

# Potentialermittlung zur Erzeugung erneuerbarer Gase mittels Methanisierung (EE-Methanisierung)

DBI-GTI, DVGW-EBI

Ronny Erler, Enrico Schuhmann, Christian Bidart, Wolfgang Köppel

## Motivation:

- Nutzung vorhandener Infrastruktur (Biogaserzeugung, Biogasaufbereitung, Erdgasnetz) zur verstärkten Integration von EE-Gasen
- auslaufende EEG-Förderung für Biogasverstromungsanlagen  
→ neue Anlagenkonzepte notwendig, da sonst Rückbau erwartet wird
- Bereitstellung lokal, größerer Methanmengen durch Methanisierung des im Biogas enthaltenen  $\text{CO}_2$   
→ Erzeugung von EE-Methan ohne zusätzliche Einsatzsubstrate
- Bündelung von Biogasanlagen mittels Sammelleitungen, um wirtschaftlich tragfähige Anlagengrößen zu ermöglichen (economic of scales)
- Hebung von Potentialen zur Erhöhung der Biogaseinspeisung in das Erdgasnetz / Reduzierung von  $\text{CO}_2$ -Emissionen  
→ „greening of gas“ / Content Switch
- Aufzeigen der Potentiale und Möglichkeiten der Methanisierung in Biogasanlagen (Erhöhung der Anlagenleistung) unter Berücksichtigung zukünftig verfügbarer EE-Strommengen

## Wesentliche Ziele:

- Abschätzung des Methanisierungspotentials von „grünem“ CO<sub>2</sub> aus Biogasanlagen unter Einbindung von Wasserstoff aus Power-to-Gas
- Zusammenstellung der Technologie-, Effizienz- und Wertschöpfungsketten
- Analyse von Fermentationsprozessen und Aufbereitungsanlagen hinsichtlich einer Kombination von Biogas und Power-to-Gas
- regionale Analyse der Biogasanlagen hinsichtlich Erhöhung & Bündelung von Biogaseinspeisemengen (Erreichung wirtschaftlich rentabler Anlagengrößen zur Biogaseinspeisung)
- Kosten- / Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verschiedener Verfahrenspfade → Was kostet das „greening of gas“?
- Entwicklung von Handlungsempfehlungen für politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger

# Vorgehensweise im Projekt

1. Erarbeitung von Grundlagen / Schaffung einer Datenbasis
  - Sichtung abgeschlossener Projekte / weiterer Literatur & Vernetzung mit laufenden Projekten
  - Aktualisierung GIS-Daten zum Biogasanlagenbestand (Standortgenauigkeit, Merkmale, etc.)
  - Studienergebnisse hinsichtlich der Quantifizierung von nutzbaren EE-Strommengen für die Wasserstoffherzeugung (regional aufgelöst)
2. standortgenaue, GIS-gestützte Ermittlung des Methanisierungspotentials auf Basis des aktuellen Anlagenbestands
3. standortgenaue, GIS-gestützte Ermittlung des Potentials zur Errichtung von Sammelleitungen auf Basis des aktuellen Anlagenbestands
4. technologische Gesamtbewertung mit Bestimmung des Gesamtpotentials, Kostenbetrachtungen und Betrachtung des rechtlich-regulatorischen Rahmens
5. Ableitung von Handlungsempfehlungen

# Zusammenstellung und Analyse bestehender Biogasanlagen in Deutschland

## Aktueller Stand Biogaserzeugungs- und -aufbereitungsanlagen

	Biogaserzeugung		Biogasaufbereitung & -einspeisung	
	erfasst	real (2017)	erfasst	real (2016)
<b>Anlagen</b>	11.063*	12.061* [1]	218**	210 [3]
<b>Leistung</b>	4.500 MW <sub>el</sub>	4.875 MW <sub>el</sub> [1]	133.000 m <sup>3</sup> i.N./h	126.934 m <sup>3</sup> i.N./h [4]
<b>Energie- menge</b>	24,1 TWh <sub>el</sub> /a	32,5 TWh <sub>el</sub> /a [2]	0,88 Mrd. m <sup>3</sup> i.N./a	0,93 Mrd. m <sup>3</sup> i.N./a [3]

### Standortgenaue Erfassung



\*Anzahl der Biogas-BHKWs

\*\* Anlagen in Betrieb / Planung und Bau

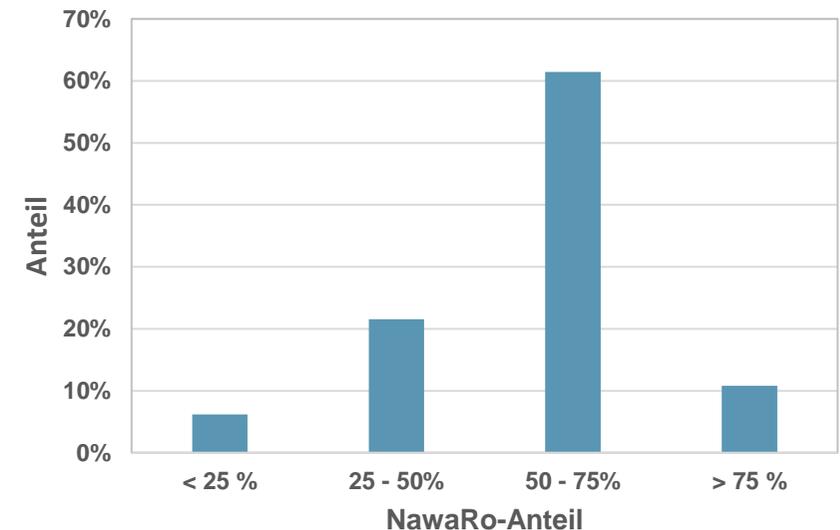
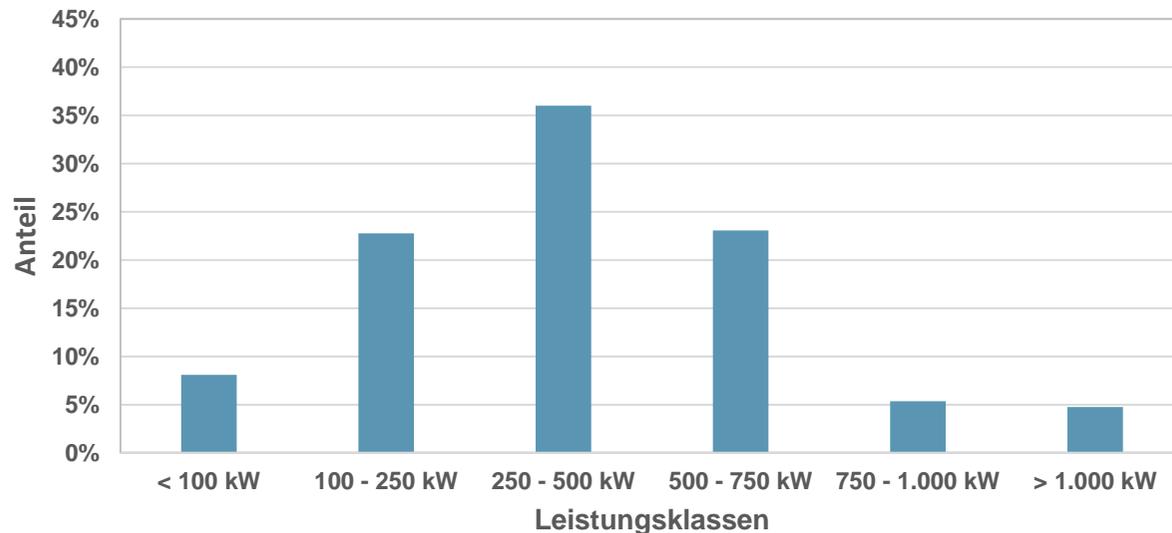


