



Der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) hat TEAM CONSULT G.P.E. GmbH (TeamConsult) den Auftrag erteilt, für den BDEW ein schriftliches Kompendium zu den Möglichkeiten einer Dekarbonisierung von Gas zu erstellen.

Die in diesem Dokument enthaltenen Angaben und Informationen basieren zu einem erheblichen Teil auf Quellen Dritter. Die Informationen wurden vom BDEW und von Team Consult im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten sorgfältig recherchiert und geprüft. Der BDEW und Team Consult übernehmen keinerlei Gewähr für die Aktualität, Korrektheit oder Vollständigkeit der enthaltenen Informationen.

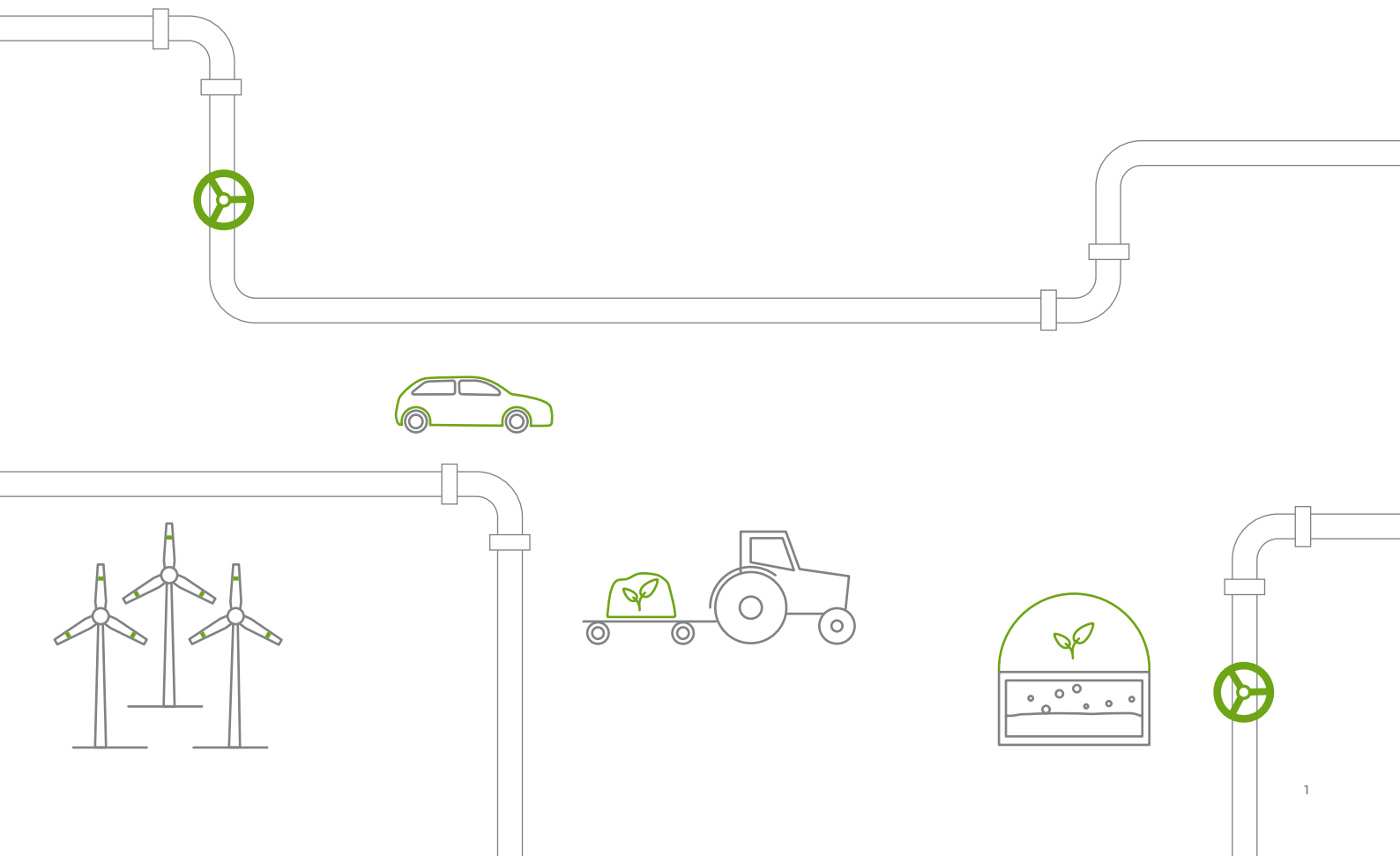
Haftungsansprüche gegen den BDEW oder gegen Team Consult aufgrund von durch fehlerhafte oder unvollständige Informationen verursachten materiellen oder ideellen Schäden sind grundsätzlich ausgeschlossen, sofern nicht seitens des BDEW bzw. Team Consult ein vorsätzliches oder grob fahrlässiges Verschulden vorliegt.

Eine Vervielfältigung, entgeltliche Verbreitung oder Veröffentlichung sowie Änderungen an dem Kompendium sind ohne schriftliche Genehmigung des BDEW nicht zulässig.

Stand: April 2019
(grafisch aktualisiert November 2019)

Inhalt

1. Dekarbonisierungswege für Gase.....	2
2. Grünes Gas im Energiesystem.....	4
3. Grünes Gas – Technologien.....	6
3.1 Biogase.....	6
3.2 Synthetische Gase.....	10
3.3 Weitere Ansätze zur CO ₂ -Reduktion.....	13
4. Grünes Gas und energiebedingte Emissionen.....	17
5. Zusammenfassung.....	20
Glossar und Endnoten.....	22



1. Dekarbonisierungswege für Gase

Die Energieversorgung in Deutschland durchläuft seit Beginn der 2000er-Jahre einen grundlegenden Wandel. Ein wesentlicher Treiber dieses Wandels ist das Ziel, klimaschädliche Emissionen – hauptsächlich von Kohlenstoffdioxid (CO₂) – aus dem Energiesystem zu senken. CO₂-Emissionen entstehen dadurch, dass fossile, aus der Erdkruste geförderte Kohle oder Kohlenwasserstoffe verbrannt werden. Gemäß den EU-Zielen hat die Bundesregierung bereits 2010 beschlossen, die Emissionen in Deutschland bis 2050 um 80 bis 95 % gegenüber 1990 zu senken. Im Klimaschutzplan der Bundesregierung sind darüber hinaus Reduktionsziele für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr und Landwirtschaft festgelegt, die bis 2030 erreicht werden müssen.

Neben der Senkung des Energieverbrauchs ist der Austausch von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energien das zentrale Mittel auf dem Weg zu einem CO₂-neutralen Energiesystem.

Im deutschen Energieversorgungssystem spielt Erdgas eine tragende Rolle. Das gilt für die verschiedensten Sektoren. So liegt der Anteil von Erdgas am Energieverbrauch in den Endverbrauchssektoren Gewerbe und Industrie bei knapp einem Drittel. Die Hälfte der bestehenden Wohnungen in Deutschland wird mit Erdgas beheizt, in neu errichteten Gebäuden sind es 40 %. In der Stromerzeugung besitzt Erdgas ebenfalls eine zentrale Rolle – Gaskraftwerke stellen einen Großteil der benötigten Flexibilität bereit.

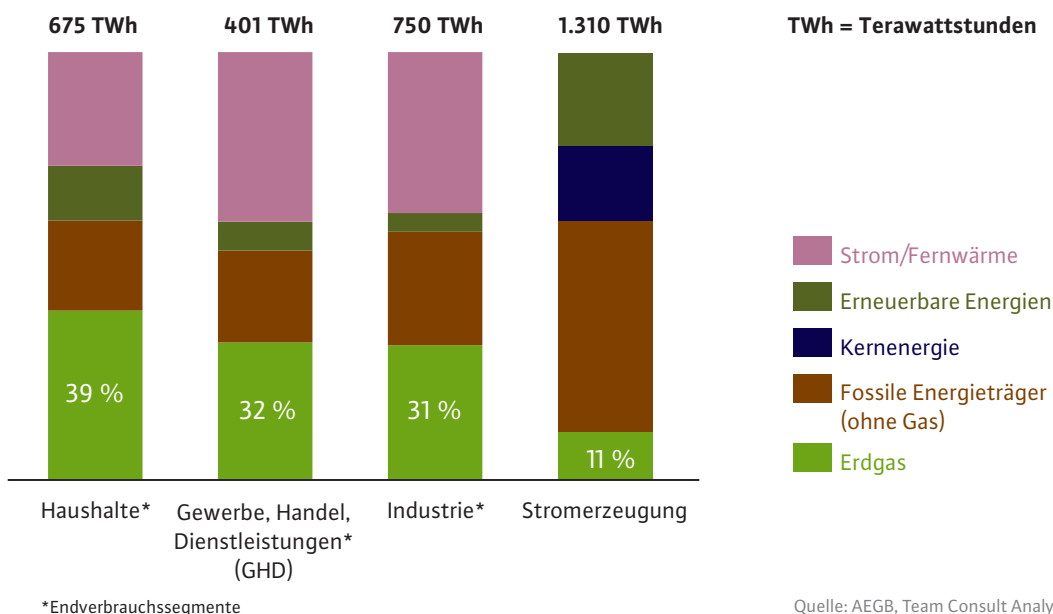
Erdgas ist damit ein wichtiger und integraler Bestandteil des Energieversorgungssystems in Deutschland. Infrastrukturen für den Transport, die Speicherung sowie die Umwandlung von Energie sind zum großen Teil auf die Nutzung von Erdgas ausgerichtet, ebenso Endverbrauchsgeräte wie z. B. Heizungen.

Bei der Verbrennung von Erdgas entstehen CO₂-Emissionen. Im Zuge der angestrebten Dekarbonisierung des Energiesystems müssen diese Emissionen – wie auch die aller anderen Energieträger – vermieden oder neutralisiert werden. Dies könnte theoretisch durch eine Umstellung des gesamten Energiesystems einschließlich aller Infrastrukturen und Endgeräte auf erneuerbaren Strom geschehen. Es setzt sich im energiepolitischen Diskurs jedoch zunehmend die Auffassung durch, dass der Ansatz der „All Electric Society“ keine vollständige Lösung darstellt, sondern dass vielmehr die gesamte Bandbreite an zur Verfügung stehenden Ansätzen gebraucht wird, um die komplexe Aufgabe einer umfassenden Energiewende effizient umzusetzen.

Der Ansatz zunehmend grüner Gase hat im Hinblick auf das energiepolitische Zieldreieck – Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit – mehrere Vorteile. So würden die bestehenden Infrastrukturen und Endgeräte weiter genutzt, es könnten weiterhin große Energiemengen in den Gasspeichern zwischengelagert werden und durch eine höhere Diversität bei Technologien und Energieträgern würde sich auch die Resilienz des Energiesystems erhöhen.

Dieses Compendium gibt einen kurzen Überblick über die grundlegenden Technologien sowie deren Potenzial zur Dekarbonisierung von Gasen. Die Reife der Technologien wird dabei anhand des Technology Readiness Level (TRL) beurteilt, einer ursprünglich aus der Luft- und Raumfahrt stammenden Methodik mit neun Stufen von TRL 1 (Grundprinzipien der Technologie wurden beobachtet) bis TRL 9 (System funktioniert im realen Einsatzgebiet und wird kommerziell produziert).

In diesem Compendium soll es darum gehen, die technologischen Ansätze zur Dekarbonisierung gasförmiger Energieträger aufzuzeigen. Ein solcher Ansatz ist die Nutzung von grünem Gas anstelle von fossilem Erdgas. Grünes Gas wird erneuerbar und CO₂-neutral bzw. im Fall von grünem Wasserstoff gänzlich ohne CO₂ hergestellt. Eine andere Möglichkeit besteht darin, das bei der Verbrennung von Erdgas entstehende CO₂ nicht in die Atmosphäre auszustoßen, sondern abzuscheiden und dauerhaft in geologischen Lagerstätten zu speichern oder langfristig zu binden. Dadurch erfolgt die Verwendung des Gases ebenfalls klimaneutral. Grundsätzlich gibt es auch die Möglichkeit, Erdgas durch den Handel mit Herkunfts- und Kompensationszertifikaten bilanziell CO₂-neutral zu stellen. Da es sich hierbei jedoch nicht um eine Technologie zur Erzeugung klimaneutraler Gase handelt, wird diese Möglichkeit im Nachfolgenden nicht weiter behandelt.



