

Daten statt Bauchgefühl: Wie Gärrest-Rückführung den Biogasprozess beeinflusst

fundiert · quantifiziert · modelliert

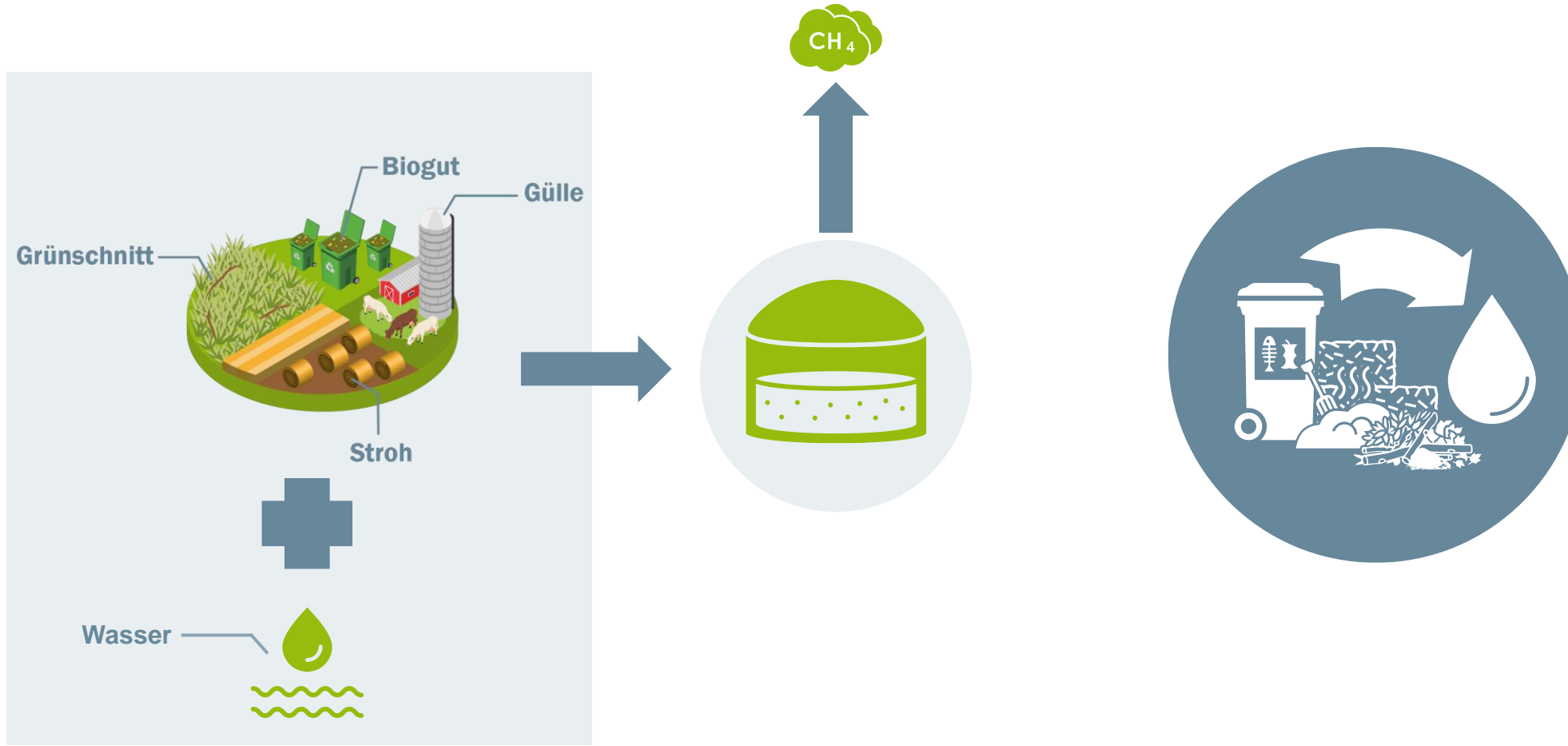
Bomin Yuan

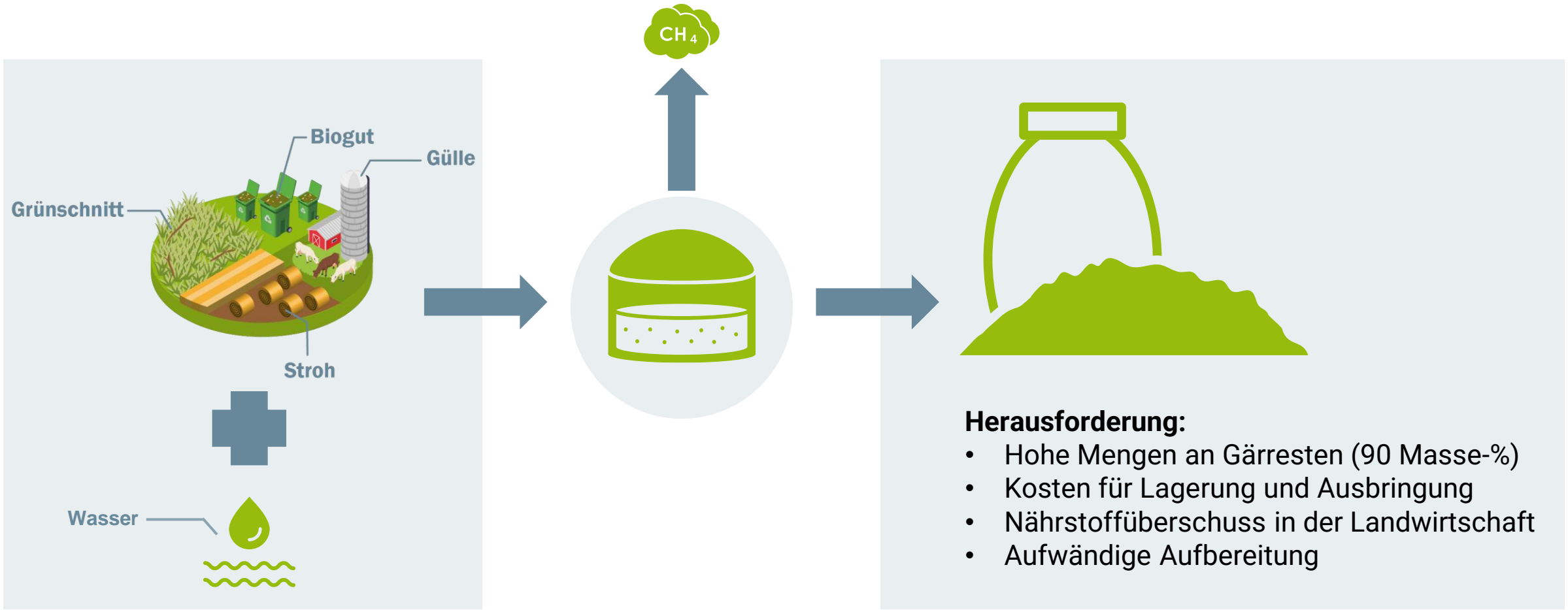
Wissenschaftliche Mitarbeiterin | Bereich Bioraffinerien

