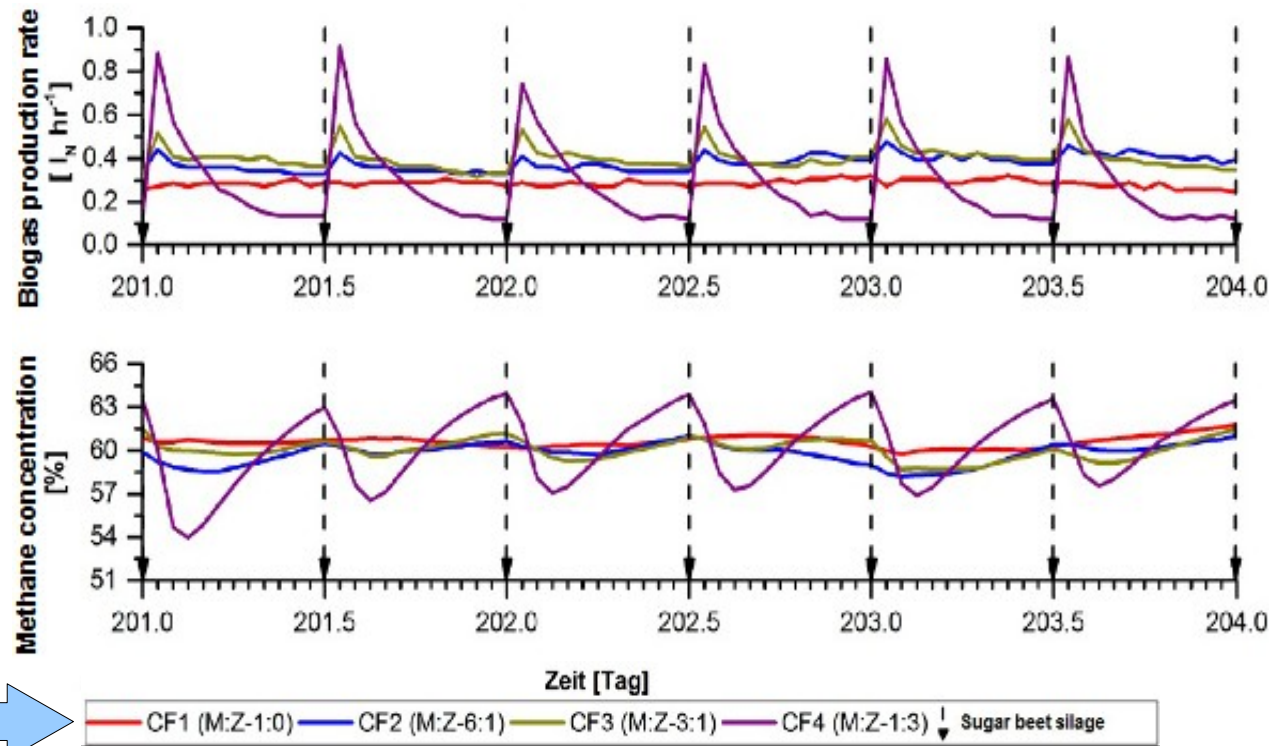


Abbildung 2.1.1.2: Schematischer Fermenteraufbau und Messstrecke der kontinuierlichen Fermenter. (1) Fermenter, (2) Rührwerk, (3) Substratschnecke, (4) Motor, (5) Gewicht, (6) Überlauf, (7) pH-Elektrode, (8) Gasausleitung, (9) Behälter für Zuckerrübensilage, (10) Peristaltikpumpe, (11) Kondensatfallen, (12) Milligascounter, (13) Methansensoren, (14) Datalogger, (15) Computer

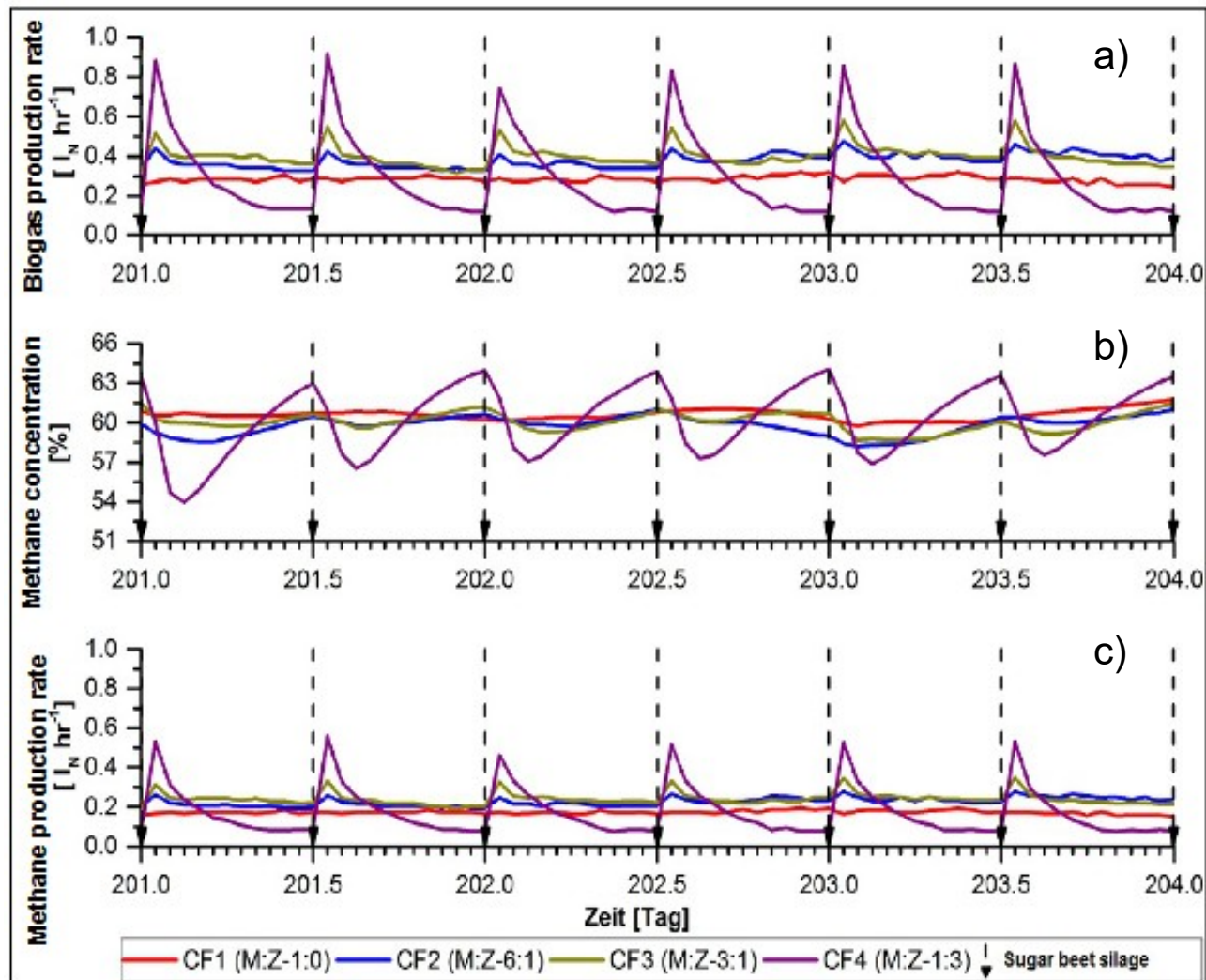
Kontinuierliche Gärversuche:

- stündliche Zufuhr der Maissilage
- stoßweise Zugabe der Zuckerrübensilage alle 12 Stunden



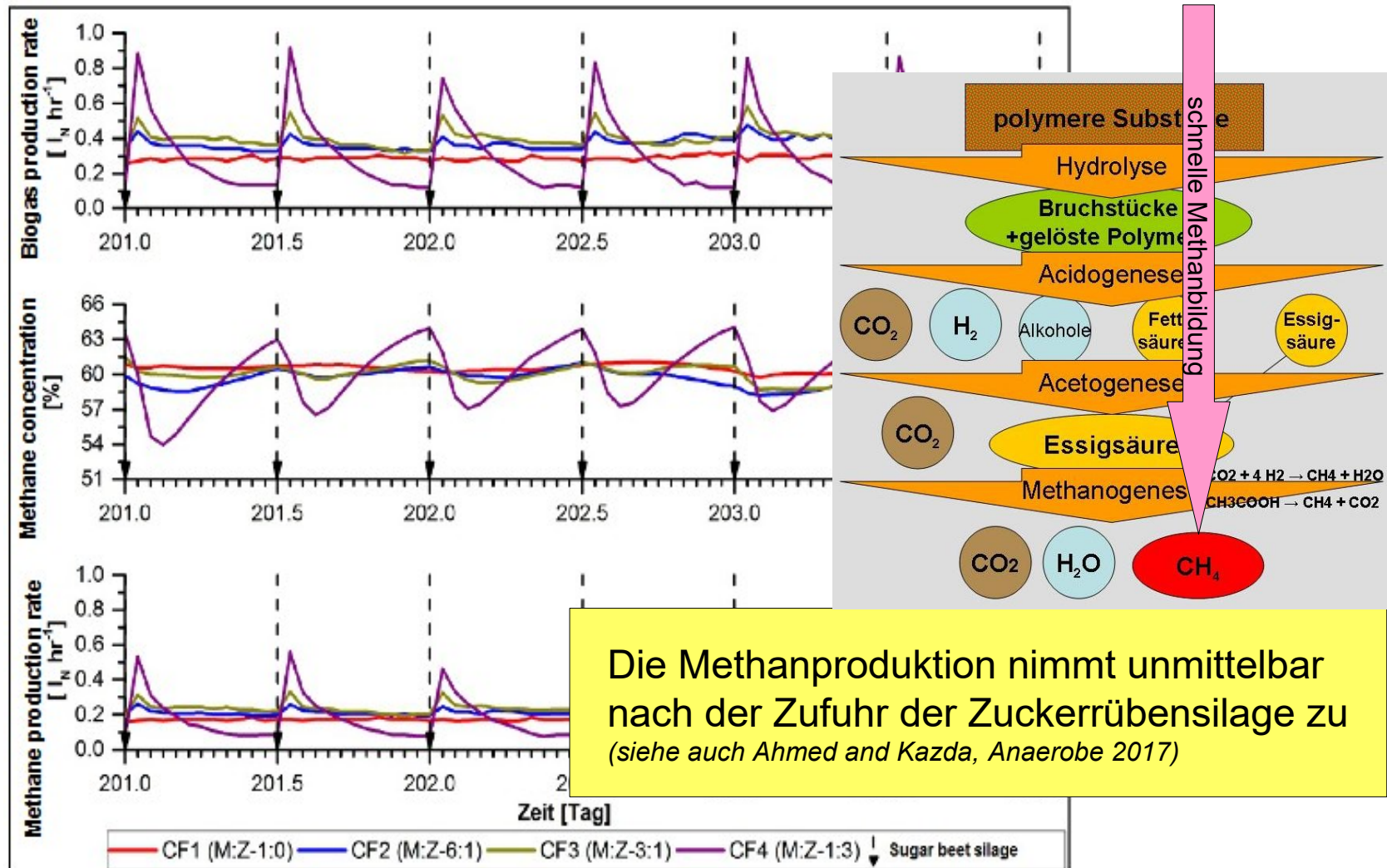
Kontinuierliche Gärversuche:

- stündliche Zufuhr der Maissilage
- stoßweise Zugabe der Zuckerrübensilage alle 12 Stunden

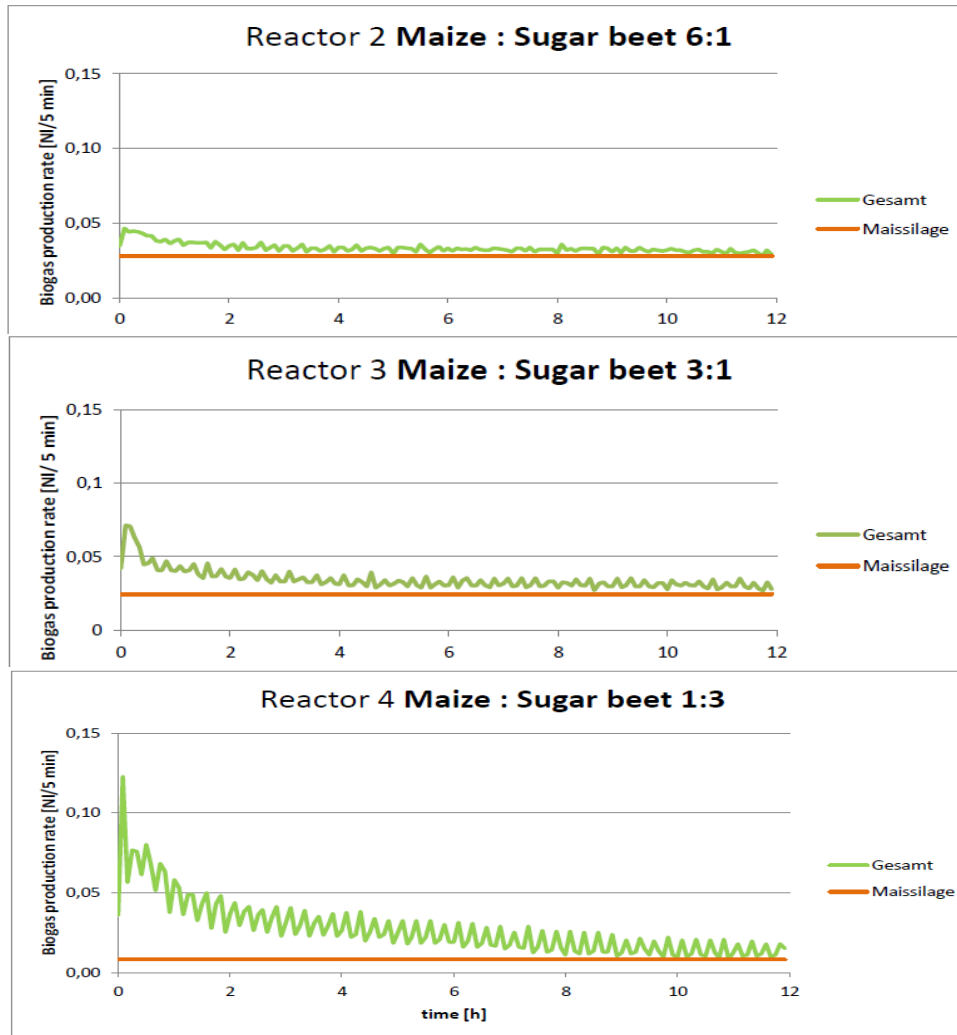


Kontinuierliche Gärversuche:

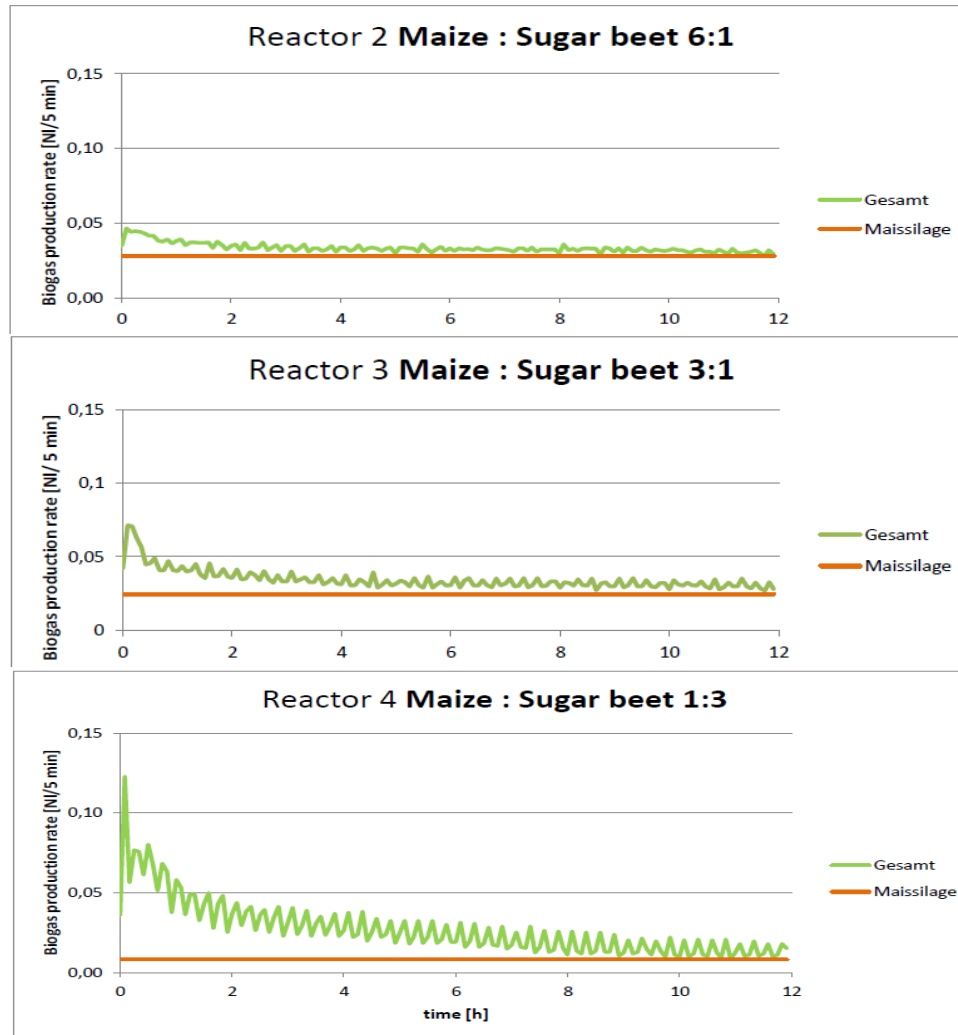
- stündliche Zufuhr der Maissilage
- stoßweise Zugabe der Zuckerrübensilage alle 12 Stunden



Wie hoch kann der Anteil der Zuckerrübensilage sein, um die Prozessstabilität nicht zu gefährden?



Unterschiede in der Biogasproduktion in Abhängigkeit vom Anteil der Zuckerrübensilage



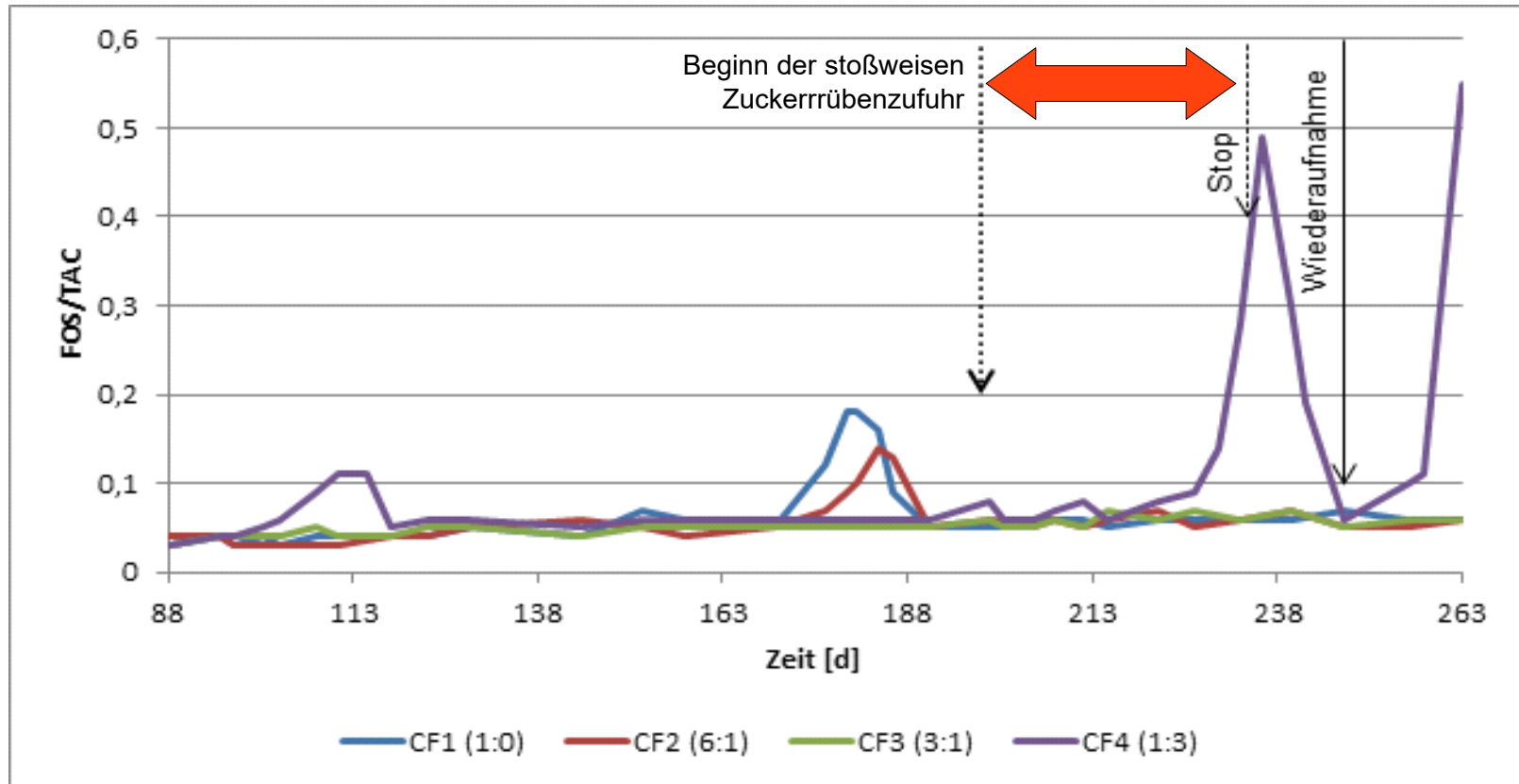
**Spezifischer Biogasertrag
nach dreimonatiger
Versuchsdauer**

