

Bio-CO₂



Bereitstellung von CO₂ aus Biogasaufbereitungsanlagen für die stoffliche Nutzung

FNR/KTBL-Kongress Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven

Michael Beil | Fraunhofer IEE
Matthias Müller | Fraunhofer IBP
12. September 2023, Bonn

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Hinweis:

Es handelt sich bei den nachfolgend dargestellten Daten um Zwischenergebnisse des Vorhabens mit Stand 09/2023.

Die Ergebnisse können daher pot. noch nicht in jedem Fall als abschließend betrachtet werden.

Bio-CO₂

Agenda

1. Einführung in das Projekt
2. Potentiale und Marktbedarfe
3. Gasbeschaffenheiten und Gasreinigungsbedarfe
4. Technologiematrix und Leistungsparameter
5. Allokation
6. Fazit / Ausblick
7. Fragen / Diskussion

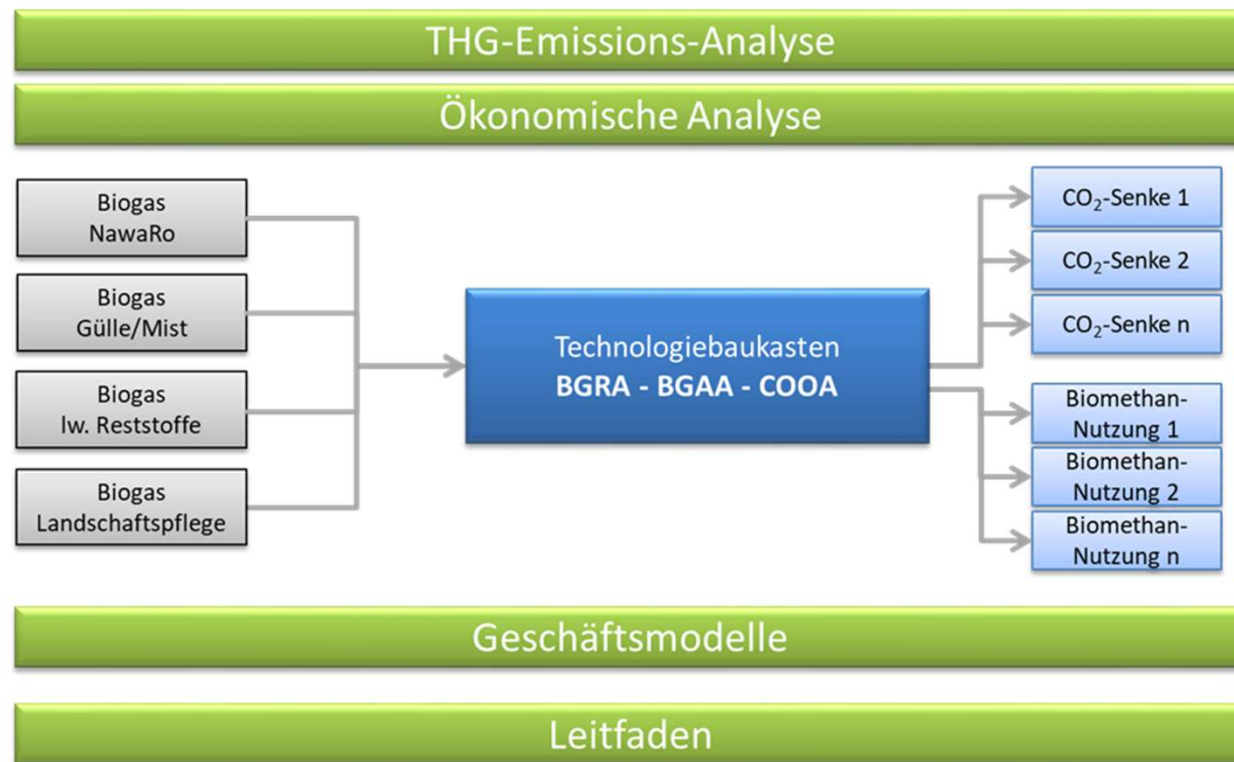
Projektziele

Das Ziel des Vorhabens besteht in der:

1. Ermittlung **ökonomisch optimierter Bereitstellungsketten** für CO₂ aus Biogas
2. **Ökologischen Bewertung der Bereitstellungsketten** für CO₂ aus Biogas
3. **Entwicklung von Geschäftsmodellen** zur kombinierten Erzeugung und Vermarktung von Biomethan und CO₂ zur stofflichen Nutzung aus Biogasaufbereitungsanlagen
4. **Erstellung eines Leitfadens** als Handreichung für Anlagenbetreiber und Projektentwickler

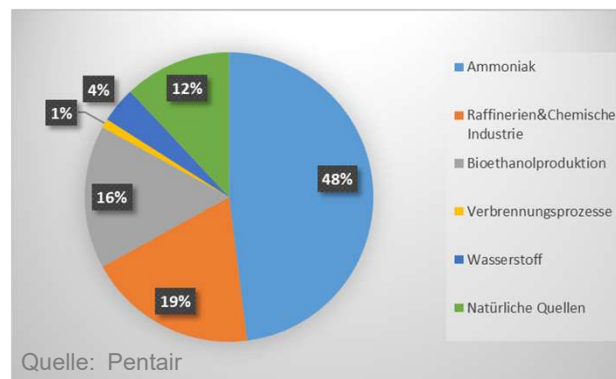
Bio-CO₂

Einführung in das Projekt



Einordnung des Vorhabens

1. Heute: CO₂ für Industrie und Gewerbe stammt heute primär aus Prozessen der Erzeugung von grauem H₂ (Bsp. Ammoniaksynthese) → große Volumenströme, hohe Konzentration = kostengünstig
2. Zukunft: Erzeugung von grauem H₂ wird perspektivisch signifikant sinken
3. CO₂ aus BG prädestiniert. Unter aktuellen Anreizbedingungen erhöht sich der Wert des Biomethans durch Nutzung des CO₂.
4. Global wie in DE: Kostengünstiges nicht fossiles CO₂ wird zum Minimumfaktor bei PtX-Projekten mit C-haltigen Produkten (Bsp. Me-OH).
5. Global Komparator bei PtX: DAC!
6. Marktbedarf DE heute: ca. 1 Mio t/a + x
7. Marktbedarf DE Zukunft: 1 Mio t/a * y