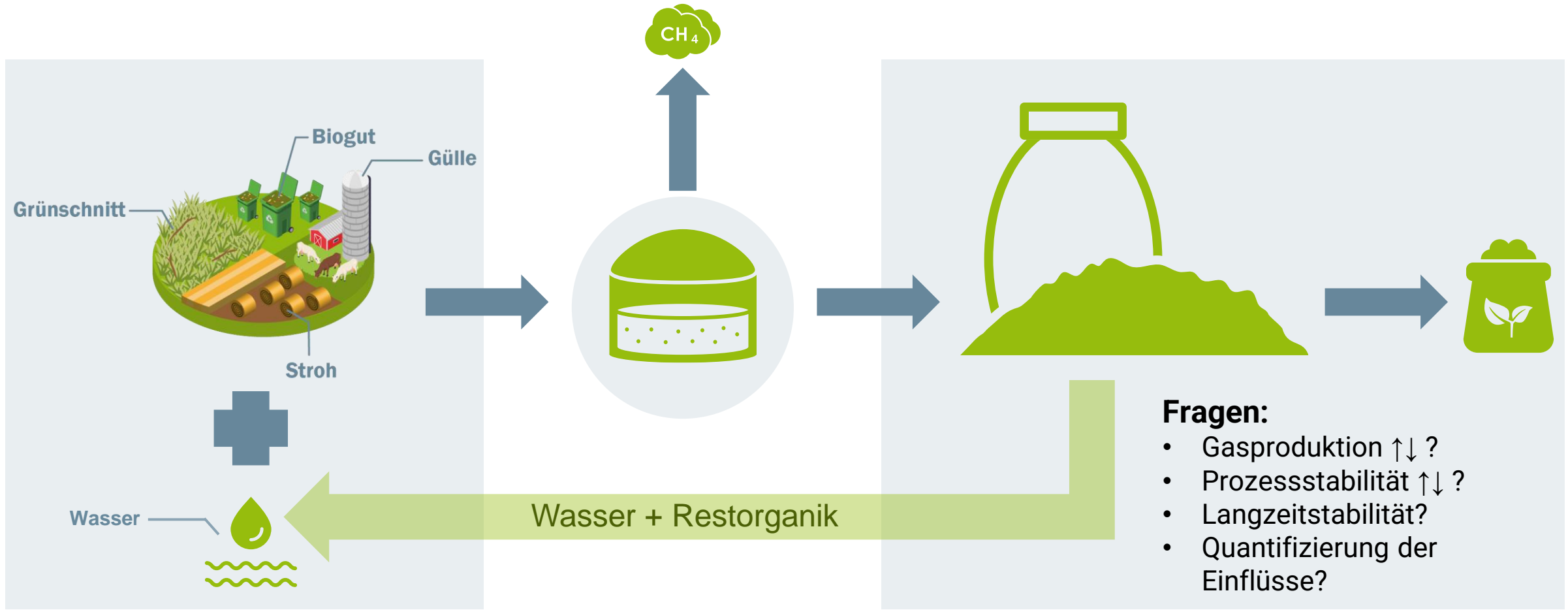
1. Hintergrund & Motivation

1. Hintergrund & Motivation

1.1 Anaerobe Vergärung - Verwertung der Reststoffe zur Bioenergie

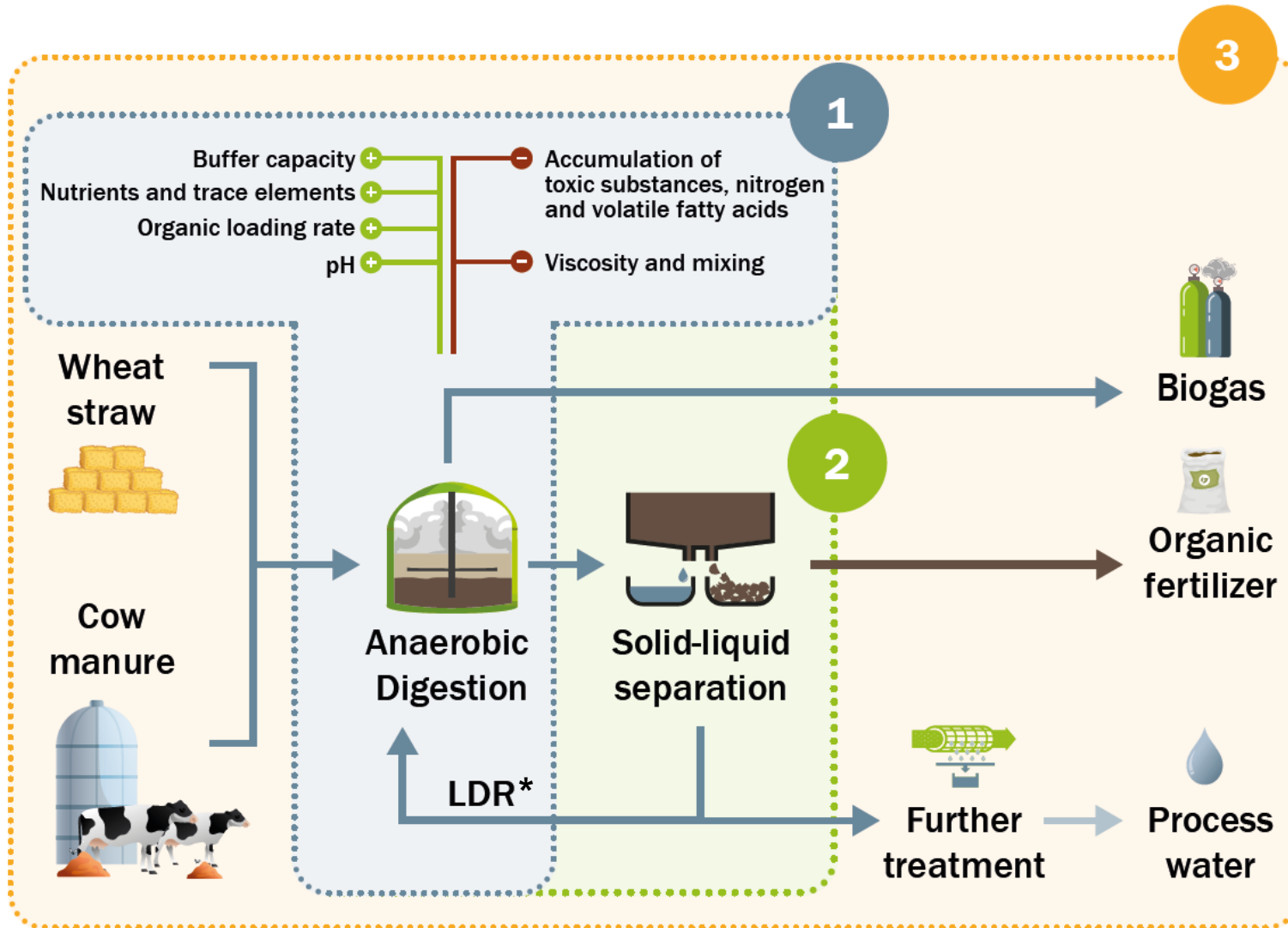






2. Methodik

2.1 Drei Arbeitsschritte zur Bewertung der Gärrestrückführung



1 Laborversuche