Energieverbrauch der Segmente nach Energieträgern (2017)

2. Grünes Gas im Energiesystem

Als grünes Gas werden alle Energieträger bezeichnet, die in gasförmiger Form vorliegen und bei deren Verbrennung nicht mehr CO_2 freigesetzt wird als zuvor aus der Atmosphäre entnommen wurde. Grünes Gas ist daher nahezu klimaneutral. Wenn in diesem Dokument von grünem Gas oder von grünen Gasen gesprochen wird, ist damit grüner oder blauer Wasserstoff sowie erneuerbares Methan gemeint. In diesem Kompendium werden die verschiedenen Pfade zur Dekarbonisierung des Energiesystems mittels grüner Gase betrachtet.

Das Prinzip grüner Gase ist einfach: Sofern Kohlenstoff enthalten ist, wird bei der Verbrennung nur so viel CO_2 freigesetzt, wie die bei der Erzeugung verwendeten Rohstoffe zuvor aus der Luft aufgenommen haben. Hieraus ergibt sich ein Kohlenstoffkreislauf.

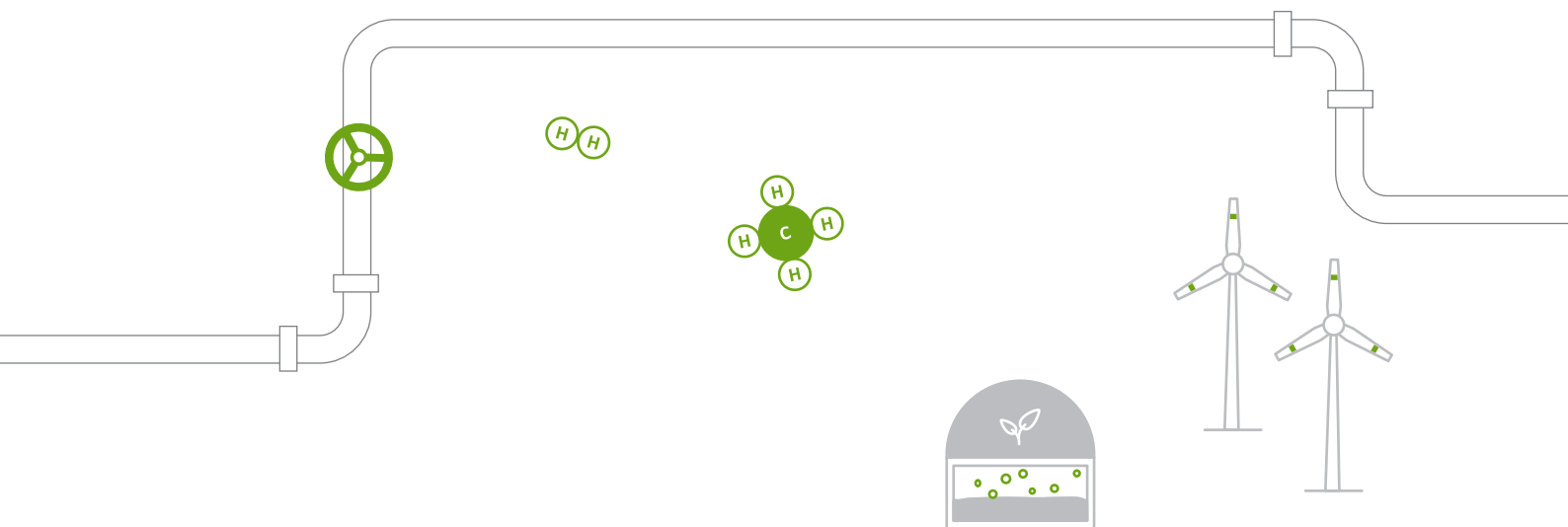
Eine Möglichkeit zur Erzeugung von grünem Gas ist die Herstellung aus organischen Rohstoffen (Energiepflanzen, Reststoffe und Abfälle), die sogenannte Biogaserzeugung. Der Energieträger ist in diesem Fall Methan. Methan ist auch der Hauptbestandteil von Erdgas. Biogas kann daher (nach entsprechender Aufbereitung) in beliebigen Mengen in das Erdgasnetz eingespeist und in bestehenden Erdgas-Anwendungen genutzt werden, d.h. zum Heizen, zur Stromerzeugung, in der Mobilität oder als Grundstoff in der Industrie. Man spricht dann von Bio-Erdgas oder Biomethan.

Grünes Gas kann auch mithilfe der sogenannten Power-to-Gas (PtG)-Technologie erzeugt werden. Hierbei wird unter dem Einsatz von erneuerbarem Strom in einem Prozess, der als Elektrolyse bezeichnet wird, Wasserstoff erzeugt. Im Fall der direkten Nutzung des Wasserstoffs spielt Kohlenstoff gar keine Rolle mehr, d.h. es wird weder bei der Herstellung CO_2 der Atmosphäre entnommen, noch wird bei der Verwendung CO_2 in der Atmosphäre freigesetzt. Einen Kohlenstoffkreislauf gibt es in diesem Fall also nicht. Grüner Wasserstoff kann in Reinform in der Industrie – z. B. in der chemischen Industrie oder in Raffinerien – und im Verkehrssektor als Kraftstoff zum Einsatz kommen oder (in gewissen Grenzen) dem Erdgas beigemischt werden.

Für eine unbegrenzte Einspeisung in das Erdgasnetz ist hingegen noch ein weiterer Aufbereitungsschritt nötig, bei dem der Wasserstoff mit Kohlenstoff zu Methan umgewandelt wird. Dieser Vorgang wird auch als Methanisierung bezeichnet. Hier ist also wieder Kohlenstoff beteiligt, dennoch ist die Verbrennung des so erzeugten Methans klimaneutral – bei der Verbrennung des Methans wird nur so viel CO_2 freigesetzt wie zuvor zum Zweck der Methanisierung aus der Luft oder anderen CO_2 -Quellen entnommen wurde.

Durch die Verwendung von grünem Gas können erneuerbare Energien unter Nutzung bereits bestehender Infrastrukturen (Transport- und Verteilnetze sowie Gasspeicher) und bestehender Verbrauchsgereäte (z. B. Erdgasheizungen) schnell und im Fall von grünem Methan ohne technische Umstellung der Endgeräte die Gasversorgung durchdringen und somit zur Klimaschonung beitragen.

Die Nutzung von grünem Gas als nachhaltigem Energieträger geschieht in Deutschland bereits in erheblichem Ausmaß, ist also nicht nur eine theoretische Möglichkeit. So werden jährlich Rohbiogasmengen in einer Größenordnung von etwa 100 TWh erzeugt, wovon der Großteil zur Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK)-Anlagen vor Ort genutzt und ein geringer Teil zu Biomethan aufbereitet wird.^[1] Es werden jährlich etwa zehn TWh Biomethan erzeugt und ins Erdgasnetz eingespeist, welches ebenfalls hauptsächlich zur Stromerzeugung verwendet wird. Insgesamt wurden aus Biogas und Biomethan im Jahr 2018 rund 33 TWh Strom erzeugt, was fast 5,5 % des Stromverbrauchs in Deutschland entspricht.^[2] Die heutigen Anteile sowie auch die Zukunftspotenziale der verschiedenen Technologien zur Herstellung von grünem Gas sind durchaus verschieden.



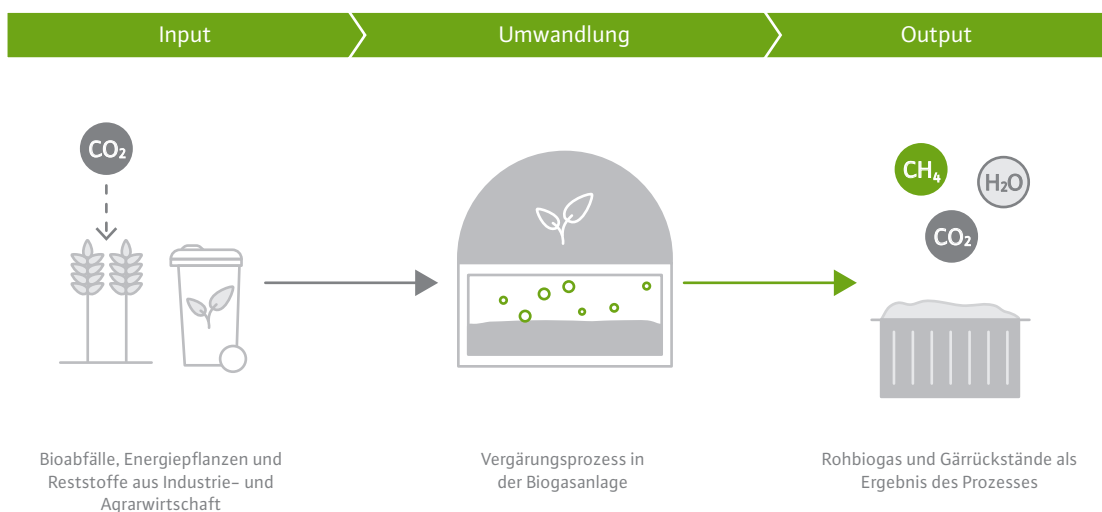
3. Grünes Gas – Technologien

3.1 Biogase

Biogaserzeugung

Biogas als Brenngas ist ein Naturprodukt, welches im Zuge von Vergärungsprozessen von Biomasse, also organischen Stoffen, entsteht. Diese Vergärungsprozesse, die vielfach auf natürliche Weise z. B. in Mooren oder Güllegruben stattfinden, werden in Biogasanlagen gezielt genutzt, um Biogas im großen Maßstab zu erzeugen. Als Rohstoffe bzw. Substrate können dabei entweder nachwachsende Rohstoffe (Energiepflanzen) oder organische Reststoffe und Abfälle verwendet werden. Nachwachsende Rohstoffe zur Biogaserzeugung sind insbesondere Raps, Mais, Stroh, Weizen, Gras und Durchwachsene Silphie. Bei organischen Abfällen handelt es sich vor allem um Reststoffe aus der Industrie (z. B. Brauereirückstände oder Apfeltrester) und Agrarwirtschaft (z. B. Gülle) sowie kommunale Bioabfälle wie beispielsweise Speisereste.

Der Vergärungsprozess in einer Biogasanlage findet in einem Gärbehälter (Fermenter) statt. Hier werden die Substrate durch eine Vielzahl von Mikroorganismen in einem mehrstufigen Prozess umgewandelt. Dabei werden u. a. durch sogenannte Archaeobakterien die Kohlenhydrate, Eiweiße und Fette der Substrate aufgespalten und in Zwischenprodukte wie Essigsäure, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid umgesetzt. Durch die Methanogenese entsteht hieraus anschließend – hauptsächlich durch die Reaktion von Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid – Methan. Das Ergebnis dieses Prozesses sind Rohbiogas und Gärrückstände.



Schema der Biogaserzeugung

Anschließend wird das Rohbiogas entschwefelt und getrocknet, damit es den Anforderungen der nachgeschalteten Anlagen und Bauteile genügt. Das nun vorliegende Biogas besteht hauptsächlich aus Methan (ca. 50–75 Vol.-%) und Kohlenstoffdioxid (ca. 25–45 Vol.-%) sowie geringen Mengen weiterer Gase, wie u. a. Sauerstoff, Stickstoff und verschiedene Spurengase.^{[1][3]} Die genaue Zusammensetzung des produzierten Biogases hängt von den eingesetzten Substraten und Prozessparametern, wie z. B. der Temperatur, ab. Sämtliches bei der Erzeugung und späteren Verwendung anfallende Kohlenstoffdioxid stammt aus den eingesetzten organischen Rohstoffen, welche das Kohlenstoffdioxid – in der Regel über die Photosynthese – aus der Atmosphäre entnommen und gebunden haben. Daher erfolgt Biogaserzeugung und -verwendung CO₂-neutral. Der Energiegehalt von teilaufbereitetem Biogas liegt typischerweise zwischen 5 und 7,5 kWh pro Kubikmeter.^[3] Das erzeugte Biogas hat damit nicht die gleichen Eigenschaften wie Erdgas. Es kann jedoch auf Erdgasqualität aufbereitet werden. In diesem Fall spricht man von Bio-Erdgas bzw. Biomethan (s. unten).