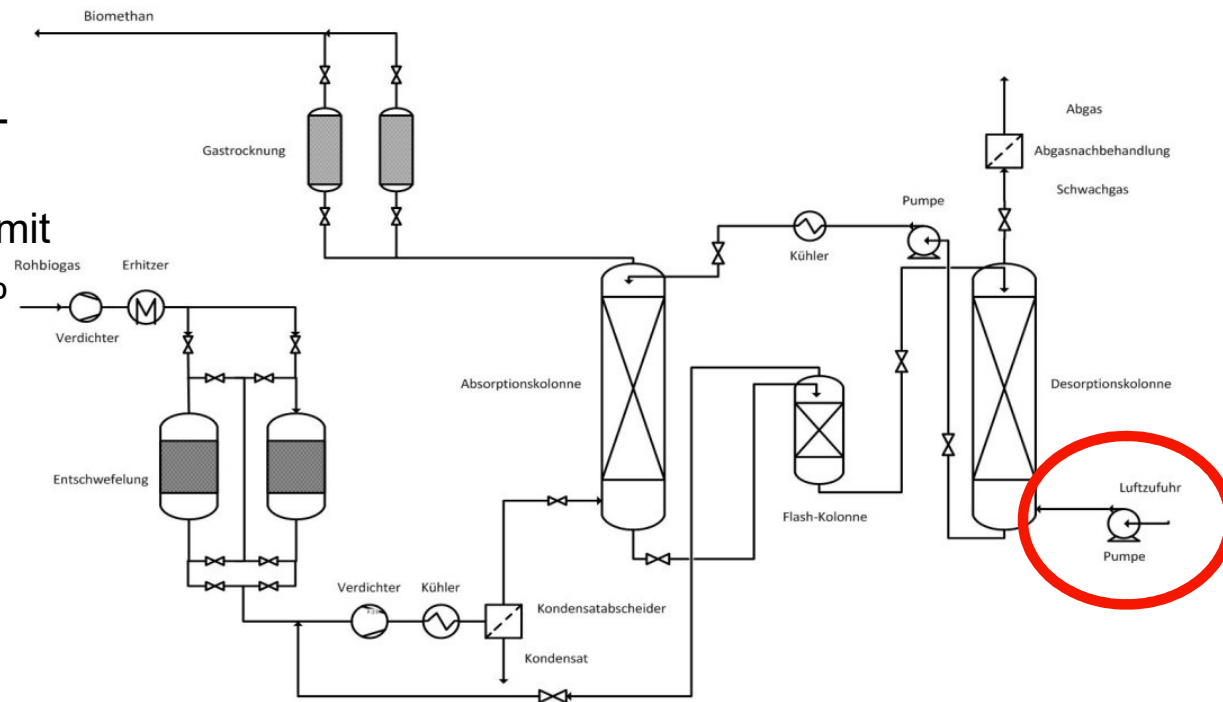


Verbrennungsprozesse:	[Vol-%]
Kohle	12-15
Erdgas	3-10
Öl	3-8
Biogas VOV	8-15
Nebenprodukt (industrielle) Prozesse:	
Ammoniak	bis 100
Zement	20
Eisen&Stahl	15
Bioethanol	bis 100
Biogas BGAA (physik. Wäschen)	ca. 30
Biogas BGAA (chem. Wäschen, PSA, Membran)	ca. 90-100
sonstige:	
Luft	0,04

Quelle: Fraunhofer IEE nach Energy Institute of the Johannes Kepler University, AXIOM angewandte Prozesstechnik GmbH (2018)

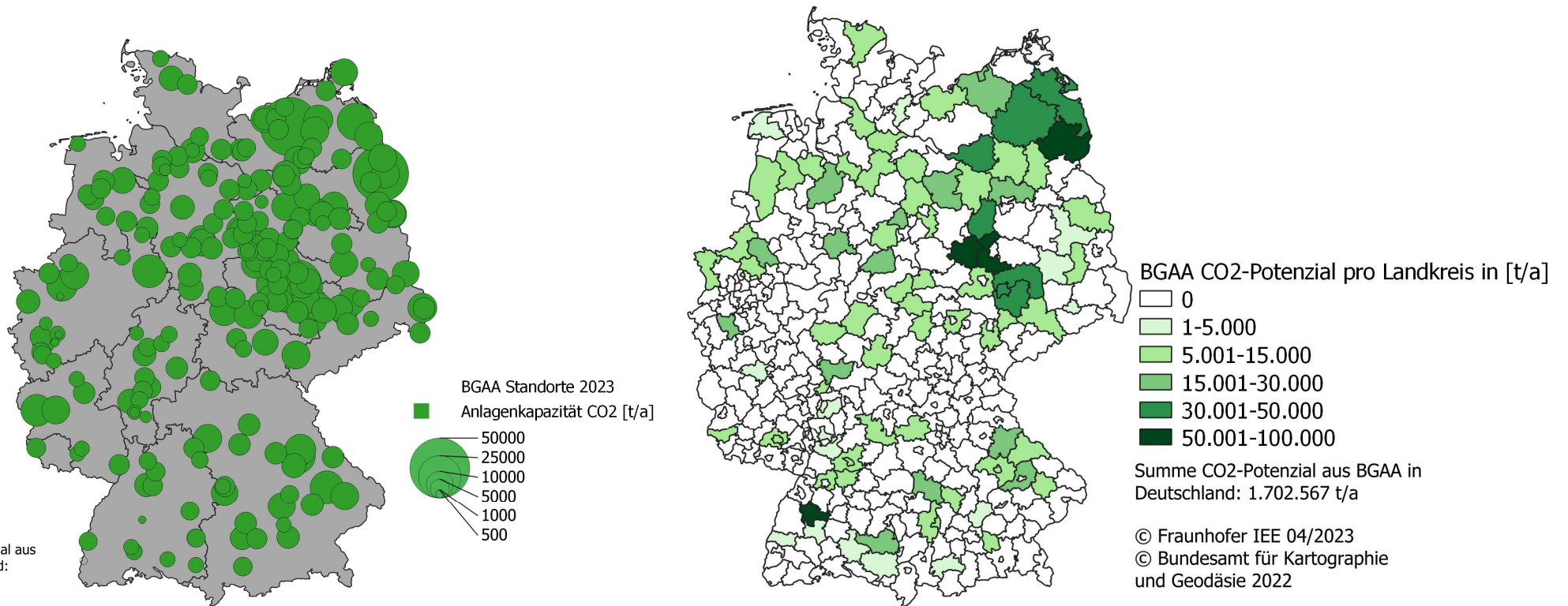
BGAA-CO₂-Produktionskapazitäten (technisches Potential)

