

Daten statt Bauchgefühl:

Wie Gärrest-Rückführung den Biogasprozess beeinflusst

fundiert · quantifiziert · modelliert

Bomin Yuan

Wissenschaftliche Mitarbeiterin | Bereich Bioraffinerien

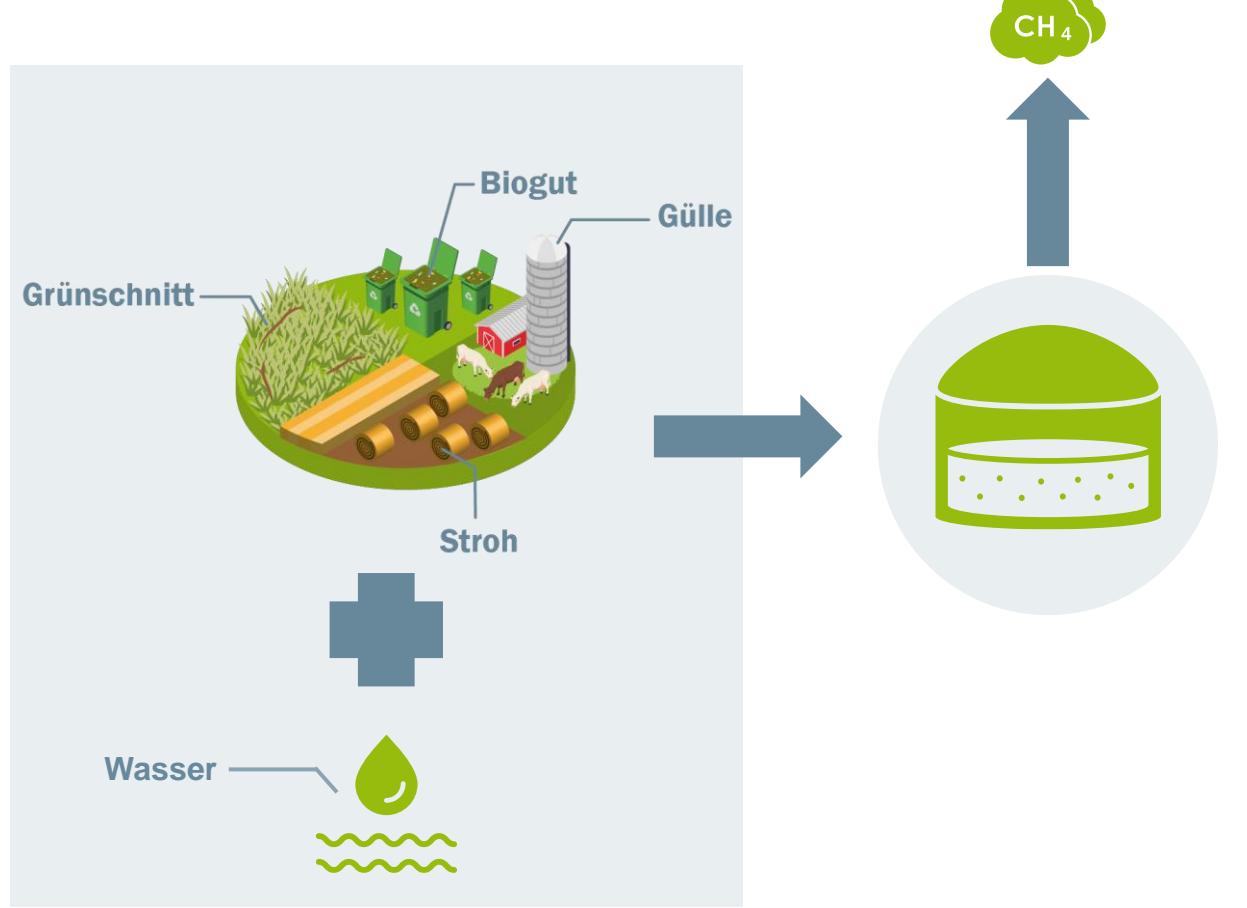
1. Hintergrund & Motivation

Im Auftrag des:

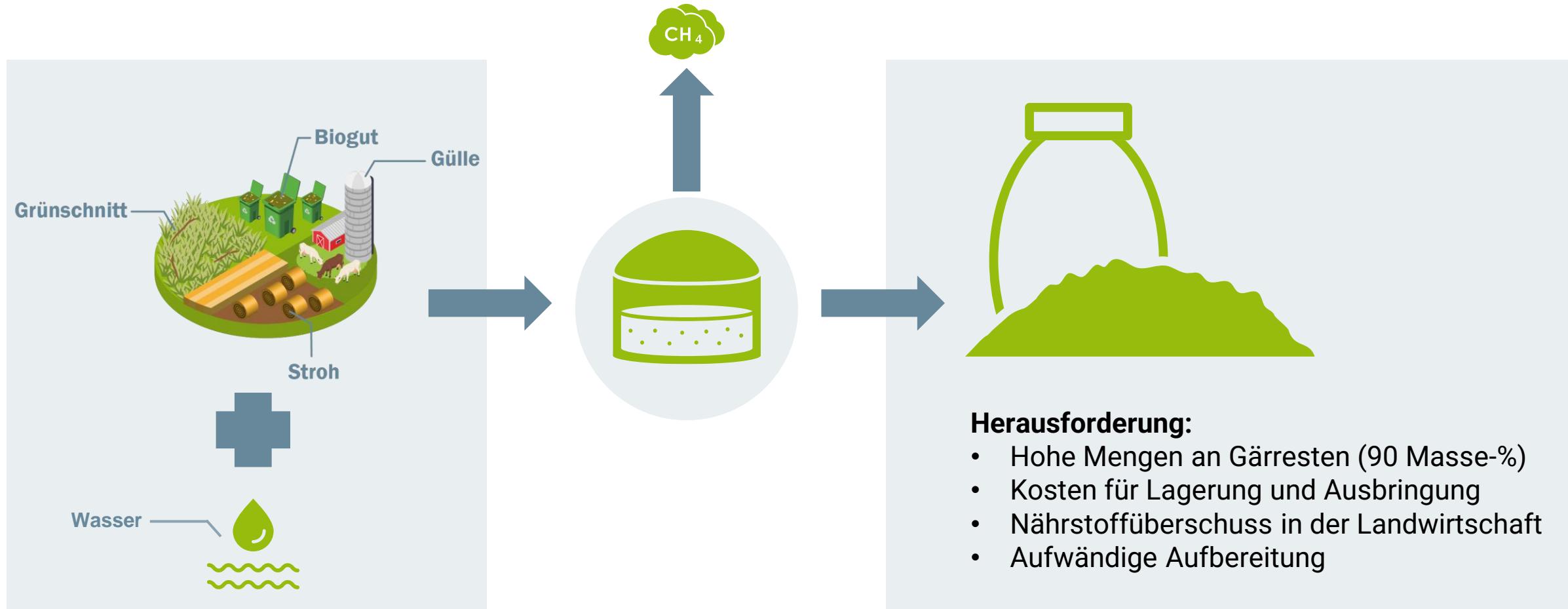


Bundesministerium
für Verkehr

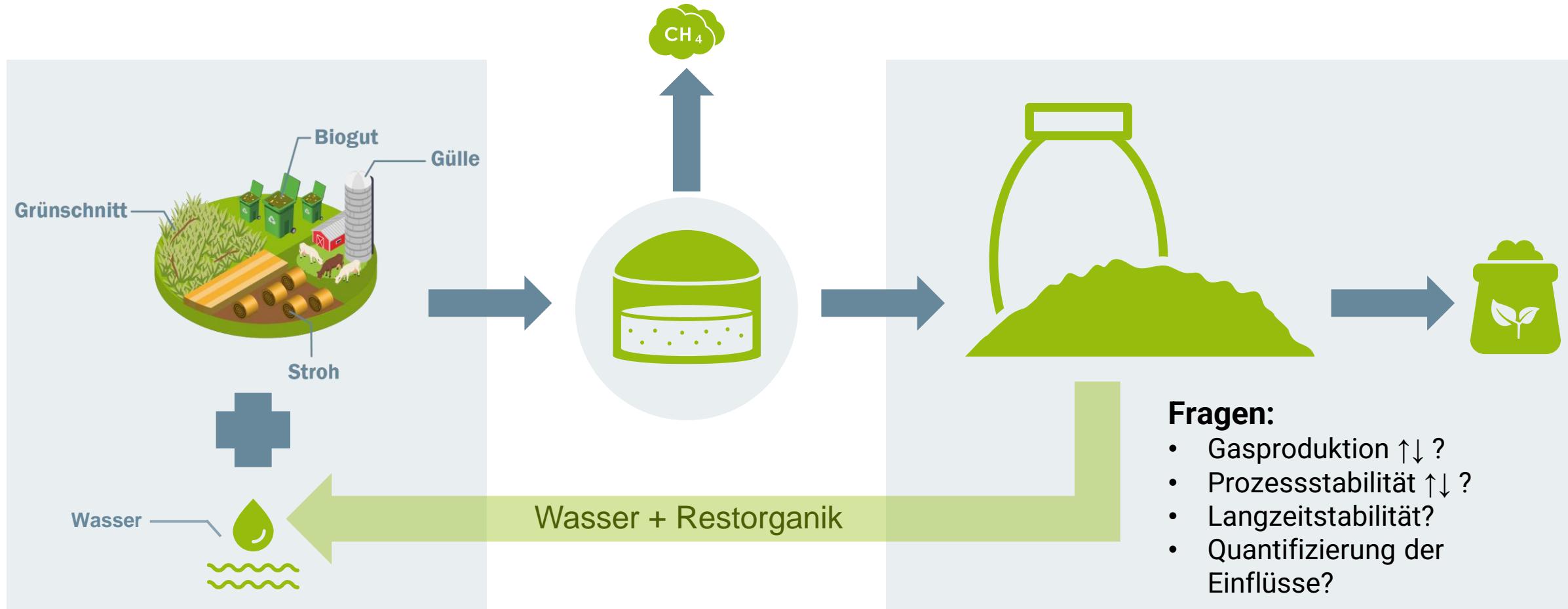
1.1 Anaerobe Vergärung - Verwertung der Reststoffe zur Bioenergie