564 NL kg oTS⁻¹

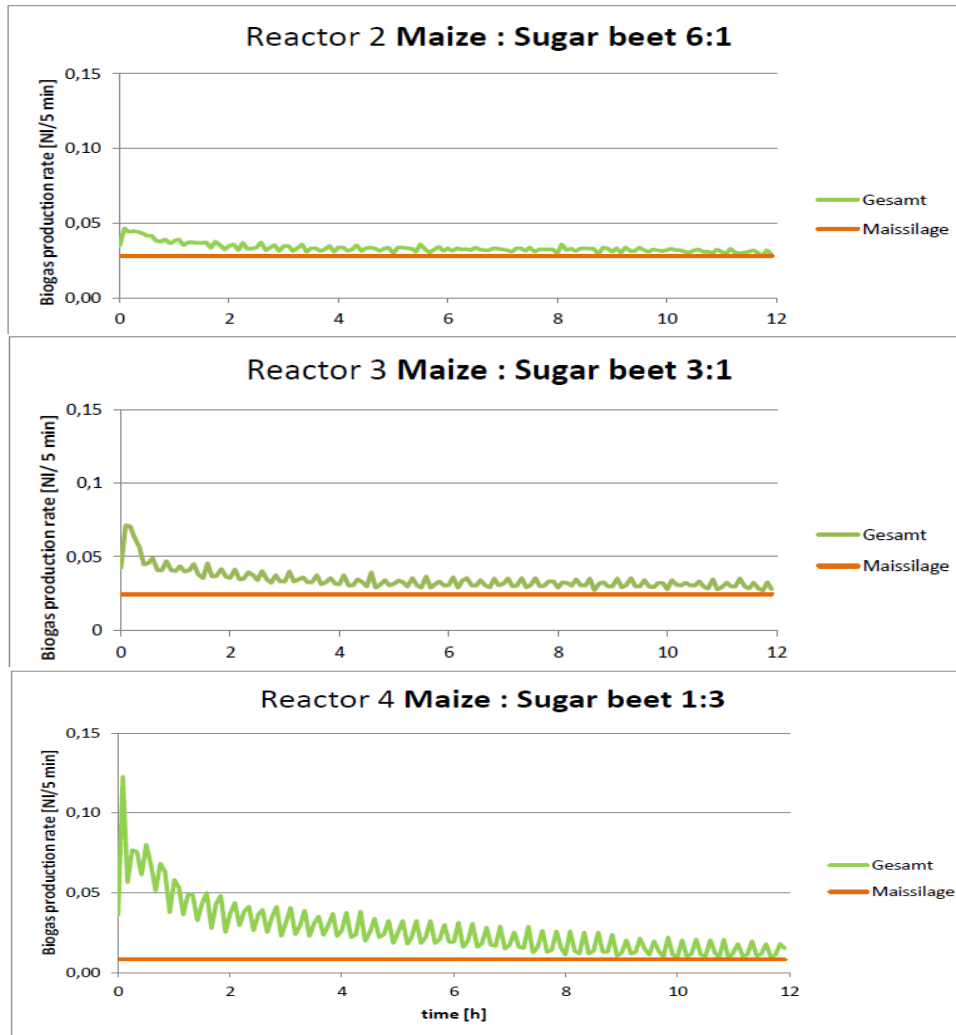
545 NL kg oTS⁻¹

479 NL kg oTS⁻¹

Destabilisierung des Fermentationsprozesses bei einem hohen Anteil der Zuckerrübensilage (CF4)



Unterschiede in der Biogasproduktion in Abhängigkeit vom Anteil der Zuckerrübensilage