- Bsp. Strippluftzufuhr phys. Wäschen:
- Führt zur Verdünnung des CO₂-reichen Schwachgasstroms
- Bisheriger Ansatz: Verfahren ungeeignet für CO₂-Nutzung
- Neuer Ansatz: Abzug CO₂ nach Flash-Kolonnen mit Ausbeuten von ca. 60 %, perspektivisch bis 80 %



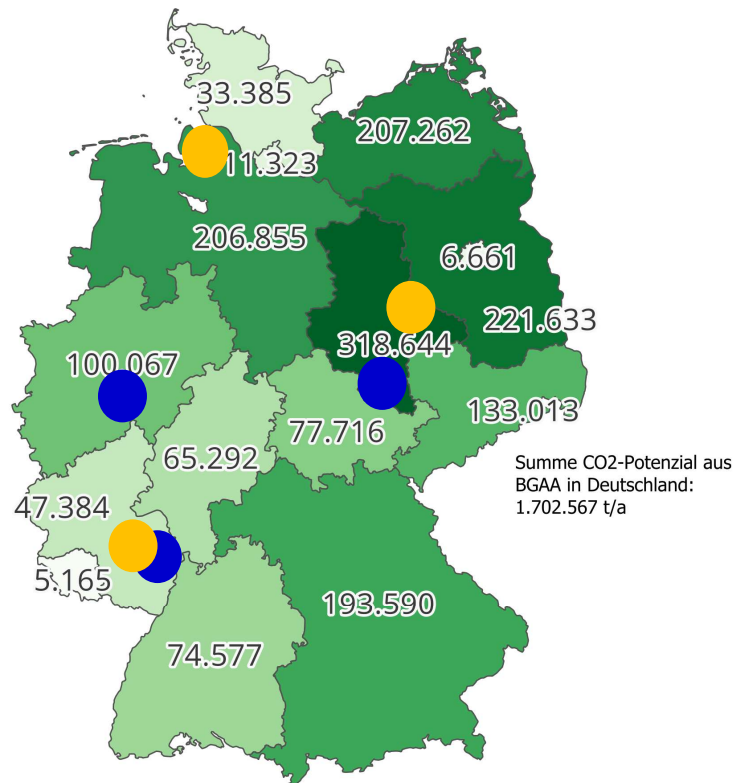
BGAA-CO₂-Produktionskapazitäten (technisches Potential)

Aktuelles Potential aus Bestands-BGAA: ca. 1,7 Mio. t/a



n=237
Summe CO₂-Potential aus BGAA in Deutschland: 1.702.567 t/a

CO2-Marktbedarfe



- **Aktuelles Potential aus Bestands-BGAA: ca. 1,7 Mio. t/a**
- **Marktgröße/-bedarf CO2 in DE heute:**
 - ca. 1 Mio. t/a + x
 - Gewächshausdüngung?
- **Zukunft (basierend auf heutigen Marktbedarfen):**
 - **Harnstoffsynthese:** ca. 1 Mio. t/a
 - **Methanolsynthese:** ca. 2,5 Mio. t/a
 - **Summe:** 3,5 Mio. t/a

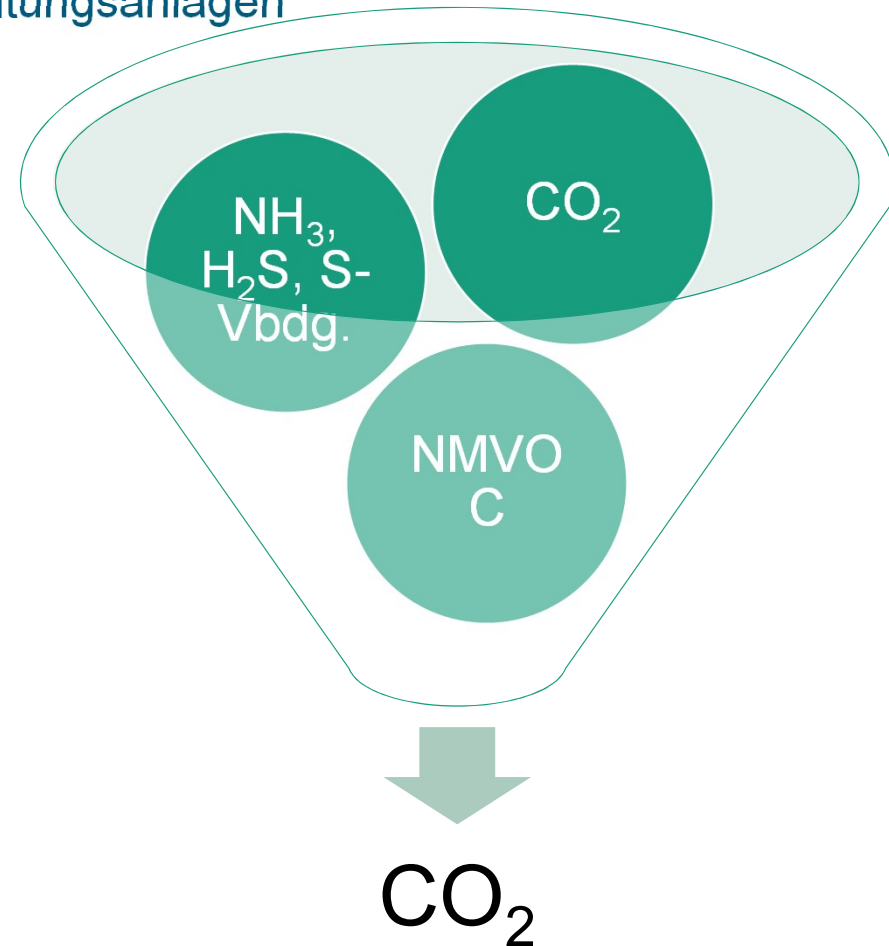
Perspektivisch: 4,5 Mio. t/a
- **Zukunft (zusätzliche Marktbedarfe):**
 - Grünes Methanol?
 - Weitere PtX-Produkte?

