

AP 1.1 State-of-the-art Biomethan & Biomethanol

Najnowocześniejszy biometan i biometanol

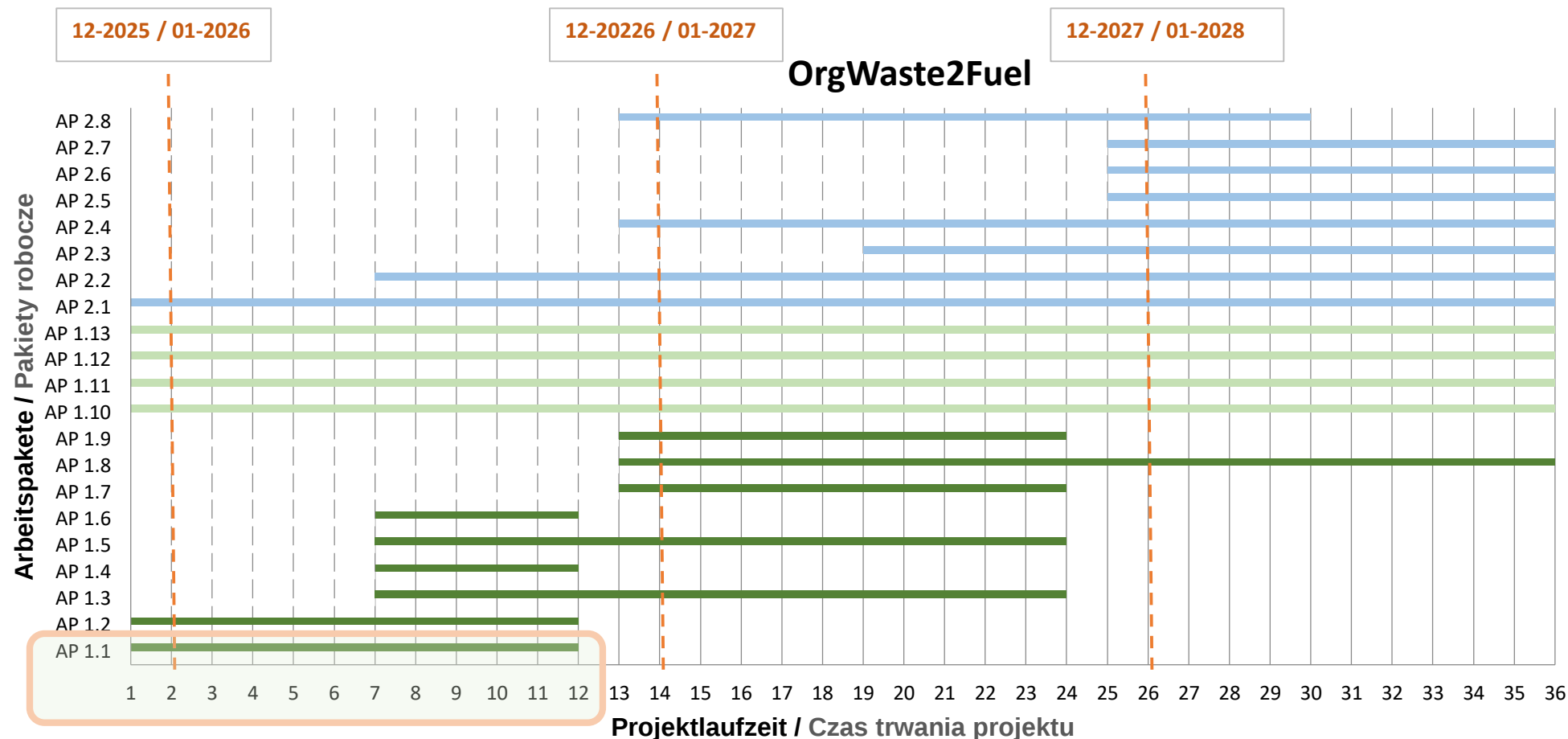
Dr. Stefan Klebingat, Ralf Reuters, Dr hab. inż. Adam Koniuszy, prof. ZUT
Hochschule Stralsund, Hochschule Neubrandenburg, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

15 Januar / 15 stycznia 2026 | Pasewalk, Niemcy



OrgWaste2Fuel / Zeitplan

OrgWaste2Fuel / Harmonogram



Agenda

Program

- Begriffsabgrenzung BioCH₄ & BioMeOH
- Start Literaturerfassung
- Global / EU
- Pomerania
- Technologievergleich
- Herausforderungen DE/PL
- Offene Fragen & Diskussion
- Definition der Begriffe BioCH₄ & BioMeOH
- Beginn der Literaturrecherche
- Global / EU
- Pomerania
- Vergleich der Technologien
- Herausforderungen DE/PL
- Offene Fragen und Diskussion

Begriffsabgrenzung BioCH₄ & BioMeOH

Definicja pojęć BioCH₄ & BioMeOH

- **Biomethan:** Erneuerbares Methan aus der Aufbereitung von Biogas aus anaerober Vergärung oder aus Synthesegas der Biomasse-Vergasung, geeignet zur Einspeisung in Gasnetze oder zur direkten Nutzung als Kraftstoff.¹
- **Biomethanol:** Methanol, dessen Kohlenstoff ausschließlich oder überwiegend aus Biomasse (z. B. Forst-/Landwirtschaftsreststoffe, Schwarzlauge, biogene Abfallströme) stammt.²
- **Erneuerbares Methanol (Renewable/Green Methanol):** Dachbegriff für Biomethanol und e-Methanol (aus grünem H₂ und CO₂ aus biogenen oder atmosphärischen Quellen).³
- **Biometan:** Metan odnawialny pochodzący z przetwarzania biogazu z fermentacji beztlenowej lub z gazu syntezowego z gazyfikacji biomasy, nadający się do wprowadzania do sieci gazowej lub do bezpośredniego wykorzystania jako paliwo.¹
- **Biometanol:** metanol, którego węgiel pochodzi wyłącznie lub głównie z biomasy (np. pozostałości leśnych/rolniczych, czarny ług, strumienie odpadów biogenicznych).²
- **Metanol odnawialny (Renewable/GreenMethanol):** termin ogólny obejmujący biometanol e-metanol (z zielonego H₂ i CO₂ ze źródeł biogenicznych lub atmosferycznych).³

Start Literaturerfassung

Rozpoczęcie rejestracji literatury

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| • Partner_ID | • Partner_ID |
| • Titel | • Tytuł |
| • Autor:innen | • Autorzy |
| • Journal_Jahr | • Rok publikacji |
| • DOI_URL | • DOI_URL |
| • Studentyp | • Rodzaj badania |
| • Studienmaßstab | • Skala badania |
| • Technologiekategorie | • Kategoria technologii |
| • Feedstock-Typ | • Rodzaj surowca |
| • PtX-Produkt | • Produkt PtX |
| • TRL_qualitativ | • TRL_jakościowy |
| • Kern-Erkenntnisse | • Najważniejsze wnioski |
| • Lücken / Einschränkungen | • Luki / ograniczenia |

