

# **CO<sub>2</sub>-Abscheidung: Potenzial aus Biomasseanlagen**

## **Kurzstudie zur Potenzialabschätzung für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung in Biomasseanlagen (Holzenergie-, Biogas- und Biokraftstoffanlagen) in Deutschland**

**Erstellt für:** Bundesverband Bioenergie e.V. (BBE)

**EUREF-Campus 16  
10829 Berlin**

**Erstellt von:**

**SEEGER ENGINEERING GMBH  
Herrn Tim Steindamm  
Industriestraße 25 – 27  
37235 Hessisch Lichtenau**

**Erstellt im:**

**Oktober 2023**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzzusammenfassung / Abstract .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Einführung: Warum CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Biomasse? .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Betrachtungsrahmen .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Potenzialermittlung .....</b>	<b>7</b>
	4.1 Abscheidetechnik .....	8
	4.2 Biomasse.....	8
	4.3 Anlagenpark .....	10
<b>5</b>	<b>Ergebnis.....</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>15</b>
	<b>Anlage Quellenverzeichnis .....</b>	<b>16</b>
	<b>Anlage Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>17</b>
	<b>Anlage Grafische Darstellung .....</b>	<b>17</b>

## 1 Kurzzusammenfassung / Abstract

Um Treibhausgasneutralität im Jahr 2045 bzw. 2050 zu erreichen, wird es nötig sein, unvermeidbare Restemissionen durch Entzug von Treibhausgasen aus der Atmosphäre auszugleichen. Die Abscheidung biogener CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Biomassenutzung kann einen wichtigen Beitrag für negative Emissionen leisten. Die Kurzstudie ermittelt hierzu überschlägig realistische Potenziale, so dass darauf aufbauend weitergehende Untersuchungen (z.B. zur ökonomischen Bewertung der Handlungsoptionen) erfolgen können.

Als Ergebnis der Potenzialanalyse wurde, basierend auf ausgewählten Anlagen des heutigen Biomasse-Anlagenparks, ein CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenzial von in Summe 13,1 Mio. t CO<sub>2</sub>/a ermittelt (anlagenbezogener Ansatz). Über diese konservative Abschätzung hinaus wäre die Berücksichtigung eines realistischen Anlagen-Zubaus und Weiterentwicklung je nach Biomasse-Segment zielführend. Basierend auf den Annahmen ist hierbei ein CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenzial von in Summe 30,1 Mio. t CO<sub>2</sub>/a realistisch (biomassebezogener Ansatz). Legt man optimistisch CO<sub>2</sub>-Restemissionen von nur 49 Mio. t CO<sub>2</sub>/a zugrunde, so könnten 61% der unvermeidbaren Restemissionen durch die CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Biomasseanlagen dem Kohlenstoffkreislauf entnommen werden. CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Biomasse wird derzeit in Deutschland noch kaum realisiert, kann jedoch langfristig einen erheblichen Beitrag zur Erreichung der Klimaneutralität leisten. Es wird daher empfohlen, CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Vergleich zu Handlungsalternativen weiter zu untersuchen.

## 2 Einführung: Warum CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Biomasse?

Deutschlands Emissionen von Treibhausgasen (THG) lagen 2022 bei rund 746 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten<sup>1</sup>. Da der Hauptteil davon (84,9%) mit rund 633 Mio. t CO<sub>2</sub>-äq<sup>2</sup> auf energiebedingte Emissionen entfällt, kommt dem Ausbau Erneuerbarer Energieträger im Bereich Strom, Mobilität und Wärme eine besondere Rolle zu. Dennoch wird es Deutschland auch bei großen Ausbauanstrengungen nicht gelingen, alle Treibhausgasemissionen vollständig zu vermeiden: Je nach

<sup>1</sup> UBA (abgerufen am 29.9.2023): Treibhausgasemissionen in Deutschland. <https://bit.ly/3ZERhqC>

<sup>2</sup> ebd.

Studie beläuft sich die Höhe an verbleibenden (unvermeidbaren) Restemissionen auf 49-74 Mio. t CO<sub>2äq</sub>/Jahr<sup>3,4,5</sup>. Das Bundesklimaschutzgesetz sieht vor, dass eine Treibhausgasenke in Höhe von 45Mio. t CO<sub>2</sub> in 2045 im Bereich Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) in 2045 erreicht werden soll, um Klimaneutralität zu erreichen. Neben der natürlichen Senkenleistung von Wäldern und landwirtschaftlichen Flächen kann bei der Nutzung von Bioenergie der freiwerdende Kohlenstoff in Form von CO<sub>2</sub> abgeschieden und geologisch gespeichert werden (*Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS*). Weitere Optionen für negative Emissionen sind u.a. die Erzeugung von Pflanzenkohle sowie die direkte Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Luft mit anschließender Speicherung (*Direct Air Carbon Capture and Storage, DACCS*). Letztere Technologie ist derzeit allerdings noch in der Entwicklungsphase und mit hohen Kosten bei gleichzeitig geringen Erträgen verbunden.