Reinstoff CO₂ versus Biogas

..., bzw. Schwachgasströme von Biogasaufbereitungsanlagen

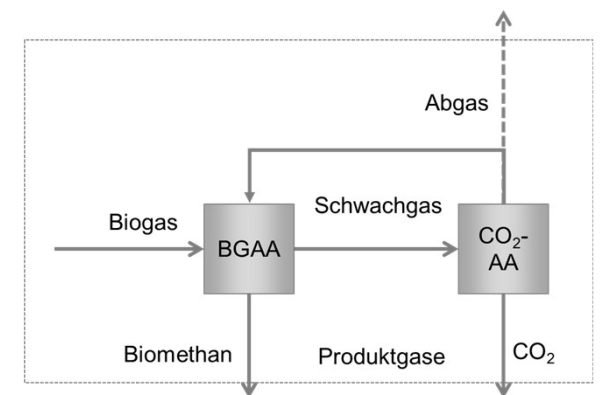
Was kennzeichnet CO₂:

1. Inert
2. Geruchlos
3. Geschmacklos
4. Farblos



Gasbeschaffenheiten

- Auswertung ca. 60 Datensätze mit SP Spurengasanalyseergebnisse für Biogase
- Betrachtung > 200 Einzelstoffe
- Clusterung dieser Einzelsubstanzen in Stoffgruppen (Summenparameter)
- Definition von 13 Biogasarten (basierend auf der Nomenklatur in den Quellen)
- Ziel: Überblick über Spurengasbandbreiten von verschiedenen Biogasen basierend auf verifizierbaren Datensätzen

