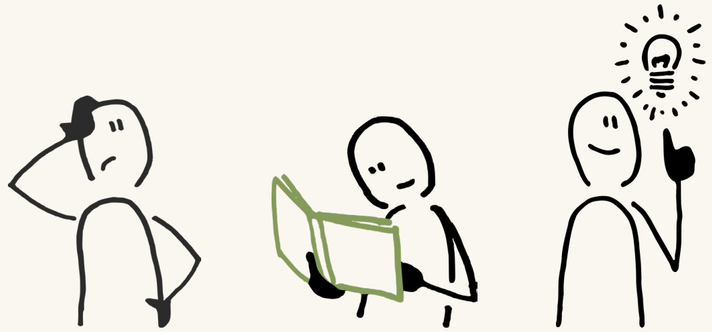
Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Konzeption und Realisierung eines prototypischen Messsystems zur Prozessüberwachung in Biogasanlagen

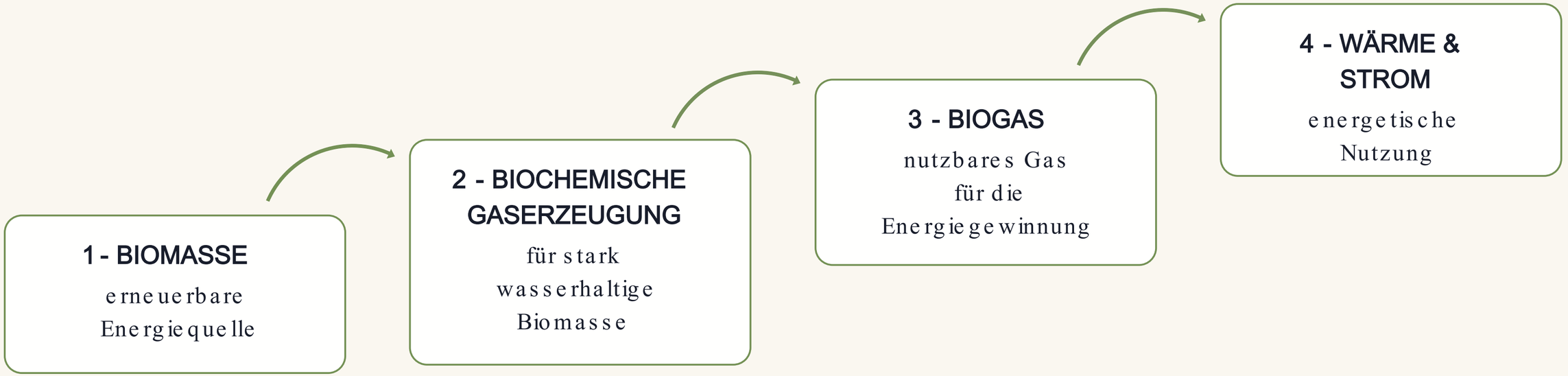
Referentin: Amelia Szybko
Hochschule Zittau/Görlitz
Projektpartner: POLSKI BIOGAZ

Gliederung



1. Motivation & Zielsetzung
2. Praktische Anforderungen
3. Technisches Konzept (Architektur, Elektronik & Algorithmus)
4. Ergebnisse & Validierung
5. Fazit & Ausblick

Biogas als Baustein der erneuerbaren Energieversorgung



→ *Für die stabile und wirtschaftliche Nutzung von Biogas muss der biologische Prozess zuverlässig überwacht werden .*

Motivation & Zielsetzung

Ausgangslage

Manuelle Laboranalyse

- Erhöhte Fehleranfälligkeit bei manuelle Probenvorbereitung
- Verzögerte Erkennung von Prozessstörungen
- Variable Substrate: Hohes Risiko von Prozessdestabilisierung

Ziel

automatisierte Überwachung

- **Wechselnde Substrate und Fütterungsbedingungen können das Prozessgleichgewicht beeinflussen.**
- Entwicklung eines kostengünstigen, modularen Prototypen
- Kontinuierliche Überwachung der Kernparameter: FOS/TAC, CSB, pH-Wert, Redoxpotential

Anforderungen an das System

Messwertqualität

Integrierte Kalibrierung: Softwareseitige Algorithmen zur regelmäßigen Kalibrierung

Robustheit

Automatische Reinigung: Spülung nach jedem Zyklus gegen Verschmutzung

Sensorschutz

Sensorschutz: Automatische Lagerung von pH-/Redox-Elektroden in KCl-Lösung in Messpausen