Zusammenfassung / Podsumowanie: Nathrath et al. (2025)

Analyse-Basis | Podstawa analizy: Green Chemistry, 2025, DOI: 10.1039/d5gc01307k

Bibliographische / Studien-Daten | Dane bibliograficzne / dane dotyczące badań

Partner_ID Partner_ID	P1
Titel Tytuł	Methanol production in a sustainable, mild and competitive process: concept launch and analysis Produkcja metanolu w ramach zrównoważonego, łagodnego i konkurencyjnego procesu: wprowadzenie koncepcji i analiza
Autoren Autorzy	Phillip Nathrath; Fabian Kroll; David Karmann; Michael Geißelbrecht; Patrick Schühle Phillip Nathrath; Fabian Kroll; David Karmann; Michael Geißelbrecht; Patrick Schühle
Journal / Jahr Czasopismo / Rok	Green Chemistry / 2025 Green Chemistry / 2025
DOI / URL DOI / URL	10.1039/d5gc01307k – https://doi.org/10.1039/d5gc01307k / 10.1039/d5gc01307k – https://doi.org/10.1039/d5gc01307k
Studientyp Rodzaj badania	Prozess Simulation / Technisch-ökonomische Analyse Symulacja procesu / Analiza techniczno-ekonomiczna
Tech_Kategorie Kategoria technologiczna	Biomasse zu Methanol (OxFA-to-MeOH Pfad) Biomasa do metanolu (ścieżka OxFA-do-MeOH)
Eingangsstoff_Type Rodzaj surowca	Feuchte Biomasse-Rückstände (Glukosemodell; Rohglycerin, Weizenstroh, Trester diskutiert) Wilgotne pozostałości biomasy (model glukozy; dyskutowano nad surową gliceryną, słomą pszeniczną, wytløkami)
TRL TRL	4 (Konzept-/Simulationsphase) 4 (faza koncepcyjna/symulacyjna)

Technische Kerndaten | Podstawowe dane techniczne

Parameter Parametr	Wert Wartość	Einheit Jednostka	Notiz Uwaga
Kohlenstoffeffizienz (insgesamt) Efektywność węglowa (ogólna)	80.0	%	Basis-Fall ~83.2 % möglich bei verbesserter Kühlung Przypadek podstawowy ~83,2 % możliwe przy ulepszonej chłodzeniu
Energie-Effizienz Efektywność węglowa (ogólna)	43.5	%	Gesamtprozess Cały proces
Methanol-Produktstrom Przepływ produktu metanolowego	153.6	kg/h	Aus Nettoproduktstrom 158.9 kg/h (96.7 wt% MeOH) Z przepływu produktu netto 158,9 kg/h (96,7 wt% MeOH)
Operative Bedingungen Warunki operacyjne	5–10	bar	90–210 °C, mild über alle Stufen 90–210 °C, łagodne na wszystkich etapach
GWP100 (Basis-Fall/ mit Flue Gas) GWP100 (scenariusz bazowy/z gazem spalinowym)	0.959 / 0.464	kg CO ₂ -eq/kg MeOH	Mit Flue-Gas-Verbrennung deutlich reduziert Znaczna redukcja dzięki spalaniu spalin
CAPEX (Basis-Fall) CAPEX (scenariusz bazowy)	3.36	Mio. €	Inkl. Installation, Haupttreiber Kompressoren + RD-Kolonne W tym instalacja, główne czynniki napędzające sprężarki + kolumna RD
Methanolkosten (Glukose) Koszty metanolu (glukoza)	1.55	€/kg	Basisfall; nach Amortisation 1.41 €/kg Przypadek bazowy; po amortyzacji 1,41 €/kg
Kostenbereich (mit Elektrolyseur) Zakres kosztów (z elektrolizerem)	0.69–2.31	€/kg	Optimistisch (billiger Strom, Stroh) bis pessimistisch Od optymistycznego (tańsza energia elektryczna, słoma) do pesymistycznego

Der OxFA-to-MeOH-Prozess wandelt nasse Biomasse über Formiat und Methylformiat unter sehr milden Bedingungen (Druck < 10 bar, ca. 200 °C) in erneuerbares Methanol um und vermeidet damit Trocknung und harte Vergasungsbedingungen. Die Simulation zeigt eine Kohlenstoffeffizienz von 80 % und eine Energieeffizienz von 43,5 %, bei flexibler Einsatzstoffbasis (Glucose, Crude Glycerol, Weizenstroh, Trester) und wettbewerbsfähigen Methanolkosten von 0,69–2,31 €/kg abhängig von Strompreis und Biomasse. Die Kopplung mit einem alkalischen Elektrolyseur erlaubt dezentrale H₂/O₂-Bereitstellung und ist bei Strompreisen < 0,108 €/kWh wirtschaftlich attraktiv. Mit Abgasverbrennung sinkt der GWP100 auf 0,464 kg CO₂-eq/kg MeOH und liegt damit deutlich unter fossilen Routen.

Proces OxFA-to-MeOH przekształca mokrą biomasę poprzez mrówczan i mrówczan metylu w bardzo łagodnych warunkach (ciśnienie < 10 bar, ok. 200 °C) w odnawialny metanol, unikając w ten sposób suszenia i trudnych warunków zgazowania. Symulacja wykazuje wydajność węglową na poziomie 80% i wydajność energetyczną na poziomie 43,5% przy elastycznej bazie surowców (glukoza, surowy glicerol, słoma pszeniczna, wytloki) oraz konkurencyjnych kosztach metanolu wynoszących 0,69–2,31 €/kg w zależności od ceny energii elektrycznej i biomasy. Połączenie z elektrolizysem alkalicznym umożliwia zdecentralizowane dostarczanie H₂/O₂ i jest atrakcyjne ekonomicznie przy cenach energii elektrycznej poniżej 0,108 €/kWh. Dzięki spalaniu spalin GWP100 spada do 0,464 kg CO₂-eq/kg MeOH, czyli znacznie poniżej poziomu osiągniętego w przypadku procesów opartych na paliwach kopalnych.