Pflanzen bedienen sich der Photosynthese, um unter Nutzung von atmosphärischem CO<sub>2</sub>, Wasser und Sonnenlicht Biomasse aufzubauen. Der in der Biomasse gebundene Kohlenstoff wird bei Vollendung des Lebenszyklus durch Verrottung wieder der Atmosphäre zugeführt. Er kann aber auch in Form von fester Biomasse, Biogas, Biokraftstoffen oder grünem (biogenem) Wasserstoff zu jedem beliebigen Zeitpunkt als Wärme, Elektrizität, Prozess- oder Antriebsenergie nutzbar gemacht werden. BECCS bezeichnet die Gesamtheit aller Technologien, welche CO<sub>2</sub> im Prozess der Energiegewinnung aus Biomasse auffangen und speichern. Im Gegensatz zu CCU (*Carbon Capture and Utilization*) wird das CO<sub>2</sub> bei CCS-Technologien nicht wieder der Atmosphäre zugeführt. *Carbon Dioxide Removal (CDR)* steht hierbei als Oberbegriff für alle natürlichen oder technischen Verfahren, bei denen CO<sub>2</sub> der Atmosphäre entzogen wird. Diese Studie befasst sich ausschließlich mit der Abscheidung von CO<sub>2</sub> bei der Bioenergieerzeugung.

Es existieren derzeit eine ganze Reihe von Verfahren zur Abscheidung von Kohlenstoff im Zuge der Nutzung von Biomasse als Energieträger, am prominentesten sind *Pre-combustion*-, *Oxyfuel combustion*- und *Post-combustion*-

---

<sup>3</sup> Kopernikus-Projekt Ariadne (2021): Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich. <https://bit.ly/3ZAUyXH>

<sup>4</sup> Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. <https://bit.ly/46aZXHt>

<sup>5</sup> UBA (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – Rescue-Studie. <https://bit.ly/4670nyA>

Technologien<sup>6</sup>. *Oxyfuel combustion*-Technologien befinden sich derzeit in der Entwicklung und haben teils noch nicht das Stadium der Marktreife erreicht<sup>7</sup>. *Pre-combustion*-Technologien sind noch nicht im größeren Maßstab im Bioenergiebereich im Einsatz und aus diesem Grund derzeit keine Option. Zu den *Post-combustion*-Technologien zählt die Amin-Wäsche, ein Absorptionsverfahren, bei dem die Abluft aus dem Verbrennungsraum in einem so genannten Absorber mit einer wässrigen Lösung von Aminen „gewaschen“ wird. Hierdurch werden die sauren CO<sub>2</sub>-Moleküle durch die leicht alkalische Lösung der Amine absorbiert, mit einer CO<sub>2</sub>-Abscheidungsgrad von bis zu 98 %<sup>8</sup>. Im nächsten Schritt wird die CO<sub>2</sub>-haltige Lösung im s.g. Desorber stark erhitzt, wobei das CO<sub>2</sub> der Aminlösung wieder entzogen wird. Das dadurch gewonnene CO<sub>2</sub> kann anschließend verflüssigt und gelagert werden.

### **Politischer Rahmen und Strategieentwicklung**

Derzeit wird auf politischer Ebene darüber diskutiert, wo der Rohstoff Biomasse am sinnvollsten eingesetzt werden kann. Dass im Niedertemperatursegment insbesondere die Wärmepumpe große Teile der erneuerbaren Wärmeerzeugung zukünftig abdecken wird, gilt als gesichert. Neben der damit verbundenen Verlagerung der Biomasse in den Prozesswärmebereich sind jedoch auch weitere Entwicklungen des Biomasse-sektors nötig, um die Energiewende und Transformation zur Klimaneutralität möglichst effizient zu gestalten. Die Möglichkeit der CO<sub>2</sub>-Abscheidung im Zuge der Biomassenutzung findet hierbei derzeit kaum Beachtung, obwohl gerade damit unvermeidbare Restemissionen aus anderen Bereichen kompensiert werden könnten. BECCS kann als potenzieller Wegbereiter zur Verringerung der globalen Erwärmung und zur Abschwächung des Klimawandels beitragen<sup>9</sup>. Der IPCC<sup>10</sup> betont unter anderem im Sonderbericht zum 1,5°C-Ziel, dass BECCS zur Eingrenzung des Klimawandels eine bedeutende Rolle zukommt. Dennoch fehlt auf nationaler Ebene bislang ein vertiefter und praxisorientierter Diskurs zur Anwendung von negativen Emissionstechnologien mit Bioenergie. Dem fehlenden Diskurs hierüber – der vermutlich auch der aktuell

