

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Power-to-X
CO₂-Bereitstellung

VDI 4635
Blatt 3.2
Entwurf

Power-to-X – CO₂ provision

Einsprüche bis 2024-10-31

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchsportal
<http://www.vdi.de/4635-3-2>
- in Papierform an
VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt
Fachbereich Energie- und Umwelttechnik
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweise	3
3 Begriffe	3
4 Formelzeichen und Abkürzungen	6
5 Systemgrenzen und Systemparameter der CO₂-Bereitstellung	8
6 Quellgase für CO₂	9
6.1 Beurteilung von Quellgasen	9
6.2 Zusammensetzung des Quellgases	10
6.3 Gruppierung und Relevanz von Quellgasen	10
7 Subsystem CO₂-Bereitstellung	14
7.1 Aufbereitung der Eduktströme	14
7.2 Prozessschritt CO ₂ -Abtrennung	14
7.3 Aufbereitung der Produktströme	28
7.4 Gestaltungsbeispiele und Wirkungsgrade des Subsystems CO ₂ -Bereitstellung	29
8 Lagerung und Transport	32
8.1 Verflüssigung, Lagerung und Verdampfung	32
8.2 Transport von CO ₂	33
9 Regulativer Rahmen	33
9.1 Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)	34
9.2 Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG)	35
9.3 Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG)	35
9.4 Erneuerbare-Energien-Richtlinie	35
10 Besonderheiten bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit der CO₂-Bereitstellung	36
Anhang Typische Charakteristika von Gasen	37
Schrifttum	40

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)
Fachbereich Energie- und Umwelttechnik

VDI-Handbuch Energietechnik

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

An der Erarbeitung dieser Richtlinie waren beteiligt:

Prof. Dr.-Ing. *Rudi Karpf*, Gießen

Dr.-Ing. *Franziska Müller-Langer*, Leipzig

Prof. Dr. *Sascha Nehr*, Brühl

Selina Nieß, Leipzig

Dr.-Ing. *Gerd Oeljeklaus*, Duisburg/Essen

Mathias Penkuhn, Berlin

Prof. Dr. *Damian Pieloth*, Köthen

Falko Probst, Leipzig

Dr. *Dirk Reichert*, Roeselare

Michael Riebesecker, Regensburg

Tabea Stadler, Karlsruhe

Dr.-Ing. *Steffen Stünkel*, Cottbus

Dipl.-Ing. *Martin Treder*, Düsseldorf

Monika Vogt, Duisburg

Dr. *Peter Zeeb*, Eschborn

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/4635.

Einleitung

Der größte Teil der chemischen Produkte (z.B. Kunststoffe, Farben, Lösungsmittel, Arzneimittel usw.) sowie auch in Zukunft weiterhin benötigte Kraftstoffe (z.B. Kerosin, Dieselmotortreibstoff, Methan) enthalten Kohlenstoff. Der geplante Ersatz fossiler Rohstoffströme für Energie und Materialien erfordert daher zusätzliche Quellen für den Kohlenstoff. Neben z.B. Biomasse bietet sich als eine solche Quelle CO₂ an. Diese Richtlinie beschreibt den Stand der Technik für die Gewinnung von CO₂ aus Abluftströmen unterschiedlicher industrieller Prozesse sowie aus der Umgebungsluft. Hierbei werden diese sogenannten „CO₂-Quellgase“ hinsichtlich ihres Potenzials zur CO₂-Bereit-

stellung diskutiert. Verschiedene Abtrennungungsverfahren werden vorgestellt und hinsichtlich ihres Anwendungsgebiets gegenübergestellt. Verfahren, deren Ziel die Herstellung von hauptsächlich Kohlenstoffmonoxid (CO) ist, z.B. Synthesegaserzeugung, werden nicht im Detail diskutiert. Der allergrößte Teil der CO₂-Abtrennungungsverfahren wurde jedoch entwickelt und dazu eingesetzt, um aus einem Produktstrom, der CO₂ als „Verunreinigung“ enthält, das CO₂ abzutrennen und zu entfernen. Insofern war das Interesse auf die Reinheit des CO₂-freien Produktstroms gerichtet und nicht auf die Qualität des abgetrennten CO₂. Daher werden in diesem Blatt zusätzlich Reinigungsverfahren für den CO₂-Produktstrom vorgeschlagen. Anhand zweier Praxisbeispiele wird der spezifische Energiebedarf zur CO₂-Bereitstellung vorgestellt. Zuletzt werden regulatorische Besonderheiten, wie ein beispielhaftes Verfahren zur Emissionsberechnung/-normierung im Rahmen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sowie der Anwendung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes und des Treibhausgas-Emissionshandelsgesetzes, diskutiert.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie beschreibt den Stand der Technik bei der Gewinnung und Abtrennung von CO₂ aus anderen Stoffen in technisch-industriellen Anlagen. Außerdem wird der Stand der Technik bei der Speicherung und für den Transport von CO₂ beschrieben. Gewinnung, Abtrennung, Speicherung und Transport von CO₂ kann dabei folgenden Zwecken dienen:

- Erzeugung von CO₂ zur direkten Verwendung (z.B. als Inertgas)
- Erzeugung von CO₂ zum Einsatz in einer Synthese (Power-to-X-Verfahren, CCU – Carbon Capture and Utilization)
- Abtrennung von CO₂ aus einem Produktstrom, der in die Atmosphäre geleitet wird und nachfolgende unterirdische Einlagerung des CO₂ (CCS – Carbon Capture and Storage)
- Abtrennung des CO₂ aus der Atmosphäre mit dem Ziel, die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre zu reduzieren (DAC – Direct Air Capture) oder mit dem Ziel, CO₂ stofflich zu nutzen

Einige chemische Synthesen für kohlenstoffhaltige Produkte können nur mit CO und nicht mit CO₂ durchgeführt werden. Hierzu gehören z.B. die Fischer-Tropsch-Synthese und die Oxochemie. Technisch ist CO über die Reverse-Water-Gas-Shift-Reaktion aus CO₂ erhältlich. CO wird in dieser Richtlinie nur beschrieben, wenn es als Ne-

benprodukt zu CO₂ auftritt; die Erzeugung von reinem CO wird nicht behandelt.

Speicherung und Transport von CO₂ wird verwendet, um das CO₂ vom Ort der Gewinnung zum Ort der Verwendung zu transportieren und um unterschiedliche Massenströme im System auszugleichen und zu puffern.