

AP 2.1 Fermentertechnologien & MeOH-Synthese

Technologie fermentacyjne i synteza MeOH

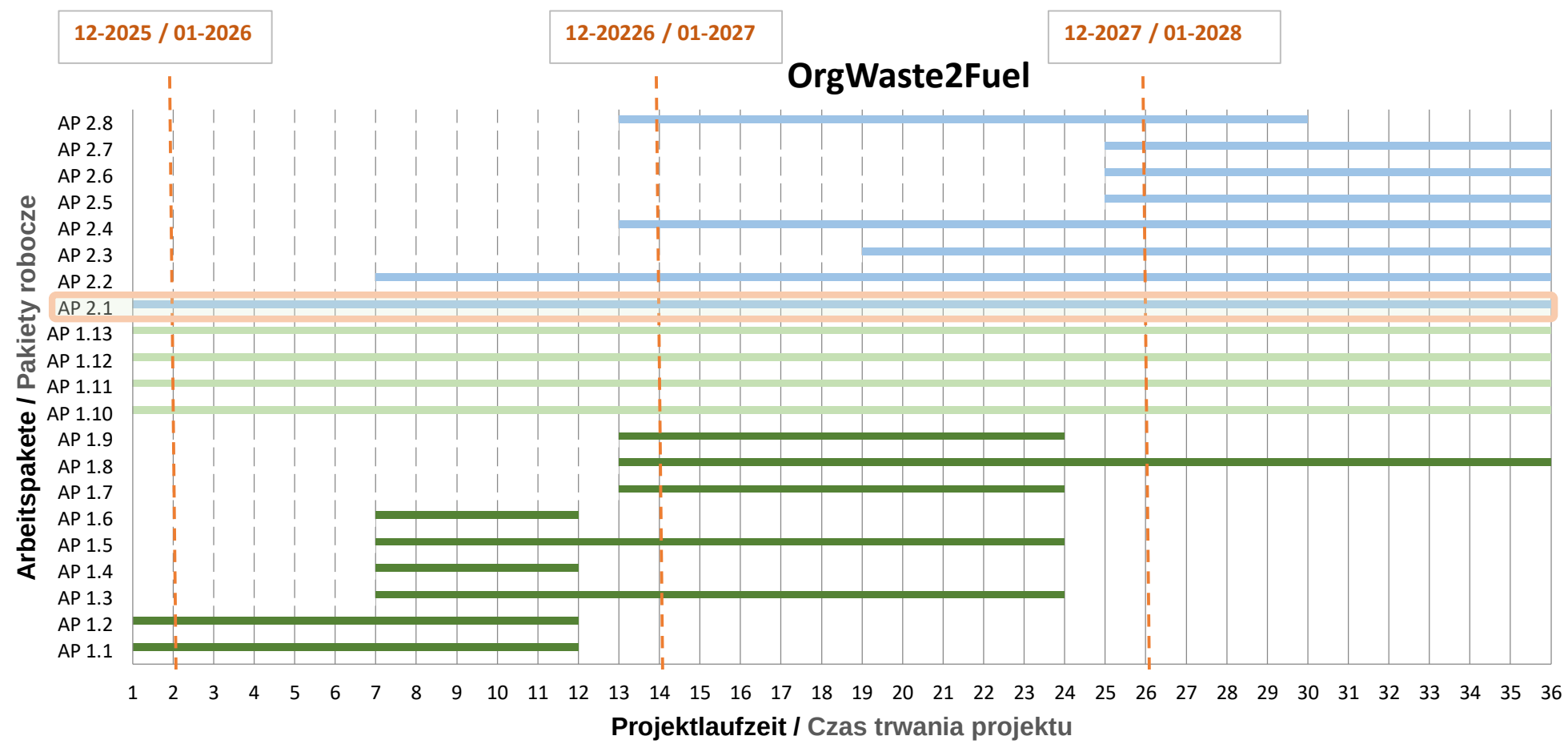
Dr. Stefan Klebingat, Ralf Reuters, Dr hab. Małgorzata Hawrot-Paw, prof. ZUT
*Hochschule Stralsund, Hochschule Neubrandenburg, Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie*

15 Januar / 15 stycznia 2026 | Pasewalk, Niemcy



OrgWaste2Fuel / Zeitplan

OrgWaste2Fuel / Harmonogram



Agenda

Program

- Methodik / Vorgehen
 - Stand Prozesstabelle
 - Substrat-Berücksichtigung
 - Haupt-Fermentationspfade
 - Haupt-MeOH-Pfade
 - Technik & Optimierung ?
 - Offene Fragen & Diskussion
- Metodologia / Procedura
 - Stan tabeli procesów
 - Uwzględnienie substratu
 - Główne ścieżki fermentacji
 - Główne ścieżki MeOH
 - Technika i optymalizacja ?
 - Otwarte pytania i dyskusja

Methodik / Vorgehen

Metodologia / Procedura (1/2)

Schrittfolge

- **Prozess-Tabelle Ausgangsbasis:**
Stand der Fermenter- und Methanolfade (u.a. Technik, Substrat-Eignung, Mix-Potenzial, Recht)
- **Regionale Stoffbasis (DE/PL):** Beispiel DE: FNR-Potenzialatlas (Mais) PL: GUS-basierte Voivodeship-Auswertung zu Mist/Gülle
- **Technische Pfade / Wirtschaftlichkeit:** Dezentralität, Recht, und insbesondere Optimierungshebel (Mix, Vorbehandlung, Wärme, Emissionen, CO₂)
- **Langzeitvision:** Partner liefern lokale Mengen / Qualitäten / Preise → TEA / LCA standortbezogen

Kolejność kroków

- **Granice systemu Tabela procesowa Punkt wyjścia:**
Stan fermentacji i ścieżek metanolowych (m.in. technika, przydatność substratu, potencjał mieszania, prawo)
- **Regionalna baza surowców (DE/PL):** Przykład DE: Atlas potencjału FNR (kukurydza) PL: Ocena województw w oparciu o dane GUS dotyczące obornika/gnojowicy
- **Ścieżki techniczne / opłacalność:** : decentralizacja, prawo, a w szczególności dźwignie optymalizacji (mieszanka, wstępne przetwarzanie, ciepło, emisje, CO₂)
- **Wizja długoterminowa:** partnerzy dostarczają lokalne ilości / jakości / ceny → TEA / LCA w odniesieniu do lokalizacji

Stand Prozesstabelle

Stan tabeli procesów

- Aktuell 9 Fermentationspfade / 12 MeOH-Synthesepfade
Aktualnie 9 ścieżek fermentacji / 12 ścieżek syntezy MeOH

- Fermentationsrückstände (Gärreste) – Pozostałości fermentacyjne (poferment)
- Kommunale Klärschlämme – Komunalne osady ściekowe
- Gülle – Gnojowica
- Silage – Kiszonka
- Tierische Abfälle – Odpady pochodzenia zwierzęcego
- Abfälle aus der Lebensmittelindustrie – Odpady z przemysłu spożywczego
- Paludiculture (Nasswiesen / Paludikultur) – Paludikultura (łąki podmokłe / uprawy bagienne)
- Grünabschnitt / Grünabfälle – Odpady zielone / odpady z pielęgnacji terenów zielonych
- Forstwirtschaftliche Abfälle – Odpady leśne
- Mais – Kukurydza
- Weizen – Pszenica
- Raps & alternative Energiepflanzen – Rzepak i alternatywne rośliny energetyczne