[1] Agentur für Erneuerbare Energie: Föderal Erneuerbar – Bundesländer mit Energie. [www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/D/kategorie/bioenergie/auswahl/501-installierte\\_aufbere\\_sicht/diagramm/#goto\\_501](http://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/D/kategorie/bioenergie/auswahl/501-installierte_aufbere_sicht/diagramm/#goto_501), abgerufen am 25.06.2018  
 [2] Umweltbundesamt: Erneuerbare Energien in Zahlen, [www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#strom](http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#strom), 2018  
 [3] Bundesnetzagentur, Bundeskartellamt: Monitoringbericht 2017. [www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2017/Monitoringbericht\\_2017.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2017/Monitoringbericht_2017.pdf?__blob=publicationFile&v=3), abgerufen am 25.06.2018  
 [3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Biogas. [https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas.html?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas.html?__blob=publicationFile&v=3), 2018

# Zusammenstellung und Analyse bestehender Biogasanlagen in Deutschland

## Klassifizierung Biogaserzeugungsanlagen nach

- Leistungsklasse
- Anteil nachwachsender Rohstoffe (NawaRo-Anteil)



➔ ca. 70 % der Anlagen haben eine installierte elektrische Leistung  $\geq 250$  kW

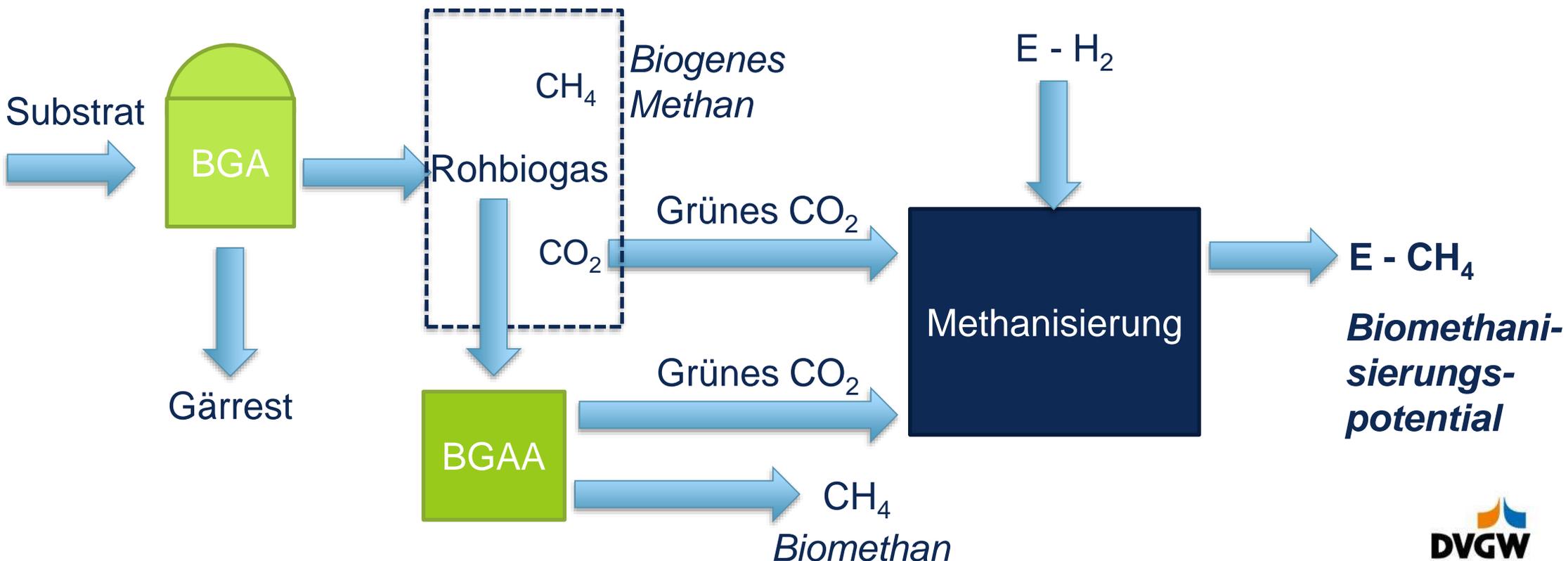
➔ interessante Anlagengröße für weitere Konzepte

# Begriffe Methanisierungspotential

**Problem bei vielen Studien ist, dass Begrifflichkeiten oft unklar sind!**

**Biomethanisierungspotential** = Methan, welches durch die Reaktion von im Biogas enthaltenen  $\text{CO}_2$  und Wasserstoff entsteht