Lücken & Forschungsbedarf Zukunft | Luki i potrzeby badawcze Przyszłość

- Integrierte Pilotanlage erforderlich: bisher nur simulations- und unit-operation-basiert (TRL ~4).
- Langzeitdaten zu Impuritätsaufbau in Recyclingströmen und Auswirkungen auf Katalysatoren fehlen.
- Stabilität von Cu/SiO₂- und CuO/ZnO/Al₂O₃-Katalysatoren unter realen Feedbedingungen experimentell zu belegen.
- Pretreatment- und Promotorbedarf für komplexe lignocellulose Biomassen (Stroh, Trester) ökonomisch zu quantifizieren.
- Wärmeintegration und Betrieb unter realen Lastprofilen (Start/Stop, Saisonalität, Netzintegration) zu demonstrieren.
- Vollständige cradle-to-gate-LCA gegenüber Biomassevergasung und PtX-CO₂-Routen notwendig.
- Langfristige Wirtschaftlichkeit abhängig von Elektrolyseurkosten, erneuerbaren Strompreisen und Politikinstrumenten (CO₂-Preis, Offtake-Verträge).

- Wymagana zintegrowana instalacja pilotażowa: dotychczas oparta wyłącznie na symulacjach i operacjach jednostkowych (TRL ~4).
- Brakuje długoterminowych danych dotyczących gromadzenia się zanieczyszczeń w strumieniach recyklingowych i ich wpływu na katalizatory.
- Należy eksperymentalnie potwierdzić stabilność katalizatorów Cu/SiO₂ i CuO/ZnO/Al₂O₃ w rzeczywistych warunkach zasilania.
- Konieczne jest ekonomiczne oszacowanie zapotrzebowania na obróbkę wstępną i promotory dla złożonych biomas lignocelulozowych (słoma, wytloki).
- Konieczne jest wykazanie integracji ciepła i pracy w rzeczywistych profilach obciążenia (uruchamianie/wyłączanie, sezonowość, integracja z siecią).
- Konieczne jest przeprowadzenie pełnej analizy cyklu życia od kołyski do bramy w porównaniu z gazyfikacją biomasy i ścieżkami PtX-CO₂.
- Długoterminowa opłacalność zależy od kosztów elektrolizera, cen energii odnawialnej i instrumentów politycznych (cena CO₂, umowy off-take).

Kurzfazit | Krótkie podsumowanie

Nathrath et al. (2025) liefern ein innovatives, dezentrales Biomasse-zu-Methanol-Konzept mit milden Betriebsbedingungen, breiter Feedstock-Flexibilität und Potenzial zur Kopplung mit erneuerbarem Strom. Für den Übergang von TRL 4 zur kommerziellen Anwendung sind integrierte Pilotversuche, katalytische Langzeitstudien, umfassende LCA und techno-ökonomische Stresstests unter Realbedingungen entscheidend.

Nathrath i in. (2025) przedstawiają innowacyjną, zdecentralizowaną koncepcję przetwarzania biomasy na metanol, charakteryzującą się łagodnymi warunkami eksploatacji, dużą elastycznością w zakresie surowców i możliwością połączenia z energią odnawialną. Aby przejść od poziomu TRL 4 do zastosowania komercyjnego, kluczowe znaczenie mają zintegrowane próby pilotażowe, długoterminowe badania katalityczne, kompleksowa ocena cyklu życia (LCA) oraz testy warunków skrajnych pod kątem techniczno-ekonomicznym w rzeczywistych warunkach.

Globale Ebene / Poziom globalny

Biomethan – Globale Markttrends 2024 <i>Biometan – globalne trendy rynkowe 2024</i>		Grünes Methanol - Projektlandschaft 2025 <i>Zielony metanol – perspektywy na rok 2025</i>	
Metrik <i>Metryka</i>	2024-Wert <i>Wartość 2024</i>	Parameter <i>Parametry</i>	Nov. 2025 <i>Listopad 2025 r.</i>
Globale Produktion <i>Produkcja globalna</i>	≈ 10 bcm ⁵	Globale Projekte <i>Projekty globalne</i>	252 Projekte ⁹ 252 projekty ⁹
Wachstum 2023-2024 <i>Wzrost w latach 2023–2024</i>	+15 % ⁵	Kapazität 2030 <i>Wydajność w 2030 r.</i>	45,1 Mt ⁹
Wachstum vs. 2014 <i>Wzrost w porównaniu z rokiem 2014</i>	7x höher ⁶ 7 razy wyższa ⁶	Wachstum 2024-2025 <i>Wzrost w latach 2024–2025</i>	+89% (+16Mt) ¹⁰
Top-Region <i>Najważniejszy region</i>	EU-27+USA ⁷	China-Anteil (2025) <i>Udział Chin (2025)</i>	52-55% ^{10,11}
Kapazitätswachstum 2022-2023 <i>Wzrost mocy produkcyjnych w latach 2022–2023</i>	+ 40% YoY ⁸	EU-Anteil <i>Udział UE</i>	26% ¹⁰
		China-Prognose 2027 <i>Prognoza dla Chin na 2027 r.</i>	5+ Mt ¹²
Treiber: Strenge Emissionsstandards, Stützungsmaßnahmen (US EPA, EU RED II/III), Gaspreis-Volatilität Czynniki: surowe normy emisji, środki wsparcia (US EPA, EU RED II/III), zmienność cen gazu		China-Boom: Grünes Methanol als Schiffstreibstoff, Chemiesektor, kohlenstoffintensive Industrie Boom w Chinach: zielony metanol jako paliwo dla statków, sektor chemiczny, przemysł wysokoemisyjny	

EU-Ebene / Fokus Biomethan-Produktion

Poziom UE / Skupienie się na produkcji biometanu

Land / Metrik <i>Kraj / Metryka</i>	2023 Status <i>2023 Status</i>	Trend / Notiz <i>Trend / Uwagi</i>
Deutschland <i>Niemcy</i>	Größter Produzent ¹³ <i>Największy producent</i> ¹³	Neuanlagen pausiert ¹³ <i>Nowe inwestycje wstrzymane</i> ¹³
Frankreich <i>Francja</i>	+70% seit 2022 ¹⁴ <i>+70% od 2022 r.</i> ¹⁴	2025 wird #1 in EU ¹⁴ <i>W 2025 r. zajmie pierwsze miejsce w UE</i> ¹⁴
Italien <i>Włochy</i>	4x Anlagenzahl ¹⁵ <i>4x liczba instalacji</i> ¹⁵	3x Kapazitätswachstum ¹⁵ <i>3x wzrost wydajności</i> ¹⁵
Skandinavien <i>Skandynawia</i>	UK, Dänemark, TOP5 ¹⁵ <i>Wielka Brytania, Dania, TOP5</i> ¹⁵	Stabile Positionen <i>Stabilne pozycje</i>
Tschechien, NL, ES <i>Czechy, Holandia, Hiszpania</i>	Wachstumsmärkte ¹³ <i>Rynki wschodzące</i> ¹³	RED II /III Unterstützung <i>Wsparcie RED II /III</i>

Kapazitätsausbau

- 2023-Bestand: 6,4 bcm/Jahr (+40 % YoY)¹⁶
- EU-27 Wachstum: +37 % (2022–2023)⁴
- Nicht-EU: +20 % (Schweiz, UK)⁴

Treiber:

RED II/III Quoten, nationale Förderung (fr., it., cz.),
Netzeinspeisung, Mobilitätssektor

Zwängung der Leistung

- Stan na 2023 r.: 6,4 mld m³/rok (+40% r/r)¹⁶
- Wzrost w UE-27: +37% (2022–2023)⁴
- Kraje spoza UE: +20% (Szwajcaria, Wielka Brytania)⁴*

Motyw:

RED II/III Kwoty, wsparcie krajowe (Francja, Włochy,
Czechy), zasilanie sieci, sektor mobilności

Globale Ebene & EU Ebene / Pomerania!