Einem unbeschränkten Ausbau der Biogaserzeugung steht jedoch die begrenzte Substratverfügbarkeit gegenüber, die sich aus der nutzbaren Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe sowie den verfügbaren organischen Abfallmengen ergibt. So sind verschiedenen Studien zufolge derzeit bereits ca. 50 bis 75 % des technischen Biogaspotenzials in Deutschland ausgeschöpft.^{[1][4]} Hierbei ist anzumerken, dass derzeit lediglich ca. 8 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland für Energiepflanzen zur Biogas-Erzeugung genutzt werden.^[5]

Bei Biogasanlagen handelt es sich um eine bereits seit vielen Jahren erprobte und in Betrieb befindliche Technologie. In Deutschland sind beispielsweise über 9.400 Anlagen in Betrieb.^{[1][6]} Der Technologie kann somit der höchste Reifegrad (9) im Rahmen der TRL-Skala zugeordnet werden.

Biogas-Verstromung

Der Großteil der Biogasanlagen nutzt das erzeugte Biogas direkt vor Ort (ca. 90 % der Anlagen).^[1] Das heißt, das Biogas wird direkt am Entstehungsort mittels KWK-Prozess in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zu Strom und Wärme umgewandelt. Dabei kommen typischerweise Verbrennungsmotoren (Gasmotoren) zum Einsatz. Auch der Einsatz in Mikrogasturbinen und Brennstoffzellen ist möglich. Der erzeugte Strom wird in der Regel in das öffentliche Stromnetz eingespeist und gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet. Die Wärme kann vor Ort genutzt, in ein Nahwärmenetz eingespeist oder wiederum für die Beheizung der Biogasanlage eingesetzt werden.

Die im Zuge der Biogas-Verstromung eingesetzte KWK-Technologie ist technisch ausgereift und findet auch in vielen anderen Bereichen der Energiewirtschaft Anwendung. Die technische Reife dieses Verwendungspfades von Biogas ist demnach im Rahmen der TRL-Skala auf Stufe 9 einzuordnen.



Schema der Biomethan-Aufbereitung

Biomethan-Aufbereitung

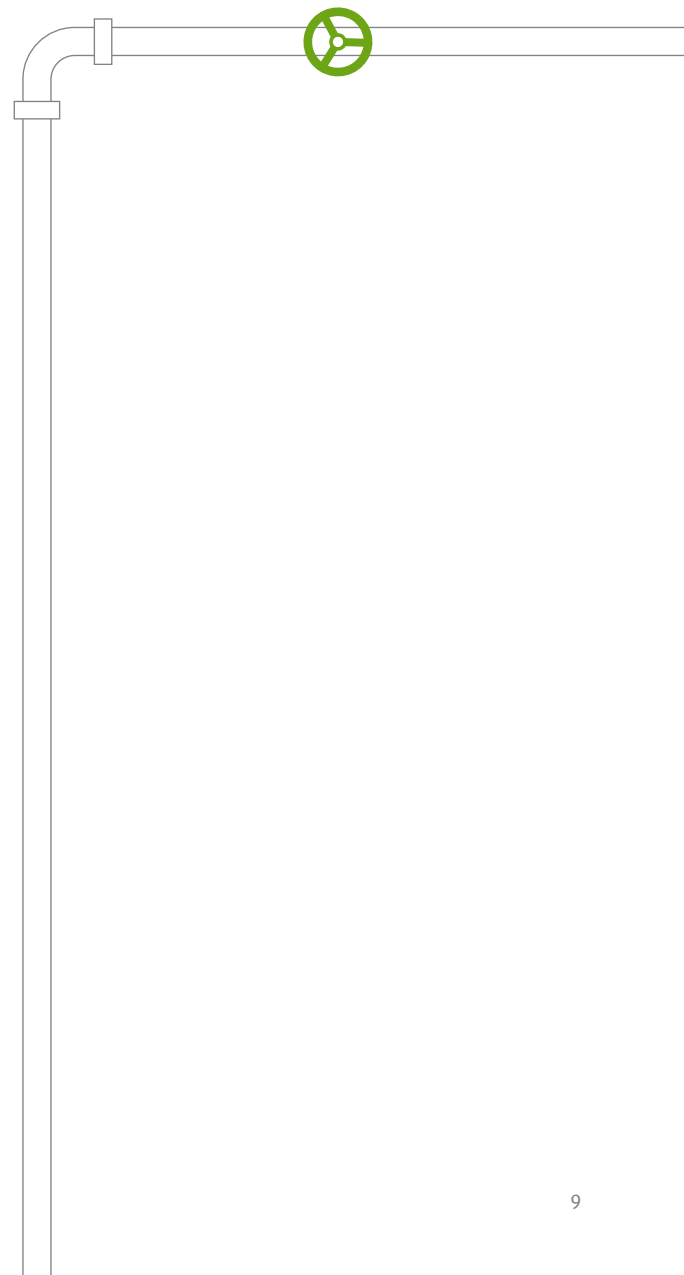
Neben der Verstromung von Biogas mittels KWK-Prozess ist auch die Einspeisung in das Gasnetz eine Verwendungsmöglichkeit. Hierfür muss das Biogas jedoch auf Erdgasqualität aufbereitet werden. Das heißt im Wesentlichen, dass der Methananteil im Biogas auf bis zu 99 % gesteigert werden muss, indem vor allem Kohlenstoffdioxid entfernt wird.^[7] Dazu stehen verschiedene Verfahren im großtechnischen Maßstab zur Verfügung. Hierbei sind vor allem die Aufbereitungsverfahren Druckwasserwäsche (DWW), Druckwechseladsorption (PSA) und Aminwäsche (AW) zu nennen. Bei der Druckwasserwäsche wird Rohbiogas komprimiert und das CO₂ aufgrund der unterschiedlichen Löslichkeit von Methan und Kohlenstoffdioxid in Wasser abgetrennt. Die Abtrennung basiert somit auf einem physikalischen Wirkprinzip, ebenso wie bei der Druckwechseladsorption.

Hierbei werden zur Kohlenstoffdioxid-Abscheidung Aktivkohlen und Molekularsiebe eingesetzt und Komprimierungs- und Entspannungsprozesse durchgeführt. Die Aminwäsche hingegen ist ein chemisches Trennverfahren, bei dem das Biogas mit einer Waschflüssigkeit in Kontakt gebracht wird, worin sich das CO₂ abscheidet. Weitere zu nennende Aufbereitungsverfahren sind das Membranverfahren und das bisher kaum großtechnisch genutzte kryogene Aufbereitungsverfahren.

Das aufbereitete Biogas ist in seinen chemischen und brenntechnischen Eigenschaften sowie mit seinem Energiegehalt mit Erdgas gleichzusetzen und erfüllt somit die Anforderungen, die für Erdgas im allgemeinen Netz gelten.^[7] Daher wird aufbereitetes Biogas auch als Bio-Erdgas oder Biomethan bezeichnet. Für die Einspeisung von Biomethan in das Erdgasnetz ist eine Einspeiseanlage nötig, die u. a. den Druck des Gases regelt und überwacht.

Biomethan kann grundsätzlich genauso verwendet werden wie Erdgas. Dies schließt die Strom- und Wärmeerzeugung, die Verwendung als Kraftstoff und auch die stoffliche Nutzung in Industrieprozessen ein. Biomethan ist ein nahezu CO₂-neutraler erneuerbarer Energieträger.

Im Jahr 2018 waren insgesamt 213 Aufbereitungs- und Einspeiseanlagen in Deutschland in Betrieb.^[8] Sie speisten 2018 rund zehn TWh Biomethan ins Erdgasnetz ein. Dies zeigt, dass auch die Biomethan-Aufbereitung technisch ausgereift und kommerziell verfügbar ist, was dem TRL 9 entspricht. Nichtsdestotrotz besteht weiteres Optimierungspotenzial bei den Aufbereitungstechnologien sowie bei der Reduzierung von Kosten, Methanschlupf und Energieverbrauch (insbesondere in Form von Wärme). Darüber hinaus kann durch die Umrüstung bestehender Biogasanlagen und die konsequente Erschließung von Rest- und Abfallstoffen, tierischen Exkrementen und in geringem Maße Energiepflanzen die Biomethan-Erzeugung deutlich gesteigert werden. So wird von einem mobilisierbaren Biomethan-Potenzial von bis zu 100 TWh pro Jahr ausgegangen.^[4]



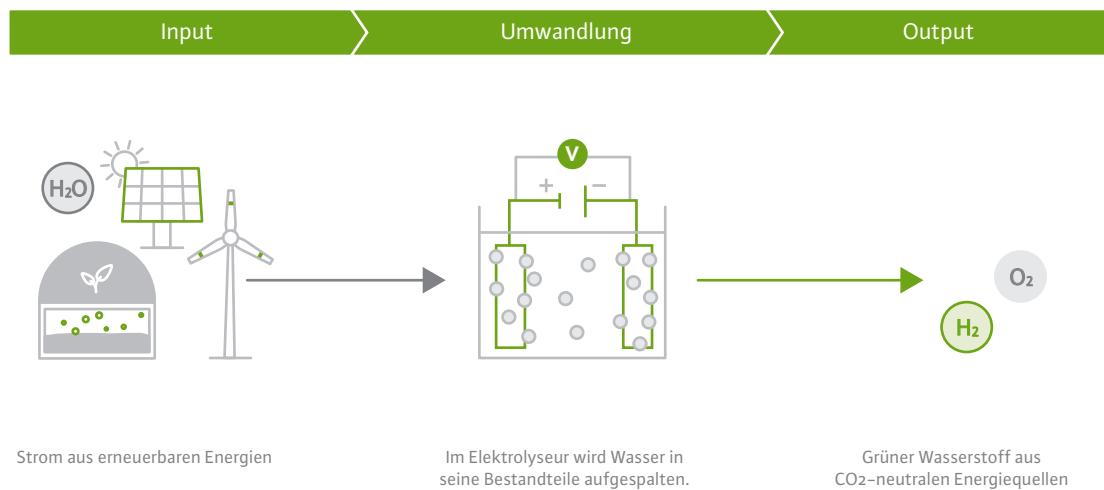
3.2 Synthetische Gase

Wasserstoff-Elektrolyse

Wasserstoff (H) ist ein chemisches Element und in gebundener Form Bestandteil fast aller organischen Verbindungen. Unter normalen Umweltbedingungen kommt Wasserstoff in molekularer Form (H₂) als farb- und geruchloses Gas vor.

Grüner Wasserstoff entsteht durch die Elektrolyse von Wasser unter Verwendung von erneuerbarem Strom. Dabei wird Wasser (H₂O) in einem Elektrolyseur in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten, indem eine elektrische Spannung angelegt wird. Voraussetzung für grünen Wasserstoff ist, dass der eingesetzte Strom aus CO₂-neutralen Energiequellen (z. B. Wind, Biomasse oder Photovoltaik) stammt, da andernfalls die Erzeugung des Wasserstoffs mit indirekten Emissionen verbunden ist.

Zur Herstellung von grünem Wasserstoff mittels Elektrolyse werden im Wesentlichen zwei Technologien angewendet: die alkalische Elektrolyse und die Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEM)-Elektrolyse. Die alkalische Elektrolyse ist eine bewährte Technologie und wird schon seit vielen Jahrzehnten in der Industrie eingesetzt. Die technologische Reife kann daher auf der höchsten Stufe (9) der TRL-Skala eingeordnet werden. Der Umwandlungswirkungsgrad von elektrischer in chemische Energie liegt bei diesem Verfahren bei 65 bis 75 %.^[9] Die PEM-Elektrolyse ist hingegen eine etwas jüngere Technologie (TRL 8) mit niedrigeren Wirkungsgraden im Bereich zwischen 60 und 70 %.^[10] Im Vergleich zur alkalischen Elektrolyse besitzt die PEM-Elektrolyse allerdings Vorteile für die Aufnahme von fluktuierenden erneuerbaren Energien, da sie innerhalb von Sekunden gestartet werden kann und eine schnellere Leistungsanpassung möglich ist.