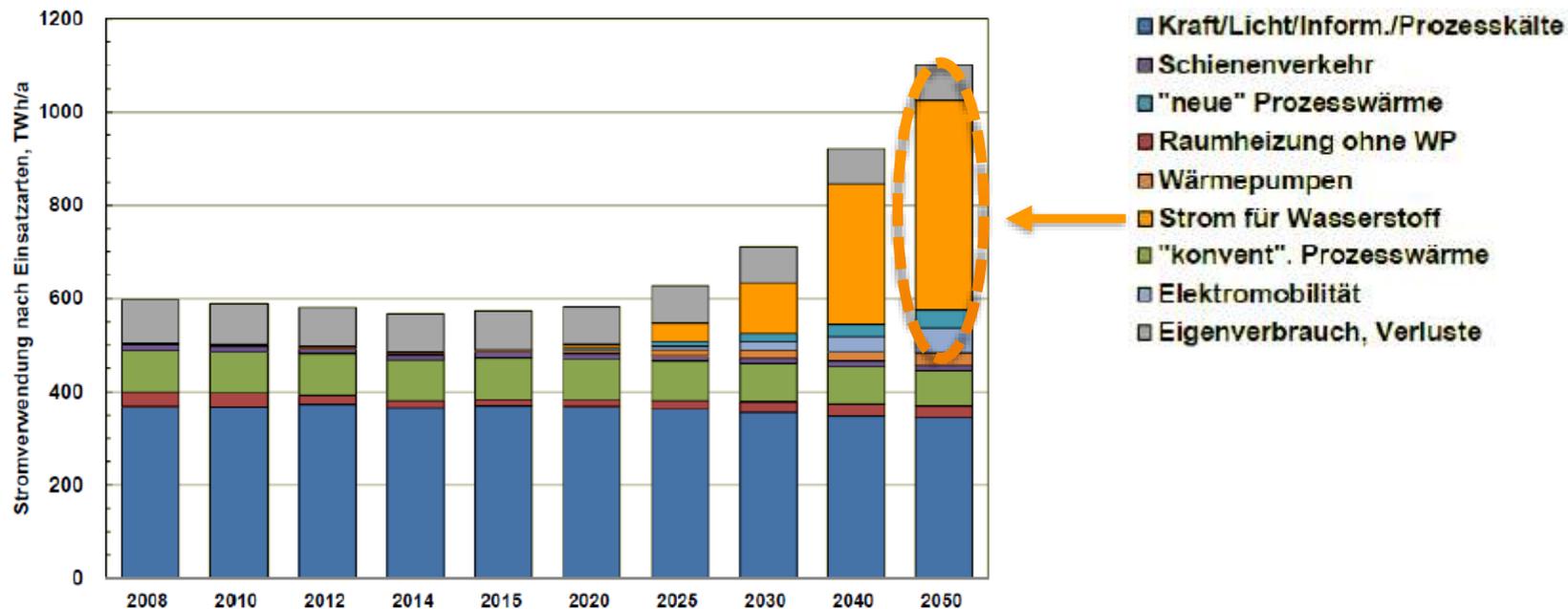
**Biogenes Methan** = Methan, welches im Biogas aufgrund der Fermentation enthalten ist (inkl. Biomethan der Biogasaufbereitung BGAA)



# Stromseitige Analyse

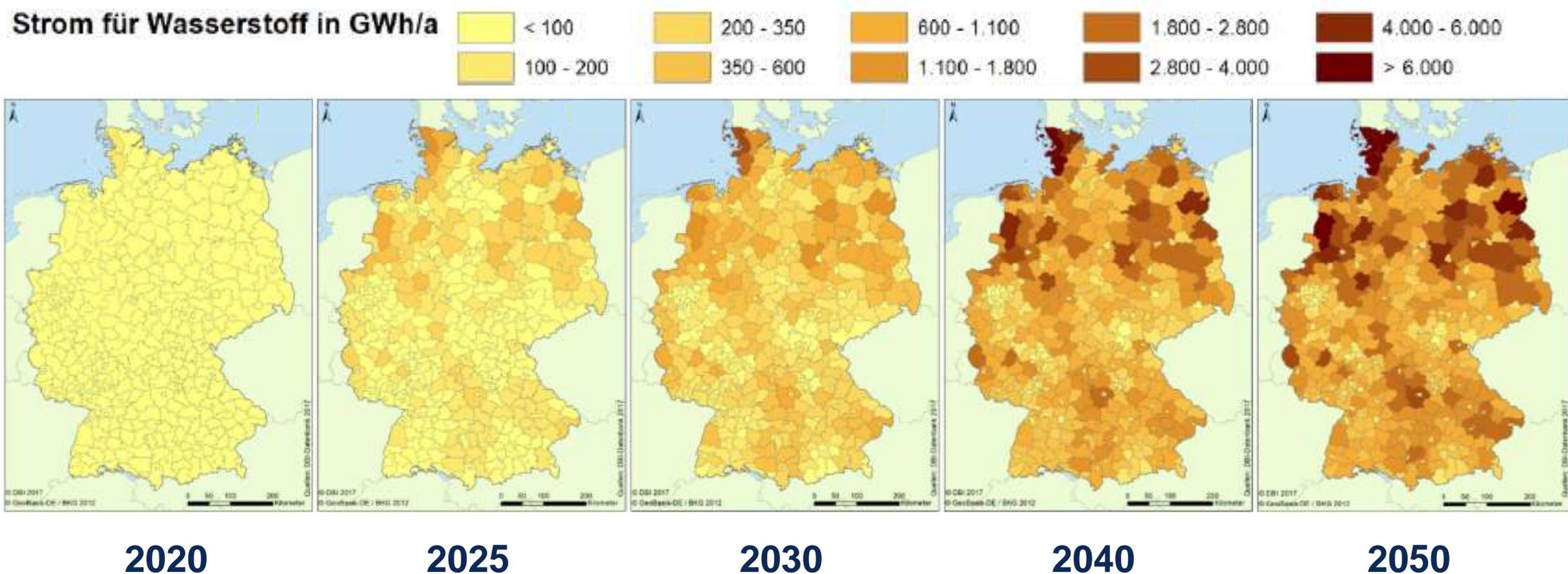
## Strommengen aus erneuerbaren Energien für die Wasserstoffherzeugung steigen

- dieser EE-Strom kann in grünes Methan überführt werden
- Regionalisierung erfolgt durch die räumliche Verteilung der aktuellen Wind- und Photovoltaikanlagen (installierte Leistung)



# Quantifizierung und Regionalisierung von nutzbaren EE-Strommengen für die Wasserstoffherzeugung

## Eingangsdaten: Strommengen aus erneuerbaren Energien für die Wasserstoffherzeugung



# Technische Möglichkeiten zu Erzeugung von Biomethan mittels Methanisierung

Neben Art der Methanisierung Unterscheidung von:

- 2 Betriebsmodi (komplette/ teilweise CO<sub>2</sub>-Nutzung)
- 3 Variationen der C-Quelle & mit/ ohne Sammelleitung

C-Quelle	Kopplung	Art der Methanisierung	Betriebsmodi			
			Komplette Nutzung von C-Quelle	Partielle Nutzung von C-Quelle		
Rohbiogas	Einzelanlage und Rohbiogassammelleitung	Biologische Methanisierung	<i>In Situ</i> Nur Biomethan Erzeugung	<i>In Situ</i> Erzeugung von Biomethan oder Strom		
			<i>Ex Situ</i> Nur Biomethan Erzeugung	<i>Ex Situ</i> Erzeugung von Biomethan oder Strom		
		Katalytische Methanisierung	<i>In Situ</i> Nur Biomethan Erzeugung	<i>In Situ</i> Erzeugung von Biomethan oder Strom		
			<i>Ex Situ</i> Nur Biomethan Erzeugung	<i>Ex Situ</i> Erzeugung von Biomethan oder Strom		
		CO <sub>2</sub> aus Biogasaufbereitung	Einzelanlage und Rohbiogassammelleitung	Biologische Methanisierung	<i>Ex Situ</i> Nur Biomethan Erzeugung	<i>Ex Situ</i> Nur Biomethan Erzeugung
				Katalytische Methanisierung	Nur Biomethan Erzeugung	Nur Biomethan Erzeugung
Rohbiogas	Einzelanlage	Biologische Methanisierung	Dualer Betrieb mit kompletter Nutzung von C-Quelle <i>Ex Situ</i> Erzeugung von Strom oder Biomethan			
		Katalytische Methanisierung				

dualer Betrieb = Anlage erzeugt in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen entweder Strom oder EE-Methan