Poziom globalny i poziom UE / Pomerania!

Technologie /Typ <i>Technologia/Typ</i>	Global 2025 <i>Global 2025</i>	Europa (operativ /Planung) <i>Europa (operacje /planowanie)</i>	Pomerania <i>Pomerania</i>	TRL <i>TRL</i>
Biomethan (aus Biogas) <i>Biometan (z biogazu)</i>	EU dominiert global: ~900–1.000 operative Anlagen, ~30–35 Mrd. m ³ /a ^{1,17} <i>Dominacja UE na rynku światowym: ~900–1000 działających instalacji, ~30–35 mld m³/rok ^{2,6}</i>	Führende Position: ~900–1.000 operative Biogasanlagen, davon 3–5 % zu Biomethan aufbereitet ^{1,17} <i>Wiodąca pozycja: ~900–1000 działających biogazowni, z czego 3–5% przetwarza biometan ^{2,6}</i>	Deutschland: ~1.290 Biogasanlagen (~757 MW) ¹⁸ Polen: ~35–42 Biogasanlagen (~31–40 MW) ¹⁸ <i>Niemcy: ~1290 biogazowni (~757 MW) ¹⁸ Polska: ~35–42 biogazownie (~31–40 MW) ¹⁸</i>	Serienreife (TRL 9)
Biomethanol (Vergasung, Reformation) <i>Biometanol (zgazowanie, reformowanie)</i>	252 globale Projekte (Biomethanol + e-Methanol) mit angestrebten 45,1 Mt bis 2030 ¹⁹ davon Biomethanol 23,3 Mt ¹⁹ <i>252 projekty globalne (biometanol + e-metanol) z docelową wartością 45,1 Mt do 2030 r. ¹⁹ w tym biometanol 23,3 Mt ¹⁹</i>	EU: 19 von 24 globalen operativen Anlagen für advanced biofuels ²⁰ Leuchtturmprojekte: – Ecoplanta (Spanien, 240 kt/a) – Södra (Schweden, 5,25 kt/a) – Enerkem Edmonton (Kanada, 100 kt/a) ^{2,3} <i>UE: 19 z 24 globalnych zakładów produkujących zaawansowane biopaliwa ²⁰ Projekty wzorcowe:– Ecoplanta (Hiszpania, 240 kt/a)– Södra (Szwecja, 5,25 kt/a)– Enerkem Edmonton (Kanada, 100 kt/a) ^{2,3}</i>	0 operative Anlagen; mehrere Konzeptstudien (z. B. biogenIV-Initiative) ² <i>0 instalacji operacyjnych; kilka studiów koncepcyjnych (np. inicjatywa biogenIV) ²</i>	Demonstriert (TRL 8)
E-Methanol (Power-to-X) <i>E-metanol (Power-to-X)</i>	Wachsender Fokus; Kapazitätsziel: 21,8 Mt bis 2030 ¹⁹ aktuell <5 % des Portfolios operational ¹⁹ <i>Rosnące zainteresowanie; docelowa wydajność: 21,8 mln ton do 2030 r. ¹⁹ obecnie <5% portfela operacyjnego ¹⁹</i>	In Planung / Engineering: mehrere PtX-Cluster-Initiativen (z. B. Pomeranian Green Hydrogen Cluster) ^{2,21} <i>W fazie planowania / inżynierii: kilka inicjatyw dotyczących klastrów PtX (np. Pomorski Klaster Zielonego Wodoru) ^{2,21}</i>	Perspektive über H2-Valleys (MV, Brandenburg, Zachodniopomorskie) ^{2,21} <i>Perspektywa dotycząca dolin wodoru (H2-Valleys) (MV, Brandenburgia, Zachodniopomorskie) ^{2,21}</i>	Demonstriert (TRL 7–8)

Globale Ebene & EU Ebene / Pomerania!

Poziom globalny i poziom UE / Pomerania!

Relevanz für das Modellgebiet Pomerania

- bisher klassische Biogasanlagen;
- dedizierte Biomethanol- und spezialisierte Biomethanprojekte: Konzeptstudien/ Pilotphase.
- Komplementäre Wasserstoff- und Power-to-X-Initiativen (z. B. Pomeranian Green Hydrogen Cluster, Westpommersche Wasserstoff-Valley), die perspektivisch e-Methanol-Pfadoptionen ermöglichen. ^{21,22}

Znaczenie dla obszaru modelowego Pomerania

- dotychczasowe klasyczne biogazownie;
- dedykowane projekty dotyczące biometanolu i specjalistyczne projekty dotyczące biometanu: studia koncepcyjne/faza pilotażowa.
- Uzupełniające inicjatywy dotyczące wodoru i Power-to-X (np. Pomeranian Green Hydrogen Cluster, Westpommersche Wasserstoff-Valley), które w perspektywie umożliwiają opcje ścieżki e-metanolu. ^{21,22}