**Spezifischer Biogasertrag
nach dreimonatiger
Versuchsdauer**

564 NL kg oTS⁻¹

545 NL kg oTS⁻¹

**Abnahme
des Ertrags**

479 NL kg oTS⁻¹

Prozessinstabilität

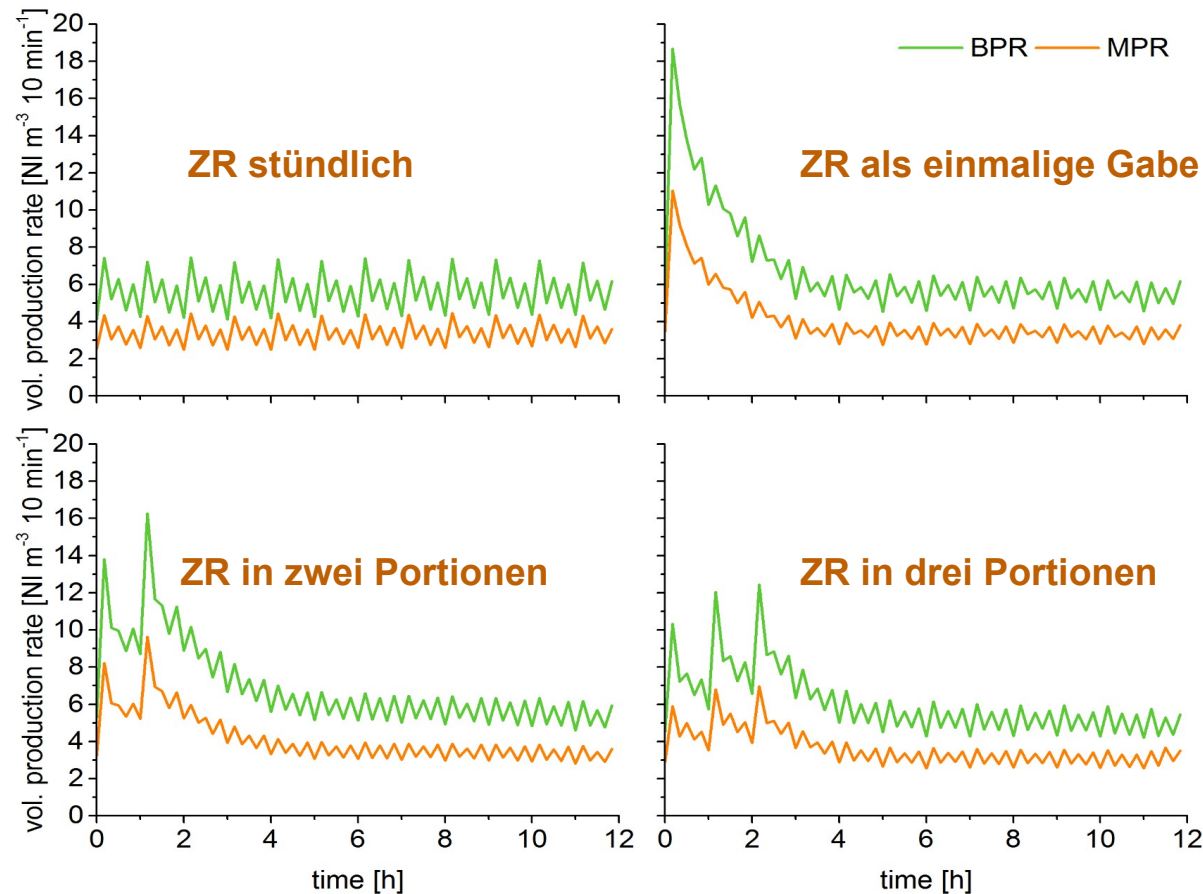
Flexibilisierung mit Zuckerrübe

1. In wie hohen Anteilen kann die Zuckerrübe zugeführt werden?
2. Mit welchem zeitlichen Vorlauf ist die Zuckerrübensilage in den Fermenter einzubringen?

Ergebnisse aus dem FNR-Projekt FLEXIZUCKER (Förderkennzeichen: 22402115)
„Verfahrenstechnische, enzymatische und genomische Charakterisierung
einer flexiblen Biogasproduktion mit gezieltem Einsatz von Zuckerrüben“

Gärversuche mit Aufteilung der Zuckerrübenzufuhr

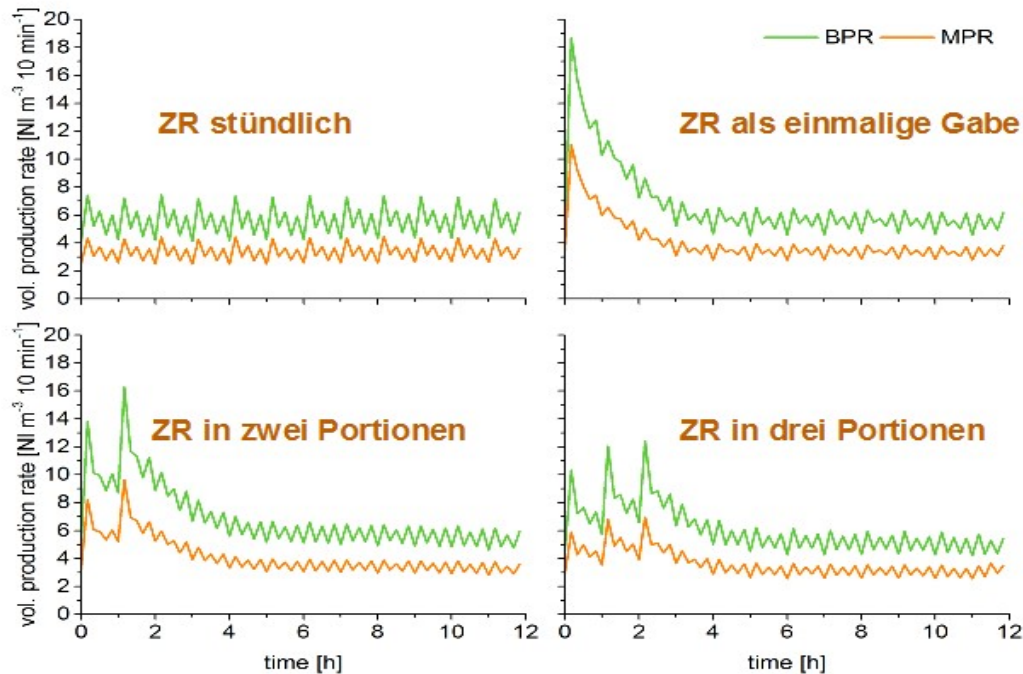
- Maissilage stündlich, Raumbelastung: $2 \text{ kg oTS m}^{-3} \text{ d}^{-1}$, Mais- / Zuckerrübensilage 3 : 1



Gärversuche mit Aufteilung der Zuckerrübenzufuhr

- Maissilage stündlich, Raumbelastung: 2 kg oTS m⁻³ d⁻¹, Mais- / Zuckerrübensilage 3 : 1

Fermenter	<i>n</i> (sBE)	sBE [l _N kg ⁻¹ oTS]	<i>n</i> (sME)	sME [l _N kg ⁻¹ oTS]	Mean Methane Content [L/100L]
CF1 (ZR 12x, stündlich)	183	471 ^a (5,5)	181	281 ^a (3,2)	59,9 (0,01)
CF2 (ZR 1x; h ₀)	113	579 ^c (8,4)	112	348 ^b (5,0)	60,2 (0,01)
CF3 (ZR 2x; h ₀ +h ₁)	142	574 ^c (6,3)	142	347 ^b (4,1)	60,0 (0,02)
CF4 (ZR 3x; h ₀ +h ₁ +h ₂)	146	529 ^b (7,3)	146	323 ^c (5,0)	60,0 (0,02)