Fokus

zuverlässige Prozesstendenzen statt maximaler Laborpräzision

Technisches Konzept

Hydraulik

Räumliche Trennung - 3 Messmodule

- Modul 1: FOS/TAC-Titration
- Modul 2: CSB-Analyse
- Modul 3: pH- und Redox-Messung

Sensorik



pH- und ORP-Elektrode



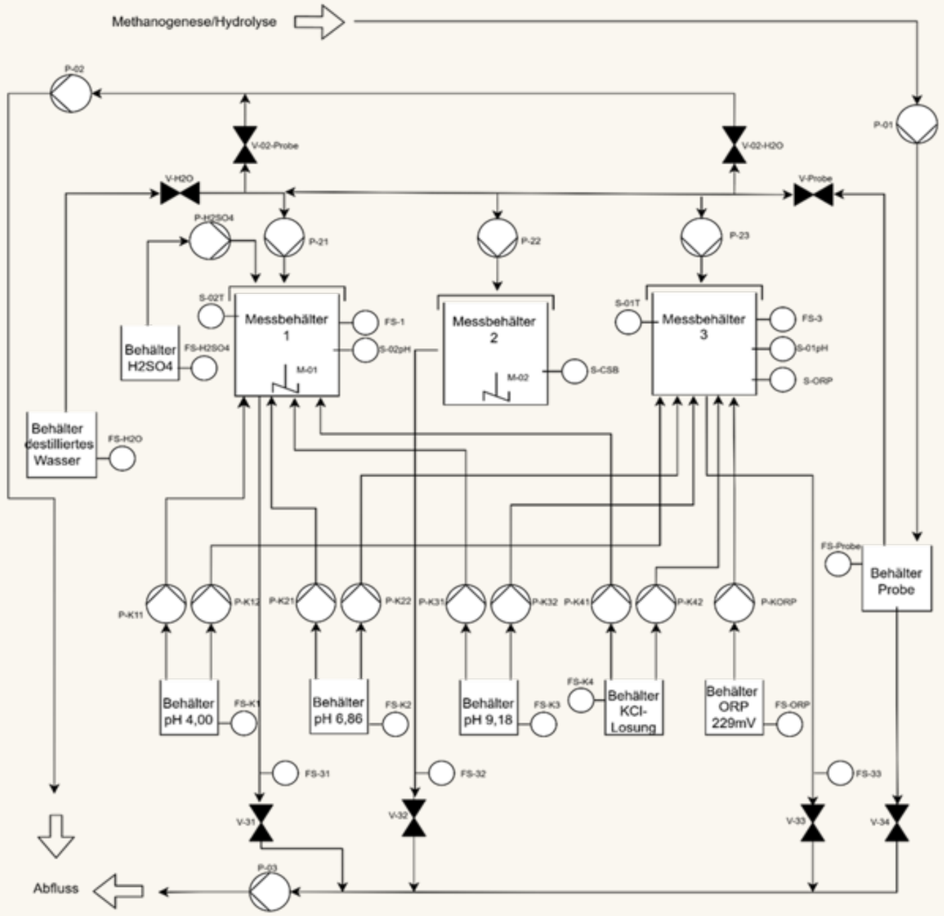
CBS-Sonde



Füllstandsensor

Elektronik

- Zentrale Steuerung: ESP32-S3



Symbol	Bezeihnung
V	Magnetventil
P	Peristaltikpumpe
FS	Füllstandsensor
S	Sensor/Sonde
M	Magnetrührer

Abbildung 1: Prototypplan: Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema der Flüssigphase