---

<sup>6</sup> Prabakaran Ganeshan, Vigneswaran V S, Sarath C. Gowd, Rahul Mishra, Ekta Singh, Aman Kumar, Sunil Kumar, Arivalagan Pugazhendhi, Karthik Rajendran (2023): Bioenergy with carbon capture, storage and utilization: Potential technologies to mitigate climate change, Biomass and Bioenergy, Volume 177, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106941>

<sup>7</sup> ebd.

<sup>8</sup> ebd.

<sup>9</sup> ebd.

<sup>10</sup> <https://www.ipcc.ch/sr15/>

geringen Verbreitung im Markt geschuldet ist – möchten wir mit dieser Kurzstudie entgegentreten und gleichzeitig einen Anstoß zur sachlichen Auseinandersetzung bieten.

### **3 Betrachtungsrahmen**

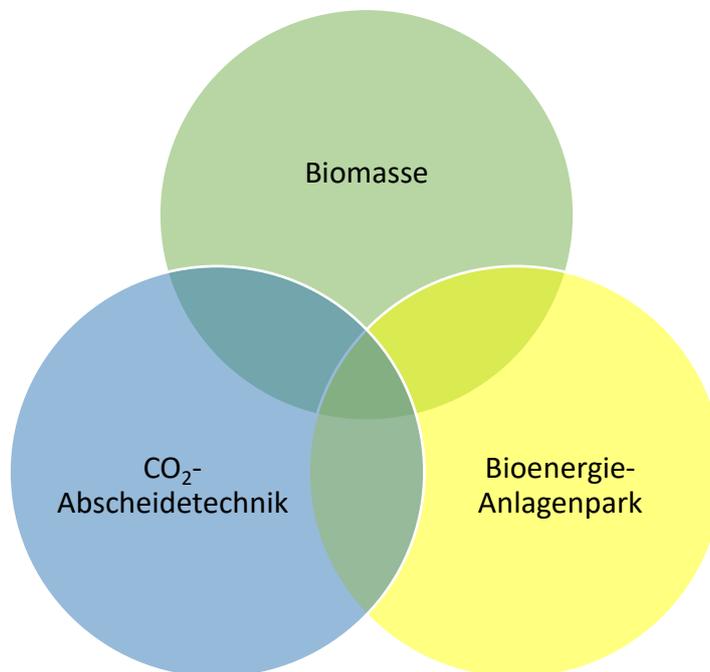
Die Kurzstudie soll in einer möglichst verständlichen Form übersichtlich darstellen, welche Potenziale bei der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Biomasse in Deutschland aktuell bestehen. Das CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenzial kann z.B. basierend auf dem heutigen bestehenden Anlagenpark (also insbesondere für Holz-Heizkraftwerke, Biogasanlagen, Bioethanolanlagen) dargestellt werden (anlagenbezogener Ansatz). Eine andere Möglichkeit ist, aus den nachhaltig verfügbaren Biomassepotenzialen die CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenziale abzuleiten. Dieser Ansatz ermöglicht es, mit einem Anlagenzubau bzw. Weiterentwicklung zu kalkulieren, wenn nachhaltig verfügbare Potenziale derzeit noch nicht ausgeschöpft sind (biomassebezogener Ansatz). Aufgrund der Verfügbarkeit der erforderlichen Daten und der konservativen Herangehensweise wird in dieser Kurzstudie schwerpunktmäßig der anlagenbezogene Ansatz verfolgt.