Schema der Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse

Neben der alkalischen und der PEM-Elektrolyse existiert zudem mit der Hochtemperatur-Dampfelektrolyse, auch SOEC-Elektrolyse genannt (SOEC = Solid Oxide Electrolysis Cell), eine weitere Technologie, die sich jedoch noch im Forschungsstadium befindet und auf TRL 6 einzuordnen ist.^[10] Im Zuge der bestehenden Forschungsbemühungen sind in Zukunft weitere Wirkungsgradsteigerungen bei den Elektrolysetechnologien zu erwarten.

Wird bei dem Elektrolysevorgang Strom aus erneuerbaren Quellen eingesetzt, ist die Herstellung des Wasserstoffs komplett CO₂-frei, da neben dem erzeugten Wasserstoff lediglich Sauerstoff anfällt. Auch bei der späteren Verwendung fallen keinerlei klimawirksame Emissionen an, da keine Kohlenstoffverbindungen im Wasserstoff enthalten sind. Der Energiegehalt von Wasserstoff liegt, bezogen auf das Volumen, bei einem Drittel des Energiegehalts von Erdgas.

In Deutschland sind etwa 35 Elektrolyseure zur Herstellung von grünem Wasserstoff installiert. Bei diesen Anlagen handelt es sich jedoch zum Großteil um Demonstrations- und Forschungsprojekte. Eine zentrale Zielstellung von Forschungs- und Entwicklungsbemühungen ist die Senkung der Systemkosten.

Verwendung von Wasserstoff

Grüner Wasserstoff ist ein vielseitig nutzbarer Energieträger, für den es unterschiedliche Anwendungen gibt. Eine Möglichkeit besteht in der stofflichen Nutzung bei Industrieprozessen wie der Stahlherstellung. Dabei geht es vor allem darum, fossil erzeugten durch grünen Wasserstoff zu ersetzen. Daneben ist

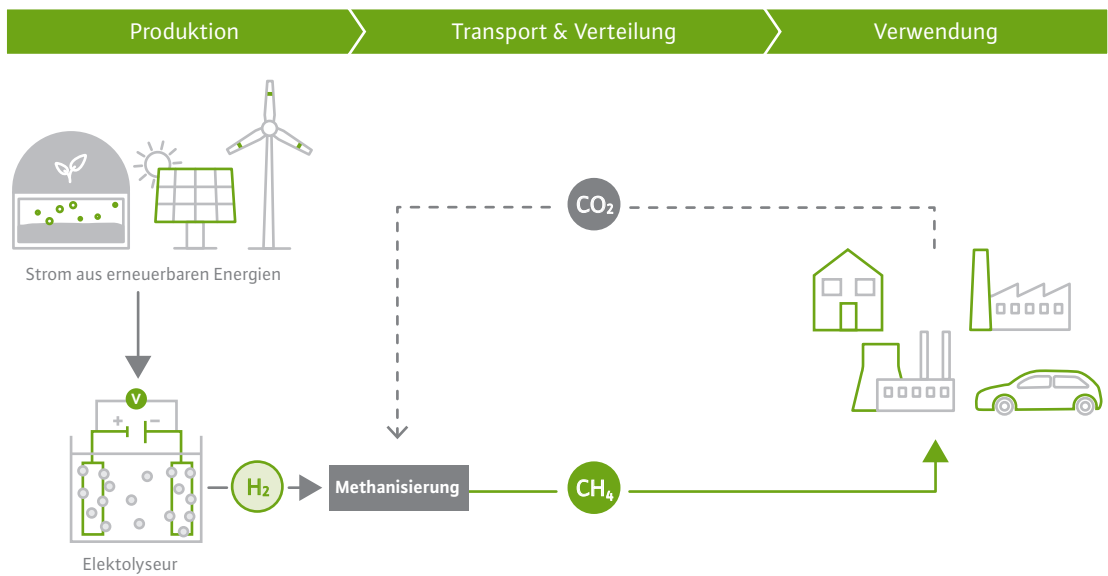
die energetische Nutzung von Wasserstoff mittels Brennstoffzelle möglich. In der Brennstoffzelle läuft der Elektrolyseprozess in entgegengesetzter Richtung ab, d. h. es wird Wasserstoff mit Sauerstoff in Verbindung gebracht. Dabei entstehen Strom, Wärme und als Nebenprodukt Wasser. Brennstoffzellen eignen sich sowohl für stationäre Anwendungen, z. B. zur Strom- und Wärmeproduktion im Haushalt, als auch für den mobilen Einsatz, also als Stromlieferant in elektrisch betriebenen Fahrzeugen.

Wasserstoff kann zudem in das Gasnetz eingespeist werden. Allerdings ist dies nicht unbegrenzt möglich, da andernfalls u. a. die brenntechnischen Eigenschaften des Mischgases im Gasnetz so sehr verändert werden, dass dies zu Problemen bei einigen angeschlossenen Anwendungen führen könnte. Die Begrenzung des Wasserstoffanteils ergibt sich im Wesentlichen aus den an das Gasnetz angeschlossenen Endverbrauchern. Besondere Beschränkungen bestehen z. B. bei Erdgastankstellen (zurückzuführen auf einen Teil der Tanks in den Erdgasfahrzeugen), Gasturbinen, untertägigen Erdgasspeichern und bei sensiblen Industrieanwendungen wie der Glasherstellung. Sind keine solchen Anwendungen an das Gasverteilnetz angeschlossen, wird ein Wasserstoffanteil von bis zu zehn Volumenprozent als unbedenklich angesehen.^[12] Aktuell werden verschiedene Untersuchungen durchgeführt, um einen höheren Anteil an eingespeistem Wasserstoff zu ermöglichen.

Methanisierung von Wasserstoff

Für eine uneingeschränkte Einspeisung des elektrisch erzeugten grünen Wasserstoffs in das Gasnetz ist eine nachgeschaltete Methanisierung notwendig. Dies erfolgt durch einen thermochemischen Prozess, bei dem Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff in Methan umgewandelt werden. Neben dem standardmäßigen Verfahren, bei dem ein metallischer Katalysator verwendet wird, existieren auch biologische Methanisierungsmöglichkeiten unter Einsatz von Mikroorganismen. Das für die Methanisierung benötigte CO₂ kann aus der Umgebungsluft absorbiert werden (Air Capture). Außerdem ist die Verwendung von Kohlenstoffdioxid möglich, welches bei der Biomethan-Aufbereitung entsteht. Der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Wasserstoff in Methan liegt im Bereich zwischen 70 und 85 %.^[13]

Das erzeugte Methan weist die gleichen Eigenschaften wie Erdgas auf und wird daher auch als synthetisches Erdgas (SNG = Synthetic Natural Gas) bezeichnet. Eine Einspeisung in das Erdgasnetz ist ohne Einschränkungen möglich. In Deutschland haben im Jahr 2017 sechs Anlagen synthetisches Erdgas eingespeist.^[14] Die technische Reife der katalytischen und biologischen Methanisierung wird auf den TRL 8 und 7 eingeordnet.^[10]



Grundprinzip der Herstellung und Nutzung von synthetischem Methan (SNG)

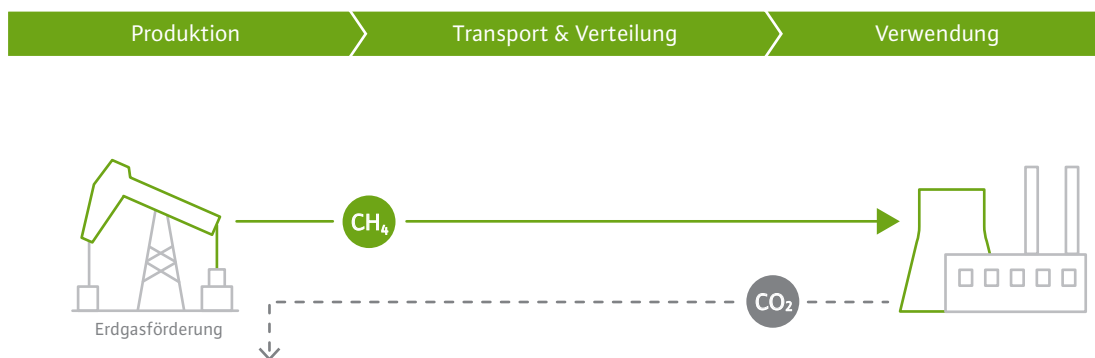
3.3 Weitere Ansätze zur CO₂-Reduktion

Abscheidung und Speicherung von Kohlenstoffdioxid

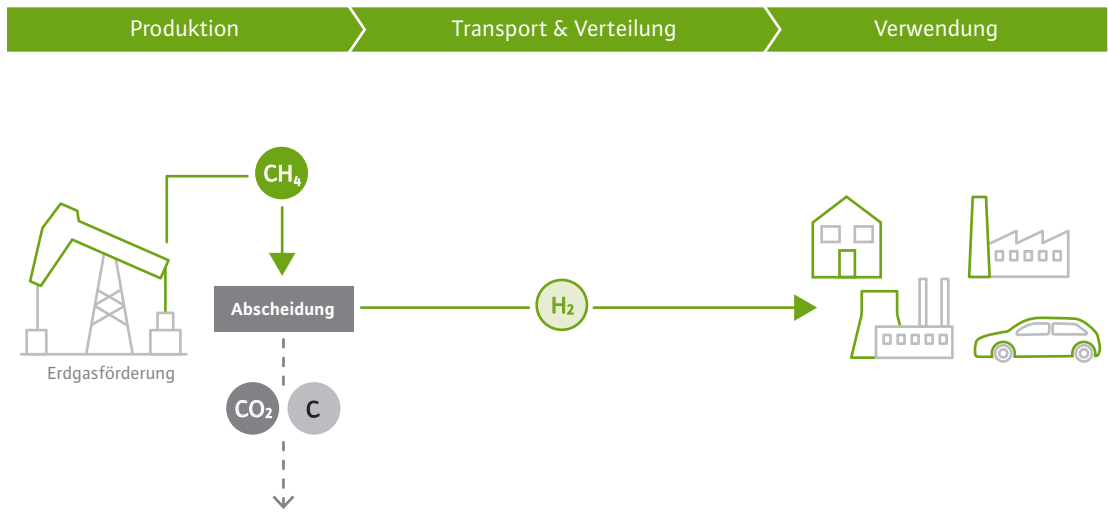
Neben der Herstellung von Biogasen und synthetischen Gasen ergeben sich auch Dekarbonsierungs-Potenziale für fossiles Erdgas aus der CO₂-Abscheidung. Anschließend kann das abgeschiedene CO₂ in tiefliegenden geologischen Strukturen eingelagert werden, eine Freisetzung in der Atmosphäre wird dadurch vermieden. Dieser Prozess ist unter dem Begriff Carbon Capture and Storage (CCS) bekannt. Zur Speicherung sind neben tiefliegenden salzwasserführenden Sandsteinschichten, sogenannten salinen Aquiferen, vor allem ehemalige Erdöl- und Erdgaslagerstätten geeignet. Vorteilhaft sind bei den ehemaligen Lagerstätten beispielsweise der hohe Kenntnisstand über geologische Eigenschaften aufgrund der Förderhistorie sowie ggf. noch vorhandene Förderinfrastrukturen. Besonders ehemalige Erdöl- und Erdgaslagerstätten unter dem Meeresboden bieten ein erhebliches Speicherpotenzial. Bei der Speicherung muss gewährleistet werden, dass die Sicherheit der Ressource Trinkwasser nicht gefährdet wird.