Teilregion <i>Podregion</i>	Status Bio-CH ₄ <i>Status Bio-CH₄</i>	Status Bio-MeOH <i>Status Bio-MeOH</i>	Relevante Initiativen <i>Odpowiednie inicjatywy</i>	Implikation für Bio-MeOH <i>Implikacje dla Bio-MeOH</i>
Mecklenburg-Vorpommern Meklemburgia-Pomerania Przednie	~542 Biogasanlagen ¹⁸ (2022); Bio-CH ₄ Ausbau ~542 biogazownie ¹⁸ (2022); rozbudowa bio-CH ₄	Keine dedizierte Bio-MeOH-Anlage in Betrieb; Fokus biogene Reststoffe (biogenIV/AnKER) ^{2,22} Brak dedykowanej instalacji Bio-MeOH; skupienie na odpadach biogenych (biogenIV/AnKER) ^{2,22}	biogenIV/AnKER, Küstenraum-PtX; Pomeranian Green Hydrogen Cluster ^{2,21,22} biogenIV/AnKER, obszar przybrzeżny PtX; Pomeranian Green Hydrogen Cluster ^{2,21,22}	Hohe Eignung für Biomasse-Vergasung + MeOH-synthese; e-MeOH aus regionaler Wasserstoff-/CO ₂ -Infrastruktur ² Wysoka przydatność do zgazowania biomasy + syntezy MeOH; e-MeOH z regionalnej infrastruktury wodorowej/CO ₂ ²
Brandenburg Brandenburgia	~748 Biogasanlagen (2024) ¹⁸ ; Bio-CH ₄ Projekte unterstützt ~748 biogazowni (2024) ¹⁸ ; wspierane projekty Bio-CH ₄	Schwerpunkt Biogas/Bio-CH ₄ , grüner H ₂ ; keine kommerzielle Bio-MeOH Anlage bekannt ¹⁸ Główny obszar zainteresowania: biogaz/bio-CH ₄ , zielony H ₂ ; nie są znane żadne komercyjne instalacje bio-MeOH ¹⁸	PTX-Projekte (H ₂ , e-Fuels); Anbindung Pomeranian Green Hydrogen Cluster ^{2,21} Projekty PTX (H ₂ , e-paliwa); połączenie z Pomeranian Green Hydrogen Cluster ^{2,21}	Option, e-MeOH aus regionalem H ₂ /biogenem CO ₂ (Biogas, Industrie) aufzubauen ² Opcja wytwarzania e-MeOH z regionalnego H ₂ /biogenicznego CO ₂ (biogaz, przemysł) ²
Zachodniopomorskie	Starker Ausbau: 26–30 Biogasanlagen (2022) ¹⁸ ; Bio-CH ₄ -Ausbau geplant ^{1,23} Znaczna rozbudowa: 26–30 biogazowni (2022) 7; planowana rozbudowa Bio-CH ₄ ^{1,23}	Keine dedizierte Anlage gemeldet; große Potenziale an Reststoffen ¹ Brak zgłoszonych dedykowanych instalacji; duży potencjał w zakresie pozostałości ¹	West Pomeranian H ₂ Valley; landwirtschaftliche Reststoffe; Hafencluster-Potenzial ^{21,23} Zachodniopomorska Dolina H ₂ ; odpady rolnicze; potencjał klastra portowego ^{21,23}	Potenzial integrierte Bio-MeOH Cluster (Syngas + H ₂ + Hafeninfrastruktur) ^{2,21} Potencjał zintegrowanych klastrów bio-MeOH (syngaz + H ₂ + infrastruktura portowa) ^{2,21}
Pomorskie Nachbarregion (Vergleich) Region sąsiedni (porównanie)	Fokus auf Biogas/Bio-CH ₄ und H ₂ ; 9–12 Biogasanlagen (2018) ¹⁰ Skupienie się na biogazie/bio-CH ₄ i H ₂ ; 9–12 biogazowni (2018) ¹⁰	Bio-MeOH bislang nur in Konzeptpapieren/Studien ² Bio-MeOH dotychczas tylko w dokumentach koncepcyjnych/badaniach ²	Pomeranian Green Hydrogen Cluster (grenzüberschreitend); Offshore-Wind; Hafencluster ^{2,21} Pomeranian Green Hydrogen Cluster (transgraniczny); morska energia wiatrowa; klaster portowy ^{2,21}	Geeignet für hafen-nahe PtX-Hub-Entwicklung (e-MeOH für Schifffahrt/Industrie) ^{2,3} Odpowiedni do rozwoju hubów PtX w pobliżu portów (e-MeOH dla żeglugi/przemysłu) ^{2,3}

Aktueller Technologievergleich

Aktualne porównanie technologii

Kriterium Kryterium	Biogas/Biomethan (Ist) <i>Biogaz/Biometan (stan obecny)</i>	Biomethanol (Perspektive) <i>Biometanol (perspektywa)</i>	Bemerkung Uwagi
Anlagenzahl (Pomerania heute) <i>Liczba instalacji (Pomerania – obecnie)</i>	Deutschland (MV+BB): ~1.290 Biogasanlagen ¹⁸ ; Polen (ZP+Pom.): ~35–42 Biogasanlagen ¹⁸ Niemcy (MV+BB): ok. 1 290 biogazowni ¹⁸ ; Polska (ZP+Pom.): ok. 35–42 biogazownie ¹⁸	0 kommerzielle Biomethanolanlagen im Modellgebiet ^{2,19} ; nur Konzeptstudien und Initiativen ^{2,22} 0 komercyjnych instalacji biometanolu w regionie modelowym ^{2,19} ; wyłącznie studia koncepcyjne i inicjatywy ^{2,22}	Biogas/Biomethan ist ausgebaut; Biomethanol wäre ein „Second-wave“-Schritt der Wertschöpfung ^{2,18} <i>Biogaz/biometan jest rozwinięty; biometanol stanowiłby „drugą falę” tworzenia wartości ^{2,18}</i>
Technologie-Reife (TRL) <i>Dojrzałość technologii (TRL)</i>	Serienreife (TRL 9); breite Betreiberbasis; 30+ Jahre Erfahrung ^{1,17} <i>Dojrzałość seryjna (TRL 9); szeroka baza operatorów; ponad 30 lat doświadczeń ^{1,17}</i>	Erprobt in Industrieumgebung (TRL 8); wenige Großanlagen kommerziell operational ^{2,3} <i>Sprawdzony w środowisku przemysłowym (TRL 8); niewiele dużych instalacji komercyjnych ^{2,3}</i>	Höhere CAPEX, aber stärkere Einbindung in chemische Wertschöpfungsketten ^{2,3} <i>Wyższy CAPEX, lecz lepsza integracja z chemicznymi łańcuchami wartości ^{2,3}</i>
Einsatzstoff <i>Surowce</i>	Gülle, Energiepflanzen, Bioabfälle, industrielle Reststoffe ^{1,18} <i>Gnojowica, rośliny energetyczne, bioodpady, odpady przemysłowe ^{1,18}</i>	Biogene Reststoffe, Abfallströme, Schwarzlauge, biogenes CO ₂ , H ₂ aus EE ^{2,3} <i>Surowce biogeniczne, strumienie odpadów, ług czarny, biogeniczne CO₂, H₂ z OZE ^{2,3}</i>	Ergänzende Rohstoffbasis, stärkere Industriekopplung ² <i>Uzupełniająca baza surowcowa, silniejsze powiązanie z przemysłem ²</i>
Markt / Nutzung <i>Rynek / zastosowanie</i>	Strom, Wärme, Biomethan im Gasnetz, Bio-LNG/CNG ^{1,17} <i>Energia elektryczna, ciepło, biometan w sieci gazowej, Bio-LNG/CNG ^{1,17}</i>	Schifffahrt, Industrie, Plattformchemikalie, PtX-Kopplung ^{2,3,19} <i>Żegluga, przemysł, chemikalia platformowe, integracja PtX ^{2,3,19}</i>	Neue Export- und Hafencluster-Potenziale ^{2,3} <i>Nowe możliwości eksportowe i klastrowe portów ^{2,3}</i>
Globale Projektpipeline bis 2030 <i>Globalny portfel projektów do 2030 r.</i>	Stabiler Ausbau; europäische Konsolidierung ^{1,17} <i>Stabilny rozwój; konsolidacja europejska ^{1,17}</i>	252 Projekte weltweit; realistische Kapazität 6–13 Mt ¹⁹ <i>252 projekty globalnie; realistyczna zdolność 6–13 Mt ¹⁹</i>	Junges, dynamisches Technologiefeld; Vorreiterrolle möglich ^{2,19} <i>Młody, dynamiczny obszar technologiczny; możliwa rola regionu wiodącego ^{2,19}</i>