2 Prozess-Simulation

3 Prozess-Bewertung

*: LDR – Liquid Digestate Recirculation



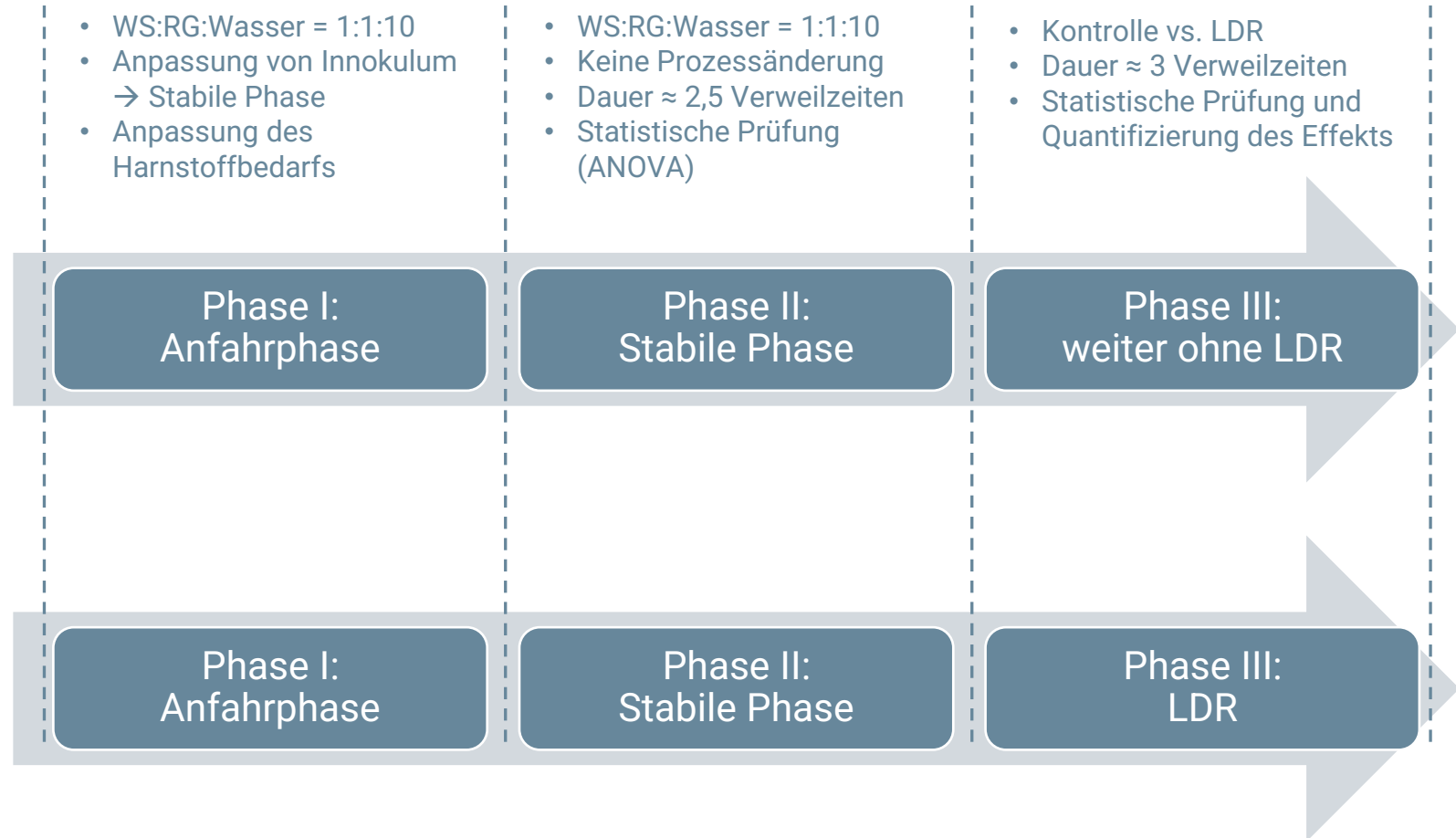
Sechs identische Laborreaktoren

- 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

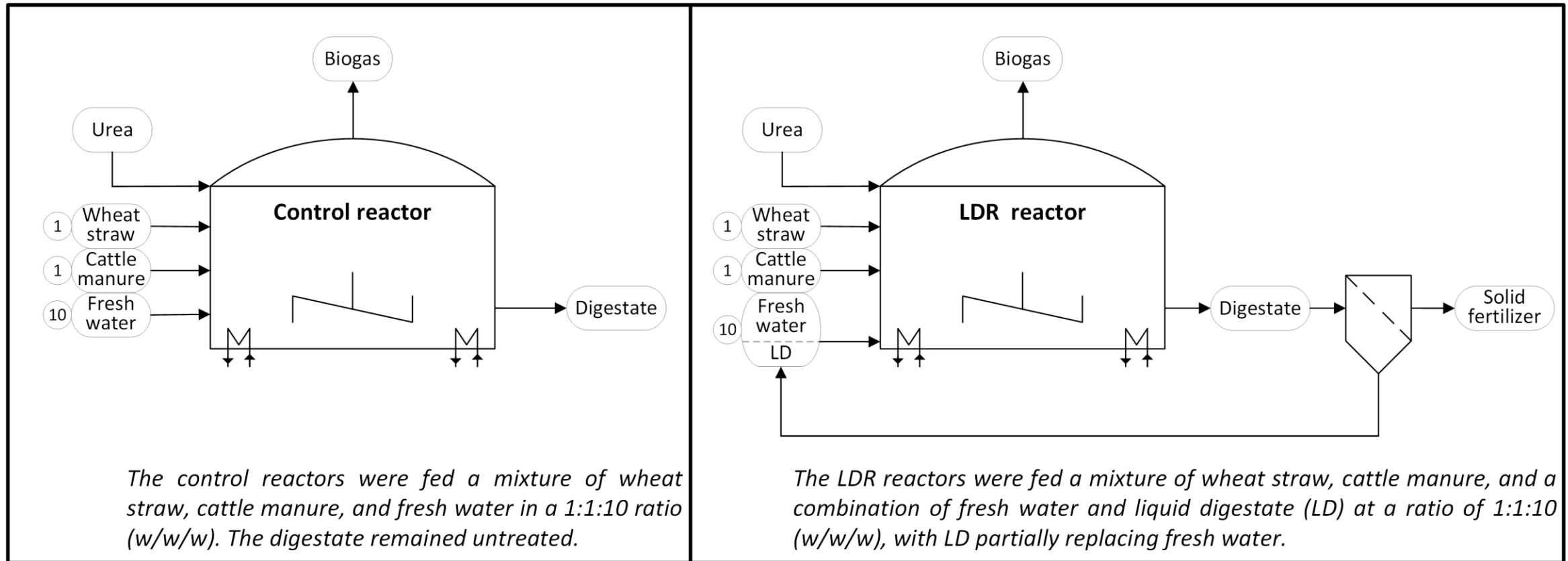
WS - Weizenstroh; RG – Rindgülle

2.3 Drei Versuchsphasen