Algorithmus des Messzyklus

Probenahme

frisches Material
→ 3 Messbehälter

Parallele Analyse

pH/ORP-Messung, CSB-Photometrie
und dynamische H_2SO_4-Titration

Reinigung

Entleeren, Spülen
→KCl-Lagerung

1 2 3 4 5

Verteilung

→Verdünnung
mit destilliertem
Wasser

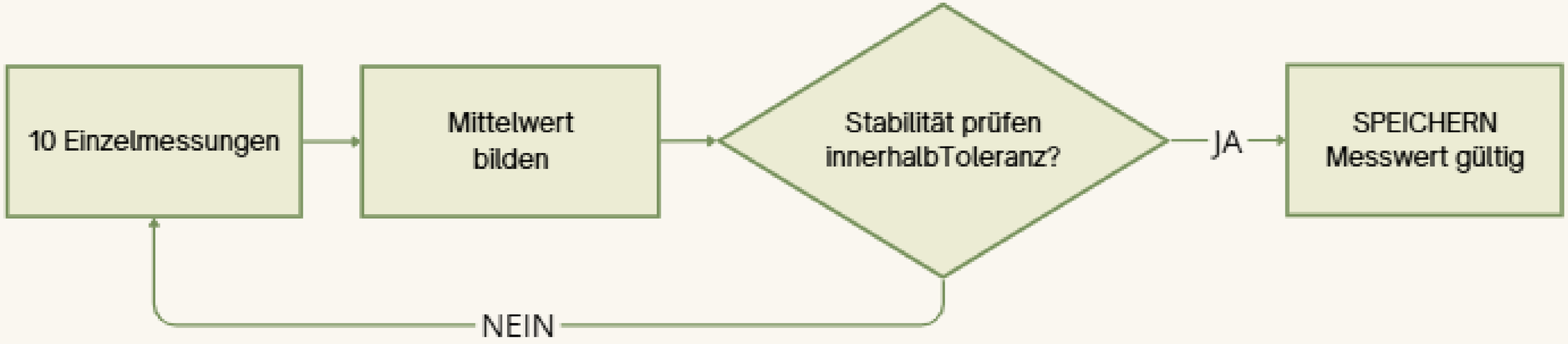
Datenübertragung

Ergebnisse via
MQTT

→ *Nach Abschluss ist das System für den nächsten Zyklus bereit.*

Mehrstufiges Stabilitätsverfahren

Einzelwert ≠ Messwert



→ Bis zu 10 Wiederholungen

Falls weiterhin instabil: Letzter Mittelwert wird gespeichert und als „nicht stabil“ gekennzeichnet.

Validierung 1: Automatisierte FOS/TAC-Titration

Dynamische Säuredosierung (0,05 mol/l H_2SO_4)

→ schnell bis pH 5,5

→ anschließend pulsierend bis pH 4,4

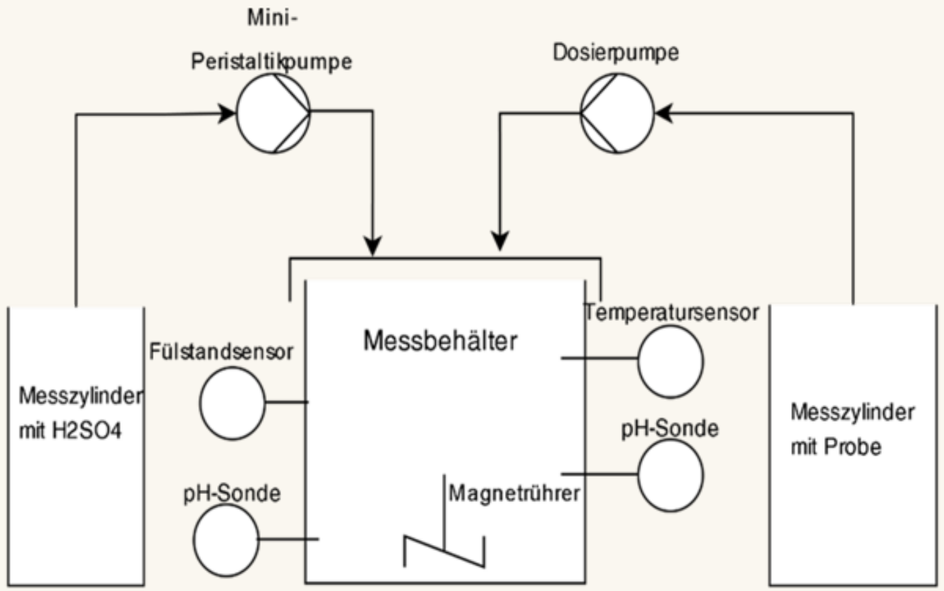
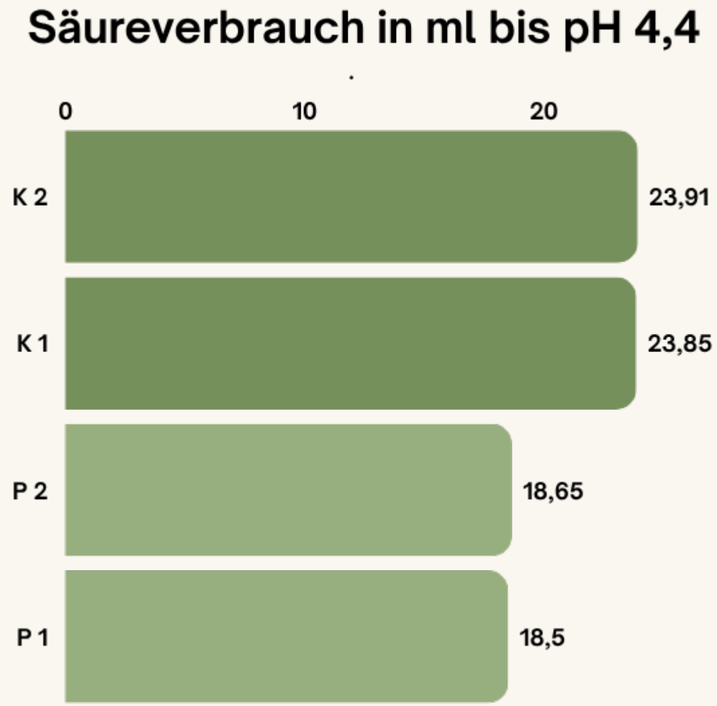