# Fazit: Technologische Darstellung / Schaffung Datenbasis

- Fermentativ erzeugte Biogase bestehen in etwa zu gleichen Teilen aus erneuerbarem Methan (biogenes Methan) und „grünem“ Kohlenstoffdioxid.
- Das regenerative Kohlenstoffdioxid bleibt ungenutzt, lässt sich aber auf chemischem und biologischem Wege zu Methan wandeln (mittels  $H_2$ ).
- Eine biologische oder chemische ex-situ Methanisierung (separate Anlage) ist nachweislich durchführbar und optimal an die Reaktionsparameter anpassbar. Die Anlagentechnik ist vorhanden, jedoch fehlt der kommerzielle Durchbruch.
- Die Methanisierung bei der Biogaserzeugung (in-situ) befindet sich aktuell noch in der Entwicklung. Es gibt noch wenige Erfahrungswerte (Labormaßstab)
- ca. 70 % der Biogaserzeugungsanlagen/ Biogas-BHKW im Bestand haben eine installierte Nennleistung  $\geq 250 \text{ kW}_{el}$ 
  - ➔ Mindest-Anlagengröße für eine potenzielle Methanisierungsanlagen
  - ➔ Methanisierung bietet mögliches Geschäftsmodell für den Großteil der bestehenden Anlagen

# Ermittlung des Methanisierungspotentials für bestehende Biogasanlagen

## Vorstellung des methodischen Vorgehens

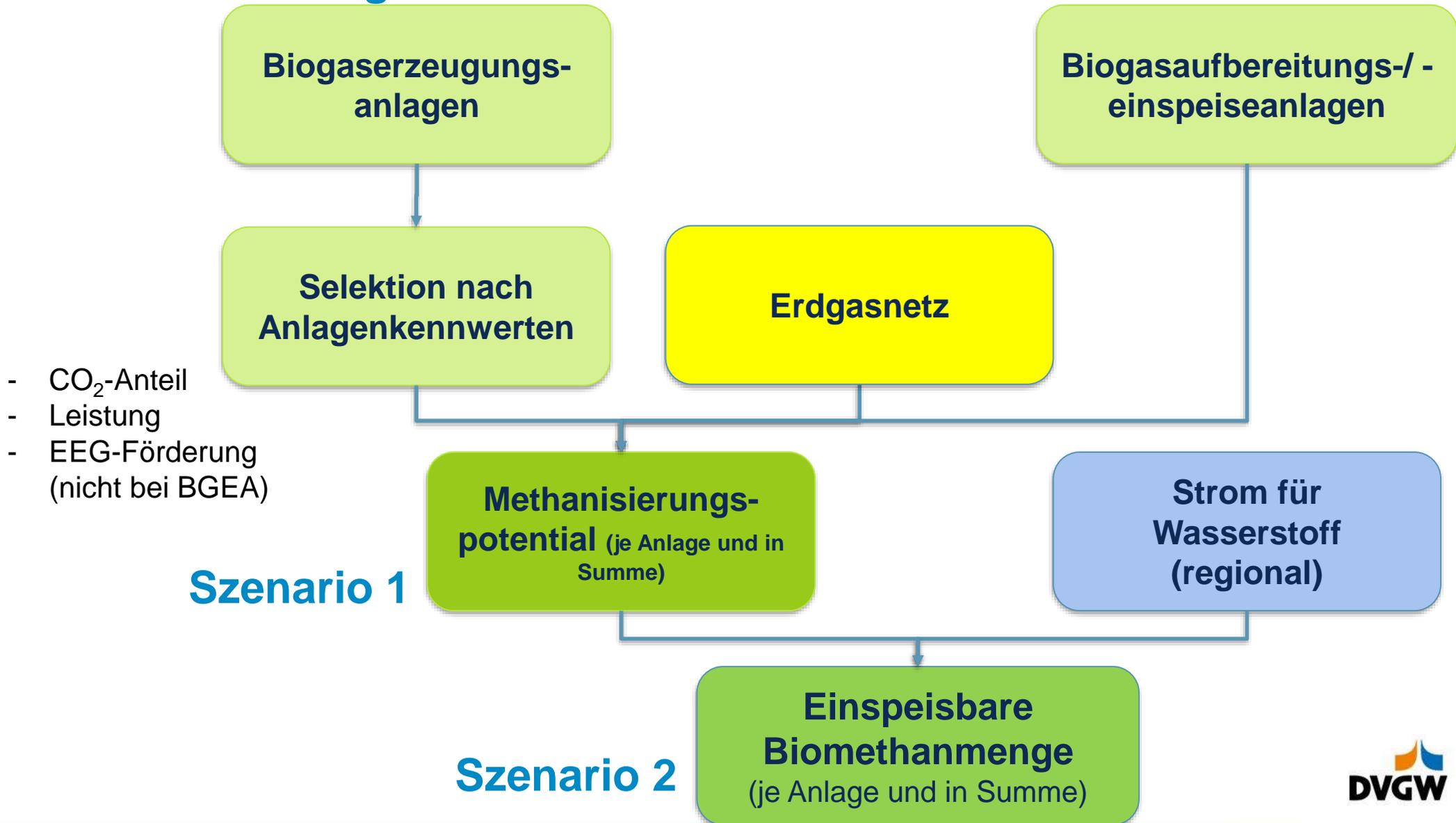
- Charakterisierung der Bestandsanlagen
  - Anlagengröße
  - Substrateinsatz → CO<sub>2</sub>-Anteil im Biogas
  - Inbetriebnahme / EEG-Laufzeit
- potentielle Anlagen für eine Anwendung der biologischen Methanisierung weisen für die Studie folgende Kriterien auf:
  - el. Nennleistung ≥ 250 kW
  - CO<sub>2</sub>-Anteil möglichst > 40 %
  - regional verfügbare EE-Strommengen zur Wasserstoffbereitstellung
  - Restförderdauer EEG < 5 Jahre
- Abschätzung des Biomethanpotentials (Ziel: Methan ~ 100 %)
- Analyse der Einspeisemöglichkeiten in Abhängigkeit vom Erdgasnetz

➔ **Ergebnis: Biomethanisierungsatlas**



# Ermittlung des Methanisierungspotentials für bestehende Biogasanlagen

## Methodisches Vorgehen



## Szenario 1:

### Größtmögliche Nutzung des grünen CO<sub>2</sub> im Biogas

- Annahme: überall liegen ausreichende erneuerbare Strommengen für die Elektrolyse vor
- keine stromseitige Betrachtung

## Szenario 2:

### Berücksichtigung vorhandener Wasserstoffmengen aus EE-Strom

- regionalisierte Strommengen zur Bereitstellung von Wasserstoff
- regionale Betrachtung auf Landkreisebene