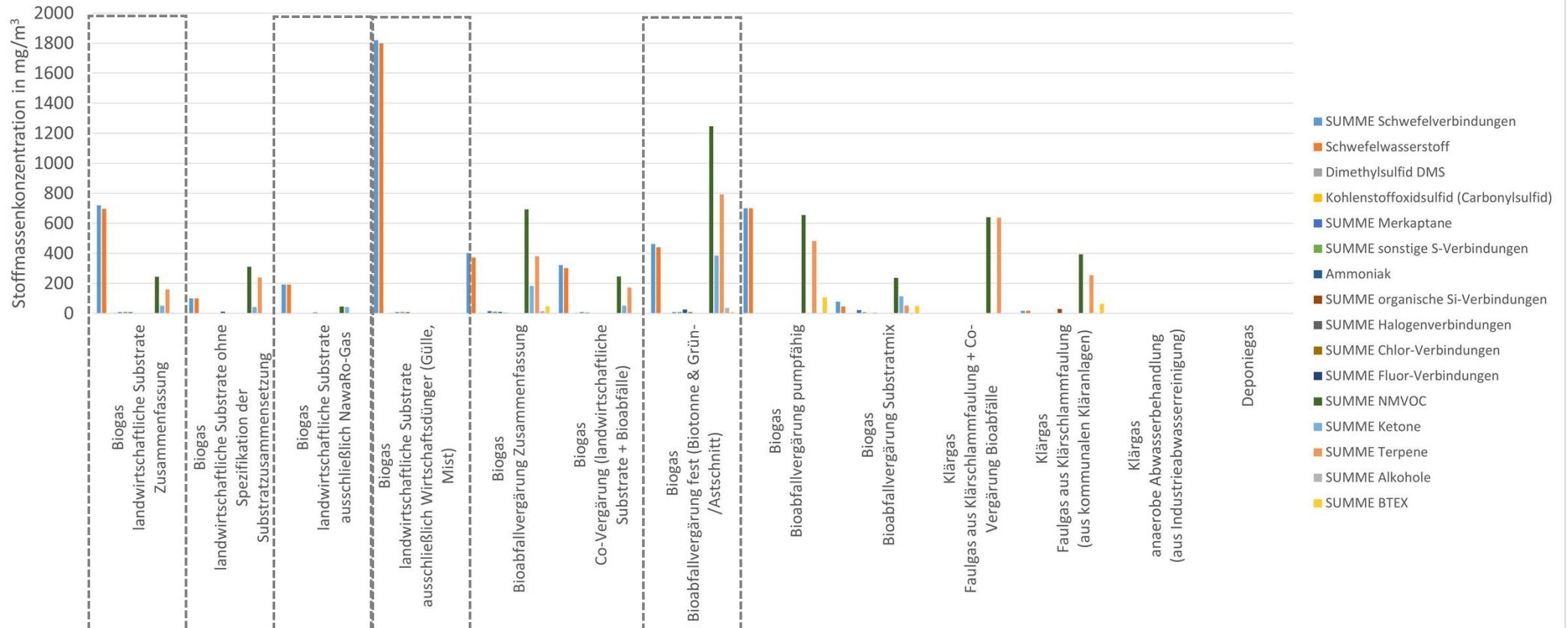


Arbeitspaket 2.1: Gasbeschaffenheiten

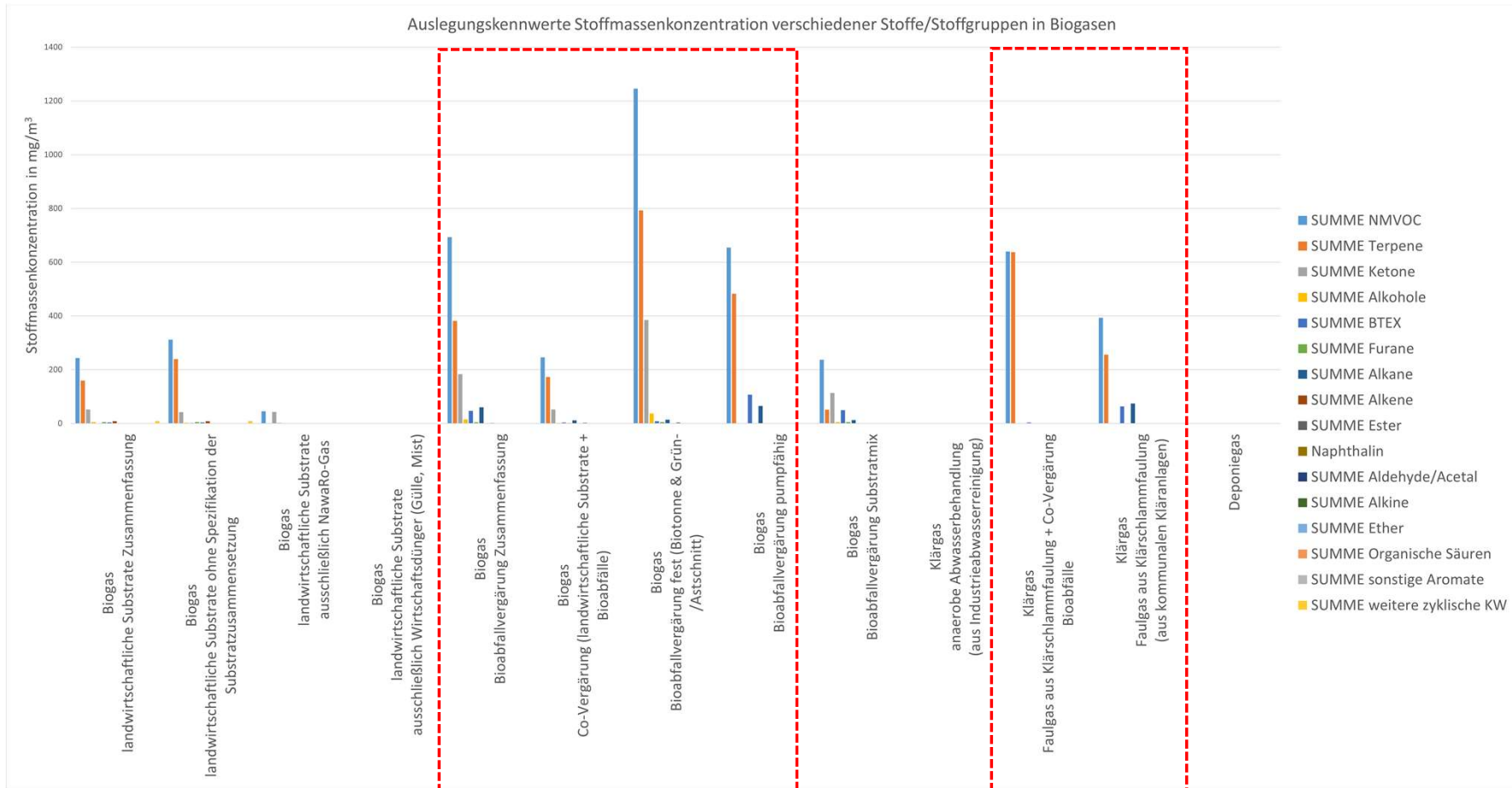
Biogas landwirtschaftliche Substrate ausschließlich NavaRo-Gas					Biogas landwirtschaftliche Substrate ausschließlich Wirtschaftsdünger (Gülle, Mist)					Biogas Co-Vergärung (landwirtschaftliche Substrate + Bioabfälle)				
Stoff-gruppe	Einheit	Auslegungs- kennwert	Bandbreite		Stoff-gruppe	Einheit	Auslegungs- kennwert	Bandbreite		Stoff-gruppe	Einheit	Auslegungs- kennwert	Bandbreite	
			Minimum	Maximum				Minimum	Maximum				Minimum	Maximum
Makrokomponenten					Makrokomponenten					Makrokomponenten				
Methan	Vol.-%	53	45	63	Methan	Vol.-%	58	49	69	Methan	Vol.-%	56	48	68
Kohlenstoffdioxid	Vol.-%	45	39	56	Kohlenstoffdioxid	Vol.-%	36	29	43	Kohlenstoffdioxid	Vol.-%	43	32	48
Luftstickstoff	Vol.-%	2	0	3	Luftstickstoff	Vol.-%	3	0,6	13	Luftstickstoff	Vol.-%	3	0	7
Sauerstoff	Vol.-%	0,6	0	9	Sauerstoff	Vol.-%	1	0,2	3	Sauerstoff	Vol.-%	0,7	0	2
Wasserstoff	Vol.-%	0,008	0,002	0,2	Wasserstoff	Vol.-%				Wasserstoff	Vol.-%	0	0	0,06
Schwefelverbindungen					Schwefelverbindungen					Schwefelverbindungen				
SUMME Schwefelverbindungen	mg/m ³	193	0	2.281	SUMME Schwefelverbindungen	mg/m ³	1.821	5	15.263	SUMME Schwefelverbindungen	mg/m ³	322	9	15.255
Schwefelwasserstoff	mg/m ³	193	0	2.281	Schwefelwasserstoff	mg/m ³	1.797	0	15.205	Schwefelwasserstoff	mg/m ³	302	6	15.205
Dimethylsulfid DMS	mg/m ³				Dimethylsulfid DMS	mg/m ³	0,8	0,2	0,9	Dimethylsulfid DMS	mg/m ³	2	0,5	5
Kohlenstoffoxidsulfid (Carbonylsulfid)	mg/m ³				Kohlenstoffoxidsulfid (Carbonylsulfid)	mg/m ³	4	0,9	11	Kohlenstoffoxidsulfid (Carbonylsulfid)	mg/m ³	4	0,7	8
Meraptane (Thiole)					Meraptane (Thiole)					Meraptane (Thiole)				
SUMME Meraptane	mg/m ³				SUMME Meraptane	mg/m ³	8	1	21	SUMME Meraptane	mg/m ³	8	1	20
Sonstige S-Verbindungen					Sonstige S-Verbindungen					Sonstige S-Verbindungen				
SUMME sonstige S-Verbindungen	mg/m ³				SUMME sonstige S-Verbindungen	mg/m ³	10	2	25	SUMME sonstige S-Verbindungen	mg/m ³	7	0,3	17
Stickstoffverbindungen					Stickstoffverbindungen					Stickstoffverbindungen				
Ammoniak	mg/m ³	6	0	52	Ammoniak	mg/m ³	8	0	66	Ammoniak	mg/m ³	0	0	10
Organische Siliziumverbindungen					Organische Siliziumverbindungen					Organische Siliziumverbindungen				
SUMME organische Si-Verbindungen	mg/m ³		0,03	0,04	SUMME organische Si-Verbindungen	mg/m ³				SUMME organische Si-Verbindungen	mg/m ³	1	0,1	4
Halogene					Halogene					Halogene				
SUMME Halogenverbindungen	mg/m ³				SUMME Halogenverbindungen	mg/m ³				SUMME Halogenverbindungen	mg/m ³			
Chlor-Verbindungen					Chlor-Verbindungen					Chlor-Verbindungen				
SUMME Chlor-Verbindungen	mg/m ³				SUMME Chlor-Verbindungen	mg/m ³				SUMME Chlor-Verbindungen	mg/m ³			
Fluor-Verbindungen					Fluor-Verbindungen					Fluor-Verbindungen				
SUMME Fluor-Verbindungen	mg/m ³				SUMME Fluor-Verbindungen	mg/m ³				SUMME Fluor-Verbindungen	mg/m ³			
NMVOC					NMVOC					NMVOC				
SUMME NMVOC	mg/m ³	45	0	45	SUMME NMVOC	mg/m ³	0,8	0,2	3	SUMME NMVOC	mg/m ³	246	18	454
Terpene					Terpene					Terpene				
SUMME Terpene	mg/m ³				SUMME Terpene	mg/m ³	0,02	0,003	0,05	SUMME Terpene	mg/m ³	172	0,8	201
Ketone					Ketone					Ketone				
SUMME Ketone	mg/m ³	42			SUMME Ketone	mg/m ³				SUMME Ketone	mg/m ³	52	13	159
Alkohole					Alkohole					Alkohole				
SUMME Alkohole	mg/m ³	2			SUMME Alkohole	mg/m ³	0,1	0,01	0,6	SUMME Alkohole	mg/m ³	2	0,7	4
BTEX					BTEX					BTEX				
SUMME BTEX	mg/m ³	0,8	0	3	SUMME BTEX	mg/m ³	0,3	0,07	1	SUMME BTEX	mg/m ³	3	0,3	14