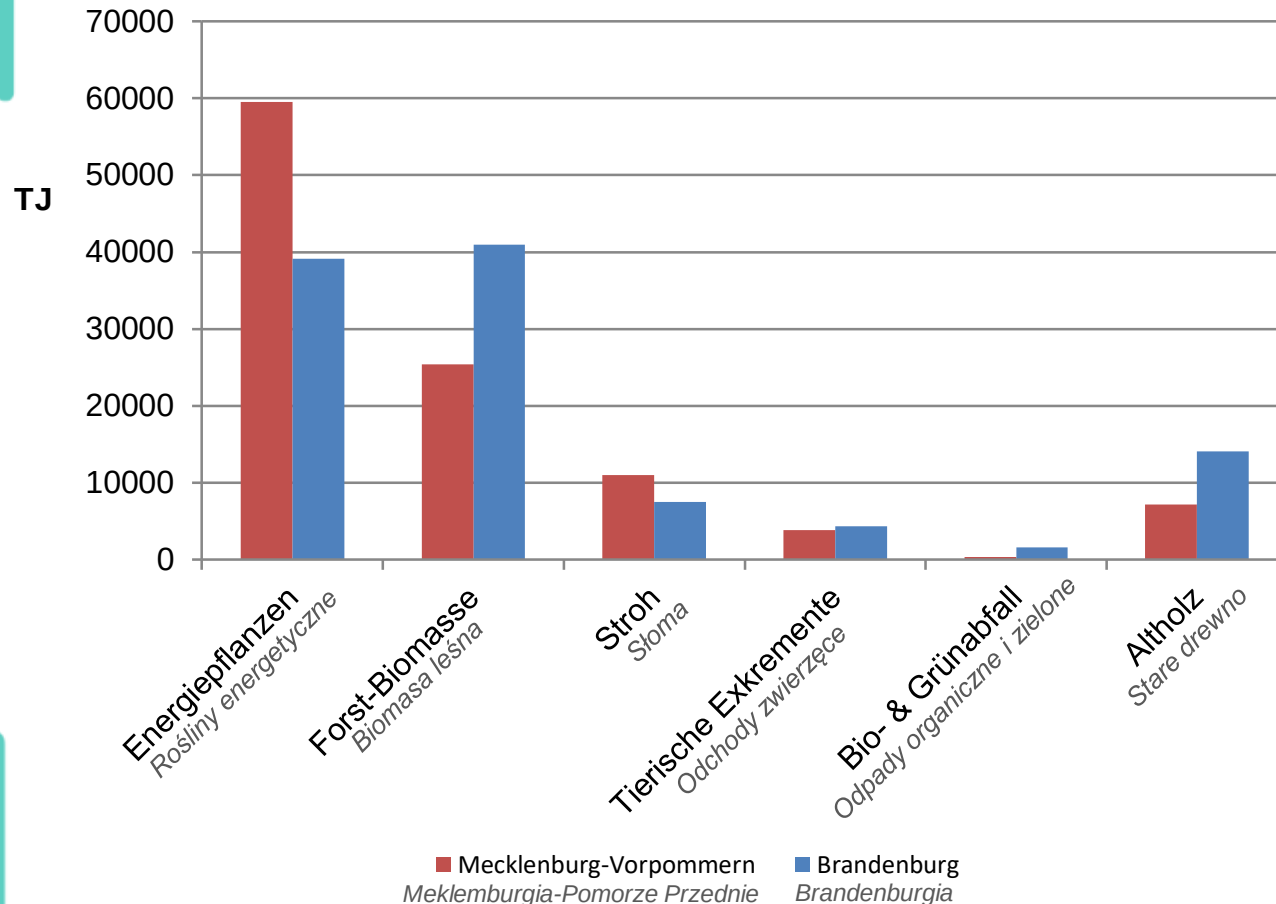
Prozess/Typ	Vorgeschaltete Hydrolyse	Temperaturbereich	Rührerbauart / Mischtechnik	Heizung / Wärmeeintrag	Gärrestlager / Reststoffmanagement	Substrat-Eignung (Auswahl aus Vorgaben)	Substrat-Mix Potenzial (Optimierung)	Rechtliche Zulassung (DE/PL, Input)	Technische Bewertung	Wirtschaftliche Bewertung
Typ procesu	Hydrolyza wstępna	Zakres temperatur	Typ mieszadła / technika mieszania	Ogrzewanie / dopływ ciepła	Ataktywowanie pofermentu / gospodarka pozostałościami	Przydatność substratów (z podanych)	Potencjał mieszania substratów (oprymniakcja)	Dopuszczalne prawne (DE/PL, input)	Ocena techniczna	Ocena ekonomiczna
Nass-AD (CSTR) – mesophil	Optional	35 ± 5 °C	Mechanisch gerührter CSTR;	Wärmeeintrag zur	Digestat i. d. R. separat	Geeignet: manure/Gülle, animal waste, food industry	Co-Digestion zur	Zulässige Inputs richten sich nach	Vorteile (+): etabliert, hohe	Vorteile (+): Abfallinputs können
Nass-AD (CSTR) – thermophil	Optional; thermophile	55 ± 5 °C	Gerührter CSTR; häufig	Erhöhter Wärmebedarf	Digestat-Lagerung wie	Geeignet: food industry waste, animal waste/ABP (nach	Mix (manure + food waste + silage) zur	Wie mesophil bzgl. Stoffgruppen;	Vorteile (+): höhere Reaktionsraten; potenziell	Vorteile (+): kleinere Reaktorvolumina
Trocken-AD – Batch/Perkolat	Keine separate Stufe;	Mesophil ~35–40 °C	Kein Rührwerk;	Wärmeeintrag über	Fester Digestatstrom; oft	Geeignet: green waste, food industry waste (faserig).	Mix: Struktur (green waste) + feucht (food	Inputgruppen wie Biobabli-/Agrar-AD;	Vorteile (+): hohe TS, weniger	Vorteile (+): Nutzung günstiger
Trocken-AD – kontinuierlich	Keine separate Stufe;	Mesophil ~35–40 °C	Förder-/Mischorgane	Wärmeeintrag +	Fest/pastös; Entnahme	Geeignet: silage (hoch TS), green waste, paludiculture.	Mix: Struktur + energiereich (silage/food	Wie Trocken-AD; Fremdstoffe besonders	Vorteile (+): kontinuierlich, für feste Substrate.	Vorteile (+): Automatisierung, Nachteile (-):
Mehrphasen-AD (zweistufig)	Ja (separate	Hydrolyse	Hydrolysereaktor + CSTR	Zusätzlicher	Zusätzliche Ströme	Geeignet: paludiculture, green waste, fermentation	Mix: lignocelluloseereich + leicht abbaubar	Wie AD; zusätzliche Stufe kann zusätzliche	Vorteile (+): bessere Kontrolle, potenziell	Vorteile (+): erschließt schwierige Reststoffe.
Thermische Vorbehandlung	Ja (thermisch) ²	THP: 70–165 °C	CSTR nach THP ⁴	Sehr hoher	Oft verbesserte	Geeignet: municipal sewage sludge ³ , teils food industry	Mix: sludge + food waste möglich	Stoffrecht wie AD; THP beeinflusst nicht	Vorteile (+): verbesserte	Vorteile (+): ggf. Kostenvorteile durch bessere
UASB – Abwasserbehandlung	Nein ⁶	Mesophil typ. um	Keine mechanische Rührung;	Geringer Wärmeeintrag ⁸	Schlammgranulat;	Geeignet: (kommunale/industrielle) Abwässer;	Mix: Mischung flüssiger Abwasserströme ⁸	Input gemäß wasser-/abfallrechtlicher	Vorteile (+): hohe Belastbarkeit, geringer	Vorteile (+): niedrige Betriebskosten.
Plug-Flow / PFR (hoch TS)	Nein/optional ⁶	Mesophil typ.	Näherungsweise	Moderater	Pastöser Digestatstrom ⁹	Geeignet: silage, manure-Mischungen, fermentation	Mix: silage + manure zur	Stoffrecht wie Agrar-AD; Bioabfälle nur mit	Vorteile (+): robust für passende Substrate.	Vorteile (+): tendenziell geringere
Kofermentation (Co-Digestion)	Optional ⁶	Meist mesophil	CSTR oder Kombination;	Wärmeeintrag abhängig	Digestatqualität &	Geeignet: manure + food industry waste / silage /	Sehr hohes Potenzial: C/N-Balance,	Zulässige Stoffe abhängig von Genehmigung;	Vorteile (+): Synergien, Flexibilität, Nachteile	Vorteile (+): bessere Auslastung, pot. höhere