# Ergebnisse Methanisierungspotential

## Biomethanisierungspotential in Mrd. m<sup>3</sup> i.N./a

➔ Gesamtpotential in Deutschland ca. **16 Mrd. m<sup>3</sup> i.N./a**

Szenario		Anlage	2020	2025	2030	2040	2050
Szenario 1: Größtmögliche Nutzung des „grünen“ CO <sub>2</sub> im Biogas	Methanisierung / E – CH <sub>4</sub>	BGA*	0,06	0,64	3,81	6,37	6,37
		BGAA**			0,87		
	Biogenes Methan	BGA*	0,07	0,81	4,85	8,17	8,17
	Biomethan	BGAA**			1,07		
	<b>Summe</b>			<b>2,07</b>	<b>3,38</b>	<b>10,60</b>	<b>16,49</b>
Szenario 2: Berücksichtigung vorhandener Wasserstoffmengen aus EE-Strom	Methanisierung / E – CH <sub>4</sub>	BGA*	0,02	0,40	2,76	5,94	6,25
		BGAA**	0,15	0,63	0,81	0,87	0,87
	Biogenes Methan	BGA*	0,07	0,81	4,85	8,17	8,17
	Biomethan	BGAA**			1,07		
	<b>Summe</b>			<b>1,31</b>	<b>2,90</b>	<b>9,49</b>	<b>16,05</b>

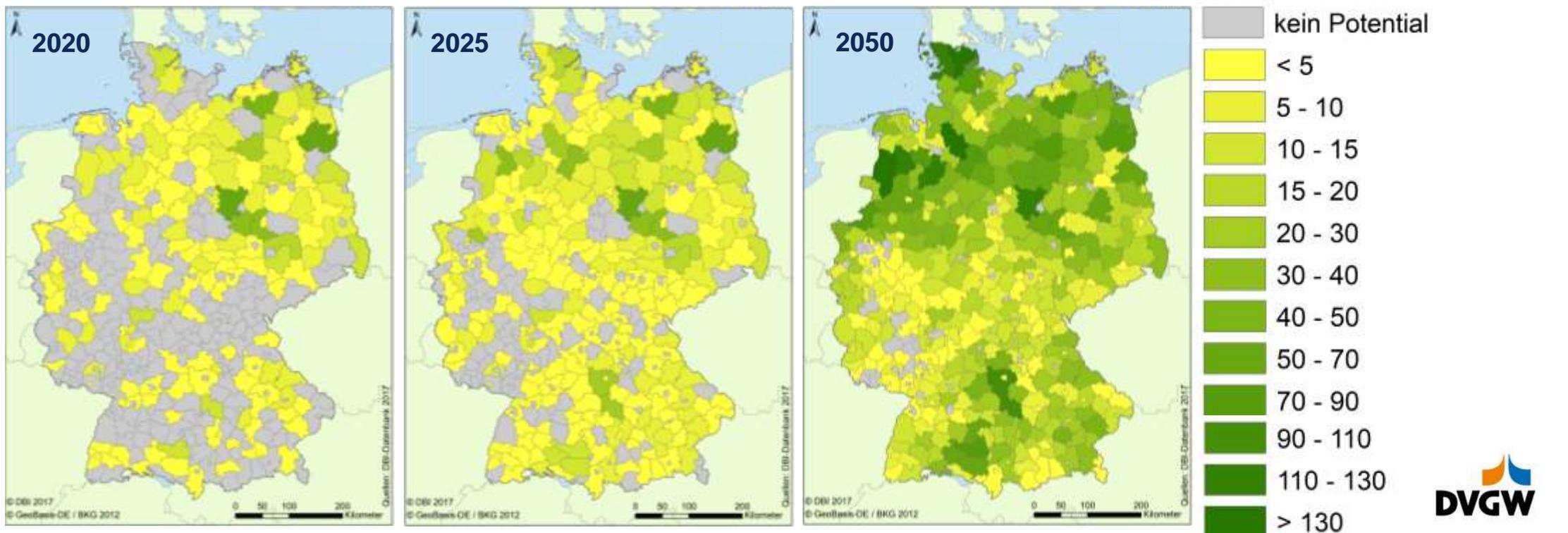
\* BGA = Biogaserzeugungsanlage, Berücksichtigung des Anlagenbestandes (Leistung, EEG-Restlaufzeit)

\*\* BGAA = Biogasaufbereitungsanlage; Berücksichtigung von Anlagenbestand und Planung/ Bau

# Ergebnisse Methanisierungspotential

## Ergebnis – Szenario 1: Größtmögliche Nutzung des „grünen“ CO<sub>2</sub> im Biogas

- zeitnahes Biomethanisierungspotential im Nordosten
- CO<sub>2</sub> aus Biogasaufbereitungsanlagen dominiert kurzfristiges Potential
- Biomethanisierungspotential 2050: 7,2 Mrd. m<sup>3</sup> i.N./a Biomethan (BGA+BGAA)