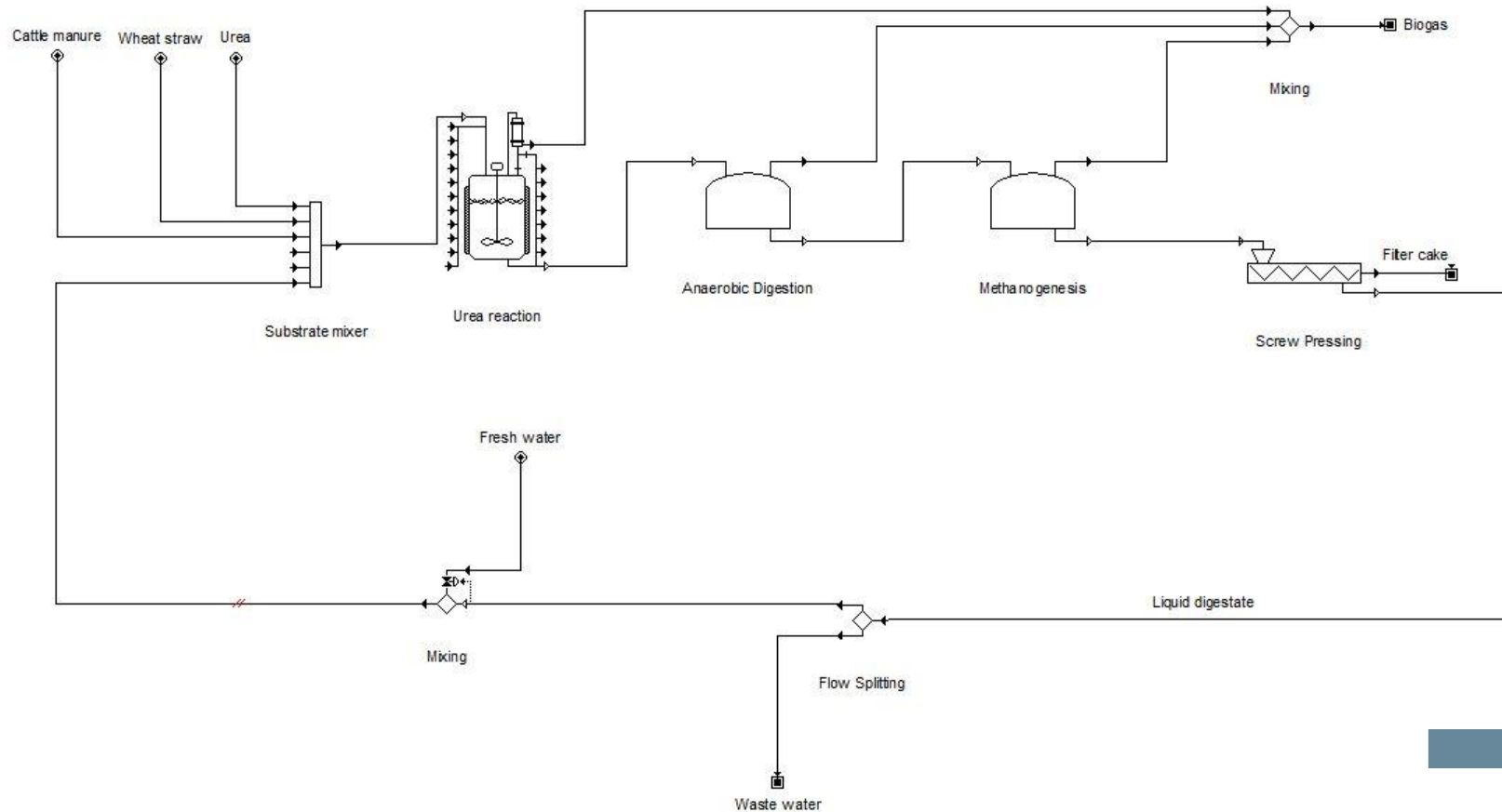
- Kontrollreaktoren



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



LDR – Liquid Digestate Recirculation



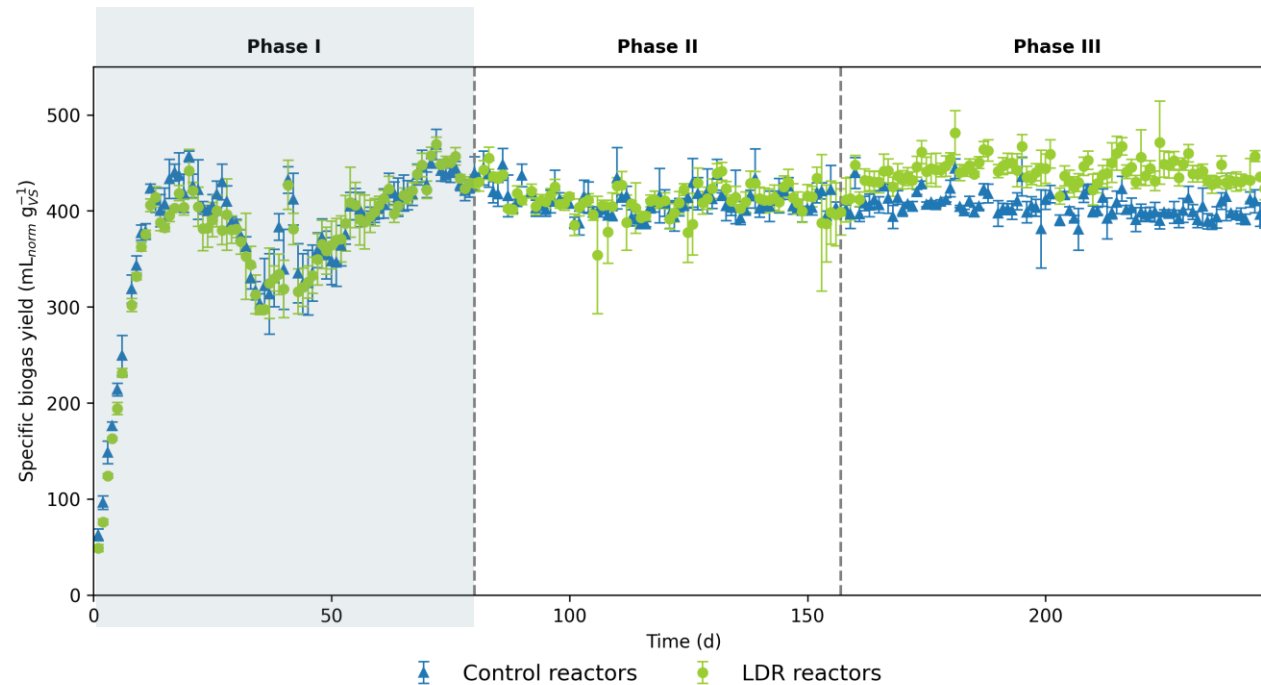
- Basiert auf ADM1
- Zweistufige AD
- Direkte Rückführung im Simulationsmodell
- Automatische Anpassung des Frischwasserbedarfs