Die existierenden Abscheidetechnologien lassen sich in drei grundlegende Verfahren unterteilen: Post- und Pre-Combustion-Capture- sowie Oxyfuel-Verfahren. Beim Post-Combustion-Capture-Verfahren erfolgt die Abscheidung des CO₂ nach der Verbrennung aus dem Abgas mittels chemischer Absorption oder mittels membranbasierter Prozesse. Diese Abscheidetechnologie eignet sich vor allem im Anschluss an Industrie- oder Kraftwerksanwendungen, bei denen an einem Ort große Mengen CO₂ anfallen. Ebenso gestaltet es sich beim Oxyfuel-Verfahren, bei welchem im Verbrennungsprozess reiner Sauerstoff eingesetzt wird. Dadurch entsteht ein Abgas, welches ausschließlich aus Kohlenstoffdioxid und Wasser besteht. Das CO₂ kann anschließend durch Kondensation des Wassers separiert werden.

Bei beiden Abscheideverfahren ist zur Speicherung gegebenenfalls noch ein Transport des Kohlenstoffdioxids per Pipeline, Schiff oder Güterzug nötig, da sich die Speicherstätte nicht zwangsläufig in direkter Nähe zum Kraftwerk bzw. Industriebetrieb befindet.



Grundprinzip der Abscheidung und Speicherung von CO₂ nach der Verbrennung
(Post-Combustion-Capture- und Oxyfuel-Verfahren)



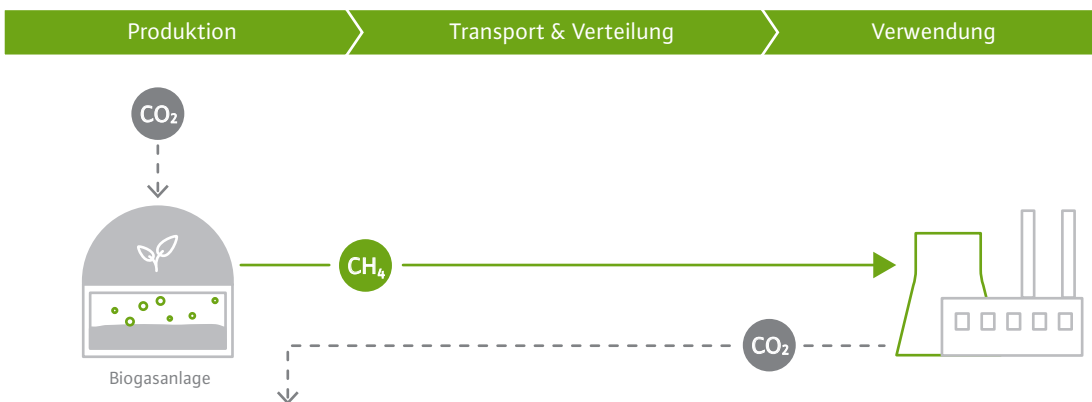
Grundprinzip der Abscheidung und Speicherung von CO₂ bzw. der Abscheidung von Kohlenstoff vor der Verbrennung (Pre-Combustion-Capture)

Beim Pre-Combustion-Capture erfolgt die Abscheidung des Kohlenstoffdioxids, anders als bei den anderen beiden Verfahren, vor dem eigentlichen Verbrennungsprozess, indem aus dem fossilen Rohstoff ein Synthesegas erzeugt wird. Bei Erdgas bietet sich hierfür vor allem die sogenannte Dampfreformierung an, wodurch Erdgas in Kohlenmonoxid und Wasserstoff umgewandelt wird. Das Kohlenmonoxid wird anschließend in Kohlenstoffdioxid überführt und abgetrennt, sodass reiner Wasserstoff als emissionsfreies Synthesegas vorliegt. Das erzeugte Synthesegas wird auch als blauer Wasserstoff bezeichnet. Pre-Combustion-Capture-Verfahren lassen sich idealerweise direkt bei der Förderung von Erdgas einsetzen, damit das abgeschiedene CO₂ in einen erschöpften Teil der Lagerstätte verbracht werden kann. Insbesondere in Norwegen gibt es hierzu bereits Forschungsprojekte zur Herstellung von blauem Wasserstoff und Speicherung von CO₂ unter dem Meeresboden.

Neben der Dampfreformierung existieren zwei weitere Verfahren zur Umwandlung von Methan in Wasserstoff, die sich jedoch beide noch im Erprobungs- bzw. Forschungsstadium befinden. Dabei handelt es sich zum einen um die sogenannte adiabatische Methanumwandlung, bei welcher keinerlei Wärmeaustausch mit der Umgebung erfolgt. Zum anderen haben Forscher vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) das Verfahren der sogenannten Pyrolyse entwickelt, bei dem Methan zusammen mit flüssigem Metall in einem Blasensäulenreaktor zu Wasserstoff und Kohlenstoff in reiner, elementarer Form reagiert.

Die Hauptverfahren des Post- und Pre-Combustion-Capture sind marktreif und werden bereits im großtechnischen Maßstab in der chemischen Industrie eingesetzt, sie können somit auf der TRL-Skala auf Stufe 9 verortet werden. Das Oxyfuel-Verfahren wird bisher vor allem in Pilotanlagen durchgeführt, was TRL 7 entspricht.^[5] Für die Speicherung des CO₂ in geologischen Lagerstätten bestehen in Abhängigkeit von der Art der Lagerstätte verschiedene Technologien, die sich in ihrer technologischen Reife unterscheiden und sich teilweise noch im Demonstrationsstadium befinden.

Eine besondere Variante der CO₂-Abscheidung und -Speicherung stellt sogenanntes Bio-Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS) dar. Hier wird der Abscheidungs-Pfad mit dem Biogas-Pfad kombiniert. Das bei der Biogasproduktion aus der Atmosphäre entnommene und bei der Biogasverbrennung wieder freierwirdende CO₂ wird abgeschieden und gespeichert. Dadurch erfolgt die Biogasnutzung nicht emissionsneutral, sondern mit einer negativen Emissionswirkung, da CO₂ aus der Atmosphäre entnommen und dieser dauerhaft entzogen wird.



Abscheidung und Speicherung von CO₂ aus Biogas (BECCS)

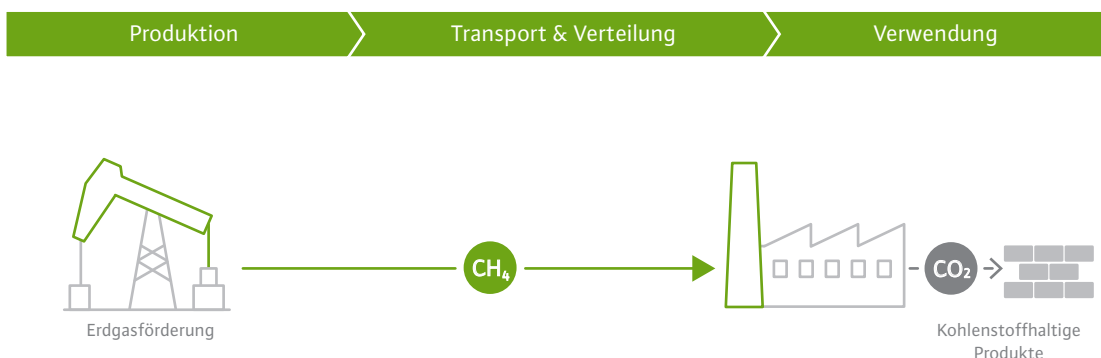
Die rechtliche Behandlung der CO₂-Abscheidung und -Speicherung ist in Deutschland im Kohlendioxid-Speicherungsgesetz (KSpG) geregelt. Demnach sind Anlagen zur Abscheidung von CO₂ gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) genehmigungsbedürftig. Die Speicherung ist nach derzeitiger geltender Rechtslage hingegen nur für Forschungs- und Demonstrationszwecke in begrenztem Maße erlaubt. Dabei ist sowohl die jährlich zu speichernde Menge an CO₂ in Deutschland insgesamt (vier Mio. Tonnen CO₂) als auch für einzelne Speichervorhaben limitiert (1,3 Mio. Tonnen CO₂).^[6] Für die Zulassung konkreter Speichervorhaben ist ein Planfeststellungsverfahren erforderlich. Die Zulassungsentscheidungen werden in Deutschland von den Behörden auf Länderebene getroffen. Zudem können Bundesländer laut KSpG von vornherein festlegen, in welchen Gebieten die Erprobung und Demonstration zulässig sein soll und in welchen nicht. Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und die Stadtstaaten haben im Zuge dessen ihre gesamte Landesfläche für die CO₂-Speicherung gesperrt.

Abscheidung und Nutzung von Kohlenstoffdioxid

Eine weitere Möglichkeit, abgeschiedenes CO₂ von der Atmosphäre fernzuhalten, besteht in der stofflichen Nutzung, was auch als Carbon Capture and Utilization (CCU) bezeichnet wird.

Kohlenstoffdioxid wird z. B. in der chemischen Industrie zur Herstellung organischer Produkte benötigt. Durch die stoffliche Verwendung von abgeschiedenem CO₂ in diesen Produkten wird zum einen der Bezug von Kohlenstoffdioxid aus fossilen Quellen vermieden und zum anderen der Zeitpunkt der Freisetzung des Treibhausgases verschoben. Daher sind langlebige Produkte wie beispielsweise Baumaterialien besonders gut für CCU-Anwendungen geeignet, da das CO₂ über mehrere Jahrzehnte gebunden wird.

Das abgeschiedene CO₂ kann auch zur Herstellung synthetischer Energieträger verwendet werden. Beispielfür hierfür ist die Aufbereitung von Wasserstoff zu synthetischem Erdgas (Methanisierung), welche in Abschnitt 3.2 dargestellt wurde. Besonders bei einer Ausweitung der elektrischen Erzeugung grüner Gase in Verbindung mit der Verwendung von abgeschiedenem Kohlenstoffdioxid ergibt sich ein relevantes Dekarbonisierungspotenzial.



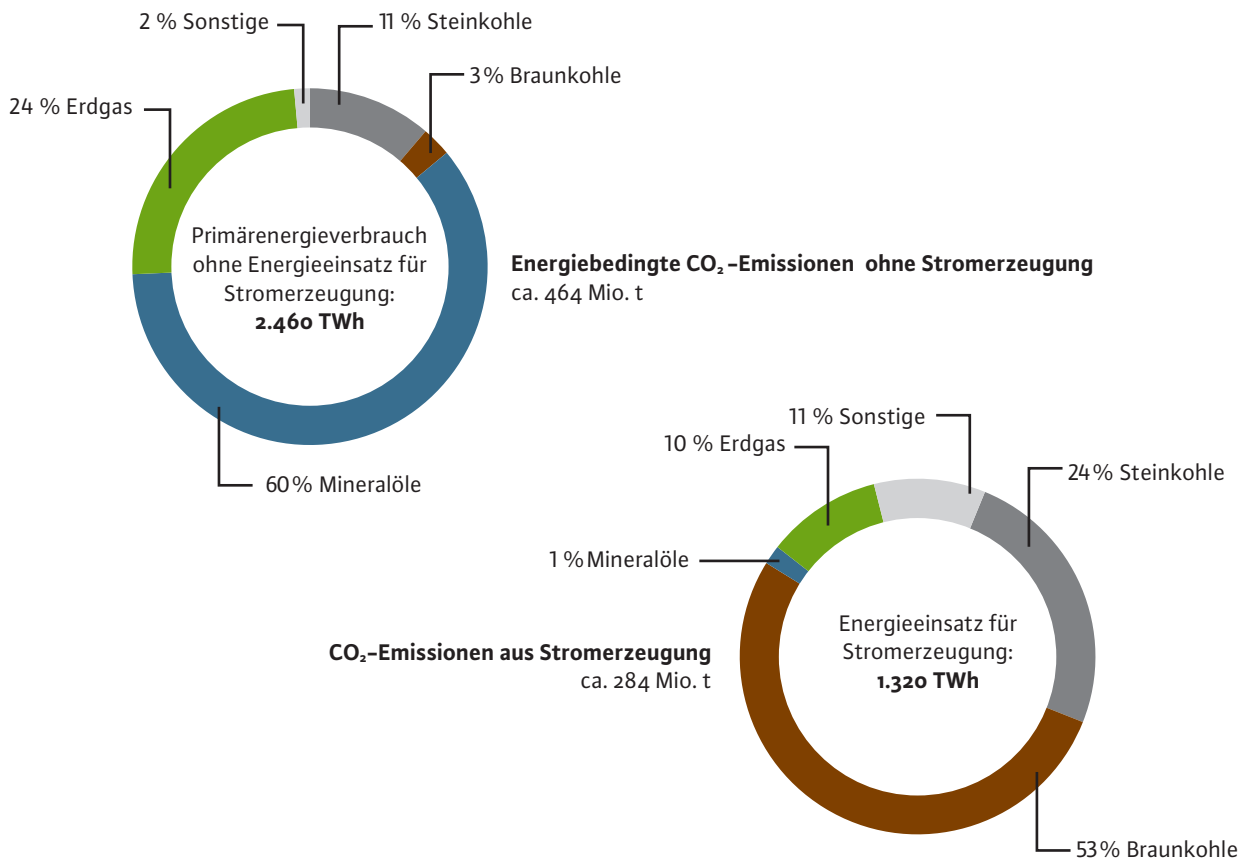
Grundprinzip der Nutzung fossiler Energieträger mit CCU

4. Grünes Gas und energiebedingte Emissionen

Dekarbonisierungspotenzial von grünem Gas

Grünes Gas hat ein erhebliches Dekarbonisierungspotenzial. Es kann einerseits in bestehenden Erdgasanwendungen dem Energieträger Erdgas beigemischt werden und diesen sukzessive ersetzen. Die Emissionen der substituierten Erdgasmenge werden dadurch vermieden. Darüber hinaus kann grünes Gas auch andere fossile Energieträger schrittweise ersetzen, z. B. Mineralölprodukte.