Ziel der Kurzstudie ist zudem, praxisnahe und auch ökonomisch realistische CO<sub>2</sub>-Abscheidemengen zu ermitteln, weshalb nicht der komplette bestehende Anlagenpark herangezogen wird, sondern lediglich die im Hinblick auf niedrige Kosten sinnvollen CO<sub>2</sub>-Abscheidemengen betrachtet werden. Hierzu werden in nachfolgenden Kapiteln Restriktionen, wie z.B. sinnvolle Mindest-Anlagengrößen, definiert. Es sei erwähnt, dass im Rahmen dieser Kurzstudie nicht auf Aspekte der dauerhaften (geologischen) Speicherung oder der notwendigen Transportinfrastruktur (z.B. Pipelines, Schiffe) eingegangen werden kann. Gleichwohl sind beides (logistische) Voraussetzungen, ohne welche Negativemissionen aus Bioenergie (und damit ein dauerhafter und signifikanter Klimaschutzeffekt) nicht wirtschaftlich generiert werden können.

## 4 Potenzialermittlung

Den Kern dieser Studie bildet die Ermittlung von verfügbaren nachhaltigen Potenzialen für die Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Bioenergieverfahren. Wie bei Modellierungen üblich, wurden für die Berechnung eine Reihe von Annahmen getroffen, durch die eine Vereinfachung bei gleichzeitig möglichst realitätsnaher Darstellung aktueller Potenziale erreicht wird. Diese Annahmen spiegeln sich in den Anforderungen (Restriktionen), welche einen wirtschaftlich und nachhaltig erfolgreichen Betrieb von CO<sub>2</sub>-Abscheidungsanlagen aus Bioenergie bedingen. Im Wesentlichen kann von drei Anforderungsgruppen ausgegangen werden, auf welche in diesem Kapitel näher eingegangen wird:

1. nachhaltig verfügbare Biomasse
2. bestehender Anlagenpark (also Holz-Heiz(kraft)werke, Biogasanlagen, Bioethanolanlagen)
3. Art der Abscheidetechnik



*Abbildung 1 Technologien für Negativemissionen aus Biomasse können nur dann erfolgreich implementiert werden, wenn bestimmte Anforderungen an die nachhaltig verfügbare Biomasse, CO<sub>2</sub>-Abscheidetechnologien und den vorhandenen Bioenergie-Anlagenpark erfüllt werden.*

## 4.1 Abscheidetechnik

In Verbindung mit der Energiegewinnung aus Biomasse existieren derzeit eine Vielzahl an CO<sub>2</sub>-Abscheidetechnologien, welche jeweils verschiedene Vor- und Nachteile sowie unterschiedliche Technologie-Reifegrade mit sich bringen. Die wenigsten dieser Techniken befinden sich bereits im Stadium der Marktreife, die meisten sind lediglich als Prototyp oder als Versuchsaufbau vorhanden<sup>11</sup>.

Grundsätzlich ist es zielführend, wenn der Input der CO<sub>2</sub>-Abscheideanlage eine möglichst hohe CO<sub>2</sub>-Konzentration aufweist. Die Abluft aus Verbrennungsprozessen etwa enthält vergleichsweise hohe Anteile an Kohlenstoffdioxid, wohingegen der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Umgebungsluft mit rund 0,04% so niedrig liegt, dass eine Abscheidung mit einem hohen (Energie-)Aufwand verbunden und daher zumeist wenig sinnvoll ist.

Nachfolgende Betrachtung beschränkt sich (nach Aggregatzustand in fest, flüssig und gasförmig unterteilt) auf jeweils ein Verfahren, welches bereits im Markt eingeführt ist und in Hinblick auf die Kostenstruktur und Praxistauglichkeit am sinnvollsten erscheint. Die CO<sub>2</sub>-Abscheidung findet hierbei nach der Gasaufbereitung (gasförmige Biomasse), Fermentation (flüssige Biomasse) oder Rauchgasreinigung (feste Biomasse) statt (siehe hierzu auch Anlage Grafische Darstellung).

## 4.2 Biomasse

In Abhängigkeit von der Art und Beschaffenheit der Biomasse kann diese in verschiedensten Konversionstechniken Verwendung finden. Im Folgenden wird Biomasse daher klassisch nach dem Aggregatzustand unterteilt in:

- feste Biomasse
- flüssige Biomasse
- gasförmige Biomasse.