Gasbeschaffenheiten: Spurengase gesamt

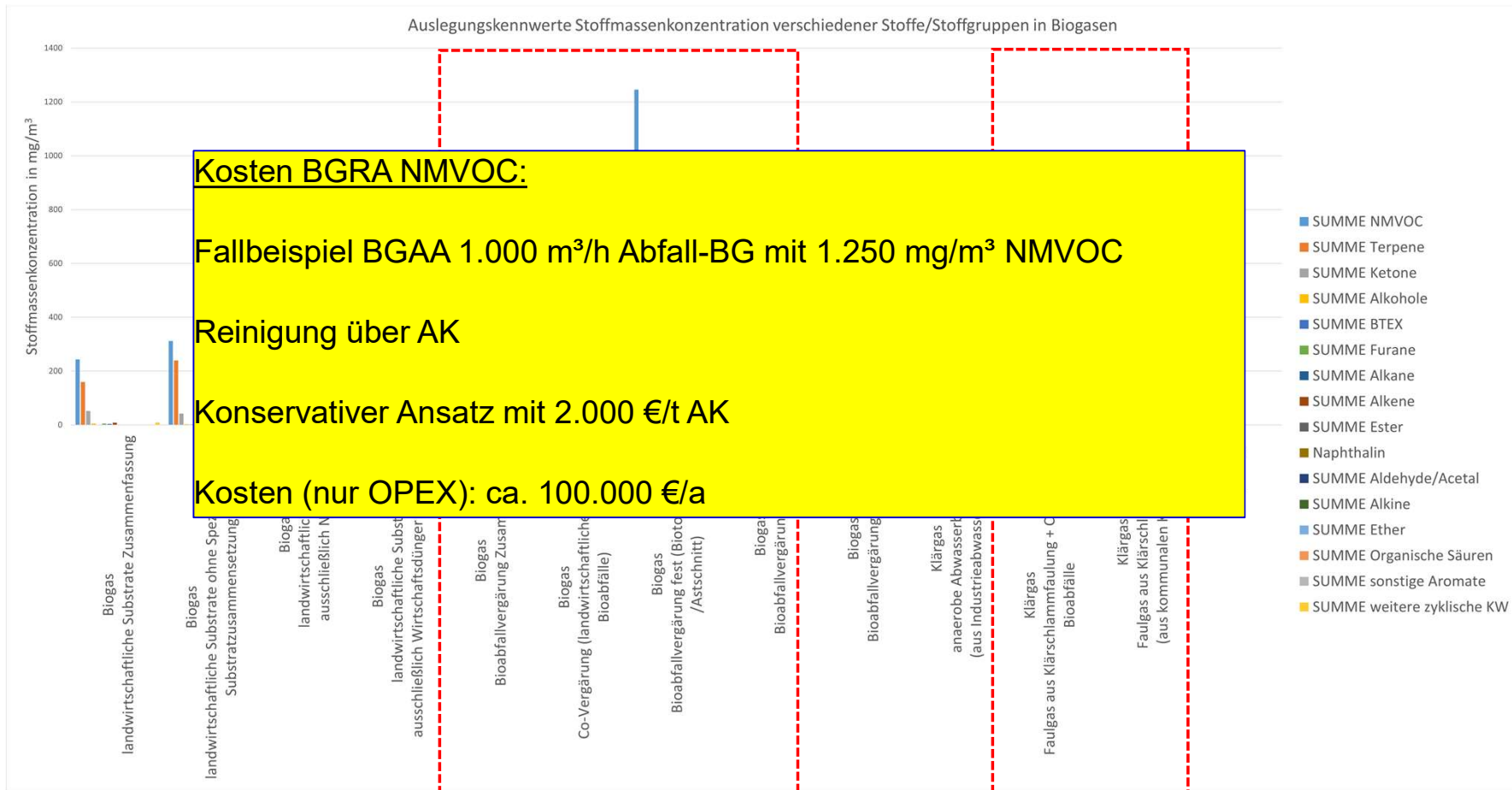
Auslegungskennwerte Stoffmassenkonzentration verschiedener Stoffe/Stoffgruppen in Biogasen



Arbeitspaket 2.1: Gasbeschaffenheiten: NMVOC (Nicht-Methan-VOCs)



Arbeitspaket 2.1: Gasbeschaffenheiten: NMVOC (Nicht-Methan-VOCs)



Technologiematrix (qualitativ)

Gaskomponente	Erdg. mit Kondensatabscheider	Kühlung	Adsorption zur Trocknung	Absorption zur Trocknung	Entschwefelung d. Luftdosierung	Bib. Filter	Simultane Eisendosierung	Eisenoxid/ Eisenhydroxid (n. Fermenter)	rostige Stahlwolle/ Holz imprägniert	unbehandelte Aktivkohle	imprägnierte Aktivkohle	dotierte Aktivkohle	Zeolithe	Silika-Gel	Flüssigadsorption (physikalisch) Wasser	Organ. Physikal. Wäscher (Adsorption (Selexol/ Genosorb))	Flüssigadsorption (chem) NaOH	Flüssigadsorption (chem) Fe(OH)3 oder Fe (III) EDTA	Chem. Wäscher mit DEA/ MEA/ MDEA	Wäscher mit NaOH Lösung	PSA	Membran	Kryogenik	Flüssigkeitsstrippen mit Luft/ Dampf	Absorption mit Mineralsäuren oder Basen, oder H2SO4, oder HNO3
CO ₂															x	x					x	x	x		
N ₂																					x				
O ₂																							x		
Wasserdampf	x	x	x	x												x					x	x			
Schwefelwasserstoff					x	x	x	x		x	x	x			x	x	x	x	x	x					
Organische Siliziumverbindungen						x				x	x	x	x		x								x		x
Halogene																									
Chlor										x	x	x			x										
Ammoniak						x																x	x	x	
Kohlenstoffdioxid																		x				x			
Meraptane							x	x			x		x										x		
Sonstige Schwefelverbindungen																									
Alkyle										x	x	x	x												
Terpene										x	x	x													