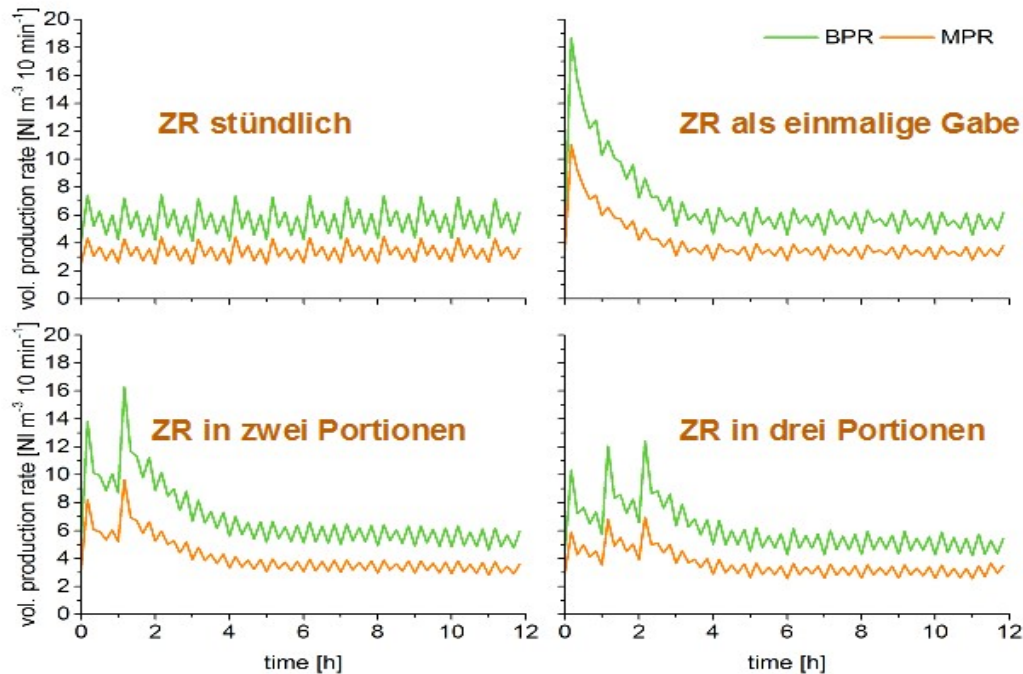


Gärversuche mit Aufteilung der Zuckerrübenzufuhr

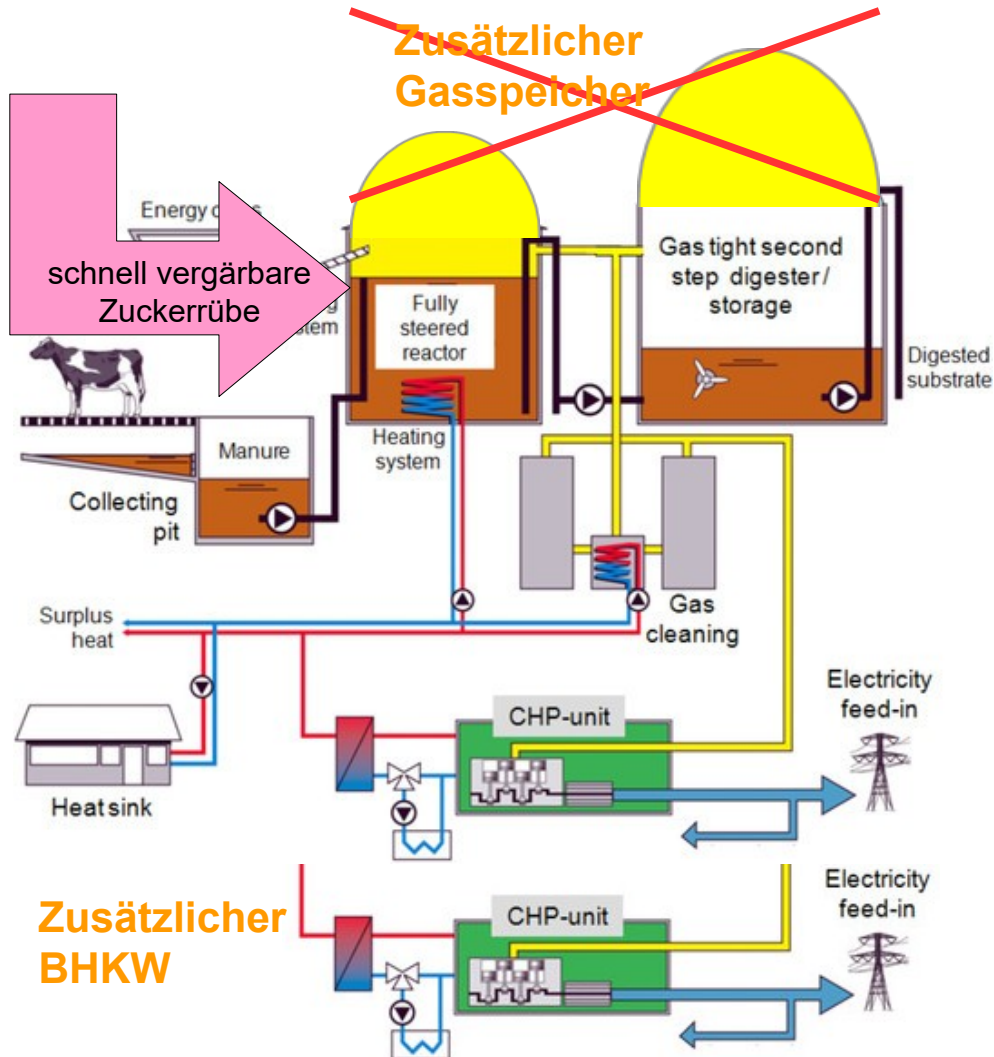
- Maissilage stündlich, Raumbelastung: 2 kg oTS m⁻³ d⁻¹, Mais- / Zuckerrübensilage 3 : 1

Fermenter	<i>n</i> (sBE)	sBE [l _N kg ⁻¹ oTS]	<i>n</i> (sME)	sME [l _N kg ⁻¹ oTS]	Mean Methane Content [L/100L]
CF1 (ZR 12x, stündlich)	183	471 ^a (5,5)	181	281 ^a (3,2)	59,9 (0,01)
CF2 (ZR 1x; h ₀)	113	579 ^c (8,4)	112	348 ^b (5,0)	60,2 (0,01)
CF3 (ZR 2x; h ₀ +h ₁)	142	574 ^c (6,3)	142	347 ^b (4,1)	60,0 (0,02)
CF4 (ZR 3x; h ₀ +h ₁ +h ₂)	146	529 ^b (7,3)	146	323 ^c (5,0)	60,0 (0,02)

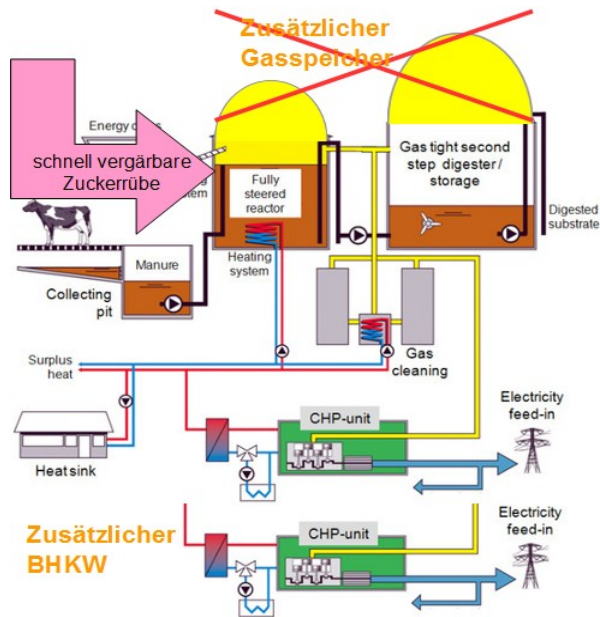
„booster“ Effekt
der Zuckerrübe
(Ahmed et al., 2016)
FNR FKZ 22013511