---

<sup>11</sup> Prabakaran Ganeshan, Vigneswaran V S, Sarath C. Gowd, Rahul Mishra, Ekta Singh, Aman Kumar, Sunil Kumar, Arivalagan Pugazhendhi, Karthik Rajendran (2023): Bioenergy with carbon capture, storage and utilization: Potential technologies to mitigate climate change, Biomass and Bioenergy, Volume 177, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106941>

#### 4.2.1 Feste Biomasse

Beim betrachteten Anlagenpark beschränkt sich die Betrachtung im Segment der festen Biomasse ausschließlich auf die gängigen holzartigen Brennstoffe, wie insbesondere bereits heute energetisch genutzte Reststoffe aus Sägewerken bzw. der Holz- und Möbelverarbeitenden Industrie oder Altholz sowie Landschaftspflegematerial, landwirtschaftlicher Energieholzanbau und Waldrestholz. Waldrestholz wird hierbei ausschließlich betrachtet, insofern es eine Kaskade durchlaufen hat und spielt im Anlagensegment der „größeren Anlagen“ eine eher untergeordnete Rolle (siehe auch Restriktion Anlagenpark).

Stroh oder andere Rest- / Koppelprodukte, wie z.B. Haferschalen als Produktionsabfälle, werden demnach nicht als Potenziale betrachtet.

#### 4.2.2 Flüssige Biomasse

Der Betrachtungsrahmen zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenziale aus flüssiger Biomasse beschränkt sich ausschließlich auf den Bereich der Bioethanolproduktion basierend auf den Einsatzstoffen Zuckerrübe und Getreide. In dieser Studie wird mit keiner Steigerung der Bioethanolproduktion und damit keinem zusätzlichen Biomasseinsatz gerechnet, obwohl noch Abfall- und Reststoffe zur Bioethanolproduktion hinzukommen können.

#### 4.2.3 Gasförmige Biomasse

Biogas wird derzeit oft kleinteilig (aus einer Vielzahl von Anlagen) in Biogasanlagen durch Vergärung verschiedenster Biomassen gewonnen und anschließend (zumeist vor Ort) in Blockheizkraftwerken (BHKWs) in Strom und möglichst auch Nutzwärme umgewandelt.

Weitaus seltener (und i.d.R. nur in größeren Anlagen) findet eine Gasaufbereitung des Biogases statt, mit dem Ziel, die brennbare Komponente Methan anzureichern (z.B. um das Gas ins Erdgasnetz einspeisen zu können).

Der Betrachtungsrahmen wird so gelegt, dass die komplette Bandbreite an heute genutzter Biomasse zur Biogaserzeugung berücksichtigt wird. Wie in Kapitel 4.3.3 erläutert, können jedoch aufgrund der Restriktion beim Anlagenpark (Biogasanlagen mit Gasaufbereitung) nur anteilige Biomasseströme berücksichtigt werden.

## 4.3 Anlagenpark

### 4.3.1 Feste Biomasse

Zur Ermittlung der geplanten CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenziale wurde eine Mindest-Anlagengröße der Holz-Heizkraftwerke von 10 MW Feuerungswärmeleistung (FWL) angesetzt, sodass die spezifischen Investitionskosten der Abscheidung (bzw. auch die CO<sub>2</sub>-Abscheidungskosten) möglichst gering ausfallen. Betrachtet wird die CO<sub>2</sub>-Abscheidung durch Aminwäsche, bei der die Abscheidung unmittelbar nach der Rauchgasreinigung bzw. Rauchgasentstaubung erfolgt.

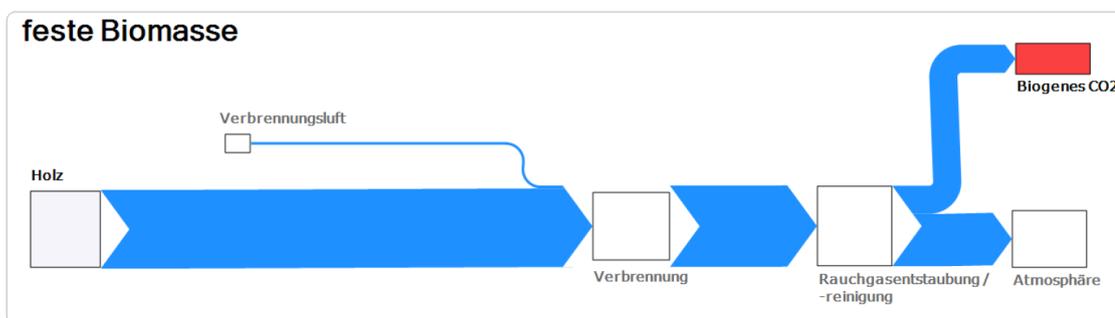


Abbildung 2 Schema CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus fester Biomasse

Als Zahlenbasis für den Anlagenpark bzw. Holzverbrauch wurden Ermittlungen nach Döring<sup>12,13</sup> herangezogen.