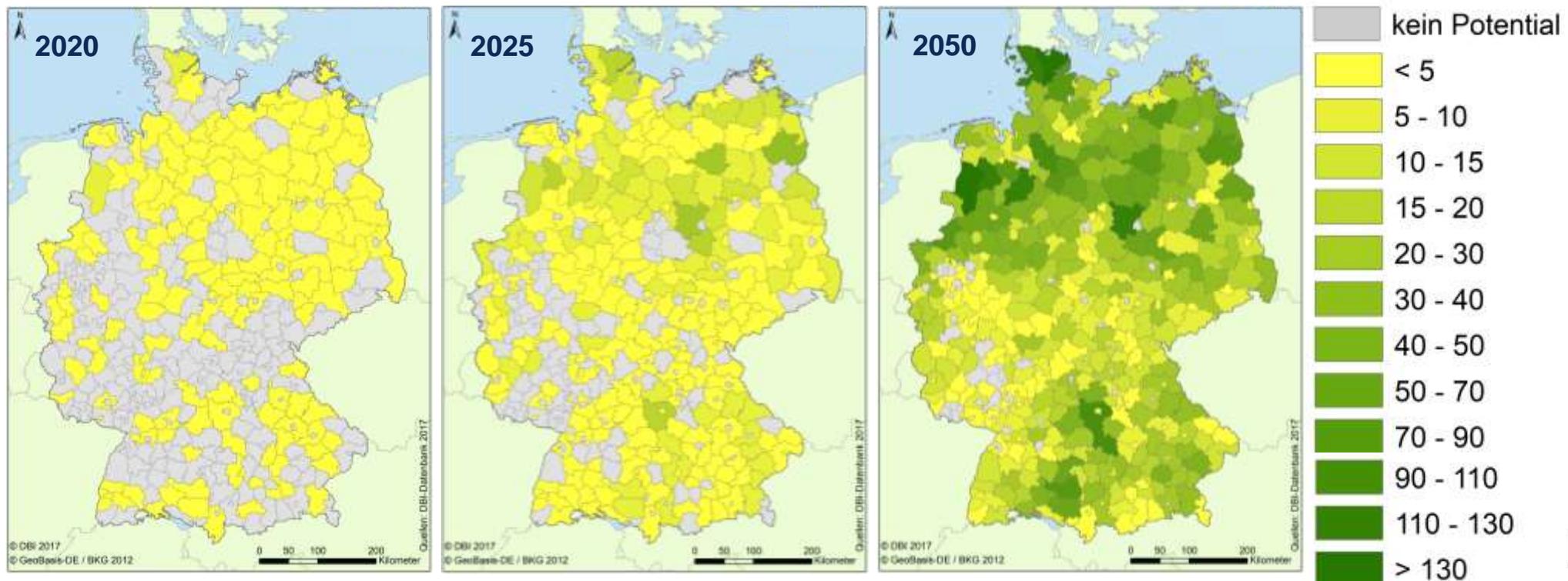


# Ergebnisse Methanisierungspotential

## Ergebnis – Szenario 2: Berücksichtigung vorhandener Wasserstoffmengen aus EE-Strom

- Methanisierungspotential vor allem in Süd- u. Norddeutschland
- ab 2040 stellt Wasserstoff kaum limitierenden Faktor dar
- Biomethanisierungspotential 2050: 7,1 Mrd. m<sup>3</sup> i.N./a Biomethan (BGA+BGAA)

Methanisierungspotential  
in Mio. m<sup>3</sup> i.N./a



# Ermittlung des Methanisierungspotentials für bestehende Biogasanlagen

## Fazit:

- Das Biomethanisierungspotential (bestehend aus Biomethan, biogenem Methan & Methanisierung) beträgt für beide Szenarien bis zum Jahr 2050 über 16 Mrd. m<sup>3</sup> i.N./a.
  - ➔ Voraussetzung zur Hebung sind ausreichende Mengen an H<sub>2</sub> aus der Wasserelektrolyse mit erneuerbarem Strom
- Die Methanisierung kann somit fast eine Verdoppelung der Mengen an biogenem Methan bewirken (ohne dass zusätzliche Substrate notwendig sind)!
- Starker Anstieg der Potenzialmengen ab dem Jahr 2030, da dann für viele Biogasanlagen die EEG-Vergütung endet und neue Wertschöpfungspfade möglich sind
- Schwerpunktregionen sind Norddeutschland und der mittlere Süden Deutschlands

# Ermittlung des Potentials zur Errichtung von Sammelleitungen mit zentraler Erdgaseinspeisung

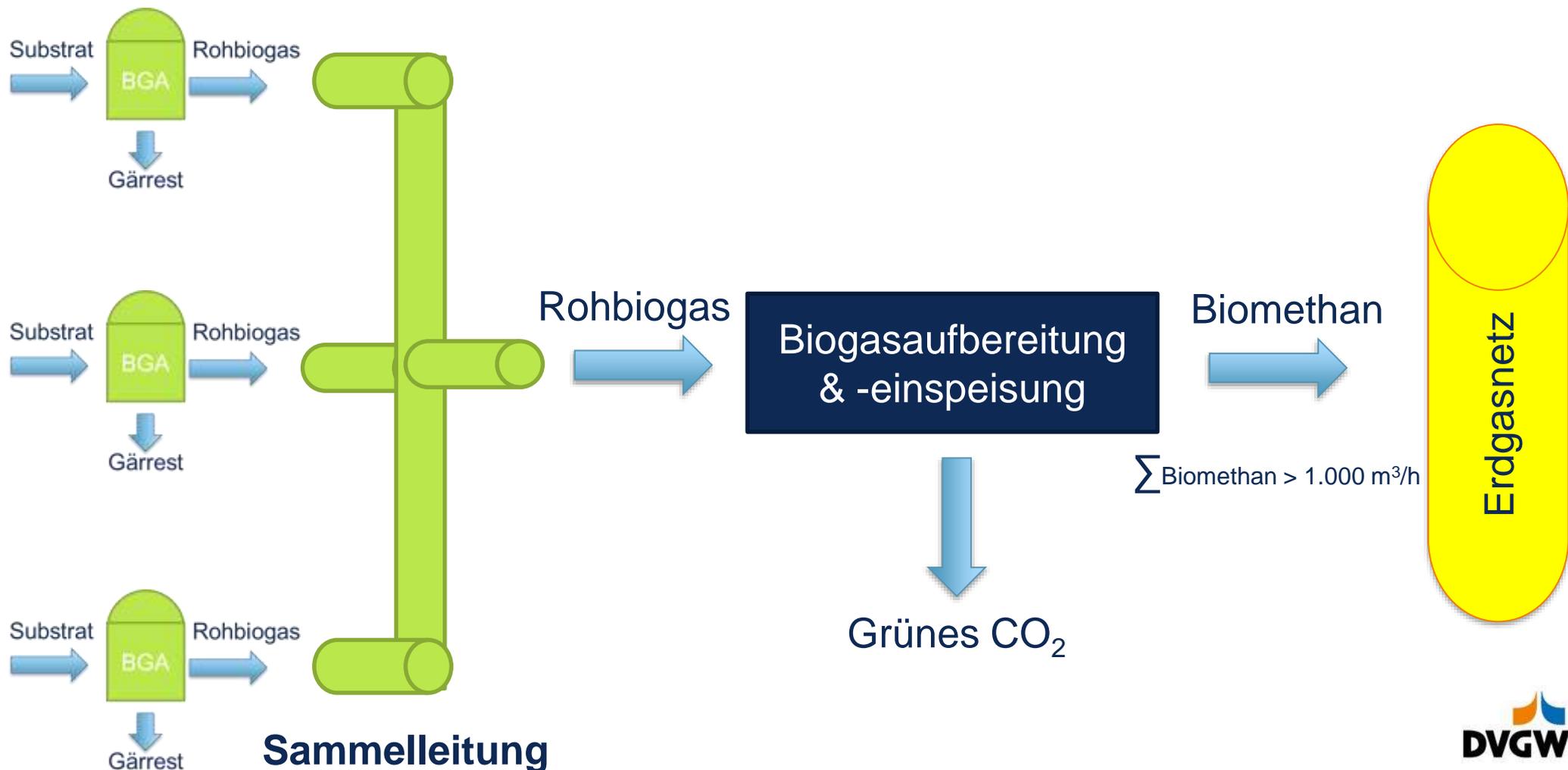
## Methodisches Vorgehen

- Räumliche Analyse von Bestandsanlagen
    - Zusammenschluss aller Anlagen in einem Umkreis von 5 km\*
    - Aufsummierung der Biogaserzeugungsmengen
    - Biomethanproduktion in Summe mind. 1.000 m<sup>3</sup> i.N./h (Biogasproduktion > 550 m<sup>3</sup> i.N./h)
    - Erdgasleitung für Einspeisung in max. 10 km\* Entfernung
  - Modellierung Netzverlauf der Sammelleitung und Identifizierung Einspeisepunkt
  - Bestimmung des regionalen Biomethaneinspeisepotentials für Deutschland
- ➔ **Ergebnis: Abschätzung des regionalen Potentials an zusätzlichen einspeisbarem Biomethan**