1.2 Herausforderungen der Gärrestbehandlung



1.3 Gärrest-Rückführung in den Fermenter



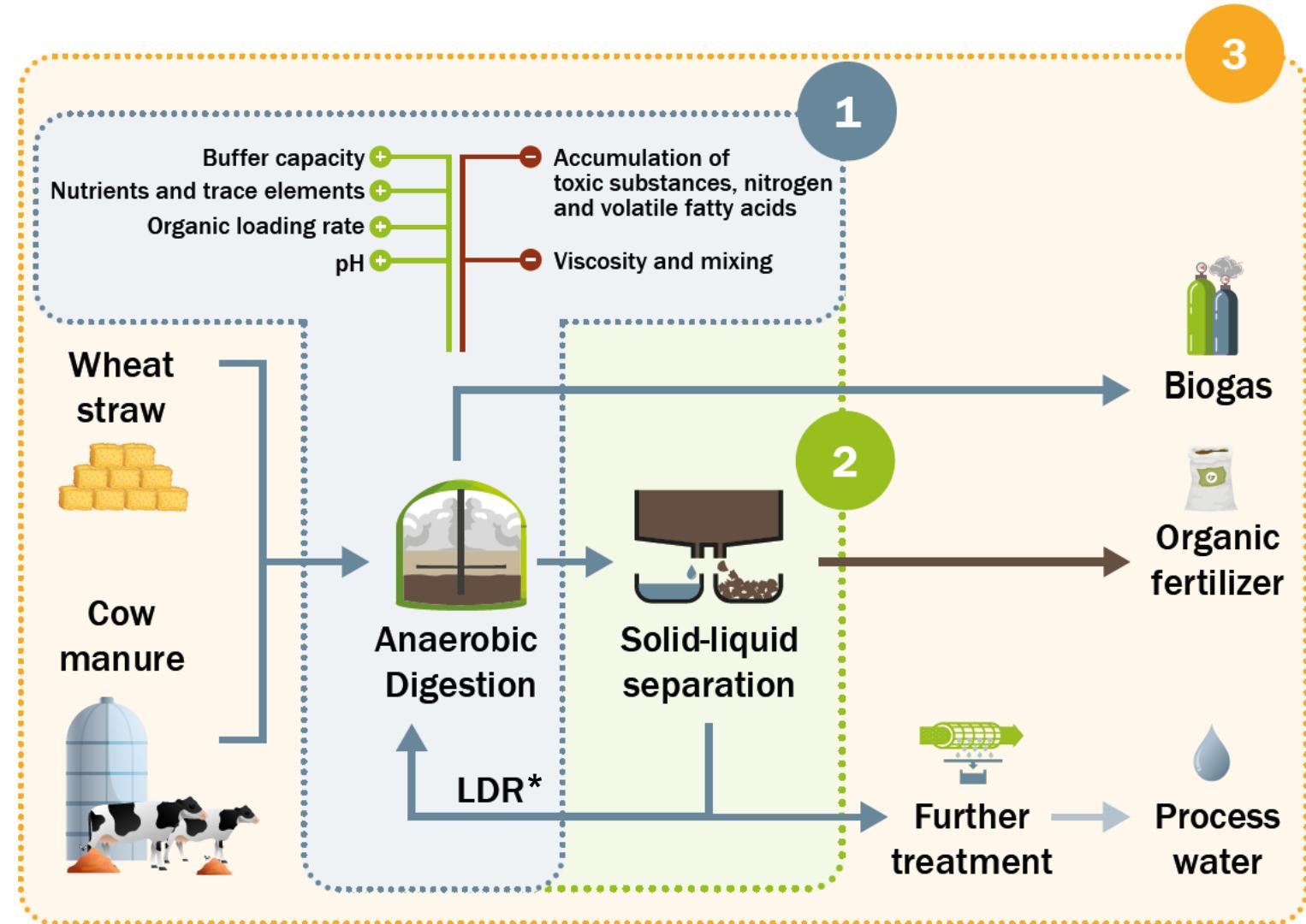
2. Methodik

Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Verkehr

2.1 Drei Arbeitsschritte zur Bewertung der Gärrestrückführung



1 Laborversuche

2 Prozess-Simulation

3 Prozess-Bewertung

*: LDR – Liquid Digestate Recirculation

2.2 Sechs Laborreaktoren



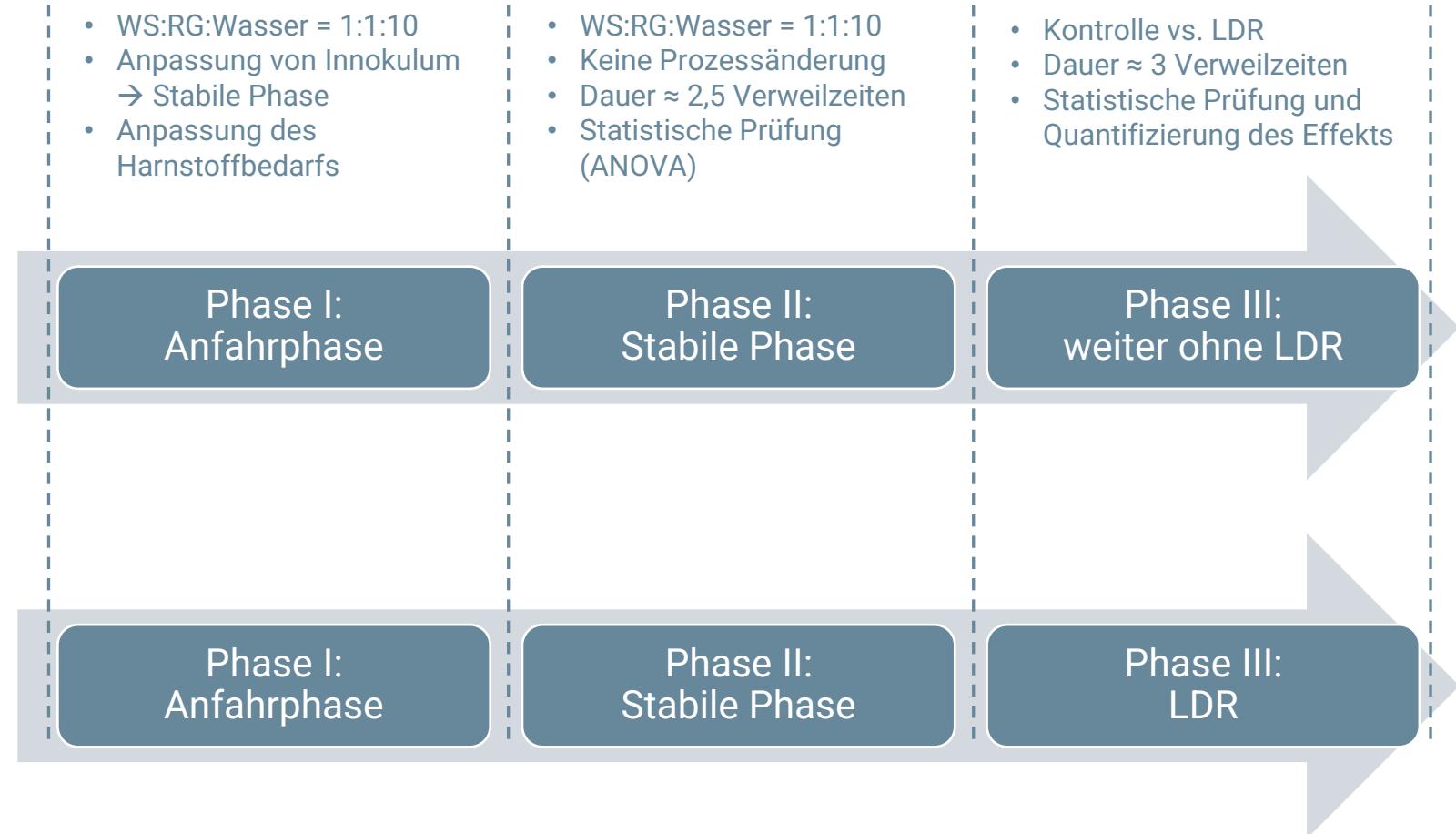
Sechs identische Laborreaktoren

- kontinuierlicher Rührkesselreaktor
- Substrat: WS : RG : Wasser = 1:1:10
- Tägliche Fütterung und Gärrestabzug
- Mesophil (39 °C)
- Raumbelastung = $2,5 \text{ g}_{\text{oTS}} \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$
- Verweilzeit = 30 Tage