FWL-Klasse in kW	Anlagen (Anzahl)	Anlagen (%)	Ø FWL (MW)	Holzverbrauch (1.000 t)	Holzverbrauch (%)	Ø Holzverbrauch 1.000 t
10.000-19.999	60	35,1	15	1.366	13,5	23
20.000-49.999	72	42,1	32	3.649	36,0	51
50.000-99.999	30	17,5	64	3.330	32,9	111
100.000 und mehr	9	5,3	176	1.786	17,6	198
<b>Summe</b>	<b>171</b>	<b>100</b>		<b>10.131</b>	<b>100</b>	

Abbildung 3 Holzenergieanlagen und Holzverbrauch<sup>14</sup>

<sup>12</sup> Döring, P.; Glasenapp, S.; Mantau, U. (2020): Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2018. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente

<sup>13</sup> UBA (2022): Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE

<sup>14</sup> ebd.

Bei Holzenergieanlagen mit 10 MW Mindestgröße ergibt sich ein Holzverbrauch in Höhe von **29 TWh/a** wie folgt.

FWL-Klasse in kW	Anlagen (Anzahl)	Ø FWL (MW)	Holzverbrauch (1.000 t)	Holzverbrauch (1.000 MWh/a)
10.000-19.999	60	15	1.366	3.898
20.000-49.999	72	32	3.649	10.412
50.000-99.999	30	64	3.330	9.502
100.000 und mehr	9	176	1.786	5.096
<b>Summe</b>	<b>171</b>		<b>10.131</b>	<b>28.907 MWh/a</b> <b>29 TWh/a</b>

Abbildung 4 Betrachtete Holzenergieanlagen (ab 10 MW)

Bei einem spezifischen CO<sub>2</sub>-Anfall bei der Holzverbrennung von 0,371 t CO<sub>2</sub> / MWh Holzeinsatz (bezogen auf den unteren Heizwert) ergibt sich beim Anlagenbezogenen Ansatz ein Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung von 10,7 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Als Biomassebezogener Ansatz kann zudem versucht werden, ein mögliches Ausbauszenario abzuschätzen. Der hierbei verfolgte Ansatz geht davon aus, dass ein Anlagenzubau erfolgt, insbesondere zur industriellen Prozesswärmebereitstellung sowie auch als tragende Säule in zu defossilisierenden und neuen Wärmenetzen. Parallel wird jedoch ein Rückgang in anderen Segmenten (z.B. Post-EEG-HKWs mit geringer Wärmeauskopplung) zu erwarten sein, so dass es in erster Linie zu einer Nutzungsverschiebung innerhalb des energetischen Segments kommen wird. Hiervon unbenommen wird innerhalb des vorbeschriebenen Anlagenparks ein Zuwachs im zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung geeigneten Segment gesehen, so dass in der biomassebezogenen Potenzialabschätzung pauschal mit 120 % des CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenzials des Anlagenbezogenen Potenzials gerechnet wird. Dies wären entsprechend 12,9 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr.

### 4.3.2 Flüssige Biomasse

Hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenziale aus flüssiger Biomasse wurde wie vorbeschrieben, ausschließlich die Bioethanolproduktion berücksichtigt.

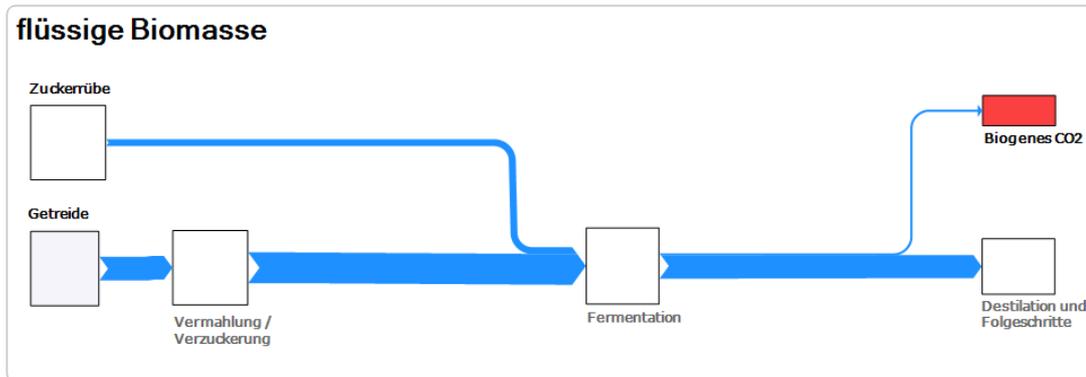


Abbildung 5 Schema Bioethanolproduktion

Angesetzt wurden hier die heutigen Verbräuche bestehender Anlagen<sup>15</sup>, obwohl davon ausgegangen werden kann, dass auch Potenziale für weitere Anlagen zur Verfügung stehen<sup>16</sup>.