Technologiematrix (quantitativ)

Gaskomponente	Entschwefelung d. Luftdosierung	Bio Filter	Simultane Eisendosierung	Eisenoxid/ Eisenhydroxid (n. Fermenter)	Dotierte Aktivkohle
Schwefelwasserstoff	< 50ppm Reduktion um 80 - 99 %)	Von 5.000 ppm - 12.000 ppm Reduktion bis auf ca. 50 ppm	von 13.250 ppm Reduktion bis 200 ppm	Reduktion von 624 ppm in der 1. Stufe bis auf 10 ppm in der zweiten Stufe bis auf 0,2 ppm.	Unter Nachweissgrenze

Analyse und Bewertung anwendbarer Allokationsmechanismen



Allokationsverfahren sind nötig, wenn Systeme behandelt werden, die mehrere Produkte erzeugen oder verwerten.

- DIN EN ISO 14040 -

Allokationsverfahren

Vorgehensweise lt. Norm

Schrittweises Verfahren

1. Wo auch immer möglich, sollte eine Allokation vermieden werden, durch
 - Teilung der betroffenen Prozessmodule in zwei oder mehrere Teilprozesse
 - Erweiterung des Produktsystems durch Aufnahme zusätzlicher Funktionen

Allokationsverfahren

Vorgehensweise lt. Norm

Schrittweises Verfahren

1. Wo auch immer möglich, sollte eine Allokation vermieden werden, durch
 - Teilung der betroffenen Prozessmodule in zwei oder mehrere Teilprozesse
 - Erweiterung des Produktsystems durch Aufnahme zusätzlicher Funktionen
2. Zuordnung nach zugrundeliegenden physikalischen Beziehungen (→ konstant)
 - Volumen
 - Masse
 - C-Gehalt
 - Energiegehalt
 - ...

Allokationsverfahren

Vorgehensweise lt. Norm

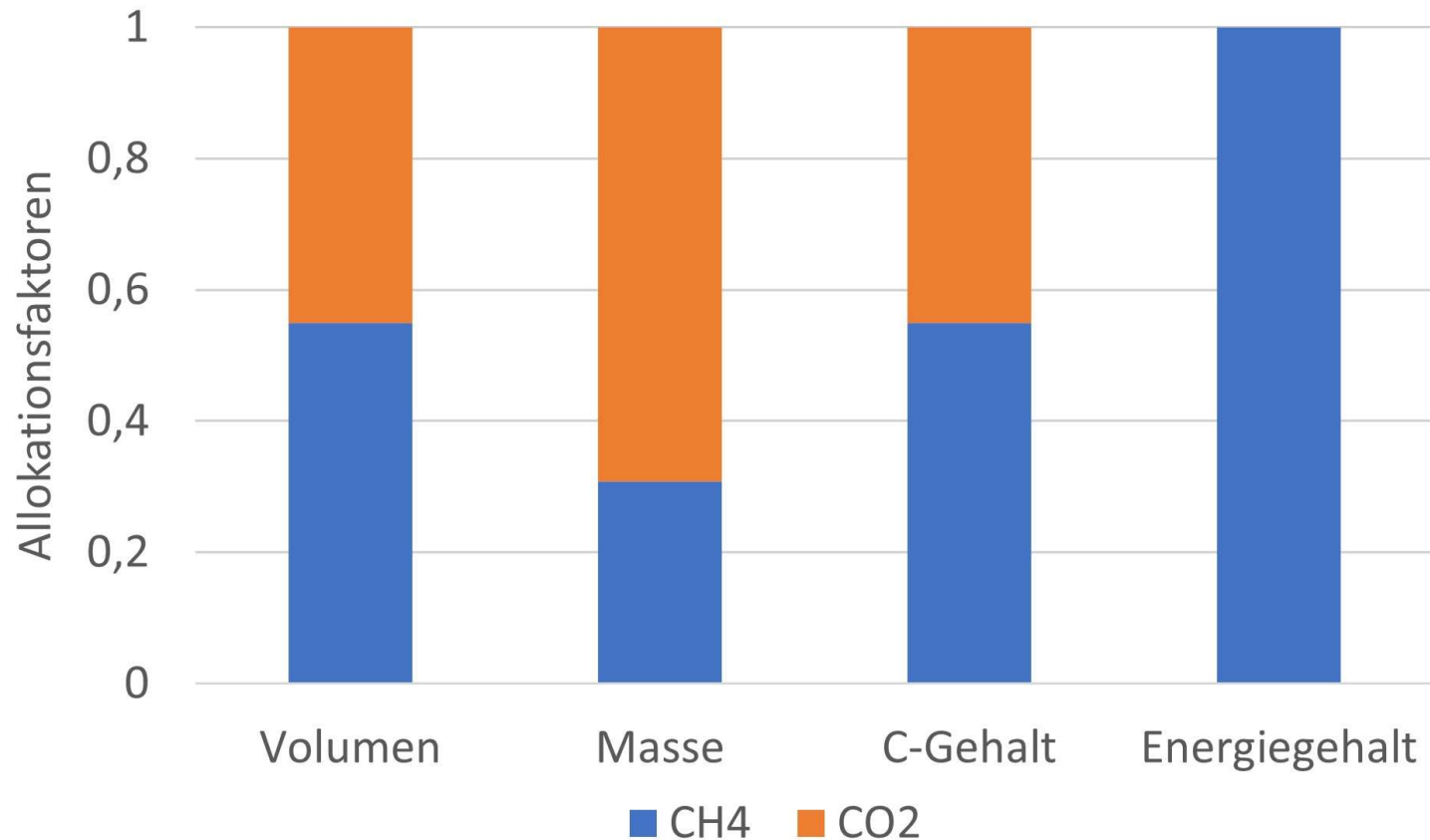
Schrittweises Verfahren

1. Wo auch immer möglich, sollte eine Allokation vermieden werden, durch
 - Teilung der betroffenen Prozessmodule in zwei oder mehrere Teilprozesse
 - Erweiterung des Produktsystems durch Aufnahme zusätzlicher Funktionen
2. Zuordnung nach zugrundeliegenden physikalischen Beziehungen (→ konstant)
 - Volumen
 - Masse
 - C-Gehalt
 - Energiegehalt
 - ...
3. Zuordnung nach nicht-physikalische Beziehungen (→ fluktuierend)
 - Ökonomischer Wert