Abbildung 2: Messversusaufbau - Titration



0,06 ml

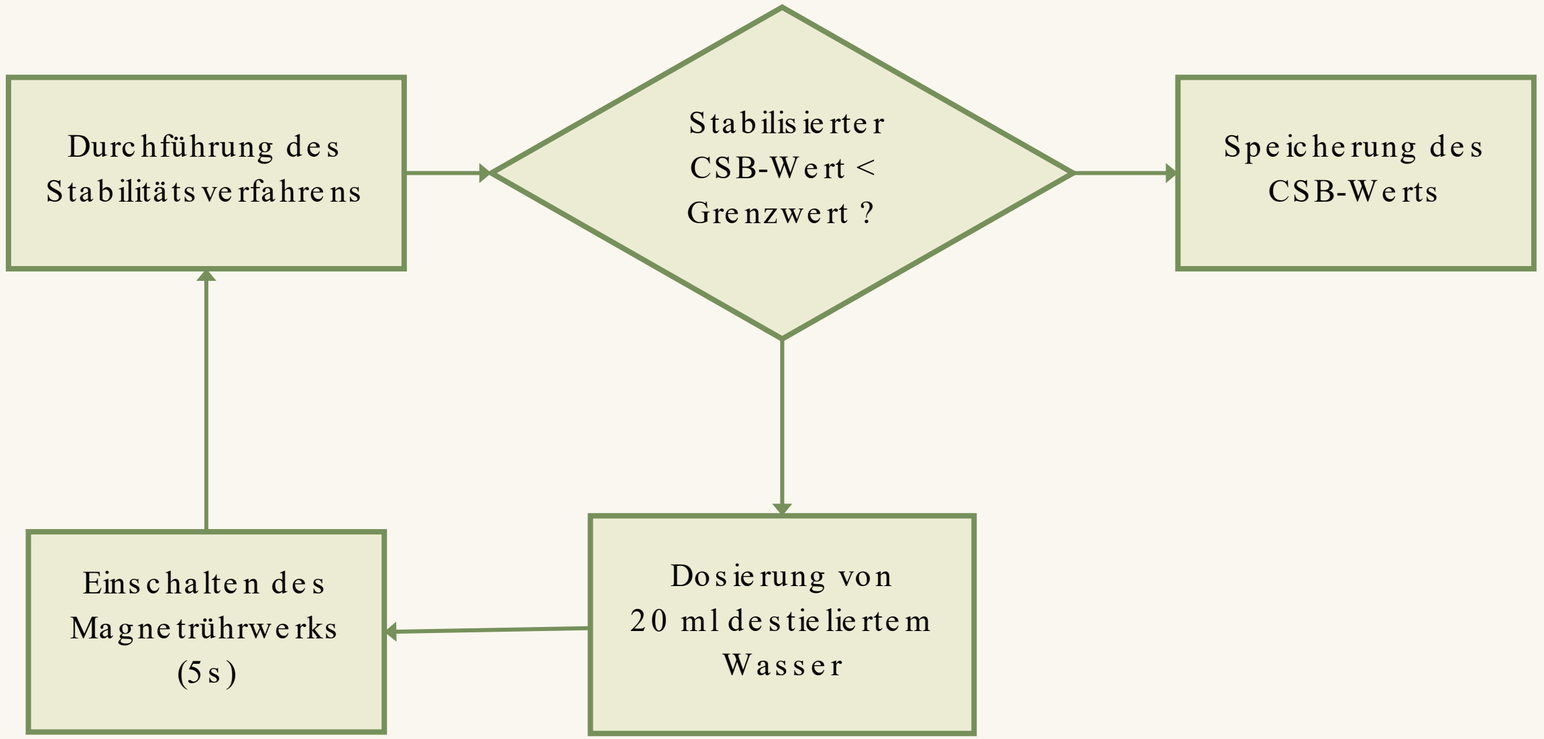
Differenz bei Kontrolllösungen

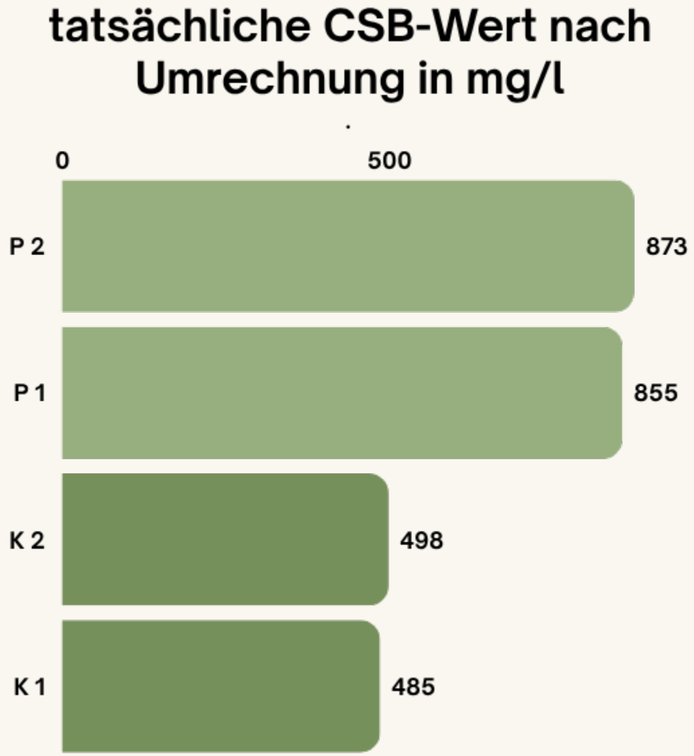
0,15 ml

Differenz bei Prozessproben

Validierung 2: CSB-Messung mit automatischer Verdünnung

Automatische Verdünnungsfunktion





Validierung 3: Gesamtsystemtest

Zwei vollständige Messzyklen mit realen Proben aus der Methanogenesestufe.

Ergebnisse im Vergleich (Zyklus 1 / Zyklus 2):

pH	ORP	FOS/TAC	CSB
7,53 / 7,49	−367 / −370 mV	0,25 / 0,24	897 / 879 mg/l
Δ 0,04 pH	Δ 3 mV	Δ 0,01	Δ ≈ 2 %

GESAMTZYKLUS: OK | FEHLER: 0

Der automatisierte Zyklus lief von der Probenahme über die Analyse bis zur Reinigung ohne manuelle Eingriffe

Fazit & Zukünftiges Potenzial

Aktueller Stand (Prototyp)

- Funktionsfähiger modularer Prototyp
- Vollständig an und automatisierter Messzyklus
- Noch keine belastbare Langzeitstatistik

Nächste Engineering-Schritte

- Direktanschluss an den Bioreaktor
- Implementierung eines Auto-Start-Algorithmus
- Langzeittests bezüglich biologischer Ablagerungen

Future Vision

- Vollindustrieller Standard zur Prozesssteuerung
- Nutzung der Zeitreihendaten für KI-basierte Prozessmodelle (prognostische Steuerung)

Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Referentin: Amelia Szybko
Hochschule: Zittau/Görlitz
Projektpartner: POLSKI BIOGAZ

Quellen

Scholwin, F., Liebetrau, J., Edelmann, W., Ritzkowski, M., Körner, I.: Biogaserzeugung und-nutzung. In Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren (pp. 851-931). Springer-Verlag: Berlin Heidelberg (2009).