Grünes Gas kann im gesamten Energiesystem Verwendung finden. Das gilt zum einen für die Stromerzeugung. So wurden im Jahr 2017 ca. 175 TWh Erdgas zur Stromerzeugung eingesetzt.^[17] Langfristig können auch Braun- und Steinkohle in der Stromerzeugung durch grünes Gas ersetzt werden. Erhebliches Dekarbonisierungspotenzial durch grünes Gas gibt es auch außerhalb der Stromerzeugung, wo aufgrund insgesamt höherer Energiemengen auch höhere CO₂-Emissionen als in der Stromerzeugung anfallen. Die zeigt die folgende Abbildung.



Quelle: Umweltbundesamt, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Team Consult Analyse

Verteilung der Emissionen auf Energieträger in Deutschland (2017)

So kann grünes Gas dabei helfen, Erdgas im Gewerbe- und Haushaltskundensegment sowie das in der Industrie genutzte Erdgas zu ersetzen. Inwieweit und wie schnell dies geschieht, ist eher eine Frage der verfügbaren Mengen an grünem Gas, seiner Kosten sowie des ordnungspolitischen Rahmens, denn an den Endgeräten sind keine technischen Umrüstungen oder gar Austausche nötig.

Auf der Ebene der Endanwendungen spielt Gas im Gewerbe- und Haushaltssegment vor allem für die Wärmebereitstellung eine große Rolle. Im Jahr 2017 wurde hier Erdgas im Umfang von ca. 410 TWh verwendet.^[18] Dementsprechend hoch ist hier das Dekarbonisierungspotenzial durch den Einsatz von grünem Gas.

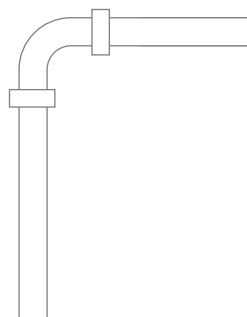
In der Industrie werden fossile Gase nicht nur energetisch, sondern auch stofflich genutzt und könnten durch grüne Gase substituiert werden. So liegt hier der jährliche Gasbedarf für Wärmeanwendungen, insbesondere Prozesswärme, bei ca. 255 TWh.^[18] Bei der stofflichen Nutzung spielt in der Industrie u. a. Wasserstoff eine große Rolle, welcher z. B. bei Prozessen in den Bereichen Glas, Metallurgie, Chemie und Lebensmittelverarbeitung in hohem Maße zum Einsatz kommt. Der jährliche Wasserstoffbedarf in Deutschland liegt bei ca. 20 Mrd. Normkubikmetern. Wasserstoff wird derzeit fast ausschließlich aus fossilen Rohstoffen hergestellt und ist mit dem Ausstoß von CO₂-Emissionen verbunden.^[19]

Die im Verkehrssektor eingesetzten Mineralölprodukte können zwar nicht ohne Weiteres durch grünes Gas ersetzt werden. Eine Dekarbonisierung mithilfe von grünem Gas könnte sich jedoch an einigen Stellen als einfacher und weniger aufwendig erweisen als eine direktelektrische Alter-

native. So sind heute bereits einige Schiffe und Lkw (im Schwerlastverkehr) im kommerziellen Einsatz, die mit verflüssigtem Erdgas (LNG) betrieben werden und dementsprechend auch mit verflüssigtem grünem Gas betrieben werden können. Auch erdgasbetriebene Pkw sind marktreif und in vielen Modellen verfügbar. Sie ermöglichen schon jetzt erhebliche Einsparungen von CO₂-Emissionen, Stickoxiden und Feinstaub. Stärkere Emissionsreduzierungen ergeben sich bei CNG (Compressed Natural Gas)-Fahrzeugen durch das Tanken von Bio-Erdgas, was bereits bei über 200 Tankstellen in Deutschland (als Beimischung oder zu 100 %) möglich ist. Auch Brennstoffzellenfahrzeuge, die mit Wasserstoff betrieben werden, sind von einzelnen Herstellern serienmäßig erhältlich. Die entsprechende Wasserstoffinfrastruktur umfasst derzeit ca. 60 Tankstellen in Deutschland.

Bei den Alternativen zu Mineralölprodukten hängt es sicher auch vom Anwendungsgebiet ab (Flugverkehr, Seeverkehr, Schienenverkehr, Straßenverkehr, letzterer für Last- oder Personentransporte etc.), welche Wege der Dekarbonisierung sich am Ende durchsetzen werden. Grünes Gas steht hier nicht nur mit der E-Mobilität, sondern auch mit erneuerbaren flüssigen Brennstoffen (sog. E-Fuels aus Power-to-Liquids-Anlagen) im Wettbewerb. Einschlägige Studien zu diesem Thema arbeiten meist mit einem breiten Spektrum an verschiedenen Szenarien.

Grünes Gas hat damit das Potenzial, in allen Sektoren erhebliche Beiträge zur Dekarbonisierung der Energieversorgung zu leisten.

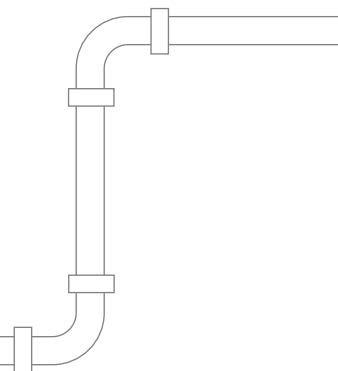


**Optimierungs- und Synergieeffekte
durch Nutzung von grünem Gas**

Aufgrund der vorhandenen Gasinfrastruktur mit unterirdischen Speicheranlagen hat grünes Gas das Potenzial, mittels Power-to-Gas-Technologie als großvolumiger übersaisonalen Langzeitspeicher für erneuerbaren Strom zu dienen. Dies ist insbesondere für die Flexibilisierung der Stromerzeugung relevant, da somit die unvermeidliche Fluktuation der Stromerzeugung aus Wind und Sonne ausgeglichen werden kann (ohne dass fossile Energieträger eingesetzt werden müssen). So können Biomethan und synthetisches Erdgas, welche in das Gasnetz eingespeist und gespeichert werden, in Zeiten mit geringer erneuerbarer Stromerzeugung als CO₂-neutrale Energieträger im Stromsystem genutzt werden.

Die Speicher- und somit auch Transportfähigkeit von grünem Gas eröffnet auch die Möglichkeit, erneuerbare Energien deutlich stärker als bisher zu importieren. So kann beispielsweise Solarstrom aus sonnenreichen Regionen, wie dem Mittleren Osten oder Nordafrika, über die Umwandlung in grünes Gas in Deutschland nutzbar gemacht werden. Der Transport kann entweder über bestehende Pipelines oder in Spezialbehältern per Schiff in Form von LNG erfolgen.

Grünes Gas kann aufgrund flexibler Einsetzbarkeit und reversibler Umwandlungsmöglichkeiten als Bindeglied zwischen verschiedenen Sektoren dienen. Beispielhaft hierfür sind Power-to-Gas-Anlagen in Kombination mit einem BHKW, woraus sich die Möglichkeit ergibt, je nach Bedarf entweder Strom in Wasserstoff umzuwandeln oder Strom aus Wasserstoff zu erzeugen. Dadurch ist eine Verknüpfung von Strom-, Gas-, Wärme- und Verkehrssektor deutlich stärker möglich, als es bisher der Fall ist.



5. Zusammenfassung

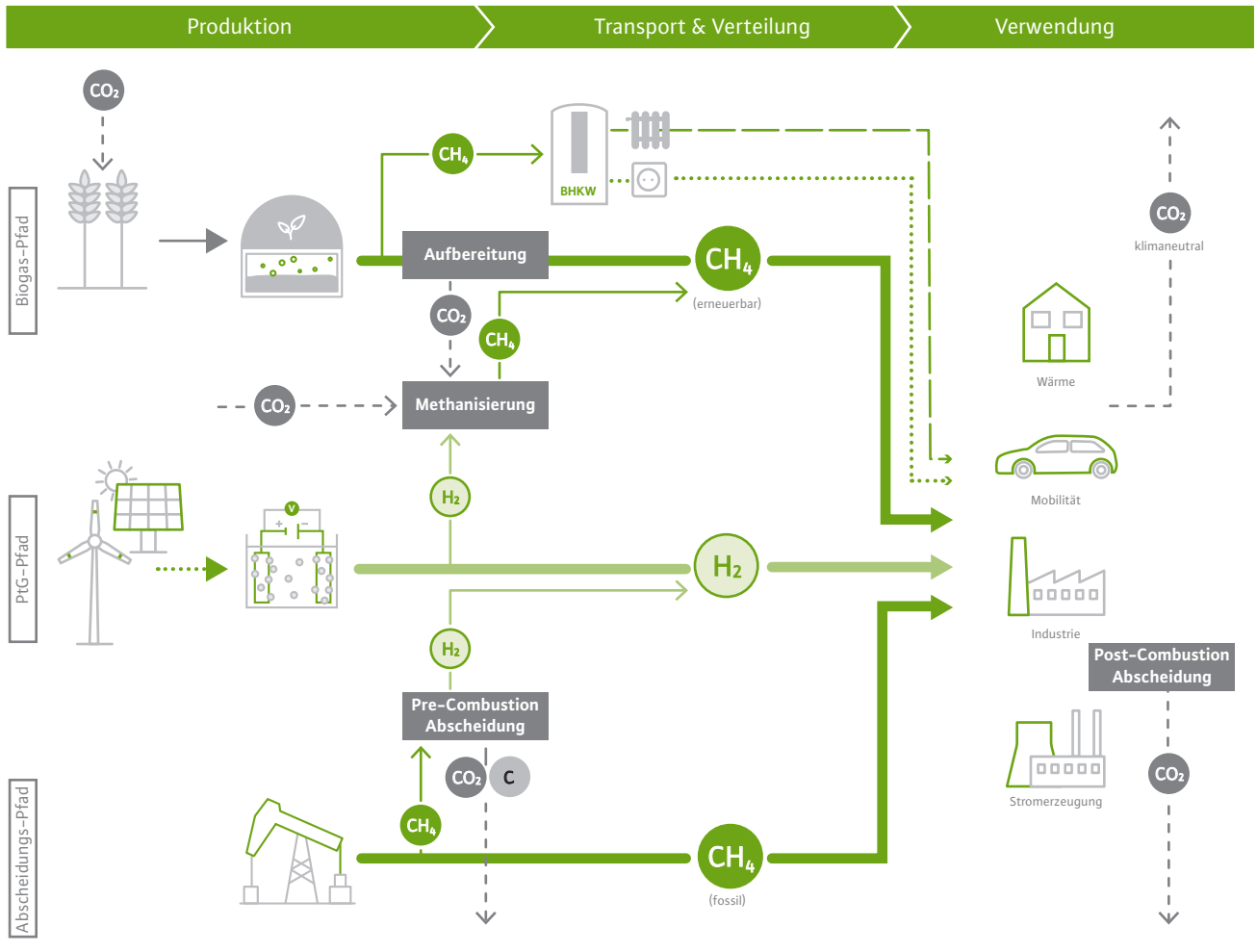
Um eine Senkung der CO₂-Emissionen um 80 bis 95 % gegenüber 1990 bis zum Jahr 2050 zu erreichen, ist ein grundlegender Wandel des Energieversorgungssystems nötig. Neben der Reduktion des Energieverbrauchs ist hierbei vor allem die Nutzung von erneuerbaren Energien gemeint.