Technologieüberblick – vorläufige Analyse der Literaturdaten

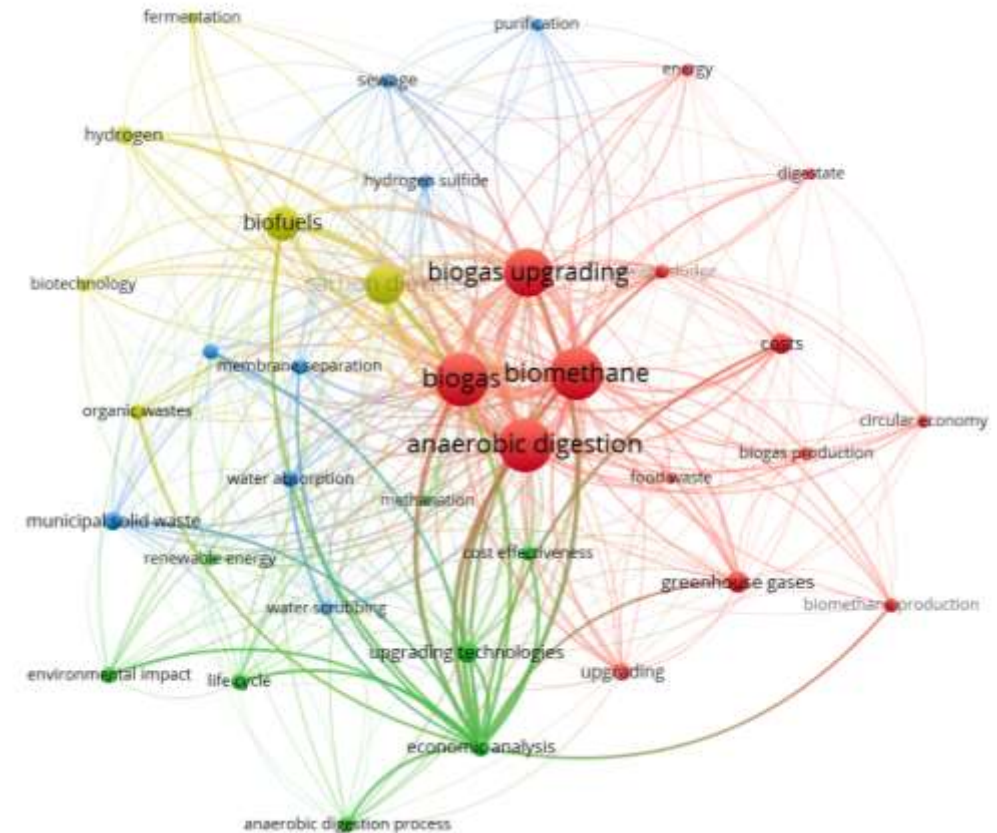
Przegląd technologii – wstępna analiza danych literaturowych

ForschungsbereichO bszar badań	Datenstatus Status danych	Schlussfolgerungen Wnioski
AD-Technologie Technologia AD	Hoch Wysoki	Fermentationsprozesse sind im Allgemeinen gut beschrieben. Procesy fermentacji są na ogół dobrze opisane.
Gasaufbereitung Oczyszczanie	Mittel Średni	Nachweise für die Wirksamkeit der Membrantrennung und der Wasserabsorption sind vorhanden. Es gibt jedoch nur wenige quantitative Daten. Die Membrantrennung hat sich als Marktstandard etabliert und weist die höchste Anzahl an Veröffentlichungen auf. Sie ist anderen Methoden wie PSA oder Gaswäsche hinsichtlich der einfachen Integration in kleine und mittlere Anlagen überlegen. Dowody na efektywność separacji membranowej i absorpcji wodnej; mało danych ilościowych. Separacja membranowa stała się standardem rynkowym (największa liczba rekordów). Przewyższa ona inne metody (PSA, płuczki) pod względem łatwości integracji z małymi i średnimi instalacjami.
Wirtschaftlichkeit Ekonomia	Mittel Średni	In den meisten Studien fehlen Daten zu CAPEX- und OPEX-Kosten. W większości brak danych o kosztach CAPEX i OPEX.
Ökobilanz und Umwelt Ocena cyklu życia (LCA) i środowisko	Niedrig Niski	Es fehlen Daten oder die Veröffentlichungen berücksichtigen nicht den realen CO ₂ -Fußabdruck, unter anderem im Zusammenhang mit der Lieferung der Substrate. Brak lub publikacje pomijają realny ślad węglowy związany m.in. z dostawami substratów.
PtX	Niedrig Niski	Hohes Potenzial zur Reduktion von CO ₂ -Emissionen. Starke Abhängigkeit von den Wasserstoffkosten. Wysoki potencjał redukcji emisji CO ₂ . Wysoka zależność od ceny wodoru.

Technologieüberblick – vorläufige Analyse der Literaturdaten

Przegląd technologii – wstępna analiza danych literaturowych

- Die Literatur spiegelt die Praxis nur unzureichend wider / Literatura słabo odzwierciedla praktykę.
- Lücke zwischen Forschung und Betrieb - überwiegend Labor- und Pilotmaßstab, wenige Daten aus dem Vollmaßstab / Luka między badaniami a eksploatacją - skala głównie laboratoryjna, pilotażowa, mało danych pełnoskalowych.
- Dominanz mesophiler Prozesse / Dominacja procesów mezofilowych.
- Fehlende Daten zu HRT und OLR / Często brak danych o HRT, OLR.
- CH₄-Gehalt in der Regel 50-65% / Zawartość CH₄: zwykle 50-66%.
- Seltene Angaben zu H₂S und NH₃ / Rzadkie dane o H₂S, NH₃.
- Fehlende Daten zum Energieverbrauch / Brak danych o zużyciu energii.