Vergleich verschiedenen Szenarien
→ **Prozessbewertung und -Optimierung**

3. Ergebnisse

3. Ergebnisse

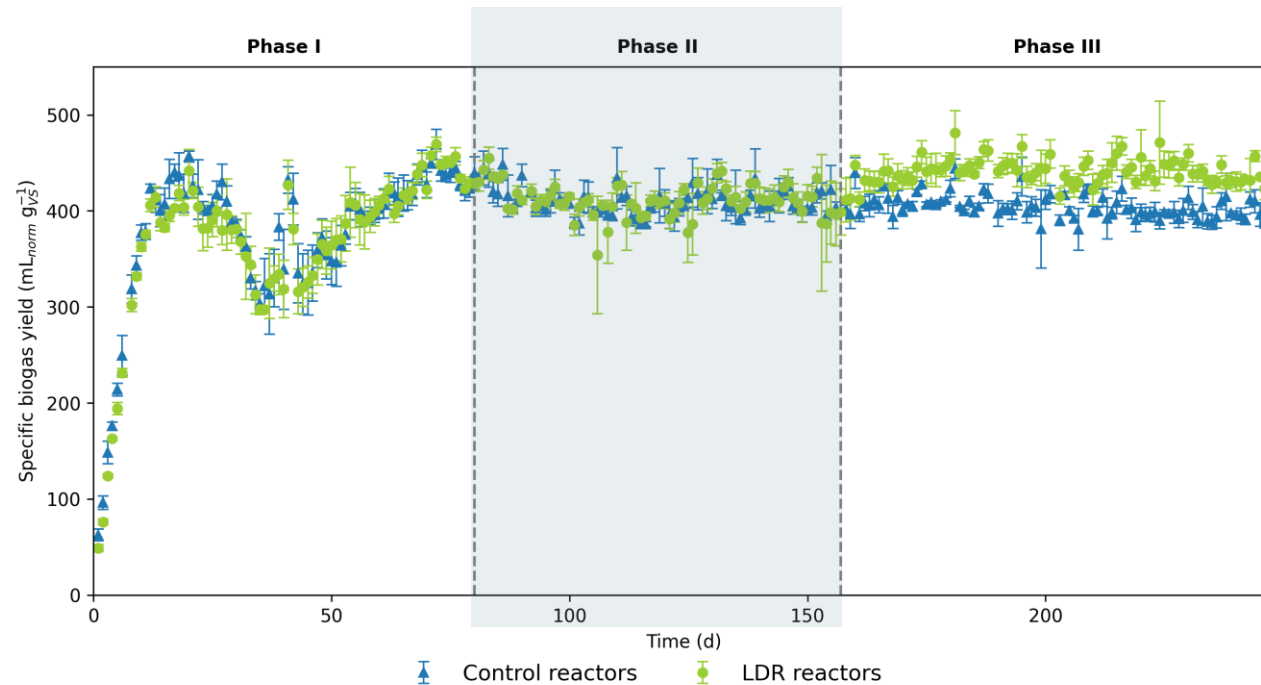
3.1 Biogasausbeute



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



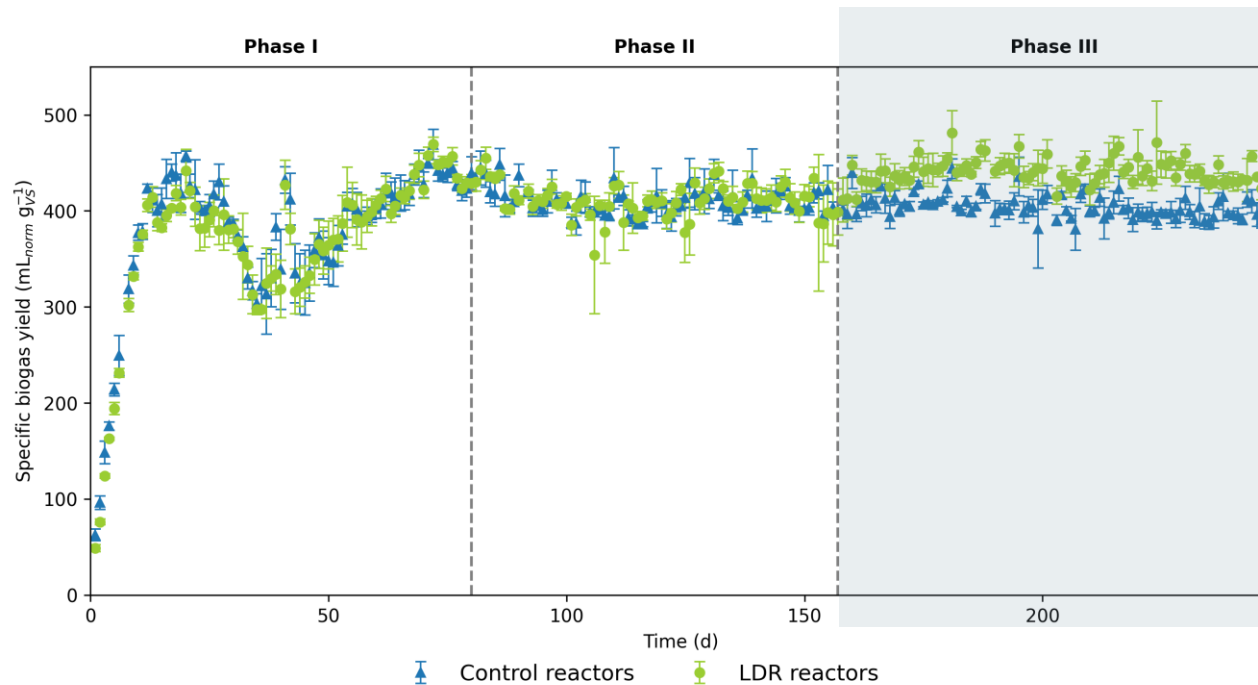
Phase I – Anfahrphase:

- 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: $\bar{\phi} 53.5 \pm 0.6\%$
- Reaktoren dennoch nicht identisch → ANOVA zeigte signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Reaktoren → Reaktorvariabilität