WS - Weizenstroh; RG – Rindgülle

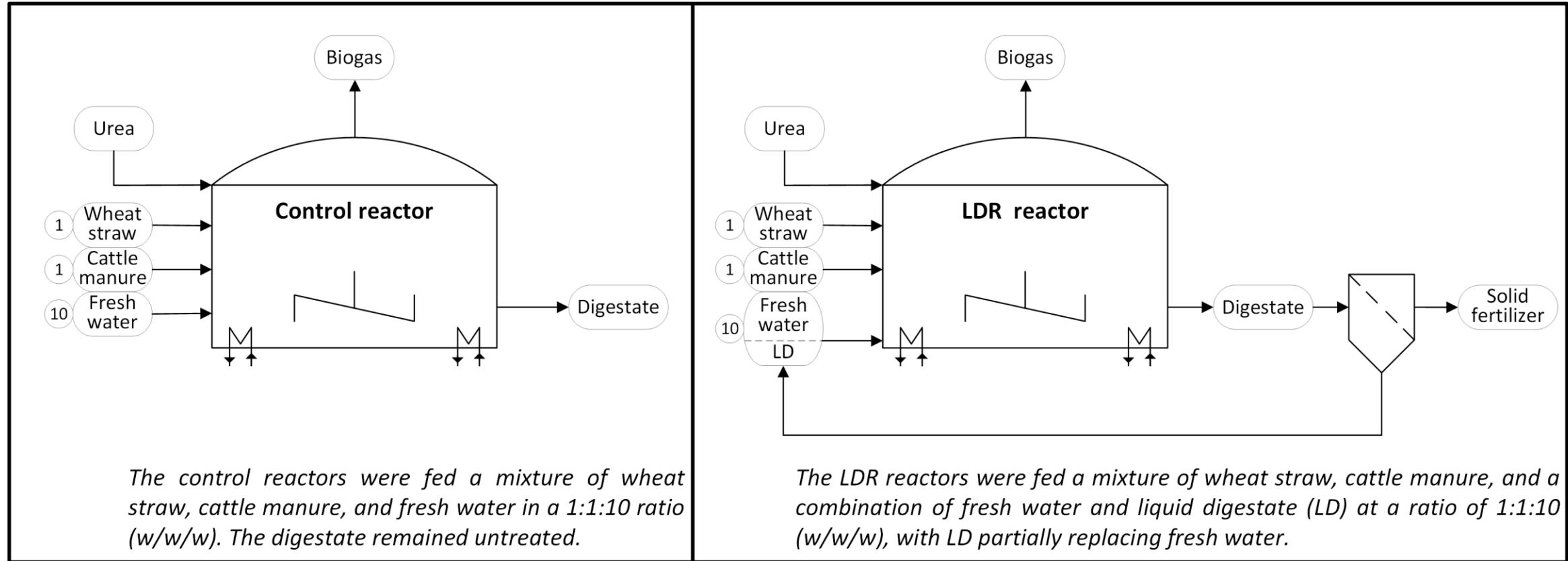
2.3 Drei Versuchphasen

- Kontrollreaktoren
- LDR-Reaktoren



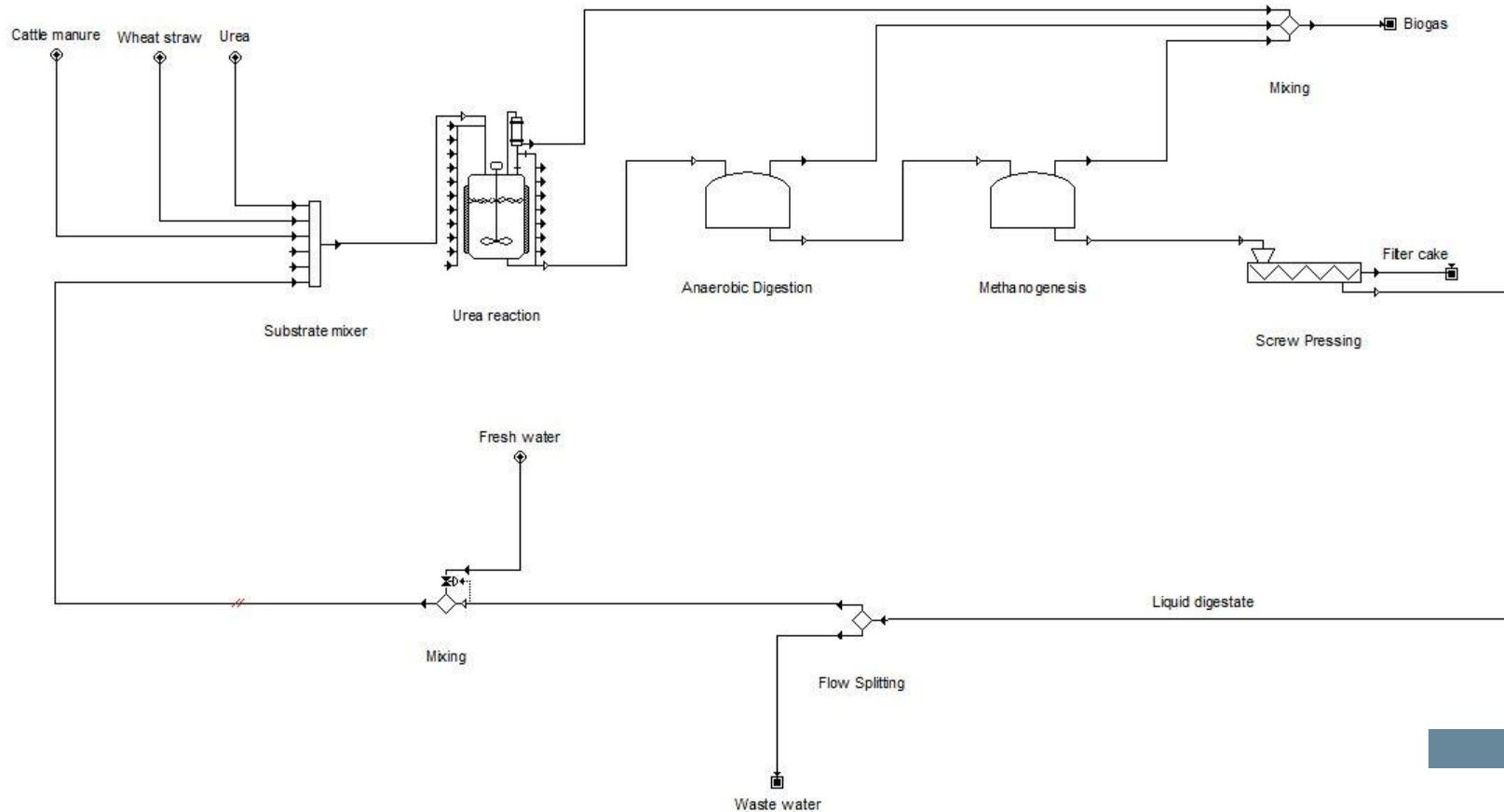
WS - Weizenstroh; RG – Rindgülle; LDR – Liquid Digestate Recirculation

2.4 Versuchsaufbau: Kontroll- vs. LDR-Reaktor



LDR – Liquid Digestate Recirculation

2.5 Prozesssimulation mit SuperPro Designer®



- Basiert auf ADM1
- Zweistufige AD
- Direkte Rückführung im Simulationsmodell
- Automatische Anpassung des Frischwasserbedarfs