Direkt-Methanolsynthese	–	Isotherm 200 °C ⁷	Katalytischer	Hoher Wärmeeintrag	Methanolagier /	Geeignet: gereinigtes CH ₄ (Biomethan) aus AD;	Mix nur auf Gasqualitätsebene (Mischung	Rechtliche Zulassung primär über Herkunft	Vorteile (+): Direkter Weg ohne vollständiges	Vorteile (+): könnte bei Skalierung
Direkt-Methanolsynthese	–	Aktivierung 673 K	Katalytischer Schrittprozess	Sehr hoher	Methanolabtrennung aus	Geeignet: gereinigtes CH ₄ (Biomethan); ungeeignet:	Mix auf Gasbasis möglich;	Wie oben: Herkunft des CH ₄ entscheidend;	Vorteile (+): hohe Selektivität (~97%)	Vorteile (+): theoretisch dezentrale
Direkte Methanolsynthese	–	Raumtemperatur,	Nicht-thermischer	Elektrischer	Methanolagier/Kondensation	Geeignet: gereinigtes CH ₄ (Biogas/Biomethan);	Mix auf Gasbasis möglich, aber konstante	Wie oben: erneuerbarer Status über	Vorteile (+): milde BtL-Bedingungen (RT, 1	Vorteile (+): potenziell modulare Anlagen.
Direkte Methanolsynthese	–	Raumtemperatur	Elektrochemische Zelle /	Elektrischer	Methanolagier;	Geeignet: gereinigtes CH ₄ (Biomethan); ungeeignet:	Mix auf Gasbasis möglich;	Wie oben: Erneuerbarkeit über	Vorteile (+): RT-Betrieb berichtet; potenziell	Vorteile (+): könnte ohne Edelmetalle
Direkte Methanolsynthese	–	Ambient/typisch	Rührkessel-Bioreaktor	Moderater	Biomasse-/Brüdenmanagement	Geeignet: gereinigtes CH ₄ (Biogas/Biomethan);	Mix auf Gasqualitätsebene möglich;	Zulässigkeit über Biomethan-Herkunft;	Vorteile (+): milde Bedingungen (ambient T,p)	Vorteile (+): potenziell für kleine
Biomethan → Reforming →	–	Reforming	Reformer (SMR oder ATR) →	Sehr hoher	Methanolagier; CO ₂ aus	Geeignet: aufbereitetes Biomethan aus AD (manure,	Substratmix wirkt über AD: Co-Digestion	Erneuerbarer Status über	Vorteile (+): industriell etablierte Reforming-	Vorteile (+): bekannte Designbasis, Nachteile
CO ₂ + H ₂ → s-Methanol (PTX)	–	CO ₂ -Hydrierung zu	Katalytische CO ₂ -Hydrierung	Hoher elektrischer	Methanolagier;	Geeignet: biogenes CO ₂ (Biogasaufbereitung/Klärgas) +	Mix: mehrere CO ₂ -Quellen mischbar,	Recht: „erneuerbar/RFNBO“ stark abhängig	Vorteile (+): Nutzung biogenen CO ₂ , Nachteile	Vorteile (+): Zugang zu E-Fuel-Märkten.
Holzvergaserung → Methanol	–	Vergaserung typ.	Biomassevergaser →	Hoher Energiebedarf für	Asche/Schlacke-Management	Geeignet: forestry waste (naturbelassen). Ungeeignet:	Mix: naturbelassene Holzrestströme	Zulässigkeit: input muss als	Vorteile (+): Nutzung lignocellulösischer	Vorteile (+): Skalenvorteile möglich, Nachteile
Abfallvergaserung → Methanol	–	RDF-/Abfallvergaser	Vergaser + sehr aufwendige	Hoher Energiebedarf;	Schlacke/Filterstaub;	Geeignet: definierter RDF-Strom, ungeeignet:	Mix: Sortierung/Mischung zur Heizwert-	Zulässig nur in genehmigten Abfallanlagen;	Vorteile (+): Entsorgung + Produkt, Nachteile	Vorteile (+): Gate Fees möglich, Nachteile (-):
RWGS + Methanol	–	RWGS typ. 200–400	RWGS-Reaktor (CO ₂ +H ₂ →CO)	RWGS endotherm +	Methanolagier;	Geeignet: gereinigtes CO ₂ + H ₂ , Ungeeignet: stark	Mix: mehrere CO ₂ -Quellen mischbar	Erneuerbar nur mit grünem H ₂ + zulässiger	Vorteile (+): flexible CO ₂ -Nutzung, Nachteile	Vorteile (+): Clusterintegration, Nachteile (-):
Biomethan → ATR → Syngas →	–	ATR/Syngas typ.	Autothermaler Reformer	Hoher Wärmeeintrag;	Methanolagier; CO ₂ /Wasser	Geeignet: gereinigtes Biomethan aus AD; ungeeignet:	Substratmix auf AD-Ebene zur stabilen	Erneuerbar abhängig von	Vorteile (+): kompakter als reines SMR,	Vorteile (+): Integrationspotenzial, Nachteile
Biomethan → POX → Syngas →	–	POX-Reaktor oft	POX (Totoxidation) +	Sehr hohe	Methanolagier;	Geeignet: sehr sauberes CH ₄ (Biomethan). Ungeeignet:	Mix auf Gasbasis möglich, aber konstante	Erneuerbar: Biomethanherkunft;	Vorteile (+): schnelle Syngas-Erzeugung,	Vorteile (+): hohe Raum-Zeit-Leistung.