Der Substrateinsatz sowie die daraus resultierende Bioethanolproduktion kann folgender Tabelle entnommen werden:

	Zuckerrübe	Getreide	Summe	
<b>Substrateinsatz zur Bioethanolproduktion</b>	790.000	2.700.000	<b>3.490.000</b>	<b>t/a Substrateinsatz</b>
<b>Spez. Bioethanol-Anfall je Einsatzstoff</b>	100	300	255	kg Bioethanol / t Substrateinsatz
<b>Bioethanolproduktion</b>	79.000	810.000	<b>889.000</b>	<b>t/a Bioethanol</b>

Abbildung 6 Berechnung Bioethanolproduktion

Der spezifische CO<sub>2</sub>-Anfall je Rohstoff liegt für Zuckerrüben bei 96 kg CO<sub>2</sub> / t Substrat, bei Getreide bei 290 kg CO<sub>2</sub> / t Substrat. Somit ergibt sich beim Anlagenbezogenen Ansatz ein Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung von in Summe 0,86 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Für den Bereich der flüssigen Biomasse wurde kein weiterer Ausbau berücksichtigt. Ein Ausbau der Ethanolproduktion und damit zusätzliche Potentiale, können sich dabei jedoch durch die Verwendung von Rest- und Abfallstoffen für die Ethanolherstellung ergeben.

<sup>15</sup> CropEnergies Bioethanol GmbH in Zeitz, <https://www.cropenergies.com/de/unternehmen/standorte/zeitz>

<sup>16</sup> Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e. V. (2023). Marktdaten 2022. Berlin: Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e. V. <https://www.bdbe.de/daten/marktdaten-deutschland>

### 4.3.3 Gasförmige Biomasse

Obwohl Biogasanlagen mit Gasaufbereitung nur einen geringen Anteil der installierten Biogaskapazität ausmachen, beschränkt sich die nachfolgende Potenzialabschätzung auf dieses Segment. Dies vor dem Hintergrund, dass bei der Biogasaufbereitung das Rohbiogas (im Wesentlichen CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub>) ohnehin vom CO<sub>2</sub> getrennt wird, oftmals aber nur das Methan und nicht das CO<sub>2</sub> genutzt wird. Zudem weisen Biogasanlagen mit Gasaufbereitung eine für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung geeignete Mindestgröße auf. Der weitaus wichtigere Aspekt ist aber, dass die CO<sub>2</sub>-Abscheidung deutlich kostengünstiger und energieeffizienter erreicht werden kann, wenn eine Gasaufbereitung bereits Bestand ist.

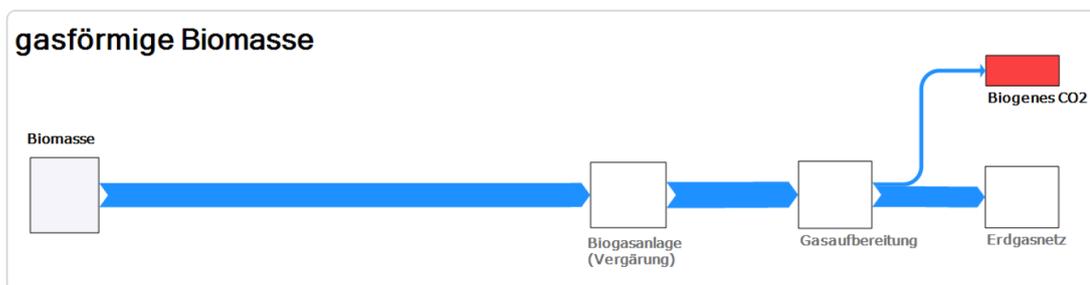


Abbildung 7 Schema CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus gasförmiger Biomasse

In der Potenzialermittlung wird von einer Biomethanproduktion in Höhe von **10 TWh/a** ausgegangen<sup>17</sup>. Bei einem spezifischen CO<sub>2</sub>-Anfall bei der Gasaufbereitung von 0,15 Mio. t / TWh Biomethan ergibt sich beim Anlagenbezogenen Ansatz ein Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung von 1,5 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Bei voller Potenzialerschließung der vergärbaren Biomasse (biomassebezogener Ansatz) kann die Biogaserzeugung auf 182 TWh/a ausgebaut werden. Bei einer Biogasproduktion von 182 TWh/a, bei der 60% zur Gasaufbereitung und Biomethanproduktion genutzt werden, ergibt sich ein Biomethanpotenzial in Höhe von 109 TWh/a. Hieraus ergibt sich ein CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenzial in Höhe von 16,4 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr.