Vergleich verschiedenem Szenarien
→ Prozessbewertung und -Optimierung

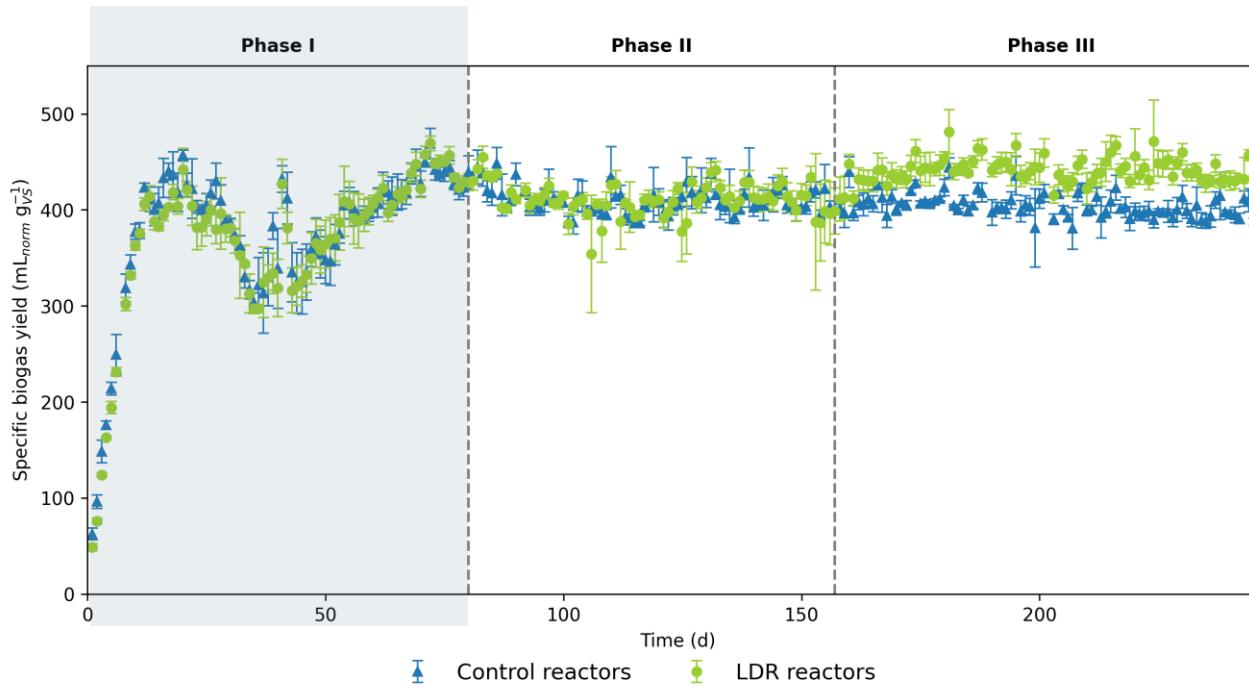
3. Ergebnisse

Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Verkehr

3.1 Biogasausbeute

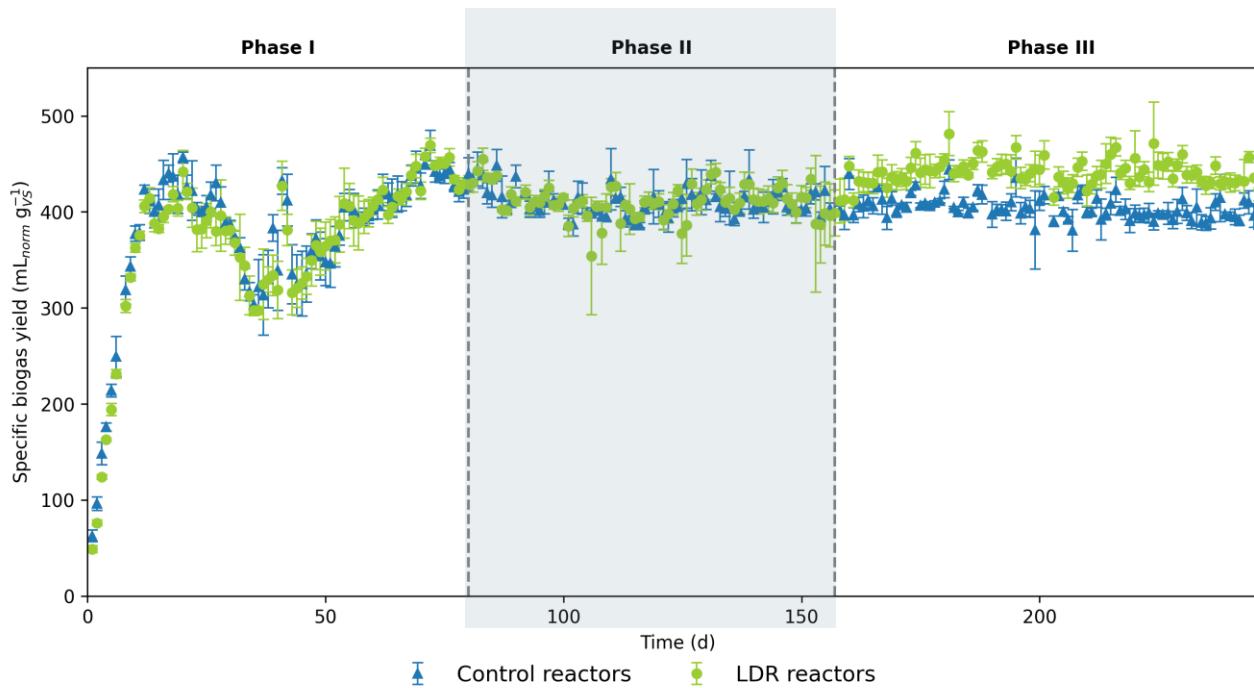


Phase I – Anfahrphase:

- Nach Inokulation rascher Anstieg der SBP
- Starker Einbruch zwischen Tag 20-40 aufgrund von Stickstoffmangel im Substrat
- Harnstoff-Zugabe stabilisierte anschließend die Gasproduktion

SBP - spezifischen Biogasproduktion; LDR – Liquid Digestate Recirculation

3.1 Biogasausbeute



Phase I – Anfahrphase:

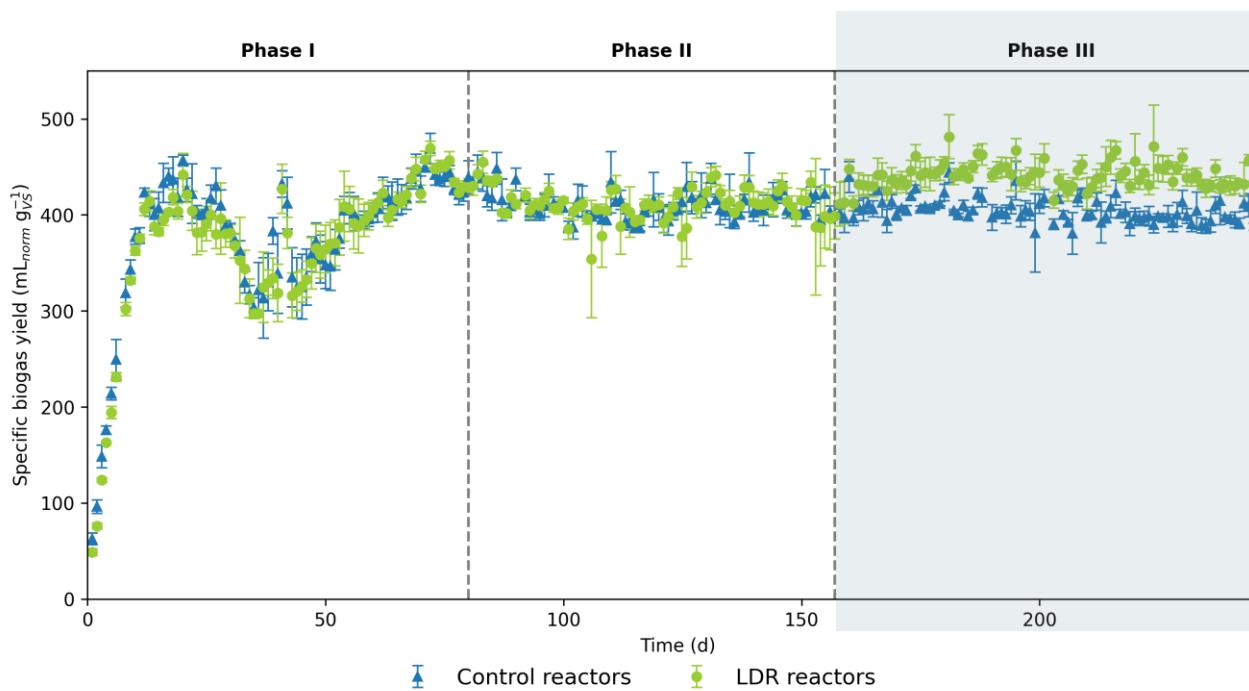
- Nach Inokulation rascher Anstieg der SBP
- Starker Einbruch zwischen Tag 20-40 aufgrund von Stickstoffmangel im Substrat
- Harnstoff-Zugabe stabilisierte anschließend die Gasproduktion

Phase II – stabile Phase:

- SBP ohne zeitlichen Trend → stabiler Betrieb in allen Reaktoren.
- Methangehalt sehr stabil: Ø 53.5 ± 0.6%
- Reaktoren dennoch nicht identisch → ANOVA zeigte signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Reaktoren → Reaktorvariabilität
- Mixed-Effects model notwendig!