Erdgas ist ein wichtiger integraler Bestandteil des deutschen Energieversorgungssystems. Es wird in den verschiedensten Sektoren verwendet. Infrastrukturen für den Transport, die Speicherung und die Umwandlung von Energie sind zum großen Teil auf Erdgas ausgerichtet. Im Zuge der angestrebten Dekarbonisierung des Energiesystems müssen die bei der Verbrennung von Erdgas anfallenden Emissionen – wie auch die aller anderen Energieträger – vermieden oder neutralisiert werden.

In diesem Kompendium wurde aufgezeigt, welche Dekarbonisierungsmöglichkeiten für die Gaswirtschaft bestehen. Im Wesentlichen sind dies:

- die Nutzung von Biogas,
- die Nutzung von synthetischen, aus erneuerbarem Strom erzeugten Gasen,
- die Abscheidung von Kohlenstoffdioxid bzw. Kohlenstoff bei der Erdgasgewinnung oder nach der Verbrennung und die anschließende, dauerhafte Verbringung von Kohlenstoffdioxid in geologischen Lagerstätten bzw. die stoffliche Nutzung von Kohlenstoff.

Diese Dekarbonisierungspfade inklusive der jeweils genutzten Technologien sowie der zum Einsatz kommenden Gase sind in der folgenden Abbildung dargestellt.



Dekarbonisierungspfade für Gase

Biogas entsteht durch die Vergärung von Energiepflanzen oder organischen Reststoffen in Biogasanlagen. Es kann entweder am Ort der Herstellung mittels BHKW direkt zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt werden oder auf Erdgasqualität aufbereitet und ins Gasnetz eingespeist werden, wo es dem Erdgas beigemischt wird. Es erreicht damit alle derzeit auf Erdgas basierenden Endanwendungen in Haushalten, Gewerbe, Industrie und Kraftwerken. Heute werden bereits erhebliche Biogasmengen in Deutschland erzeugt, von denen ein Großteil für die Vor-Ort-Verstromung genutzt und ein kleiner Teil nach Aufbereitung zu Biomethan ins Gasnetz eingespeist wird. Biogas enthält Kohlenstoff, der sich jedoch in einem Kreislauf befindet und daher das Klima nicht belastet – *zuerst* wird CO₂ beim Pflanzenwachstum der Atmosphäre entnommen, in erneuerbares Gas umgewandelt und bei der Verbrennung wieder freigesetzt. Unterm Strich gibt es daher nahezu keine zusätzlichen CO₂-Emissionen.

Die Power-to-Gas-Technologie erzeugt unter Nutzung erneuerbaren Stroms synthetische Gase. Im ersten Schritt wird Wasserstoff erzeugt, der als Energieträger oder auch stofflich direkt genutzt werden kann. In diesem Fall ist kein Kohlenstoff beteiligt, sodass es hier auch keinen Kohlenstoffkreislauf gibt. Anstelle der direkten Nutzung von grünem Wasserstoff kann dieser auch zu Methan weiterverarbeitet werden, wozu CO₂ erforderlich ist. Damit das so erzeugte Methan klimaneutral ist, muss das zur Herstellung verwendete CO₂ entweder zuvor der Atmosphäre entnommen worden sein (Air Capture), einem Abgasstrom oder einer Biogasanlage entstammen. Im Fall der Methanisierung gibt es – genau wie beim Biogas – einen klimaneutralen Kohlenstoffkreislauf.

Es gibt in Deutschland etwa 35 in Betrieb befindliche Power-to-Gas-Anlagen. Bisher wurden im Rahmen von Demonstrations- und Pilotprojekten Anlagen überwiegend im kleinen Maßstab von bis zu sechs Megawatt errichtet. Für eine Nutzung im größeren Maßstab besteht aufgrund verschiedener Faktoren (fehlende Anreize, regulatorische Rahmenbedingungen) aktuell keine wirtschaftliche Grundlage. Potenzial gibt es aber in dem Maße, wie erneuerbarer Strom in entsprechender Menge erzeugt werden kann.

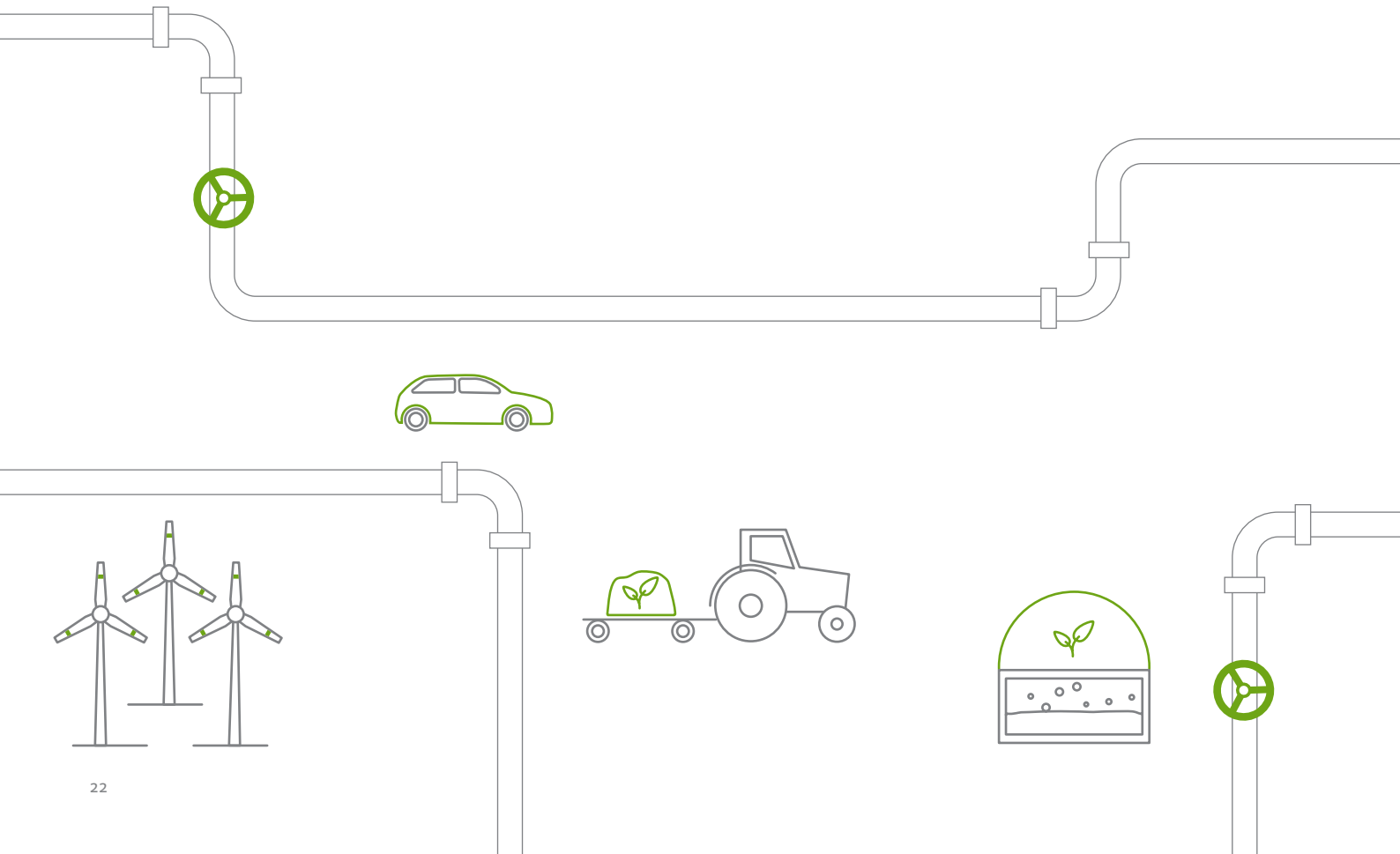
Beim Abscheidungspfad wird Erdgas gefördert und energetisch genutzt. Der beteiligte Kohlenstoff wird als CO₂ abgeschieden und in eine geologische Lagerstätte verbracht. Dieses CO₂ wird damit dauerhaft von der Atmosphäre ferngehalten. Sowohl für die Abscheidung selbst als auch für die Verbringung des CO₂ in geologischen Lagerstätten gibt es verschiedene Technologien mit unterschiedlichem Reifegrad. Potenzial gibt es vor allem bei der Pre-Combustion-Abscheidung, also wenn z. B. Kohlenstoff aus dem Erdgas direkt an der Lagerstätte durch Dampfreformierung abgeschieden und als CO₂ gleich wieder in die Lagerstätte verbracht wird. Als Energieträger wird dann der bei der Dampfreformierung erzeugte Wasserstoff genutzt.

Insgesamt tragen grüne Gase schon heute – vor allem in Form von Biogas und Bio-Erdgas – zu einem zunehmend klimaschonenden Energiesystem bei. Ihr weiterer Ausbau bietet verschiedene Vorteile.

Zu diesen gehören insbesondere

- die weitere Dekarbonisierung gasbasierter Endanwendungen ohne Austausch von Endgeräten,
- die Möglichkeit zur Speicherung erneuerbaren Stroms in großen Mengen und über längere Zeiträume in Form von Wasserstoff oder SNG,
- eine (weitere) Möglichkeit zur Erschließung des Verkehrs, vor allem des maritimen Verkehrs und des straßengebundenen Schwerlastverkehrs, für erneuerbare Energien sowie
- die klimaneutrale Befeuerung von Backup-Kapazitäten zur Stromerzeugung in Zeiten, in denen nicht genügend erneuerbarer Strom erzeugt werden kann.

Glossar und Endnoten



Aminwäsche

Chemischer Prozess zur Abtrennung u. a. von Kohlenstoffdioxid aus einem Gasgemisch mittels organischer Lösungsmittel

BECCS

Bio-Energy with Carbon Capture and Storage – Abscheidung von CO₂, welches durch biogene Energieträger der Atmosphäre entnommen wurde und anschließend dauerhaft in unterirdischen Lagerstätten gespeichert wird

Biogas

Biogas als Brenngas ist ein Naturprodukt. Es entsteht bei der anaeroben Vergärung von Biomasse – unter Ausschluss von Sauerstoff und Licht. Als organisches Ausgangsmaterial dienen unter anderem nachhaltig und gewässerträglich angebaute Energiepflanzen, tierische Exkremente (Gülle, Mist) sowie kommunale und industrielle Abfall- und Reststoffe. Dieses (Roh-)Biogas ist ein brennbares Gasgemisch mit einem Methangehalt (CH₄) zwischen 42 und 75 %. Weitere Hauptbestandteile sind Kohlenstoffdioxid (CO₂), Schwefelverbindungen und Wasser.

Biomethan

Biomethan, auch Bio-Erdgas genannt, ist aufbereitetes Biogas, welches nach der Aufbereitung (Trocknung, CO₂-Abscheidung und Entschwefelung) die gleichen chemischen und brenntechnischen Eigenschaften wie Erdgas im öffentlichen Gasnetz besitzt und daher als Ersatz für Erdgas in das öffentliche Gasnetz eingespeist werden kann.