Substrat-Berücksichtigung / MV & BB

Uwzględnienie substratu / MV & BB

Technisches Brennstoffpotenzial MV / BB - 2020 (TJ) – ausgewählte Kategorien¹

Techniczny potencjał paliwowy MV / BB w 2020 r. (TJ) – wybrane kategorie¹



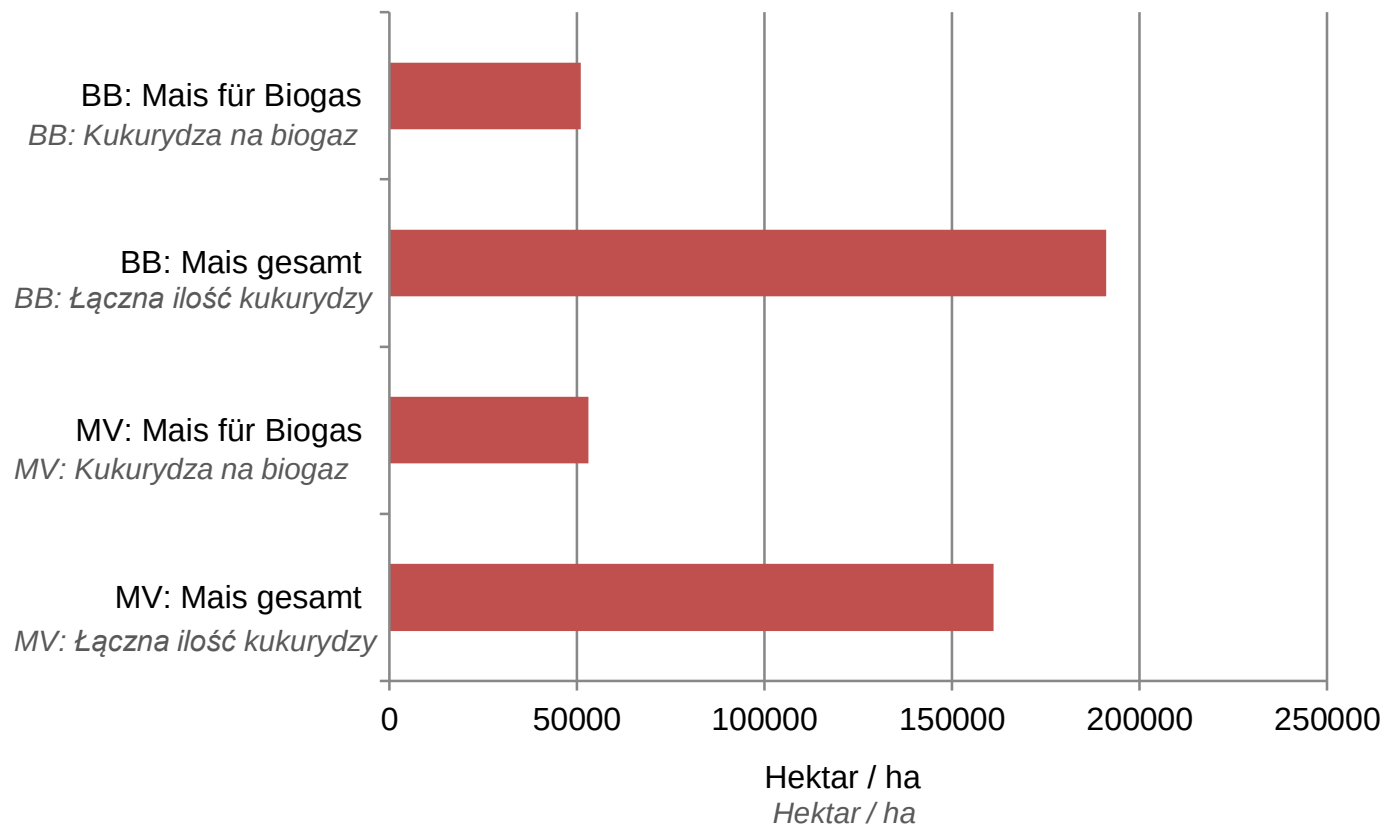
- **MV:** hohe Energiepflanzen-Potenziale (v. a. Acker)
 - **BB:** Forst-Biomasse ähnlich groß wie Energiepflanzen
 - **„Bio- & Grünabfall“** in beiden Ländern deutlich kleiner als Acker/Forst
 - **Klärschlamm:** im Potenzialatlas TJ-Potenzial nicht je Land ausgewiesen
 - **Paludikultur:** nicht separat quantifiziert
 - **Fermentationsrückstände:** Output (Gärrest), kein Input-Potenzial
-
- *MV: wysoki potencjał upraw energetycznych (zwłaszcza na polach uprawnych)*
 - *BB: biomasa leśna podobna wielkością do roślin energetycznych*
 - *„Odpady biologiczne i zielone” w obu krajach znacznie mniejsze niż pola uprawne/lasy*
 - *Osady ściekowe: w atlasie potencjału potencjał TJ nie jest wykazany dla poszczególnych krajów*
 - *Paludikultura: nie jest kwantyfikowana oddzielnie*
 - *Pozostałości fermentacyjne: wydajność (resztki fermentacyjne), brak potencjału wejściowego*