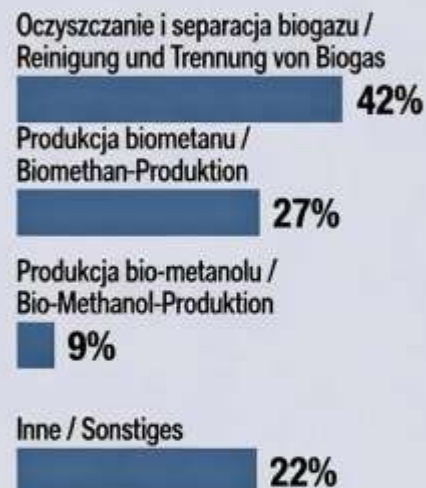


INFORMATIONSLÜCKEN → ENTSCHEIDUNGSPROBLEME / LUKI INFORMACYJNE → PROBLEMY DECYZYJNE

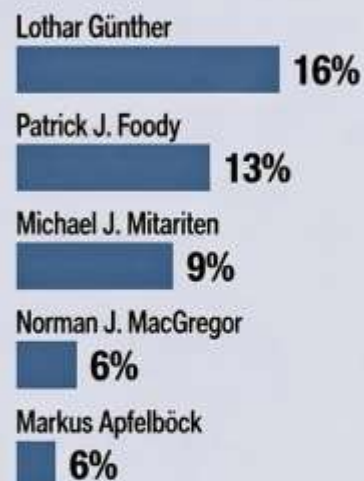
- Fehlende konsistente Daten zu Fermentationsparametern, Zusammensetzung des Rohbiogases und realen Aufbereitungsparametern / Brak spójnych danych obejmujących parametry fermentacji, skład surowego biogazu oraz rzeczywistych parametrów oczyszczania
- Die berichteten Daten sind nicht standardisiert, was den Technologiewergleich und die Skalierung der Ergebnisse erschwert / Raportowane dane nie są standaryzowane, co utrudnia porównanie technologii i skalowanie wyników

2006-2025

Główne tematy patentowe / Hauptpatentthemen



Kluczowi wynalazcy / Wichtigste Erfinder



Przegląd patentów / Patentübersicht

Oczyszczanie i separacja biogazu / Reinigung und Trennung von Biogas: absorpcja, chemisorpcja i membranowe usuwanie CO₂ i innych zanieczyszczeń z biogazu, regeneracja roztworów myjących, systemy do separacji metanu i CO₂. / Absorption, Chemisorption und Membranentfernung von CO₂ und anderen Verunreinigungen aus Biogas, Regeneration von Waschlösungen, Systeme zur Trennung von Methan und CO₂.

Produkcja biometanu / Biomethan-Produktion: ulepszanie biogazu do biometanu, sprężanie biometanu, metody wytwarzania wodoru. / Verbesserung von Biogas zu Biomethan, Komprimierung von Biomethan, Methoden zur Wasserstofferzeugung.

Produkcja bio-metanolu / Bio-Methanol-Produktion: produkcja bio-metanolu z biogazu. / Herstellung von Bio-Methanol aus Biogas.

Inne / Sonstiges: systemy do produkcji wodoru, produkcja ciekłego metanu, mobilne systemy przetwarzania biogazu, wstępne przetwarzanie biogazu oraz kontenerowe systemy oczyszczania biogazu. / Systeme zur Wasserstofferzeugung, Flüssigmethanproduktion, mobile Biogasaufbereitungssysteme, Biogasvorbehandlung und containerisierte Biogasaufbereitungssysteme.

Herausforderungen DE/PL

Wyzwania DE/PL

Aspekt <i>Aspekt</i>	DE (MV/BB) <i>DE (MV/BB)</i>	Polen (Zachod. + Pom.) <i>Polska</i>	Implikation für Interreg VI <i>Implikacja dla Interreg VI</i>
Reststoff-Verfügbarkeit <i>Dostępność surowców wtórnych</i>	Hoch (107 TJ gesamt); gut dokumentiert ²⁶ <i>Wysoka (łącznie 107 TJ); dobrze udokumentowana ²⁶</i>	Hoch (710 Tsd. t Stroh + Gülle) ²⁷ ; teilweise Datenlücken <i>Wysoka (710 tys. t słomy + obornik)²⁷; częściowe luki danych</i>	Komplementäre Ressourcen → regionales Clustering <i>Zasoby komplementarne → klastrowanie regionalne</i>
Biogasanlagen-Dichte <i>Gęstość instalacji biogazu</i>	Sehr hoch; etablierte Infrastruktur ²⁸ <i>Bardzo wysoka; ugruntowana infrastruktura ²⁸</i>	Moderat; wachsend (Genehmigungshürden) ²⁹ <i>Umiarkowana; rosnąca (bariery administracyjne) ²⁹</i>	DE als Leuchtturm; Know-how-Transfer nötig <i>DE jako punkt odniesienia; potrzebny transfer wiedzy</i>
Regulatorik <i>Regulacje</i>	Stabil (EEG 2023 Anpassung); RED III ³⁰ <i>Stabilne (nowelizacja EEG 2023); RED III ³⁰</i>	Komplex (ABP-VO, RES-Ziele); Politische Unsicherheit ²⁹ <i>Złożone (ABP-VO, cele OZE); niepewność polityczna ²⁹</i>	Politische Ausrichtung <i>Wymagane dostosowanie polityczne</i>
Upgrade-Infrastruktur <i>Infrastruktura upgrade'u</i>	Vorhanden; Topsoe, TU München aktiv <i>Istniejąca; Topsoe, TU Monachium aktywne</i>	Begrenzt; Forschungs-/Pilotphase <i>Ograniczona; faza badawcza/pilotażowa</i>	Gemeinsame F&E Projekte (KMUS und Uni) <i>Wspólne projekty B+R (MŚP + uczelnie)</i>
Markt-Akzeptanz (Biomethan) <i>Akceptacja rynkowa (biometan)</i>	Hoch (Transport, Grid, Einspeisung) <i>Wysoka (transport, wprowadzanie do sieci)</i>	Wachsend; Blockierungen möglich ²⁹ <i>Rosnąca; możliwe blokady ²⁹</i>	Kommunikation & Stakeholder Engagement <i>Komunikacja i zaangażowanie interesariuszy</i>
Grüne-Methanol-Optionen <i>Opcje zielonego metanolu</i>	Gasifikation etabliert; PtX Pilot-Phase <i>Zgazowanie rozwinięte; PtX faza pilotażowa</i>	Konzept-Phase: ggf. Cluster Chance (Hafen Stettin) <i>Faza koncepcyjna; szansa klastrowa (port Szczecin)</i>	MeOH-Marketing für Schiffe (Mega-Trend 2025+) <i>Marketing MeOH dla statków (megatrend 2025+)</i>

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit
Dziękujemy za uwagę

Offene Fragen & Diskussion

Otwarte pytania i dyskusja ?