Blauer Wasserstoff

Aus Erdgas unter Verwendung von Kohlenstoffabscheidungs-Technologien hergestellter Wasserstoff

Blockheizkraftwerk (BHKW)

Anlage, typischerweise ein Motor, zur Stromerzeugung bei gleichzeitiger Nutzung der Wärme. Blockheizkraftwerke werden insbesondere zur dezentralen Wärme- und Stromerzeugung eingesetzt, wobei die Anlagenleistungen i. d. R. im unteren bis mittleren Größenbereich liegen.

Brennstoffzelle

Anlage, in der aus Wasserstoff und Sauerstoff in einer kontrollierten Reaktion Strom, Wärme und Wasser gewonnen werden

CCS

Carbon Capture and Storage – Abscheidung von CO₂ aus fossilen Energieträgern und anschließende dauerhafte Speicherung in unterirdischen Lagerstätten

CCU

Carbon Capture and Utilization – Abscheidung von CO₂ aus fossilen Energieträgern und anschließende Verwertung, z. B. durch eine stoffliche Nutzung in Produktionsprozessen

CO₂ (Kohlenstoffdioxid)

Chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff, welche natürlicher Bestandteil der Atmosphäre ist, aber auch bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe entsteht und zur Verstärkung des Treibhauseffekts und damit zur Erderwärmung beiträgt

CO₂-Äquivalente

Maßeinheit für die Erderwärmungswirkung von verschiedenen Treibhausgasen im Vergleich zu Kohlenstoffdioxid

Dampfreformierung

Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff aus kohlenstoffhaltigen Energieträgern (insb. Erdgas). Der Energieträger reagiert dabei mit Wasserdampf bei hohen Temperaturen zu Wasserstoff und Kohlenmonoxid.

Druckwasserwäsche (DWW)

Verfahren zur Entfernung von Kohlenstoffdioxid und Schwefel aus Biogas, bei dem die unterschiedliche Löslichkeit von Methan und Kohlenstoffdioxid in Wasser ausgenutzt wird

Druckwechseladsorption (PSA)

Verfahren zur Entfernung von Kohlenstoffdioxid und Schwefel aus Biogas, bei dem Aktivkohlen und Molekularsiebe eingesetzt und Komprimierungs- und Entspannungsprozesse durchgeführt werden

Durchwachsene Silphie

Pflanzenart, die u. a. aufgrund ihrer Toleranz gegenüber Trockenheit, ihrer hohen Biomasseproduktion und mehrjährigen Standzeit als Substrat bei der Biogaserzeugung verwendet wird

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Regelt die bevorzugte Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Quellen (Wind, Biomasse, Solar etc.) in das Stromnetz und garantiert deren Erzeugern Einspeisevergütungen

Emissionen

Abgabe von Stoffen, Wärme, Strahlung, Geräuschen aus einer Anlage in die Umwelt. Häufig im Zusammenhang mit schädlichen, allgemein unerwünschten Ausstößen verwendet

Emissionen (direkt)

Emissionen, die unmittelbar bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern anfallen

Emissionen (indirekt)

Emissionen, die vor der eigentlichen Verbrennung und im Zuge von Erzeugung, Aufbereitung und Transport von Energieträgern anfallen

Elektrolyse

Aufspaltung von chemischen Verbindungen mithilfe von elektrischer Energie. Im Power-to-Gas-Kontext ist konkret die Aufspaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff gemeint. Im Wesentlichen unterscheidet man zwischen drei Verfahren:

- alkalische Elektrolyse,
- PEM-Elektrolyse, (Proton Exchange Membrane)
- Festoxid-Elektrolyse (SOEC = Solid Oxide Electrolysis Cell).

Erdgas

Brennbares fossiles Gasgemisch, dessen Hauptbestandteil Methan ist und das in unterirdischen Lagerstätten vorkommt. Es ist zum Teil vor über 500 Mio. Jahren entstanden und von Natur aus farblos, ungiftig und geruchlos.

Feinstaub

In der Luft befindliche feste Teilchen mit einem Durchmesser von wenigen Mikrometern, die nicht sofort zu Boden sinken, sondern eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen. Eine erhöhte Feinstaubbelastung stellt ein Gesundheitsrisiko dar.

Fermentation

Prozessschritt bei der Biogas-erzeugung, bei dem organische Stoffe (Substrate) durch Hinzugabe von Mikroorganismen oder Enzymen in Säuren und Gase umgewandelt werden

Fermenter

Luftdichter, wärmeisolierter und beheizter Beton- oder Stahlbehälter, in dem Vergärungsprozesse von Biomasse zur Biogasherstellung stattfinden

Grüner Wasserstoff

Wasserstoff, der unter der Verwendung erneuerbarer Energien (z. B. Wind, Biomasse, Solar) aus der Aufspaltung von Wasser gewonnen wurde, z. B. mittels Elektrolyse. Die Herstellung und spätere Verwendung des Wasserstoffs ist somit frei von CO₂-Emissionen.

Immissionen

Einwirkung von Emissionen auf Mensch und Umwelt. Dies umfasst Emissionen, die sich in der Luft, im Wasser oder auf dem Boden ausgebreitet oder auch chemisch oder physikalisch umgewandelt haben.

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Gleichzeitige Erzeugung und gezielte Nutzung von Strom und Wärme in einer Umwandlungseinheit (Motor, Brennstoffzelle etc.)

LNG (Liquefied Natural Gas)

Erdgas, das durch Abkühlung auf unter 160°C verflüssigt wird und dadurch stark komprimiert wird. Es kann aufgrund des geringen Volumens (ca. 1/600 des gasförmigen Zustands) in Spezialbehältern z. B. per Schiff transportiert werden. LNG kann im flüssigen Zustand oder, nachdem es regasifiziert wurde, im gasförmigen Zustand genutzt werden.

Methan

Chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Wasserstoff (CH₄) und Hauptbestandteil von Erdgas. Der Energiegehalt beträgt ca. zehn kWh/m³.

Methanisierung

Chemischer Prozess zur Aufbereitung von Wasserstoff zu Methan durch Hinzunahme von Kohlenstoffdioxid. Der Prozess kann entweder mithilfe eines Katalysators oder unter Einsatz von Mikroorganismen erfolgen.

Methanschlupf

Entweichen von Methan aufgrund von Leckagen an Förder-, Transport- oder Verbrennungsanlagen sowie am Fermenter

Mikroorganismen

Mikroskopisch kleine Organismen, die aus einzelnen Zellen oder Zellaggregaten bestehen, wie beispielsweise Bakterien

Nachwachsende Rohstoffe (NawaRo)

Organische, meist pflanzliche Rohstoffe aus Forst- und Landwirtschaft. Beispiele sind Energiepflanzen wie Raps, Mais, Weizen, Gras oder Blühpflanzen

Oxyfuel-Verfahren

Verbrennungsverfahren, bei dem reiner Sauerstoff eingesetzt wird, wodurch ein Abgas entsteht, das ausschließlich Kohlenstoffdioxid und Wasser enthält

Post-Combustion-Capture

Abscheidung von Kohlenstoffdioxid nach der Verbrennung und am Ort der Verbrennung von fossilen Energieträgern, um das CO₂ für CCS oder CCU zu nutzen

Power-to-X (PtX)

Überbegriff für alle Umwandlungspfade von elektrischer Energie in andere gasförmige (Power-to-Gas) oder flüssige Energieträger (Power-to-Liquids), aber auch in Wärme (Power-to-Heat)

Power-to-Gas (PtG)

Umwandlung von elektrischer in chemische Energie in Form von Wasserstoff oder Methan mittels Elektrolyse

Pre-Combustion-Capture

Abscheidung von Kohlenstoffdioxid von fossilen Energieträgern vor der Verbrennung. Der Energieträger wird in ein emissionsfreies Synthesegas und CO₂ zerlegt.

Stickoxid (NOx)

Luftschadstoff, der durch chemische Reaktionen von Stickstoff mit Sauerstoff entsteht. Stickoxide sind oftmals ein Nebenprodukt bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen.

Substrat

Organisches Ausgangsmaterial, welches mittels Vergärung zur Biogas-erzeugung verwendet wird. Dazu zählen Energiepflanzen, tierische Exkremente (Gülle, Mist) sowie kommunale und industrielle Abfall- und Reststoffe.

Synthetic Natural Gas (SNG)

Synthetisches Gas, dessen chemische Eigenschaften identisch mit Erdgas sind. Als Ausgangsstoff dient Wasserstoff, aus welchem unter Hinzunahme von Kohlenstoffdioxid Methan erzeugt wird.

Treibhausgase

Gasförmige Bestandteile der Atmosphäre, die den Treibhauseffekt verursachen und somit zur Erderwärmung beitragen.

CO₂-Vermeidungskosten

Kosten, die für die Reduzierung einer bestimmten Menge an CO₂-Emissionen mittels einer bestimmten Technologie anfallen

Wasserstoff

Chemisches Element (atomar: H bzw. molekular: H₂), bei Zimmertemperatur ein farb- und geruchloses sowie brennbares Gas mit einem Energiegehalt von ca. 3 kWh/m³

- [1] Deutsche Energie-Agentur, Zukünftige Biomethanpotenziale, Berlin, 2017
- [2] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., Berlin 2019
- [3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Basisdaten Bionergie Deutschland 2018, Gülzow-Prüzen, 2018
- [4] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Potenzialstudie zur nachhaltigen, Erzeugung und Einspeisung gasförmiger, regenerativer Energieträger in Deutschland, Bonn, 2013
- [5] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., Bio-Erdgas: Fragen, Antworten und Argumente, Berlin, 2015
- [6] Fachverband Biogas e. V., Branchenzahlen 2017 und Prognose der Branchenentwicklung 2018, Freising, 2018
- [7] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Leitfaden Biogas – Von der Gewinnung zur Nutzung, Gülzow-Prüzen, 2016
- [8] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., Entwicklung der Einspeisekapazitäten und der ins Erdgasnetz eingespeisten Bio-Erdgasmengen, Berlin, 2019
- [9] DVGW, Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz, Bonn, 2013
- [10] Deutsche Energie-Agentur, Power to X: Technologien, Berlin, 2018
- [11] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Studie IndWEDe – Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme, Berlin, 2018
- [12] DVGW, Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusive aller assoziierten Anlagen, Bonn, 2014
- [13] Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, Technologiebericht 4.2a Power-to-gas (Methanisierung chemisch-katalytisch), Stuttgart, 2018
- [14] Bundesnetzagentur, Monitoringbericht 2018, Bonn, 2018
- [15] Global CCS Institute, The Global Status of CCS 2012, Melbourne, 2012
- [16] Deutsche Akademie für Technikwissenschaften, CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie, München, 2018
- [17] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V., Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2017, Berlin, 2018
- [18] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V., Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2017, Berlin, 2018
- [19] Hydrogeit, <http://www.hydrogeit.de/wasserstoff.htm>, zuletzt aufgerufen am 07.02.2019
- [20] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., Beitrag der Erneuerbaren Energien zur Deckung des Stromverbrauchs in Deutschland, Stand 12/2018, Berlin, 2018
- [21] Mai Bui et al., Carbon capture and storage (CCS): the way forward, Energy & Environmental Science, London, 2018



Energie. Wasser. Leben.

Herausgeber

BDEW Bundesverband der Energie- und
Wasserwirtschaft e. V.
Reinhardtstraße 32
10117 Berlin

Telefon +49 30 300199-0
Telefax +49 30 300199-3900
E-Mail info@bdew.de
www.bdew.de

Ansprechpartnerin BDEW

Ilka Gitzbrecht
Abteilungsleiterin Vertrieb, Versorgungssicherheit und
gasspezifische Fragen
Telefon +49 30 300199-1250
E-Mail ilka.gitzbrecht@bdew.de

TEAM CONSULT

Gas.Power.Experience.

Erstellung

Team Consult G.P.E. GmbH
Robert-Koch-Platz 4
10115 Berlin

Telefon +49 30 400556-0
E-Mail info@teamconsult.net
www.teamconsult.net

Ansprechpartner

Jens Völler
E-Mail jv@teamconsult.net

Grafiken und Satz

glutrot GmbH
www.glutrot.de

Finanzierung

durch Gemeinschaftsaktion Gas

Stand: April 2019
(grafisch aktualisiert November 2019)