Substrat-Berücksichtigung / MV & BB

Uwzględnienie substratu / MV & BB

Maisanbau 2011: Gesamt vs. „Mais für Biogas“ (ha)¹

Uprawa kukurydzy w 2011 r.: ogółem vs. „kukurydza na biogaz” (ha)¹



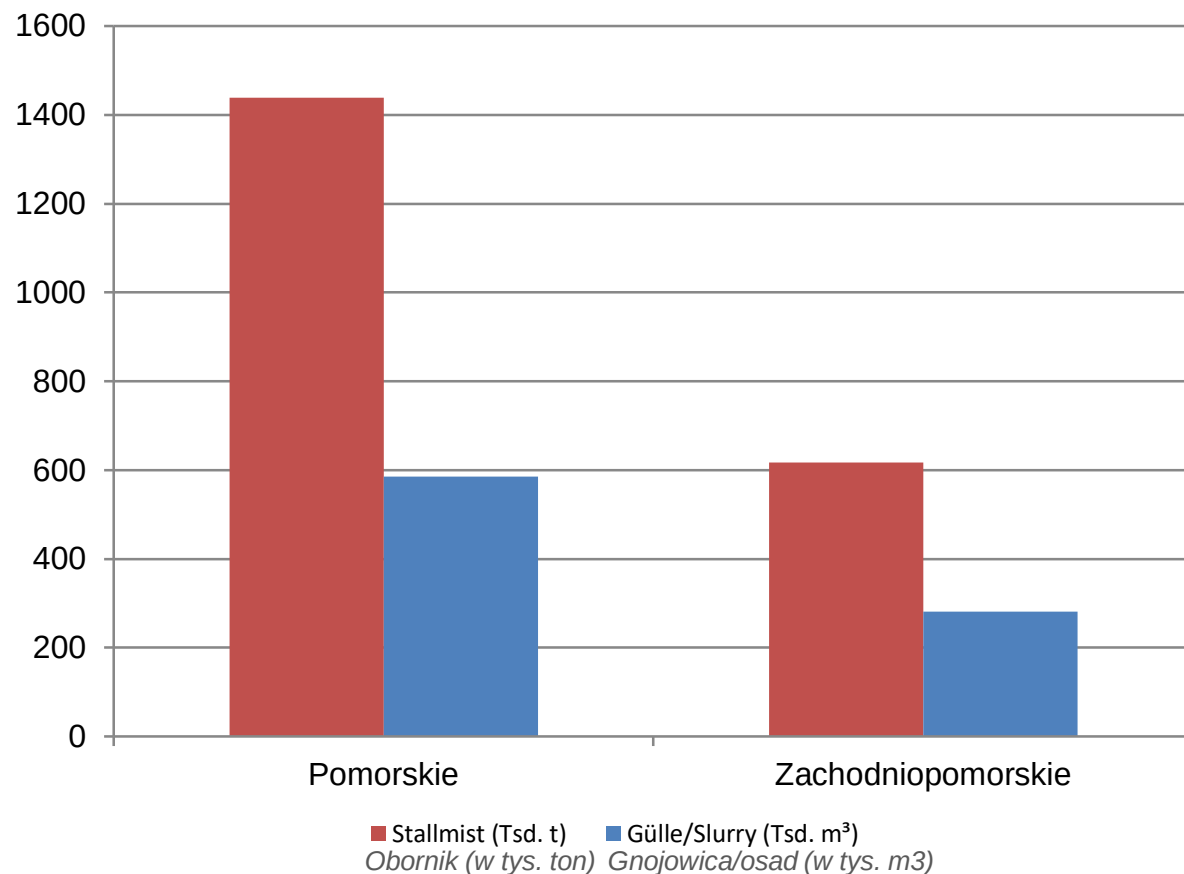
- **Silage-Potenzial** ist i. d. R. mit Maisflächen korreliert (v. a. Biogasmais).
- **MV: „Mais für Biogas“** deutlich höher als in BB
- -> **Weizen/Raps**: bisher kein Vergleich/Flächenzahlen je Land vorhanden
- **Potenzial kisonki** jest zazwyczaj skorelowany z arealem upraw kukurydzy (zwłaszcza kukurydzy na biogaz).
- **MV: „Kukurydza na biogaz”** znacznie wyższa niż w BB
- -> **Pszenica/rzepak**: brak porównania/dane dotyczące arealu dla poszczególnych krajów

Substrat-Berücksichtigung / Polnische Seite - Beispiele

Uwzględnienie substratu / Strona polska – Przykłady

PL-Seite: natürliche Dünger (Mist/Gülle) – Größenordnung ²

Strona PL: nawozy naturalne (obornik/gnojowica) – wielkość ²



- **Hof-Biogas:** Mist/Gülle gute Basissubstrate (Pufferung), benötigen oft Co-Substrate (z. B. LM-Abfälle/Silage) für Wirtschaftlichkeit.
- **Regionale Unterschiede erheblich** – Zahlen sind Voivodeship-spezifisch - beruhen auf GUS-Auswertung.
- **Umrechnung Energiepotenziale (TJ)** erfordert zusätzliche Faktoren (TS/VS/CH₄-Ausbeute)
- **Biogaz z gospodarstwa**: obornik/gnojowica są dobrymi substratami bazowymi (buforowanie), często wymagają substratów współistniejących (np. odpady mleczne /kiszonka) dla zapewnienia rentowności.
- **Znaczne różnice regionalne** – dane liczbowe są specyficzne dla poszczególnych województw – oparte na analizie krajów WNP
- **Przeliczanie potencjału energetycznego (TJ)** wymaga dodatkowych czynników (TS/VS/wydajność CH₄)

Haupt-Fermentationspfade

Główne ścieżki fermentacji

Kurzüberblick: Beispiele Reaktortypen / Substrateignung ^{3,4,5}

Krótki przegląd: przykłady typów reaktorów / przydatność substratów ^{3,4,5}

Für gemischte (flüssige) Stoffe

- **Nasse anaerobe Vergärung (kontinuierlich gerührter Tankreaktor, mesophile oder thermophile Betriebsweise)**
Gülle, Abfälle aus der Lebensmittelindustrie, Silage; Mischpotenzial der Substrate (ausgeglichenes C-N-hohes Verhältnis, ausreichende Spurenelemente)
- **Pfropfenstromreaktor (Plug-Flow-Reaktor)**
Homogene Silagen in Kombination mit Gülle
- **Kofermentation (kontinuierlich gerührter Tankreaktor)** „Logistik /Annahmekontrolle“
Substrate entscheidend

Für feste / strukturreiche Stoffe

- **Trockene anaerobe Vergärung (Batch- oder kontinuierlicher Betrieb)**
Grünschnitt, faserige Abfälle aus der Lebensmittelindustrie; geringerer Wasserbedarf im Vergleich zur Nassvergärung
- **Mehrphasen-Vergärung / Vorbehandlung**
Stroh, Paludikultur-Biomasse, faserige Reststoffe; höhere Investitionskosten (CAPEX) und höhere Betriebskosten (OPEX)

Spezialfälle (Abwasser)

- **Anaerober Schlammdeckenreaktor mit Aufstrom (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)**
Kommunale / industrielle Abwässer; Auslegung auf chemischen O₂-Bedarf: Belastungskennzahl
- **Thermischer Hydrolyse-Vorbehandlung**
Klärschlamm, Vorbehandlung zur Aufspaltung komplexer organischer Strukturen (Hydrolyse);
Hinweis: Klärschlamm ist stark genehmigungs- und standortgebunden (Deutschland / Polen).