# Begriffe Potential zur Errichtung von Sammelleitung

**Potential zur Errichtung von Sammelleitungen** = Bündelung von Rohbiogas für eine zentrale Aufbereitung und Einspeisung ins Erdgasnetz (ohne Methanisierung)



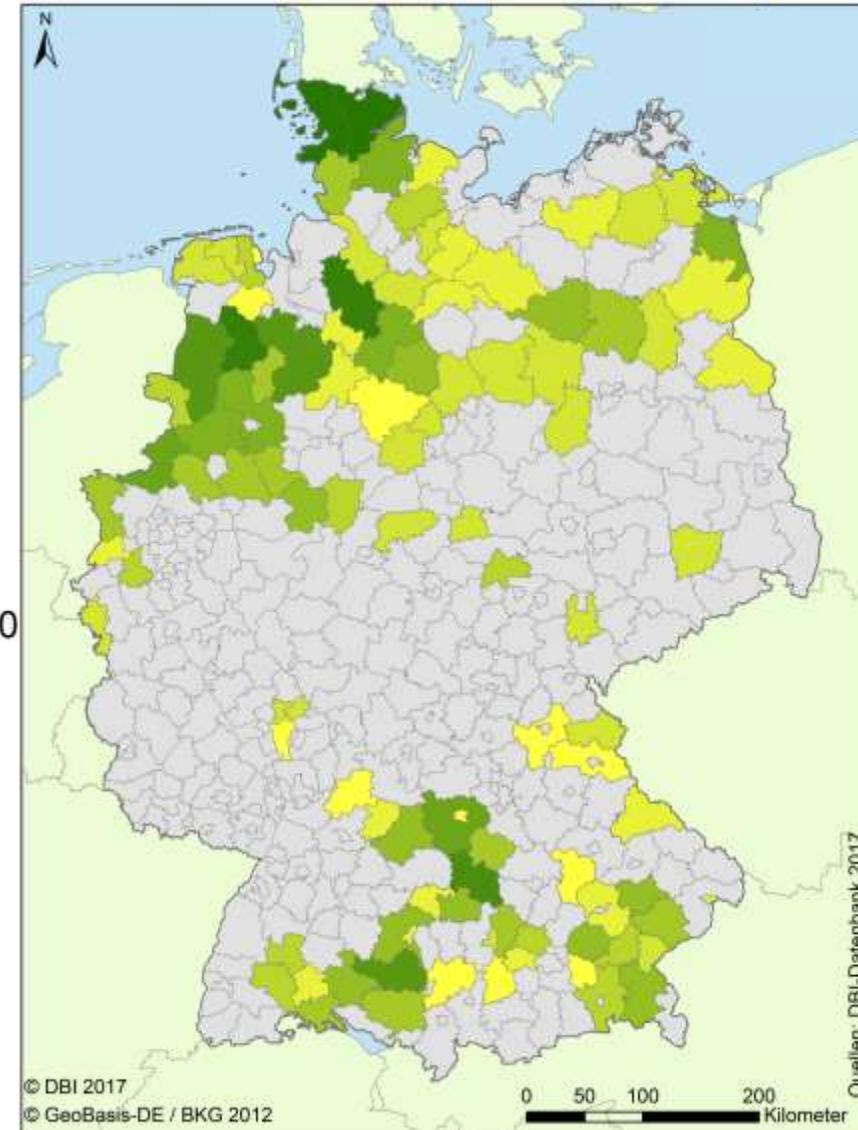
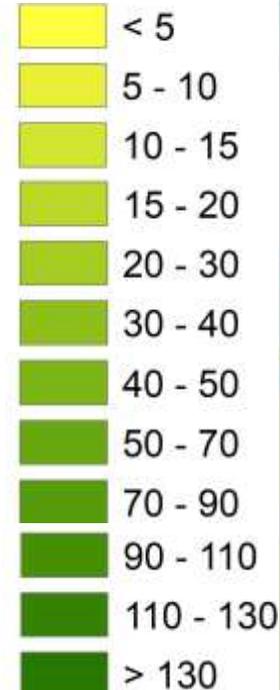
# Ergebnisse Potential zur Errichtung von Sammelleitung

## Ergebnis

- großes Potential in Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Bayern aufgrund der hohen Anlagendichte
- andere Regionen zeigen vereinzelt räumliche eng beieinander liegende Biogaserzeugungsanlagen
- **Potential zur Errichtung von Sammelleitungen:**
  - > 2.000 Biogasanlagen**
  - 2,6 Mrd. m<sup>3</sup> i.N./a Biomethan**
- Sammelleitungen erhöhen Gesamteinspeisepotential

## Potential zur Errichtung von Sammelleitungen in Mio. m<sup>3</sup> i.N./a

kein Potential



# Ermittlung des Potentials zur Errichtung von Sammelleitungen mit zentraler Erdgaseinspeisung

## Fazit:

- Der Biogasanlagenbestand (Erzeugung) wurde anhand folgender Kriterien hinsichtlich des Potentials für Sammelleitungen bewertet:
  - Abstand der Anlagen zueinander max. 5 km
  - Abstand zum Erdgasnetz: max. 10 km
- Das Potential zur Errichtung von Sammelleitungen beträgt ca. 2,6 Mrd. m<sup>3</sup> i.N./a Biomethan (> 2.000 Biogasanlagen)
- Schwerpunktregionen sind der Nordwesten und der mittlere Süden Deutschlands

# Gesamtpotential einspeisbare Biogasmengen

## Gesamtpotential in Mrd. m<sup>3</sup> i.N./a Biomethan

Sammelleitung  
ohne  
Methanisierung

(Bündelung mehrerer  
BGA und  
Netzeinspeisung ohne  
Methanisierung)

**0,18**

Sammelleitung &  
Methanisierung

(Einspeisung des  
biogenen Methan  
mehrerer BGA plus deren  
E-CH<sub>4</sub>)

**4,26**

Methanisierung  
ohne  
Sammelleitung

(einzelne BGE erreicht  
durch Methanisierung  
notwendige  
Anlagengröße zur  
Einzeleinspeisung)

**10,29**

BGEA mit  
Methanisierung

(einzelne, „normale“  
BGEA speist neben  
Biomethan auch E-CH<sub>4</sub>  
ein)