SBP - spezifischen Biogasproduktion; LDR – Liquid Digestate Recirculation

3.1 Biogasausbeute und Methangehalt



Phase I – Anfahrphase:

- Nach Inokulation rascher Anstieg der SBP
- Starker Einbruch zwischen Tag 20-40 aufgrund von Stickstoffmangel im Substrat
- Harnstoff-Zugabe stabilisierte anschließend die Gasproduktion

Phase II – stabile Phase:

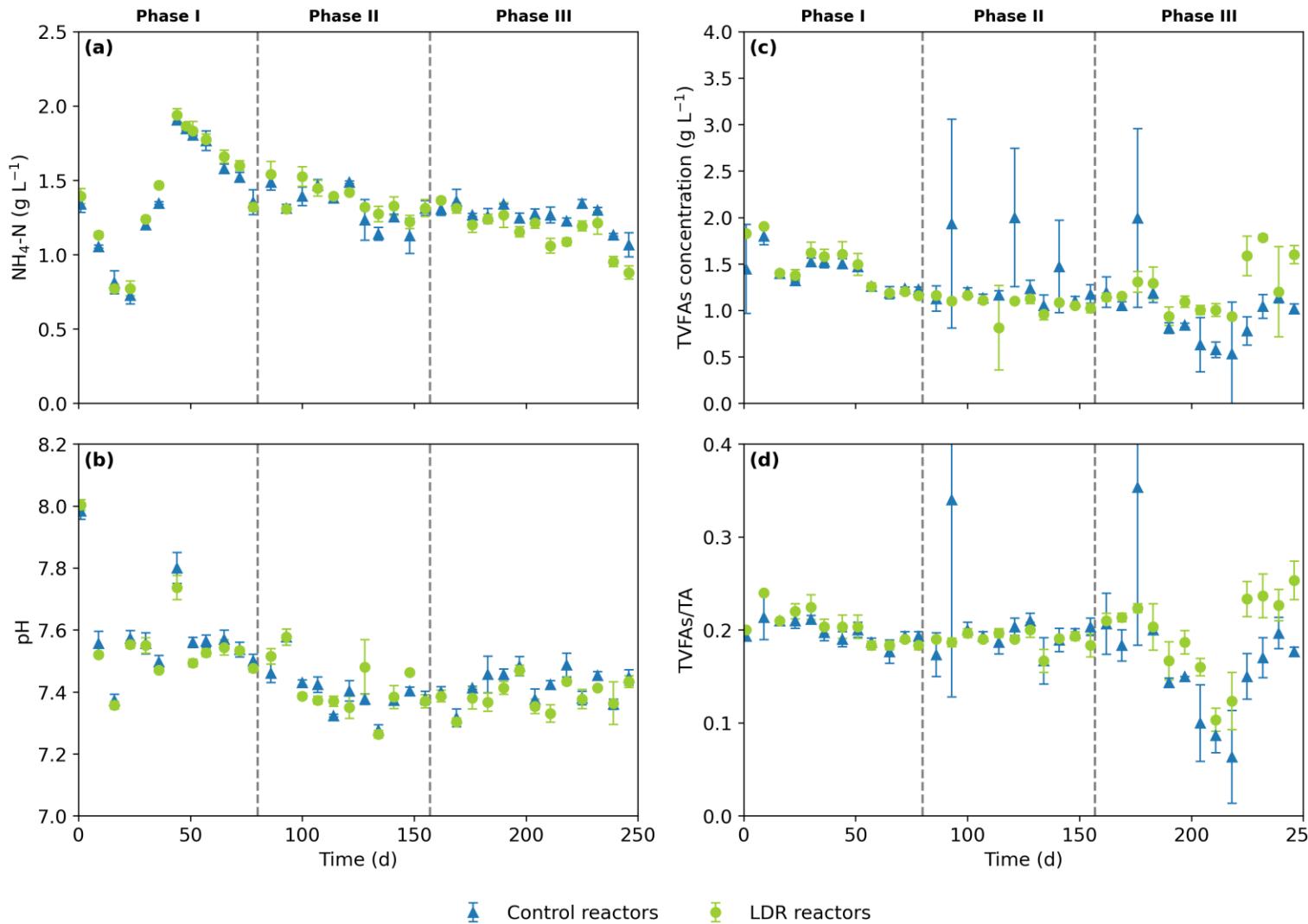
- SBP ohne zeitlichen Trend → stabiler Betrieb in allen Reaktoren.
- Methangehalt sehr stabil: $\bar{\Omega} 53.5 \pm 0.6\%$
- Reaktoren dennoch nicht identisch → ANOVA zeigte signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Reaktoren → Reaktorvariabilität
- Mixed-Effects model notwendig!

Phase III – LDR Phase:

- SBP unter LDR → 9,7% höher als Kontrolle ($p = 0,006$)
- Methanproduktion → 8,0% höher als Kontrolle ($p = 0,011$)
- LDR ersetzte 71 % des Frischwassers
- Vergleich mit BMP - biochemische Methanpotenzial
 - Kontrolle erreicht 81% BMP
 - LDR erreicht 87% BMP
- bessere Substratausnutzung unter LDR

SBP - spezifische Biogasproduktion; LDR – Liquid Digestate Recirculation

3.2 Prozessstabilität unter LDR: Ammonium, pH und Säuren



Prozessstabilität unter LDR:

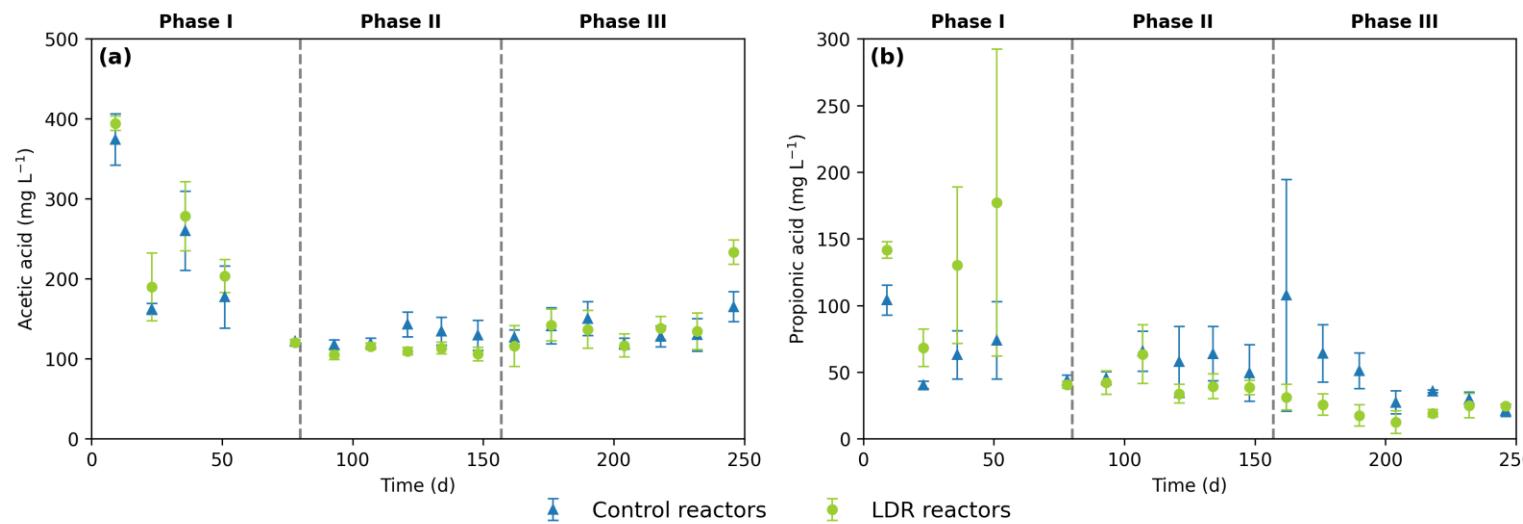
- Ammoniumkonzentrationen ($\text{NH}_4\text{-N}$) im LDR** leicht niedriger als in der Kontrolle → kein Hinweis auf Anreicherung oder Toxizität
- pH-Werte stabil** → keine Tendenz zur Versauerung trotz Rückführung
- TVFAs leicht erhöht im LDR**, aber weit unter Hemmschwellen aus der Literatur
- TVFA/TA-Verhältnis im empfohlenen Bereich (0,1–0,4)** → ausreichende Pufferkapazität