W przypadku substancji mieszanych (płynnych)

- **Fermentacja beztlenowa na mokro (ciągły reaktor zbiornikowy z mieszadłem, tryb pracy mezofilny lub termofilny)**
Gnojowica, odpady z przemysłu spożywczego, kiszonka; Potencjał mieszania substratów (zrównoważony stosunek C-N, wystarczająca ilość pierwiastków śladowych)
- **Reaktor przepływowy typu plug-flow (reaktor typu plug-flow)** Jednorodne kiszonki w połączeniu z gnojowicą
- **Kofermentacja (ciągłe mieszany reaktor zbiornikowy)** „Logistyka / kontrola odbioru” - substraty mają decydujące znaczenie

Dla substancji stałych / bogatych w struktury

- **Fermentacja beztlenowa na sucho (praca w trybie wsadowym lub ciągłym)**
Odpady zielone, odpady włókniste z przemysłu spożywczego; mniejsze zapotrzebowanie na wodę w porównaniu z fermentacją mokrą
- **Fermentacja wielofazowa / obróbka wstępna**
Słoma, biomasa z upraw paludikulturowych, odpady włókniste; wyższe koszty inwestycyjne (CAPEX) i wyższe koszty eksploatacyjne (OPEX)

Przypadki szczególne (ścieki)

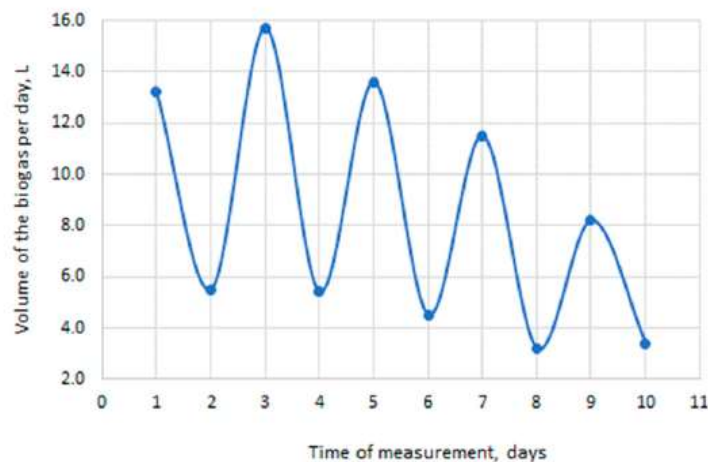
- **Anaerobowy reaktor z warstwą osadu i przepływem w górę (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)** Ścieki komunalne / przemysłowe; projektowanie na podstawie chemicznego zapotrzebowania na O₂: wskaźnik obciążenia
- **Termiczna obróbka wstępna metodą hydrolizy**
Osady ściekowe, wstępna obróbka w celu rozbicia złożonych struktur organicznych (hydroliza);
Uwaga: osady ściekowe podlegają ścisłym wymogom dotyczącym pozwoleń i lokalizacji (Niemcy / Polska).

Forschungsbiogasanlage – ZUT inStettin

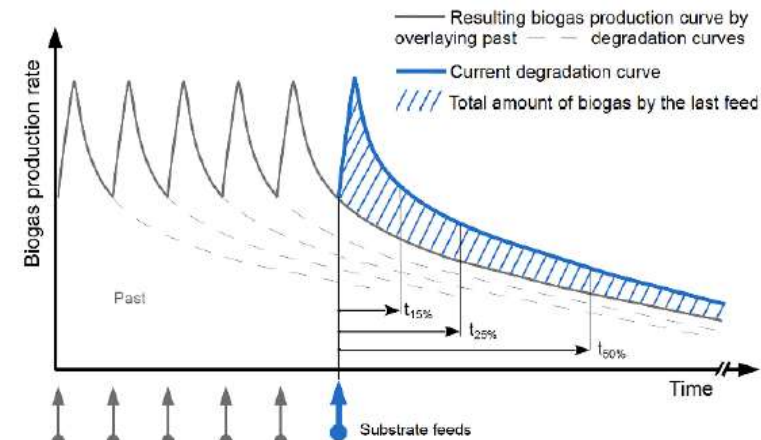
Biogazownia badawcza – ZUT w Szczecinie



Widok biogazowni badawczej: 1 - komora wstępna,
2 - bioreaktor, 3 - pompa perystaltyczna, 4 - miernik
ilości biogazu, 5 - sterownik, 6 – analizator
Ansicht der Forschungsbiogasanlage: 1 – Vorkammer,
2 – Bioreaktor, 3 – Schlauchpumpe, 4 – Biogaszähler,
5 – Steuerung, 6 – Analysator



(a)

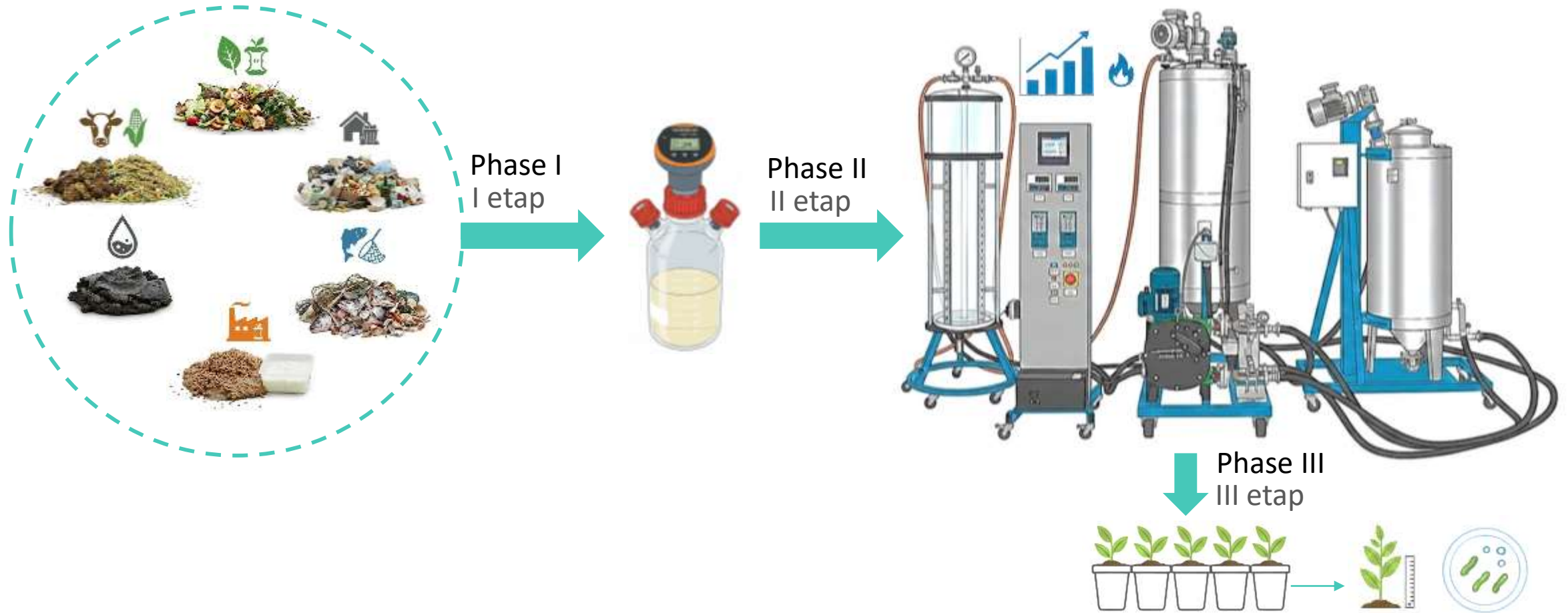


(b)

Przebieg produkcji biogazu w biogazowni: a) według badań, b) według modelu
Biogasproduktionsprozess in einer Biogasanlage: a) gemäß Forschungsergebnissen,
b) gemäß dem Modell

Untersuchung des Biogaserzeugungspotenzials aus ausgewählten Substraten - ZUT in Stettin