**1,94**

**Gesamtpotential einspeisbare Biogasmenge  
16,67 Mrd. m<sup>3</sup> i.N./a Biomethan**

# Gesamtpotential einspeisbare Biogasmengen

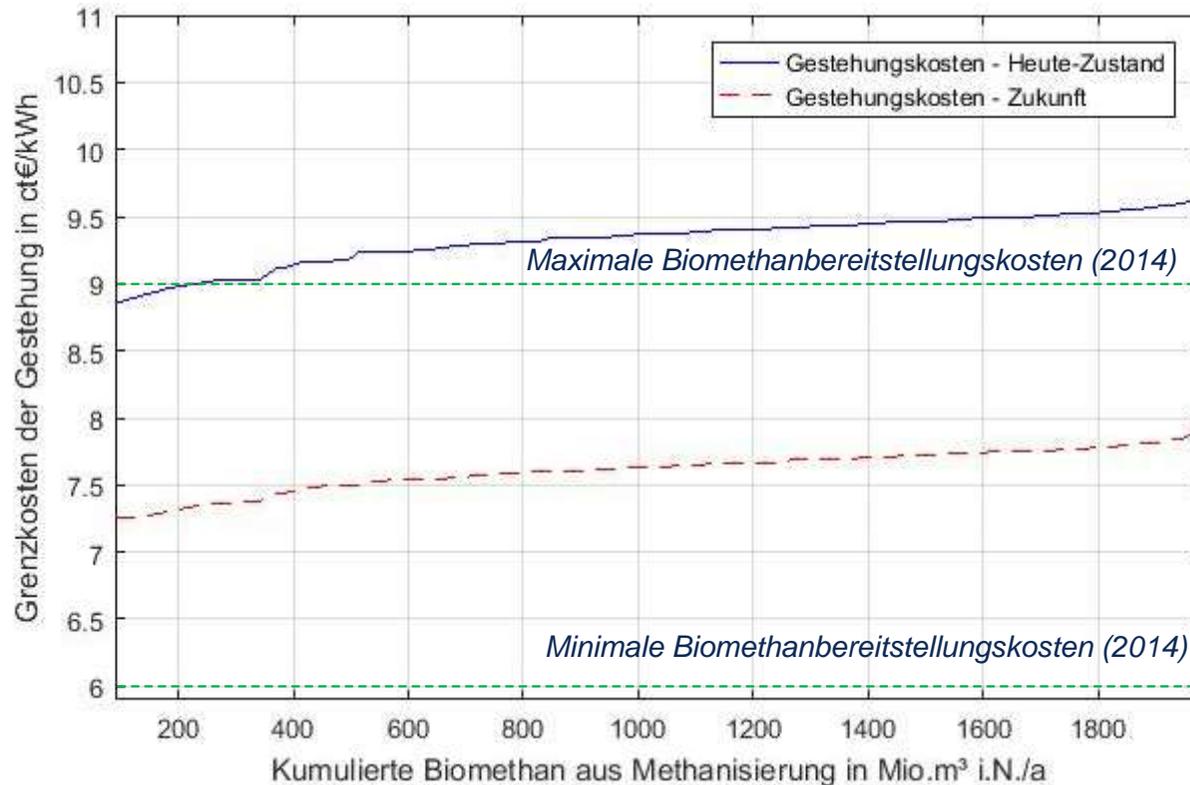
## Gesamtpotential 2050 – regionale Verteilung

- **16,67 Mrd. m<sup>3</sup> i.N./a Biomethan**
- **Schwerpunkte:**
  - Norddeutschland
  - Teile von Süddeutschland (Reg.-bezirk Tübingen, Nord-Schwaben, Teile Nieder-/ Oberbayerns)
- Potential zur Errichtung von Sammelleitungen erhöht das Biomethanisierungspotential nur gering



# Technologische Gesamtbewertung

## Grenzkostenkurve für 156 Sammelleitungen in Deutschland mit zukünftiger Perspektive



### KERNERGEBNISSE

**Technisches Potential Biomethan**  
in Mio. m<sup>3</sup> i.N./a

ca. 2.000

### Gestehungskosten von CH<sub>4</sub> 2020

Maximale GK in ct€/kWh

9,6

Minimale GK in ct€/kWh

8,9

Mittelwert der GK in ct€/kWh

9,4

### Gestehungskosten von CH<sub>4</sub> 2025

Maximale GK in ct€/kWh

7,9

Minimale GK in ct€/kWh

7,3

Mittelwert der GK in ct€/kWh

7,7

Zukünftig sinkende Gestehungskosten (geringerer CAPEX infolge größerer Stückzahlen) erreichen das heutige Preisniveau der Biogaseinspeisung\*.

\* Biomethanbereitstellungskosten: ca. 6-9 ct€/kWh (FNR: Leitfaden Biogasaufbereitung und –einspeisung, 2014)

## Schlussfolgerungen

- Die in-situ Methanisierung ist ein Prozess, der sich derzeit in Entwicklung befindet. Der größte Teil der Forschung wurde im Labor durchgeführt, deshalb gibt es wenige Erfahrungswerte. Hingegen ist es prinzipiell immer möglich, die ex-situ Methanisierung in kleinen und auch relativ großen Anlagen (Elektrolyseleistung:  $500 \text{ kW}_{\text{el}}$ - $10 \text{ MW}_{\text{el}}$ ) durchzuführen.
- Die Analysen zeigen, dass der Elektrolyseur einer Power-to-Gas-Anlage aus wirtschaftlichen Gründen nicht kontinuierlich betrieben werden sollte und dass für ein Stromprofil wie 2017 ein Elektrolyseur nicht mehr als ca. 7.800 VLS in Betrieb sein sollte. Eine ähnliche Tendenz zeigt der Betrieb der Methanisierungsanlage auf, deren Optimum bei ca. 8.000 VLS liegt.
- Eine komplette Methanisierung der  $\text{CO}_2$ -Menge aus Biogasanlagen mit Hilfe von  $\text{H}_2$ -Speicherung ist möglich. Die zusätzliche Investitionen in Infrastruktur (Speicher und Peripherien) bewegen sich zwischen  $450 \text{ €/kW}$  und  $850 \text{ €/kW}$  bezogen auf Elektrolyseurleistung für kleine und mittlere Elektrolyseure ( $600 \text{ kW} - 8 \text{ MW}$ ).

## Schlussfolgerungen (Fortsetzung)

- Die Bündelung mehrerer Biogasanlagen ermöglicht die Umwandlung einer großen CO<sub>2</sub>-Menge in Biomethan, von 9 bis zu 90 Mio. i.N./a pro Sammelleitung. Aus technischen Gründen eignet sich dafür nur die katalytische Methanisierung.
- Die Verteilung der Gesteungskosten zur Erzeugung von Biomethan mittels Zusammenschluss mehrerer Biogasanlagen bewegen sich nach dem heutigen Stand der Technik zwischen 8,9 und 9,6 ct€/kWh (optimierte Werte). Diese können in Zukunft durch einer massiven Einführung der Technologie wesentlich sinken, mit Gesteungskosten von ca. 7,3 bis zu 7,9 ct€/kWh.