**Keine Hinweise auf
Prozessinstabilität oder
Störung**

LDR – Liquid Digestate Recirculation

3.3 Prozessstabilität unter LDR: Einzelne VFAs



Organische Säuren:

- **Essigsäure: $103\text{-}255 \text{ mg L}^{-1}$, Propionsäure: $2\text{-}94 \text{ mg L}^{-1}$** → deutlich unter Literaturgrenzwerten
 - Indikatoren für einen stabilen Prozess: Essigsäure unter 1000 mg L^{-1} und Propionsäure unter 250 mg L^{-1} [1]
- Keine Anzeichen für Säureakkumulation oder Abbaustörungen
- Deutlicher Hinweis auf aktive mikrobielle Nutzung der rückgeführten Stoffe
- Unterstützt die höhere Methanausbeute bei stabiler Prozessführung

[1] Drosg, B., 2013. Process monitoring in biogas plants. ISBN: 978-1-910154-03-8

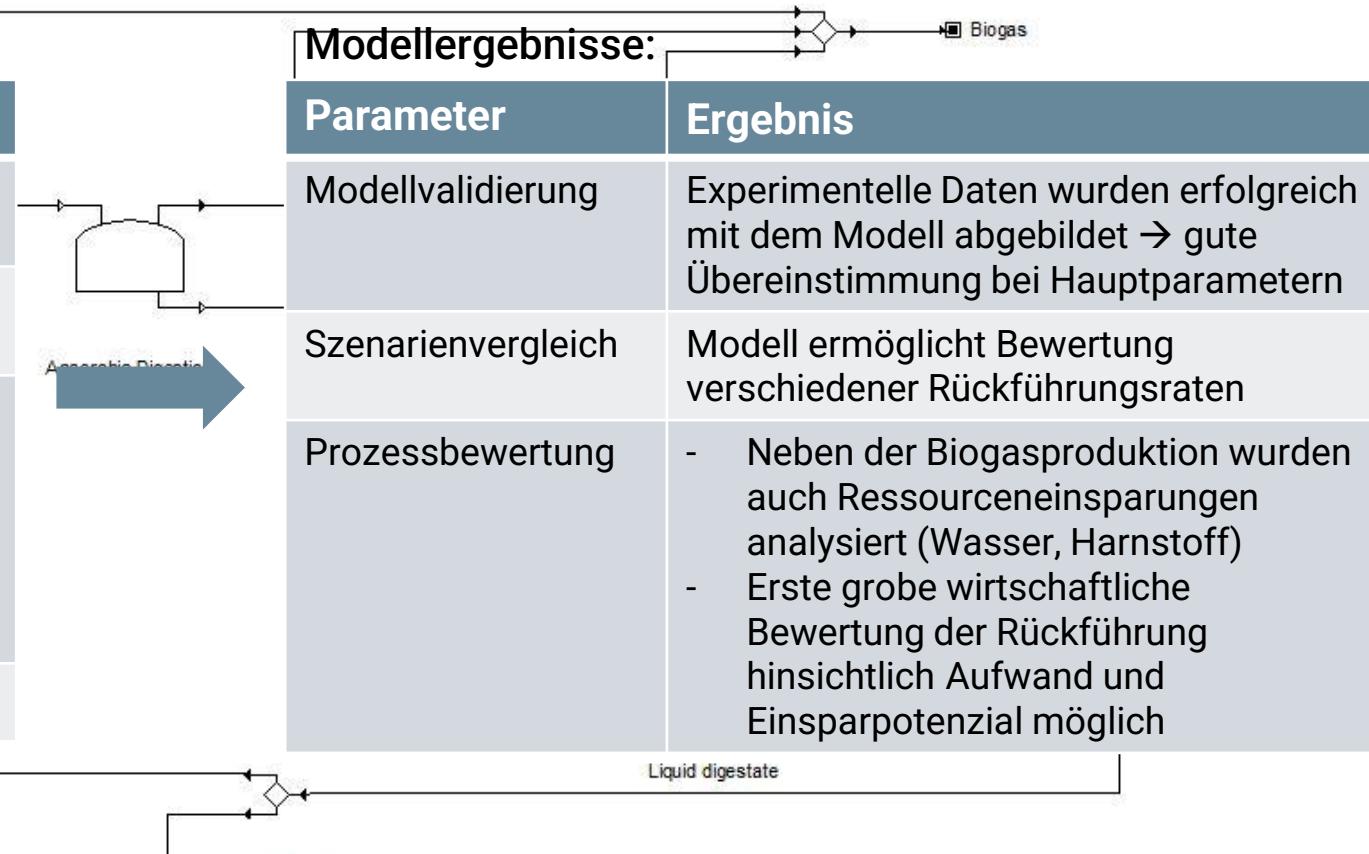
LDR – Liquid Digestate Recirculation

3.5 Modellierung der LDR: Szenarienanalyse im Vergleich

Modelübersicht:

Temperature Wheat straw Urea

Modellbeschreibung	Details
Modellstruktur	ADM1-basiertes steady-state Modell in SuperPro Designer®
Substrateingabe	Weizenstroh : Rindgülle : Wasser = 1:1:10
Annahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Anaerobe Abbaupfade nach vereinfachte ADM1-R3 Modell [2] - Hemmeffekte durch Stickstoff und VFA wurden berücksichtigt
Rückführungsrationen	Verschiedene Szenarien



[2] Weinrich, S., Nelles, M., 2021b. Systematic simplification of the Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1) - Model development and stoichiometric analysis. Bioresource Technology 333, 125124. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125124>.

LDR – Liquid Digestate Recirculation

4. Fazit und Ausblick

Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Verkehr

4.1 Fazit

- Rückführung (LDR) steigerte Biogas- und Methanausbeute deutlich
- Prozessstabilität blieb erhalten
- Langzeitversuche mit realen Reststoffen belegen Praxistauglichkeit
- Simulationsmodell valide gegenüber Experiment
- Quantifizierte Effekte und Einsparpotenziale der Ressourcen



Die Schlussfolgerungen sind substrat- und prozessspezifisch!

4.2 Rückführung weiterdenken - vom Versuch zur Anwendung

- Weitere Substrate und Prozesse testen
- Modellparameter auf neue Systeme anpassen
- Grenzen der Rückführungsrate untersuchen
- Rückführung praxistauglich und dynamisch steuern
- Wirtschaftliche Bewertung vertiefen (Ressourcen, Aufwand, Nutzen)

Interesse?
Kontaktieren Sie uns!