- Mixed-Effects model notwendig!

SBP - spezifischen Biogasproduktion; LDR – Liquid Digestate Recirculation



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: $\bar{\phi} 53.5 \pm 0.6\%$
- Reaktoren dennoch nicht identisch → ANOVA zeigte signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Reaktoren → Reaktorvariabilität
- Mixed-Effects model notwendig!

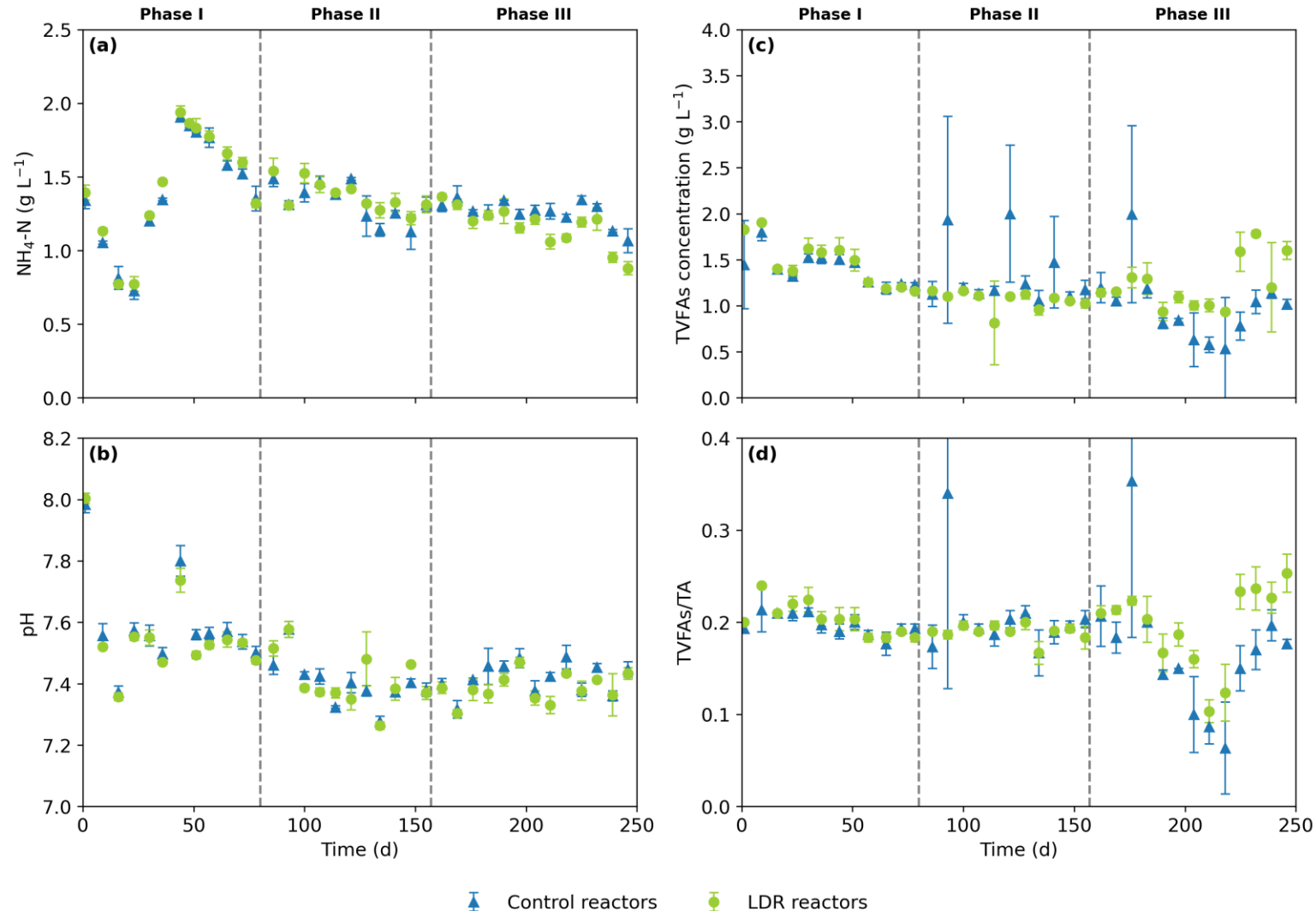
Phase III – LDR Phase:

- 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. Ergebnisse

3.2 Prozessstabilität unter LDR: Ammonium, pH und Säuren

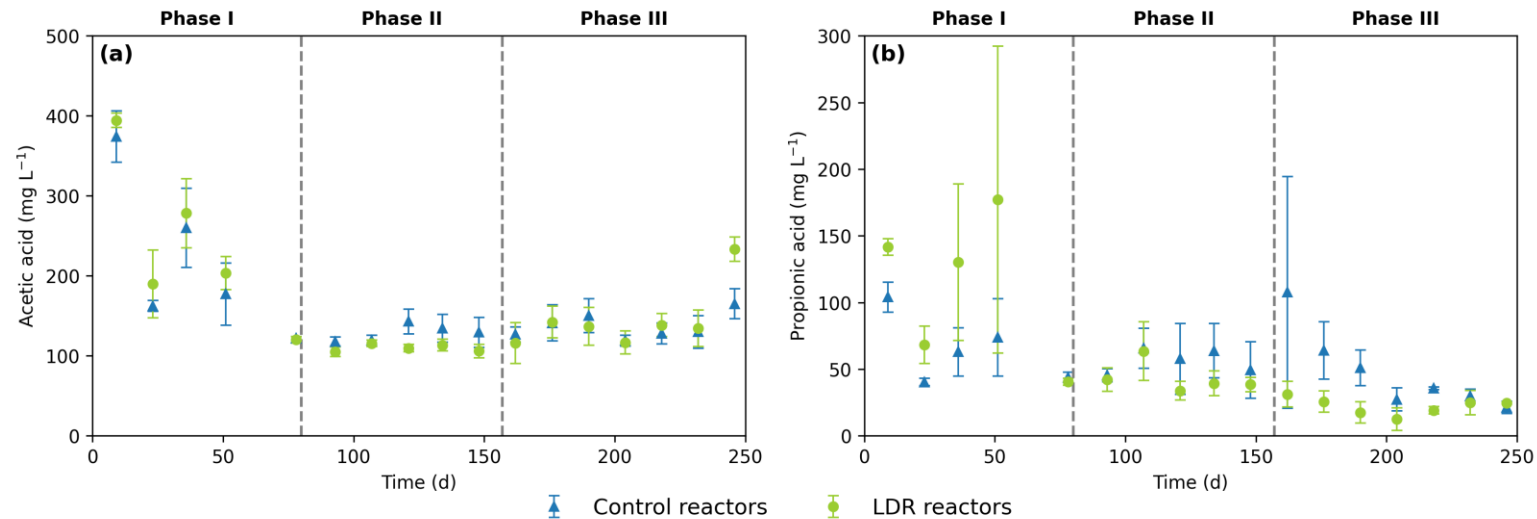


Prozessstabilität unter LDR:

- **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



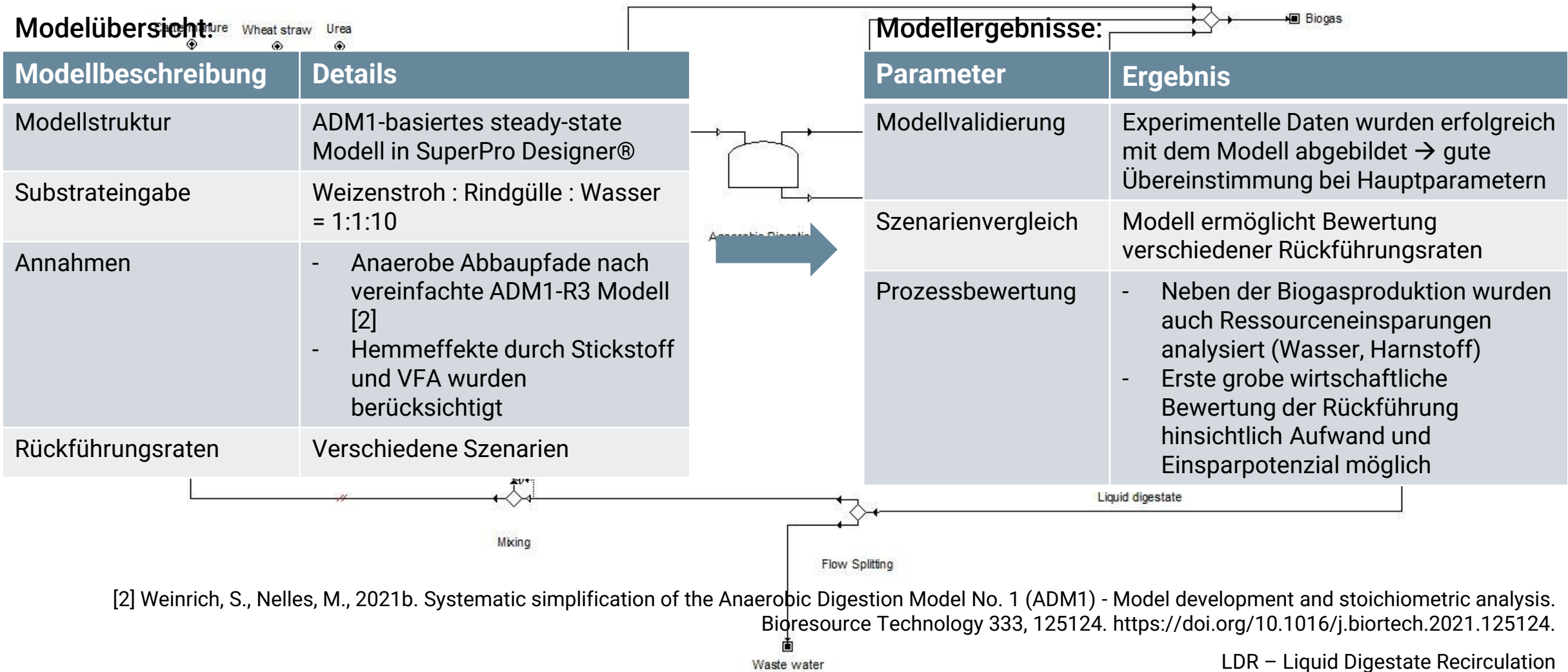
Organische Säuren:

- **Essigsäure: 103-255 mg L⁻¹, Propionsäure: 2-94 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] Drosig, 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