Badania potencjału produkcji biogazu z wybranych substratów – ZUT w Szczecinie



Haupt-MeOH-Pfade / Główne ścieżki MeOH

Direkte Methanolsynthese aus Methan: überwiegend Forschung & Pilotphase ^{6,7,8,9}

Direkte Verfahren ($\text{CH}_4 \rightarrow \text{MeOH}$)

- Kupfer-Zeolith (sauerstoff-zyklisch) bei etwa 200 °C
- Kupfer-Zeolith (H_2O -Looping; Aktivierung ≈ 400 °C)
- Nicht-thermisches Plasma (Betrieb bei Raumtemperatur und atmosphärischem Druck)
- Biologischer Ansatz (Methanotrophe Mikroorganismen, etwa 20–40 °C)

Gemeinsam:

Hohe Anforderungen an die Gasreinheit; Skalierung sowie technisch-ökonomische Analyse / Lebenszyklusanalyse herausfordernd

Bezpośrednia synteza metanolu z metanu: głównie badania i faza pilotażowa ^{6,7,8,9}

Procesy bezpośrednie ($\text{CH}_4 \rightarrow \text{MeOH}$)

- Zeolit miedziowy (cykliczny tlen) w temperaturze około 200 °C
- Zeolit miedziowy (pętla H_2O ; aktywacja ≈ 400 °C)
- Plazma nietermiczna (praca w temperaturze pokojowej i ciśnieniu atmosferycznym)
- Podejście biologiczne (mikroorganizmy metanotropowe, około 20–40 °C)

Wspólne cechy:

Wysokie wymagania dotyczące czystości gazu; skalowanie oraz analiza techniczno-ekonomiczna / analiza cyklu życia stanowią wyzwanie

Indirekte Verfahren: industriell bekannt, i.d. Regel zentral bis dezentral bzw. clusterfähig ^{10,11}

Indirekte Verfahren (Synthesegas / $\text{CO}_2\text{--H}_2$)

- Biomethan $\rightarrow$ Reformierung $\rightarrow$ Methanol
- Autotherme Reformierung oder partielle Oxidation $\rightarrow$ Synthesegas $\rightarrow$ Methanol
- Holzvergasung $\rightarrow$ Synthesegas $\rightarrow$ Methanol
- Kohlendioxid + Wasserstoff $\rightarrow$ erneuerbares Methanol (Power-to-X)

Gemeinsam:

Hohe Investitionskosten; Vorteil bei Skalierung und Wärmekopplung

Metody pośrednie: znane w przemyśle, zazwyczaj scentralizowane lub zdecentralizowane lub zdolne do tworzenia klastrów ^{10,11}

Metody pośrednie (gaz syntezowy / $\text{CO}_2\text{--H}_2$)

- Biometan $\rightarrow$ reforming $\rightarrow$ metanol
- Reforming autotermiczny lub utlenianie częściowe $\rightarrow$ gaz syntezowy $\rightarrow$ metanol
- Gazyfikacja drewna $\rightarrow$ gaz syntezowy $\rightarrow$ metanol
- Dwutlenek węgla + wodór $\rightarrow$ metanol odnawialny (Power-to-X)

Wspólne cechy:

Wysokie koszty inwestycyjne; zaleta w przypadku skalowania i kogeneracji

Technik & Optimierung

Technika i optymalizacja

1.Substrat-Mischung: Ausgleich C-N-Verhältnisse, Erhöhung Pufferkapazität (Gülle ↔ Abfälle aus Lebensmittelindustrie ↔ Silage)

2.Mechanische Aufbereitung / Handhabung: Entfernung Störstoffe (Kunststoffe, Sand); Auswahl passende Trockensubstanzgehalte (nasse anaerobe Vergärung vs trockene anaerobe Vergärung)

3.Gezielte Vorbehandlung:

Hydrolyse /thermische Hydrolyse, wo faserige Substrate biologischen Abbau begrenzen

4.Wärmeintegration:

Nutzung Fermenterwärme / industrieller Abwärme (BHKW, Wärmenetze, Prozesswärme)

5.Emissionsminderung:

Gasdichte Lagerung Gärreste / Überwachung Methanemissionen Vermeidung CH₄-schlupf)

6.Kohlendioxid-Nutzung:

Nutzung des bei Gasaufbereitung anfallenden CO₂ als Einsatzstoff für PTX

Zielbild:

Kurze Transportwege, effiziente Wärmenutzung / geschlossene Nährstoffkreisläufe → robuste Wirtschaftlichkeit.

Kurzfristig (0–3 Jahre):

Biogas -> BioCH₄ (nasse oder trockene anaerobe Vergärung) mit Nutzung des Methans für Wärme, Strom oder Biomethan

•Grünes CO₂ aus Gasaufbereitung als PTX-Option im Cluster (wenn grüner H₂ verfügbar)

Mittelfristig (3–7 Jahre):

BioCH₄ → BioMeOH über Reformierung oder autotherme Reformierung in Industrie- / Hafenclustern

1.Mieszanka substratów: Wyrównanie stosunku C-N, zwiększenie zdolności buforowej (gnojowica ↔ odpady z przemysłu spożywczego ↔ kiszonka)

2.Przetwarzanie mechaniczne / obsługa: Usuwanie substancji zakłócających (tworzywa sztuczne, piasek); wybór odpowiedniej zawartości suchej masy (fermentacja beztlenowa na mokro vs fermentacja beztlenowa na sucho)

3. Ukierunkowana obróbka wstępna:

Hydroliza / hydroliza termiczna, gdzie substraty włókniste ograniczają rozkład biologiczny

4. Integracja ciepła:

Wykorzystanie ciepła z fermentacji / ciepła odpadowego z przemysłu (kogeneracja, sieci ciepłownicze, ciepło procesowe)

5. Redukcja emisji:

Przechowywanie pozostałości fermentacyjnych w sposób szczelny / monitorowanie emisji metanu / zapobieganie ulatnianiu się CH₄.

1.Wykorzystanie dwutlenku węgla:

Wykorzystanie CO₂ powstającego podczas przetwarzania gazu jako surowca do produkcji PTX.

Cel:

Krótkie trasy transportowe, efektywne wykorzystanie ciepła / zamknięte obiegi składników odżywczych → solidna rentowność.

W perspektywie krótkoterminowej (0–3 lata):

Biogaz -> BioCH₄ (fermentacja beztlenowa na mokro lub na sucho) z wykorzystaniem metanu do produkcji ciepła, energii elektrycznej lub biometanu.

W perspektywie średnioterminowej (3–7 lat):

BioCH₄ → BioMeOH poprzez reforming lub reforming autotermiczny w klastrach przemysłowych / portowych

Technik & Optimierung

Technika i optymalizacja ?

Landwirtschaftlicher Hof

- Nass-AD (CSTR/Plug-Flow)
- Mix: Gülle + Silage + LM-Abfälle
Output: Strom/Wärme/BioCH₄
- PTX-Option -> CO₂-Abscheidung

Dezentral?