Physikalische Beziehungen

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/bilder/biogasanlage_bildautor_kletr_fotolia_162162835_l.jpg

Allokationsverfahren – physikalische Beziehungen

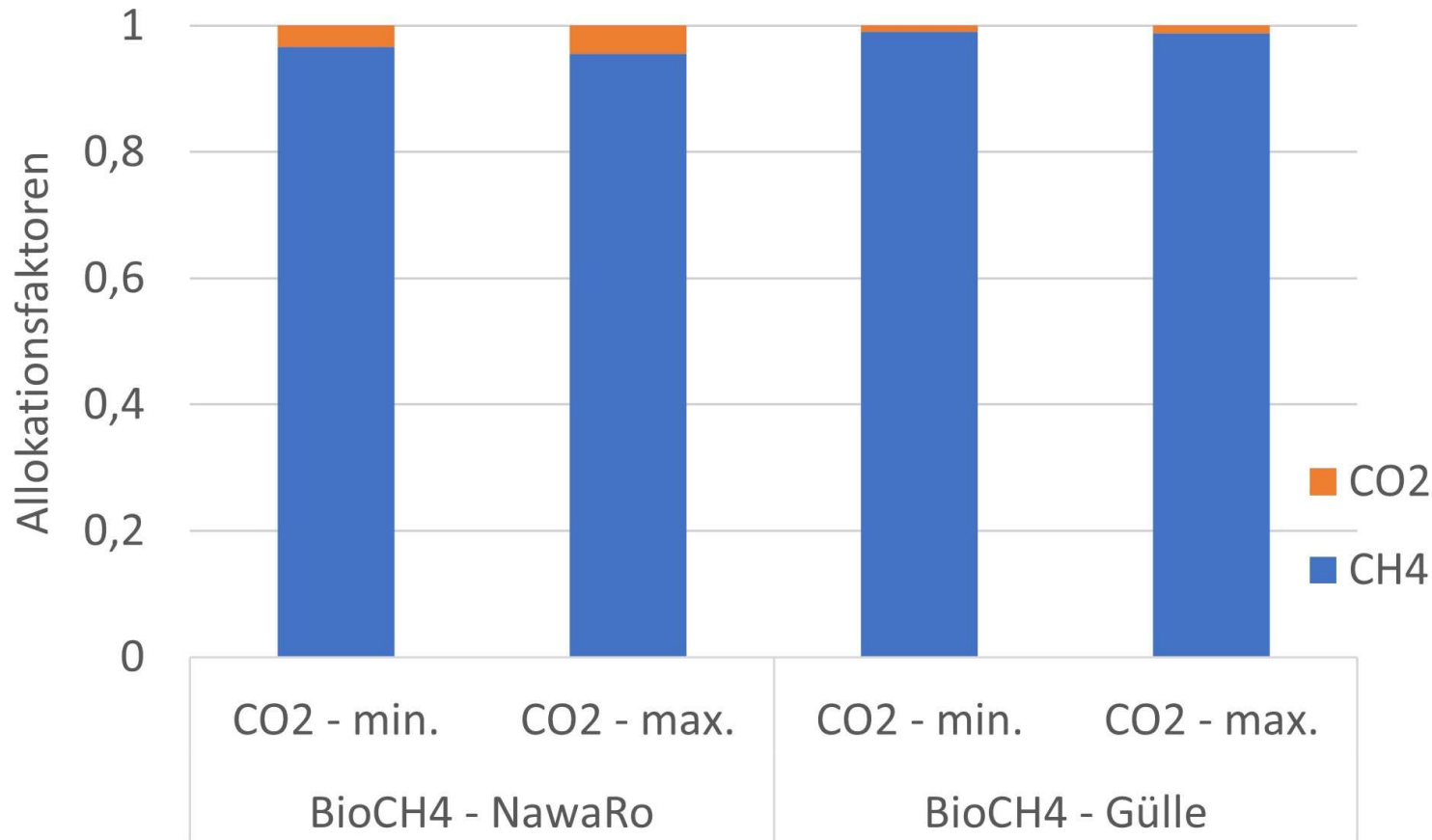


Verfahren	CH4	CO2
Volumen	0,55	0,45
Masse	0,31	0,69
C-Gehalt	0,55	0,45
Energiegehalt	1	0

Nicht-physikalische Beziehungen

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/bilder/biogasanlage_bildautor_kletr_fotolia_162162835_l.jpg

Allokationsverfahren – nicht-physikalische Beziehungen



Hintergrunddaten	
Biomethan, NawaRo	8,5 Ct/kWh
Biomethan, Gülle	32,3 Ct/kWh
CO ₂ , min	40 €/t
CO ₂ , max	55 €/t

Fazit

Allokationsverfahren

- Volumen & Masse: mangelnde Vergleichbarkeit der Funktion / technischen Eigenschaft der beiden Produkte
 - Energie: widerspricht Grundgedanken der Norm, die Umweltwirkungen auf die einzelnen Produkte zu verteilen
 - Ökonomie:
 - volatile Preise → volatile Ergebnisse
 - Abbildung von Preisentwicklungen und zunehmender Relevanz von Bio-CO₂ gewährleistet
 - spiegelt Marktsituation (ökonomische Interessen) am besten wider
- **Allokation nach ökonomischen Beziehungen empfohlen**

Zusammenfassende Darstellung und Ausblick

- CO₂ aus BGAA weist mit die niedrigsten CO₂-Gestehungskosten für nicht fossiles CO₂ auf
- Erste Referenzprojekte in Deutschland umgesetzt, bzw. in Planung
- Potential aus Bestands-BGAA in DE: ca. 1,7 Mio. t/a
- Marktbedarf CO₂ in DE heute ca. 800.000 – 1.000.000 t/a
- Biogaspotential in DE ausreichend, um den gesamten Marktbedarf an CO₂ für die nicht-energetische Nutzung zu decken
- Marktbedarf CO₂ in DE perspektivisch: 4,5 Mio. t/a
- Hierzu müsste sich der BGAA-Bestand ca. verdreifachen

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit



Fragen?

Kontakt

Michael Beil

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE

Bereich Energieverfahrenstechnik

Abteilung Erneuerbare Gase und Bioenergie

Joseph-Beuys-Straße 8

34119 Kassel

Tel.: +49 (0) 561 7294-421

Michael.Beil@iee.fraunhofer.de

Kontakt

Matthias Müller
Projektleiter
Tel. +49 711 970-3180
matthias.mueller@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer IBP
Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.ibp.fraunhofer.de