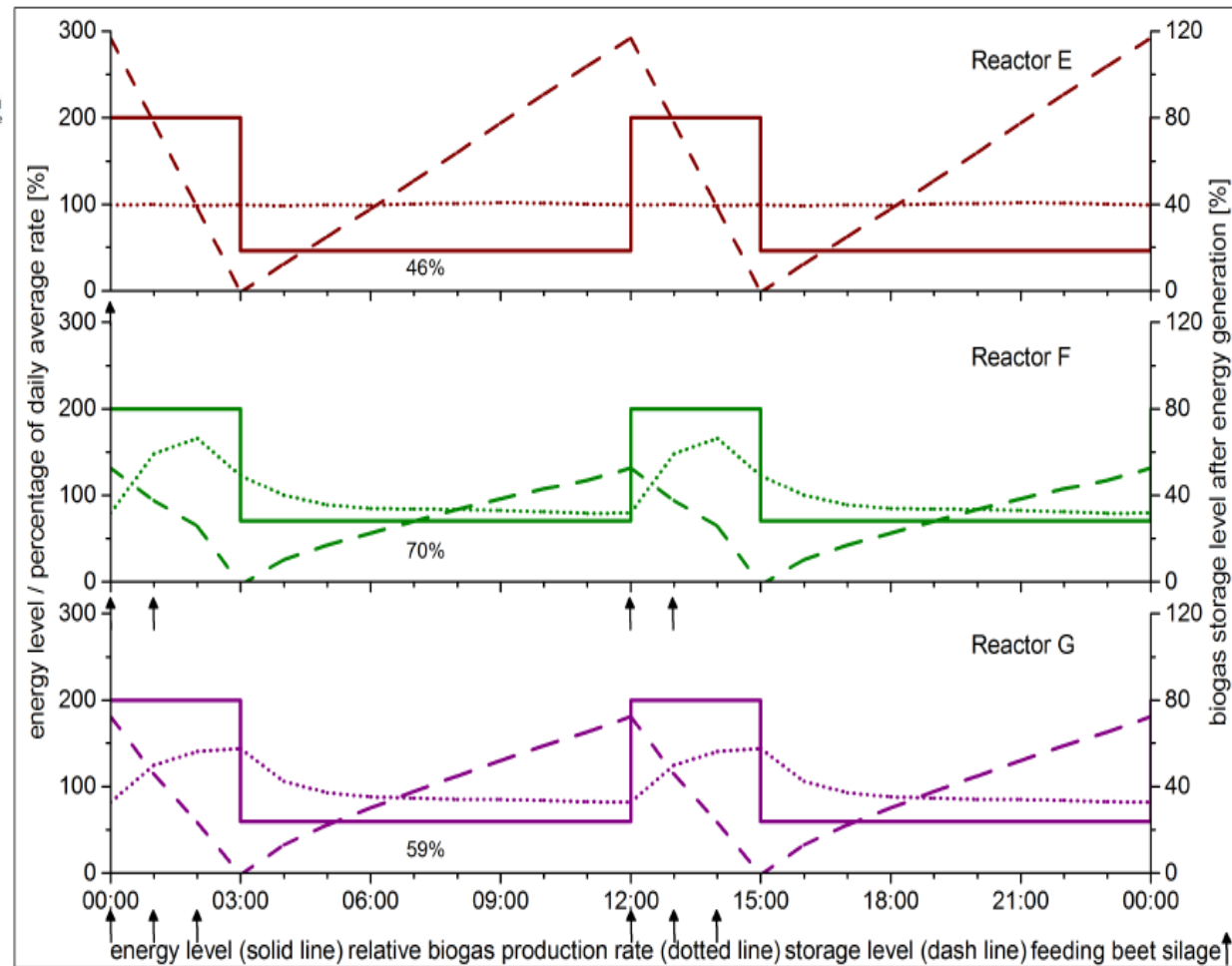
Kann die bedarfsgerechte Zuckerrübenzufuhr den Speicherzubau ersetzen?



Kann die bedarfsgerechte Zuckerrübenzufuhr den Speicherzubau ersetzen?



Mais- / Zuckerrübensilage 3 : 1, OLR = 2 kg oTS m⁻³ d⁻¹



Flexibilisierung mit Zuckerrübe

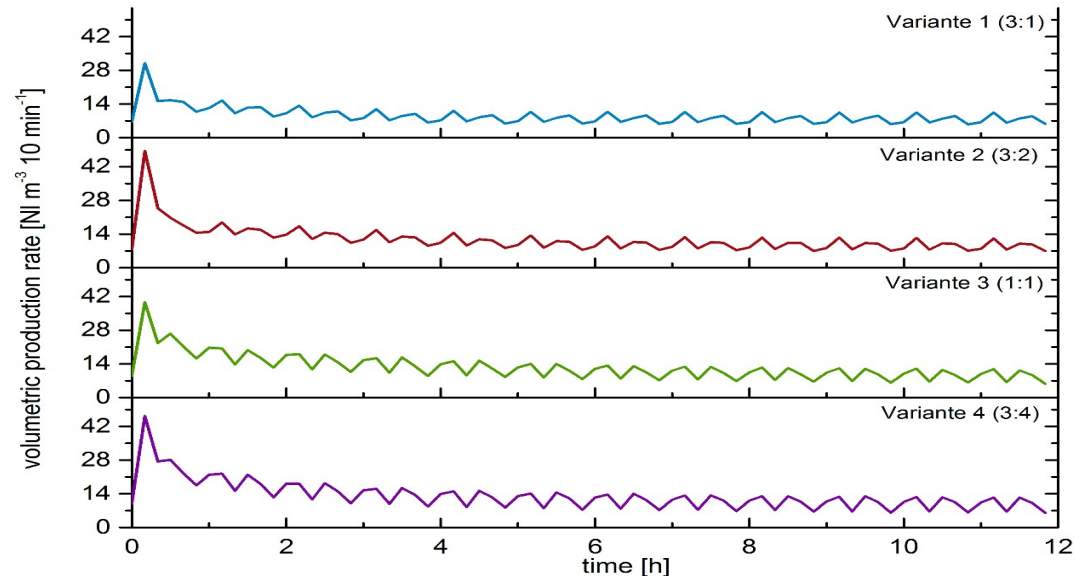
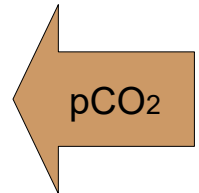
- 1. In wie hohen Anteilen kann die Zuckerrübe zugeführt werden?**
- 2. Mit welchem zeitlichen Vorlauf ist die Zuckerrübensilage in den Fermenter einzubringen?**

Ergebnisse aus dem FNR-Projekt FLEXIZUCKER (Förderkennzeichen: 22402115)
„Verfahrenstechnische, enzymatische und genomische Charakterisierung
einer flexiblen Biogasproduktion mit gezieltem Einsatz von Zuckerrüben“

Kontinuierliche Gärversuche mit steigendem Anteil der Zuckerrübensilage

- Maissilage stündlich, Zuckerrübensilage einmalig alle 12 Stunden

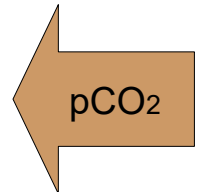
	Raumbelastung [kg oTS m ⁻³ d ⁻¹]			oTS- Verhältnis Mais / Zuckerrübe	Spezifische Erträge [L _N kg ⁻¹ oTS]		FOS/ TAC	pCO ₂ [hPa]
	Mais	Zuckerrübe	gesamt		Biogas	Methan		
Variante 1	1,5	0,5	2,0	3:1	655	384	0,06	120
Variante 2	1,5	1,0	2,5	3:2	675	388	0,06	200
Variante 3	1,5	1,5	3,0	1:1	602	361	0,06	220
Variante 4	1,5	2,0	3,5	3:4	542	290	0,54	850