- Wo blockieren Genehmigungen und Regulierung Biomethan-/Biomethanolprojekte aktuell am stärksten?
- Welche Projektgrößen/Standorte sind für Biomethanol in der Pomerania-Region realistisch wirtschaftlich?
- Belastbare Daten zu biogenen Reststoffen / wer kann diese liefern?
- Unter welchen Bedingungen ist e-Methanol eine realistische Ergänzung zu Biomethan?

Weitere Fragen ... ?

- Gdzie obecnie największe przeszkody dla projektów związanych z biometanem/biometanolem stanowią pozwolenia i regulacje prawne?
- Jakie wielkości projektów/lokalizacje są realistyczne pod względem ekonomicznym dla biometanolu w regionie Pomerania?
- Wiarygodne dane dotyczące odpadów biogenicznych / kto może je dostarczyć?
- W jakich warunkach e-metanol stanowi realistyczne uzupełnienie biometanu?

Inne pytania ...?

Literatur

Literatura

1. European Biogas Association (EBA) (2024). Biomethane – Factsheet. Brussels: European Biogas Association. https://de.scribd.com/document/749945972/eba-biomethane-factsheet?utm_source=chatgpt.com
2. Ajdari, S. (2021). BIOMETHANOL – Production and Use as Fuel. ETIP Bioenergy, European Commission. Horizon 2020 Grant Agreement No. 825179. https://old.etipbioenergy.eu/images/ETIP_Bioenergy_Biomethanol_production_and_use_as_fuel.pdf
3. International Renewable Energy Agency (IRENA) & Methanol Institute (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. Abu Dhabi. <https://www.irena.org/publications/2021/Jan/Innovation-Outlook-Renewable-Methanol>
4. Nathrath, P., et al. (2025). Methanol production in a sustainable, mild and competitive process: concept launch and analysis. Green Chemistry, 27, 9268–9279. DOI: <https://doi.org/10.1039/D5GC01307K>
5. Global LNG Hub (2024). Global biomethane production is set to reach 10 bcm this year, with the U.S. as key driver. <https://globalinghub.com/>
6. Cedigaz (2024). Global Biomethane Market – 2024 Assessment. International Gas Union. <https://www.cedigaz.org/>
7. European Biogas Association (2025). New edition of the Biomethane Map shows 37% increase in biomethane capacity in the EU. <https://www.europeanbiogas.eu/biomethane-map/>
8. Veyt (2024). Biomethane Overview 2024 and Outlook 2025. <https://veyt.com/>
9. Methanol Institute (2025). Renewable Methanol Database. <https://methanol.org/renewable/>
10. Protasov, A. (2025). Renewable and low-carbon methanol – January 2025 update. LinkedIn Pulse. <https://www.linkedin.com/pulse/>
11. GENA Solutions (2024). Renewable Methanol Update (September 2024). <https://www.genasolutions.com/>
12. Bloomingglobal (2025). World's Largest Green Methanol Project Successfully Validated in China. <https://www.bloomingglobal.com/>
13. Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ) (2024). Biomassepotenziale von Abfällen und Reststoffen – Ressourcendatenbank. <https://datalab.dbfz.de/>
14. Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) & Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2013). Potenzialatlas Bioenergie in den Bundesländern – Technisches Brennstoffpotenzial 2020. <https://www.fnr.de/>
15. Kopiński, J., & Wach, D. (2023). Management of nutrients derived from natural fertilizers in selected voivodeships of the European Union. Polish Journal of Agronomy, 52, 1–<https://pjjagr.com/>
16. Kochanek, A., et al. (2025). Polish Farmers' Perceptions of the Benefits and Risks of Investing in Biogas Plants. Energies, 18(15), 3981. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18153981>
17. World Bioenergy Association (2023). Global Bioenergy Statistics 2023. Stockholm. <https://worldbioenergy.org/publications/>
18. Energieportal Brandenburg & Landtag Mecklenburg-Vorpommern (2022–2024). Biogasanlagen und Kapazitätsstatistik – Pomerania-Modellgebiet. <https://energieportal-brandenburg.de/>
19. Methanol Institute & GENA Solutions (2025). Renewable Methanol Database – Global Project Pipeline 2025. <https://methanol.org/renewable/index.html>

Literatur

Literatura

20. Motola, V., et al. (2023). Clean Energy Technology Observatory: Advanced biofuels in the European Union – 2023 Status Report. European Commission, Joint Research Centre. DOI: <https://doi.org/10.2760/672584> ↔ <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC135082>
21. GAZ-SYSTEM, World Energy Council Poland & Ministry of Climate and Environment (2025). Pomeranian Green Hydrogen Cluster & West Pomeranian Hydrogen Valley. ↔ <https://www.gaz-system.pl/en/hydrogen-market/projects/pomeranian-green-hydrogen-cluster.html>
22. IKEM – Institute for Climate Protection, Energy and Mobility (2025). AnKER & biogenIV – Nutzung biogener Reststoffe in Ost-Mecklenburg-Vorpommern. ↔ <https://www.ikem.de/en/projekt/anker/>
23. Baker McKenzie & Polish Government (2025). Poland: A boost for the development of Polish biogas and biomethane plants. ↔ <https://insightplus.bakermckenzie.com/>
24. Apfelböck, M., & Günther, L. (2011–2014). Biogas upgrading methods. Patente: PL2038045T3, PL2066796T3, DE102009009753B4. ↔ <https://patents.google.com/>
25. Haldor Topsoe A/S. (2022). Biogas upgrading to methanol (eREACT™). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111467>
26. ZEG Power (2021). Method and device for upgrading of biogas and hydrogen production. Patent EP3484811B1. ↔ <https://patents.google.com/>
27. Mata-Alvarez, J., et al. (2014). Anaerobic co-digestion of solid wastes: A review. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 38, 1–39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.001>
28. European Union (2018/2001; 2023/2413). Renewable Energy Directive (RED II & RED III). ↔ <https://eur-lex.europa.eu/>
29. Harris, K., et al. (2020). A Comparative Techno-Economic Analysis of Sustainable Methanol Synthesis Pathways from Biomass and CO₂. Applied Energy (ICAE Conference). ↔ <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115842>
30. European Parliament & Council of the European Union (2023). Directive (EU) 2023/2413 on the promotion of energy from renewable sources (RED III). ↔ <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj/eng>

Find us on



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.