4. Fazit und Ausblick

- 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

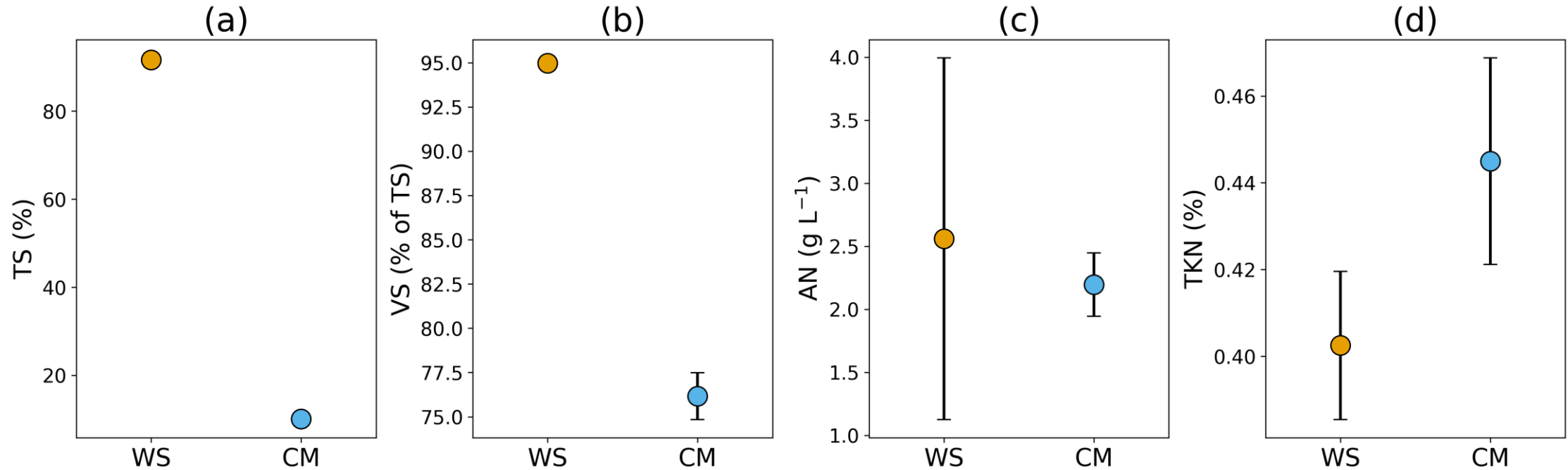
Bomin.Yuan@dbfz.de
+49 (0)341 2434-430



www.dbfz.de/pilot-sbg

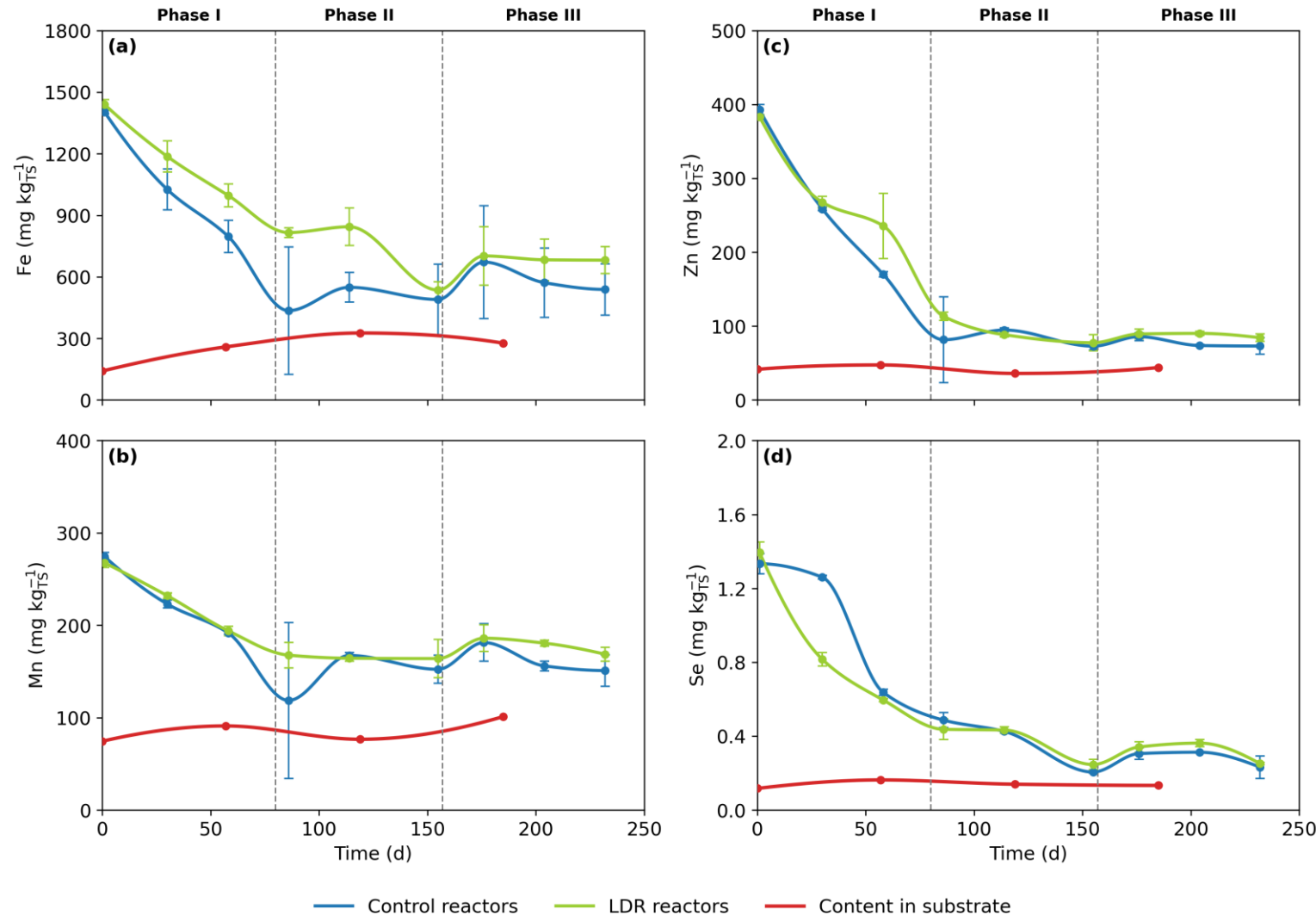


A 1 – Substratstabilität über den Versuchszeitraum



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