Kontinuierliche Gärversuche mit steigendem Anteil der Zuckerrübensilage

- Maissilage stündlich, Zuckerrübensilage einmalig alle 12 Stunden

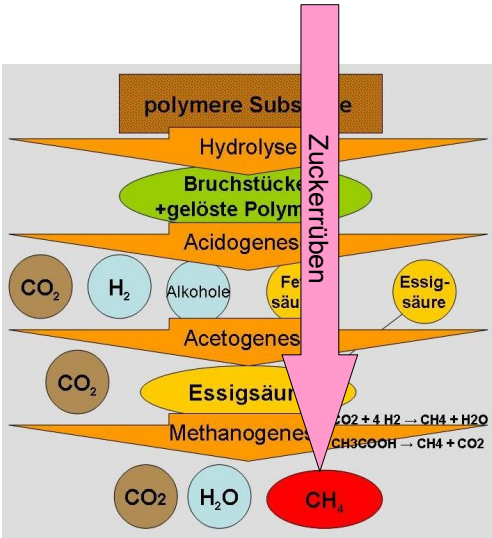
	Raumbelastung [kg oTS m ⁻³ d ⁻¹]			oTS- Verhältnis Mais / Zuckerrübe	Spezifische Erträge [L _N kg ⁻¹ oTS]		FOS/ TAC	pCO ₂ [hPa]
	Mais	Zuckerrübe	gesamt		Biogas	Methan		
Variante 1	1,5	0,5	2,0	3:1	655	384	0,06	120
Variante 2	1,5	1,0	2,5	3:2	675	388	0,06	200
Variante 3	1,5	1,5	3,0	1:1	602	361	0,06	220
Variante 4	1,5	2,0	3,5	3:4	542	290	0,54	850



Anlagen mit bedarfsgerechter Biogasproduktion
sowie mit Bedarf an intensiver Prozessüberwachung
für den Einsatz der pCO₂-Messung gesucht.

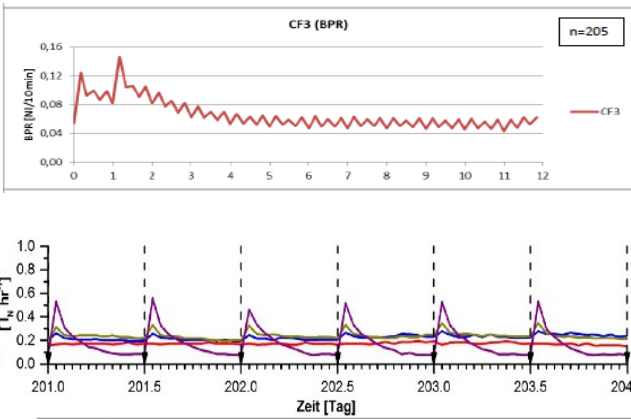
Kontakt: kerstin.maurus@uni-ulm.de, marian.kazda@uni-ulm.de

Fazit: Flexibel durch Zuckerrüben



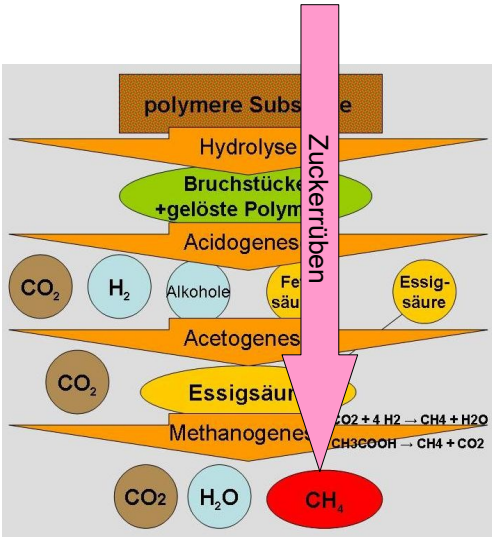
Verbesserter Abbau

Schnelle Methanbildung



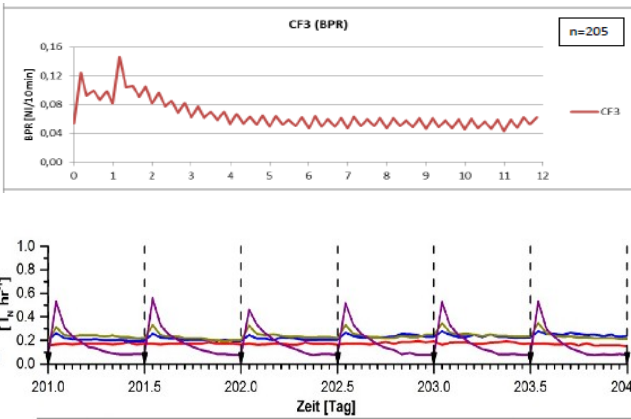
Speicher-
zubau?

Fazit: Flexibel durch Zuckerrüben



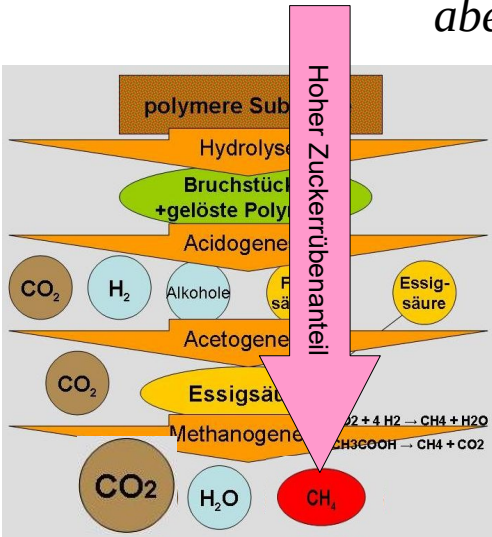
Verbesserter Abbau

Schnelle Methanbildung



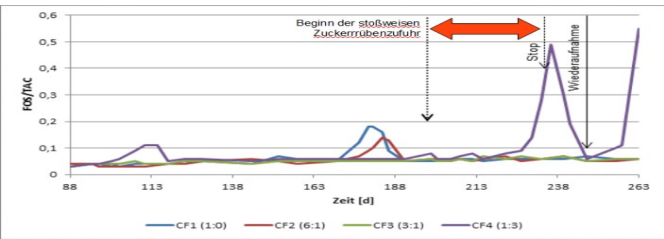
Speicher-
zubau?

aber, bei zu viel Zuckerrübe



Langfristige Destabilisierung

Mehr CO2
Geringere Erträge



	Raumbelastung [kg oTS m⁻³ d⁻¹]			oTS-Verhältnis Mais / Zuckerrübe	Spezifische Erträge [L _N kg⁻¹ oTS]		FOS/TAC	pCO ₂ [hPa]
	Mais	Zuckerrübe	gesamt		Biogas	Methan		
Variante 1	1,5	0,5	2,0	3:1	655	384	0,06	120
Variante 2	1,5	1,0	2,5	3:2	675	388	0,06	200
Variante 3	1,5	1,5	3,0	1:1	602	361	0,06	220
Variante 4	1,5	2,0	3,5	3:4	542	290	0,54	850

Flexibilisierung -
kein Kinderspiel