- kurze Wege für nasse Substrate
- Nutzung eigener Wärme
- Nährstoffkreislauf via Gärrest
- Genehmigung/Emissionsschutz
- Gärrestlager, Methanschlupf
- Logistik & Qualitätssicherung

Gospodarstwo rolne

- Mokry AD (CSTR/Plug-Flow)
- Mieszanka: gnojowica + kiszonka + odpady LM. Wydajność: energia elektryczn /ciepło/bioCH₄
- Opcja PTX -> wychwytywanie CO₂

Decentralizowane?

- krótkie drogi dla mokrych substratów
- Wykorzystanie własnego ciepła
- Obieg składników odżywczych poprzez resztki fermentacyjne
- Zezwolenie/ochrona przed emisjami
- Magazyn resztek fermentacyjnych, Przesączenie CH₄
- Logistyka i zapewnienie jakości

Kommune/Kläranlage

- Klärgas/Schlamm-AD (ggf. THP)
- Bioabfall (Nass-AD)
- Cluster: CO₂ + H₂ → PtX (wenn EE/H₂)

Zentral?

- hohe CAPEX (Aufbereitung, Synthese)
- Bedarf an H₂/CO₂-Infrastruktur
- Skaleneffekte für Methanolfpade
- „Hybrid“: Biomethan dezentral erzeugen zentral stofflich nutzen.

Gmina/oczyszczalnia ścieków

- Gaz oczyszczalni ścieków/osad ściekowy AD (ewentualnie THP)
- Odpady biologiczne (AD na mokro)
- Klaster: CO₂ + H₂ → PtX (jeśli EE/H₂)

Centralnie?

- Wysokie nakłady inwestycyjne (przetwarzanie, synteza)
- Zapotrzebowanie na infrastrukturę H₂/CO₂
- Efekt skali dla ścieżek metanolowych
- „Hybryda”: zdecentralizowane wytwarzanie biometanu scentralizowane wykorzystanie surowca.

Industrie/Hafen

- BioCH₄→MeOH (Reforming/ATR)
- Holz-/Abfallvergasung→MeOH
- e-Methanol (PtX)

Recht (Kurzfassung)¹²

- Tierische Nebenprodukte: ABP-VO (EG) 1069/2009
- Bioabfall-/Düngerecht: anlagen- & landesspezifisch
- RFNBO/e-Fuels: RED II/III
- Praktisch: Zulässigkeit ist pro Anlage zu prüfen (Inputliste/Genehmigung).

Przemysł/port

- BioCH₄→MeOH (reformowanie/ATR)
- Gazyfikacja drewna/odpadów→MeOH
- e-metanol (PtX)

Prawo (skrót)¹²

- Produkty uboczne pochodzenia zwierzęcego: rozporządzenie (WE) nr 1069/2009 w sprawie produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego
- Prawo dotyczące odpadów biologicznych/nawozów: specyficzne dla instalacji i kraju
- RFNBO/e-paliwa: RED II/III
- Praktyczne: dopuszczalność należy sprawdzić dla każdej instalacji (lista wejściowa/zezwolenie).

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit
Dziękujemy za uwagę

Offene Fragen & Diskussion

Otwarte pytania i dyskusja ?

- Datenherausforderung: Spezifische Fütterung individueller Anlagen
- Welche Substrate sind in Pomerania-Region sicher verfügbar (Menge/Qualität/Preis)?
- Welche Logistik ist realistisch (Radien, Sammelsysteme, Saison)?
- Welche Wärme-/Stromsenken gibt es vor Ort (Hof, Kommune, Gewerbe)?
- Welche Genehmigungs-/Akzeptanzrisiken sind kritisch?
- Welche Investitionsgrößen sind tragbar ?
- Gibt es CO₂/H₂-Optionen (Cluster)? Wenn ja: wer ist Abnehmer?

Weitere Fragen ... ?

- Wyzwanie związane z danymi: specyficzne zasilanie poszczególnych instalacji
- Jakie substraty są dostępne w regionie Pomerania (ilość/jakość/cena)?
- Jaka logistyka jest realistyczna (promienie, systemy zbiórki, sezonowość)?
- Jakie są lokalne źródła ciepła/energii elektrycznej (gospodarstwo, gmina, przemysł)?
- Jakie ryzyka związane z uzyskaniem zezwoleń/akceptacją są krytyczne?
- Jakie nakłady inwestycyjne są możliwe do zaakceptowania?
- Czy istnieją opcje związane z CO₂/H₂ (klastry)? Jeśli tak, to kto jest odbiorcą?

Inne pytania ...?

Literatur *

Literatura *

1. AEE/FNR (2013) AEE/FNR: Potenzialatlas Bioenergie in den Bundesländern. (PDF). https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/potenzialatlas_bioenergie.pdf
2. Kopiński, J. & Wach, D. (2023). Management of nutrients derived from natural fertilizers... Polish Journal of Agronomy, No. 52. (PDF). https://www.iung.pl/PJA/wydane/52/PJA52_1.pdf
3. Lindmark, J., et al. (2014). *Mixing in anaerobic digestion – a review*. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.007>
4. Mata-Alvarez, J., et al. (2014). Anaerobic co-digestion... *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.001>
5. Lettinga, G., et al. (1980) UASB process. *Biotechnology and Bioengineering*. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-4274\(80\)90089-4](https://doi.org/10.1016/0378-4274(80)90089-4)
6. Tomkins, P., et al. (2016). Cyclic CH₄ → MeOH on Cu-zeolite. *Angewandte Chemie International Edition*. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.201511065>
7. Sushkevich, V. L., et al. (2017). Direct synthesis of methanol from methane. *Science*. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aam9035>
8. Bi, Y., et al. (2022). Non-thermal plasma CH₄ → MeOH. *Communications Chemistry*. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42004-022-00735-y>
9. Ito, T., et al. (2021) Methanotroph methanol accumulation. *Frontiers in Microbiology*. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.639266>
10. Zhao, X., et al. (2020) Biogas reforming to syngas – a review. *iScience*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101082>
11. Bumgardner, C. L., et al. (2021) Biomass gasification → methanol – a review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111467>
- 12 European Union (2009). Regulation (EC) No 1069/2009 on animal by-products (ABP Regulation). Eur-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009R1069>

Find us on



HOST
Hochschule Stralsund

mele[®]
UNTERNEHMENSGRUPPE



Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie



Pomorze
Zachodnie



HOCHSCHULE
NEUBRANDENBURG
University of Applied Sciences

Das Projekt OrgWaste2Fuel wird von der Europäischen Union aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Rahmen des Kooperationsprogramms Interreg VI A Mecklenburg-Vorpommern / Brandenburg / Polen 2021-2027 kofinanziert.

Projekt OrgWaste2Fuel jest dofinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR) w ramach Programu Współpracy Interreg VI A Mecklenburg – Vorpommern / Brandenburg / Polska 2021-2027.

OrgWaste2Fuel

Das Projekt wird vom polnischen Ministerium für Wissenschaft und Hochschulwesen im Rahmen des Programms „Kofinanzierte internationale Projekte“ kofinanziert. / Projekt współfinansowany ze środków polskiego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu pn. Projekty Międzynarodowe Współfinansowane.