Wesselak, V., Schabbach, T., Link, T., Fischer, J.: Regenerative Energietechnik (2., erweiterte und vollständig neu bearbeitete Auflage.)(pp.160-167, 471-558). Springer-Verlag: Berlin Heidelberg (2013).

Buchauer, K.: Zur Kinetik der anaeroben Hydrolyse und Fermentation von Abwasser. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 49 (3-4), 67-75 (1997).

Kwaśny, J., Banach, M., Kowalski, Z.: Przegląd technologii produkcji biogazu różnego pochodzenia. Czasopismo Techniczne. Chemia, 109 (2), 83-102 (2012).

Ledakowicz, S., Krzystek, L.: Wykorzystanie fermentacji metanowej w utylizacji odpadów przemysłu rolno-spożywczego. Biotechnologia, 3 (70), 165-183 (2005).

Sadecka, Z.: Podstawy biologicznego oczyszczania ścieków. Wydawnictwo Seidel-Przywecki: Józefosław, Poland (pp. 73-150) (2010).

Van Lier, J. B., Rebac, S., Lettinga, G.: High-rate anaerobic wastewater treatment under psychrophilic and thermophilic conditions. Water science and technology, 35 (10), 199-206 (1997).

Weiland, P.: Biogas production: current state and perspectives. Applied microbiology and biotechnology, 85 (4), 849-860 (2010).

Ahn, J. H., Forster, C. F.: The effect of temperature variations on the performance of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a simulated papermill wastewater. Process Biochemistry, 37(6), 589-594 (2002).

Angelidaki, I., Ellegaard, L., Ahring, B. K.: (2003). Applications of the anaerobic digestion process. In Biomethanation II, 1-33. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg (2009).

Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., Jones, D. L.: Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. Bioresource technology, 99(17), 7928-7940 (2008).

Sarker, S., Lamb, J. J., Hjelme, D. R., Lien, K. M.: A review of the role of critical parameters in the design and operation of biogas production plants. Applied Sciences, 9(9), 1915, 1-38 (2019).

Langhans, G., Scholwin, F., Nelles, M., & Weinrich, S.: Daten für die Praxisanwendung–Erfassung, Bewertung, Einflussgrößen. In Handbuch zur Bilanzierung von Biogasanlagen für Ingenieure-Band II: Grundlagen und Methoden für die Bewertung und Bilanzierung in der Praxis (pp. 1-150). Springer Fachmedien Wiesbaden: Wiesbaden (2025).

Reuter, M., Diller, S., Winter H., Sonnleitner E., Roth K.: Abschlussbericht, Das Redoxpotential in Biogasanlagen: Messbare Regelgröße zur Beurteilung des Fermenterzustandes und Beeinflussung des Biogasprozesses durch gezielte Veränderung des Redoxwertes (2010).

O´Keefe, D.M.; Chynoweth, D.P.: Influence of phase separation, leachate recycle and aeration on treatment of municipal solid waste in simulated landfill cells. Bioresource Technology 72, 55-66 (2000).

Weiland, P.: Stand der Technik bei der Trockenfermentation – Aktuelle Entwicklungen. Gülzower Fachgespräche 24, 22-38 (2006).

DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung des pH-Werts (ISO 10523:2008); Deutsche Fassung EN ISO 10523:2012. Beuth- Verlag: Berlin (2012).

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.: VDI 4630: Vergärung organischer Stoffe. Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Düsseldorf (2016).

Diverse Hersteller: Technische Datenblätter und Produktinformationen der eingesetzten Sensoren, Herstellerwebseiten und Lieferunterlagen (Zugriff: 2025).

ProMinent GmbH: Behandlung und Pflege von pH- und Redox-Sensoren. Technische Dokumentation, Heidelberg (2019).

OMNILAB / SI Analytics. Wissen kompakt: pH-Elektroden – Auswahl, Handhabung, Wartung. Gehrden/Bremen (o. J.).

Anonym: Operating Manual – UV/COD Sensor AG6603CD. Technische Dokumentation zur Sensorik (o. J.).

Shenzhen XingKeChuang Technology Co., Ltd.: Non-contact liquid level sensor instruction manual – XKC-Y25-V. Version V1.6 (2020).

Shenzhen Collino Electronic Industrial Co., Ltd. JNT-CH4 Series Infrared Methane Gas Sensor Manual – Product Data Sheet (o.J.).