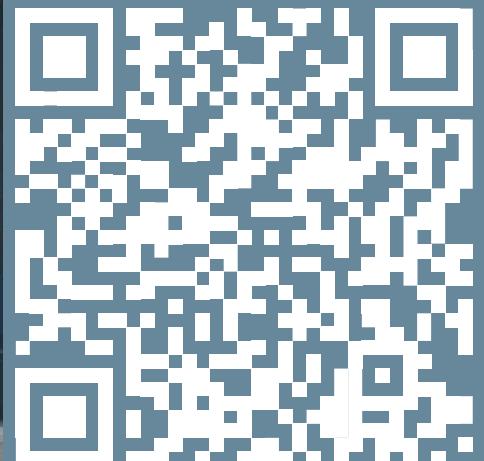
Bomin Yuan
Bereich Bioraffinerien
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116
D-04347
Leipzig

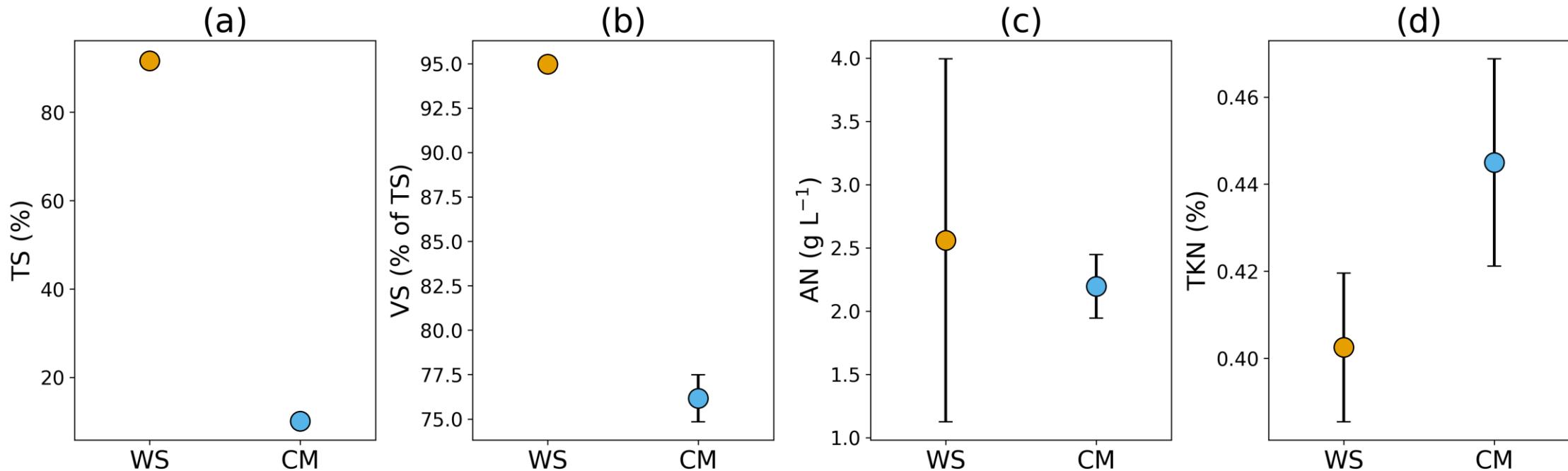
Bomin.Yuan@dbfz.de
+49 (0)341 2434-430



www.dbfz.de/pilot-sbg

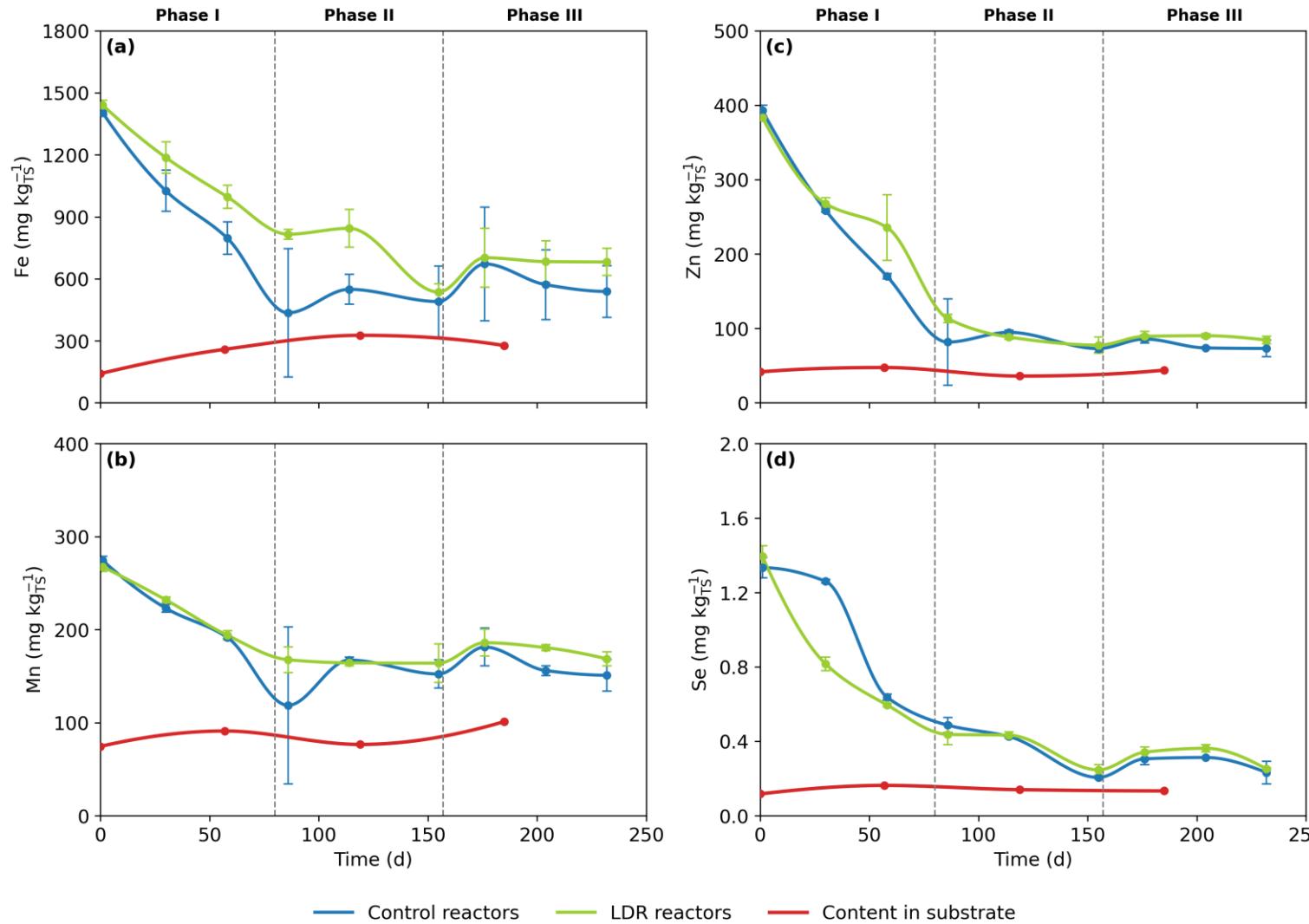


A 1 – Substratstabilität über den Versuchszeitraum



Characteristics of wheat straw (WS) and cattle manure (CM) used in the anaerobic digestion experiment. (a) total solids (TS); (b) volatile solids (VS); (c) ammonium nitrogen (AN); and (d) total Kjeldahl nitrogen (TKN).

A 2 – Prozessstabilität unter LDR: Spurenelemente



Spurenelemente:

- Anfangskonzentrationen durch Inokulum erhöht, späterer Rückgang wegen geringer Substratgehalte
- Keine Anreicherung durch LDR → stabile Konzentrationen über Versuchsdauer
- Keine Hinweise auf toxische Effekte oder Spurenelementungleichgewichte

LDR – Liquid Digestate Recirculation