<sup>17</sup> Hauke Hermann, L. E. (2014): Prüfung der klimapolitischen Konsistenz und der Kosten von Methanisierungsstrategien. <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/pruefung-der-klimapolitischen-konsistenz-und-der-kosten-von-methanisierungsstrategien>

## 5 Ergebnis

Aus den in Kapitel 4 ermittelten Datengrundlagen und Kennzahlen lässt sich das CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenzial für die drei Biomasse-segmente wie nachfolgend tabellarisch dargestellt ermitteln:

Abscheidepotenzial in [Mio. t CO <sub>2</sub> /a]	Anlagenbezogener Ansatz	Biomassebezogener Ansatz
<b>Feste Biomasse (Holz)</b>	10,7	12,9
<b>Flüssige Biomasse (Bioethanolproduktion)</b>	0,9	0,9
<b>Gasförmige Biomasse (Biomethanproduktion)</b>	1,5	16,4
<b>Summe</b>	<b>13,1</b>	<b>30,1</b>

Abbildung 8 Berechnung CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenziale

Die Zahlen zeigen, dass insbesondere im Holzenergiebereich kurzfristig ein erhebliches CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenzial besteht, selbst wenn man sich nur auf den bestehenden Anlagenpark (und hierbei auf die größeren Anlagen) beschränkt.

Der biomassebezogene Ansatz zeigt, dass mittel bis langfristig ein großes Ausbaupotenzial der CO<sub>2</sub>-Abscheidung insbesondere auch im Biogas-Sektor vorhanden ist, sollte ein Ausbau der Biomethanproduktion, wie im Szenario zugrunde gelegt, erfolgen.

Die Potenziale zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung lassen sich für beide Ansätze getrennt nach den drei Biomasse-Segmenten wie folgt darstellen:

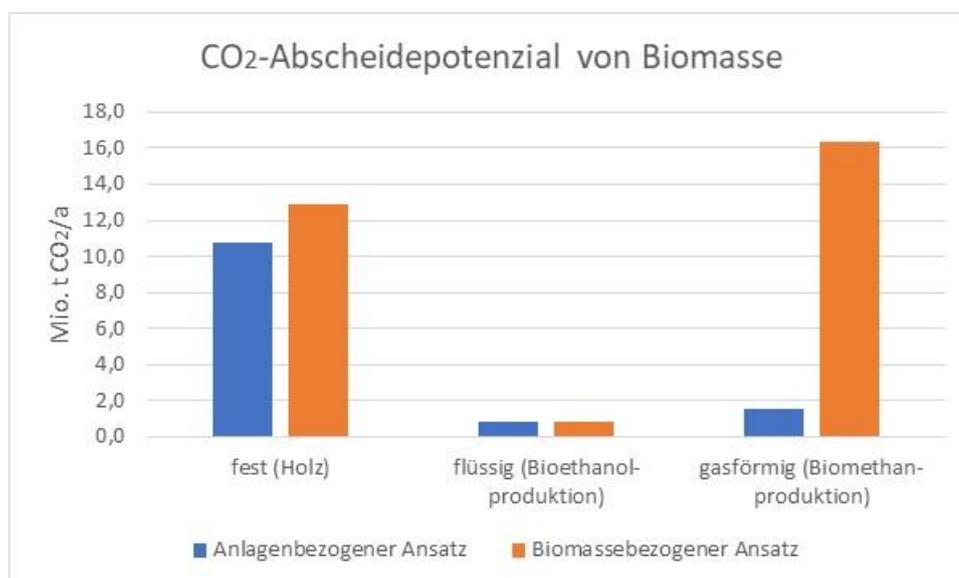


Abbildung 9 Grafik CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenziale

Wie in Kapitel 2 erläutert, ist allein durch ambitionierten Ausbau der Erneuerbaren Energieträger aufgrund unvermeidbarer Restemissionen die Erreichung der CO<sub>2</sub>-Neutralität bis 2045 kaum möglich, weshalb in Klimaneutralitätsszenarien üblicherweise von der Kompensation der Restemissionen durch Entzug von Treibhausgasen aus der Atmosphäre ausgegangen wird. Das Bundesklimaschutzgesetz sieht zudem vor, dass ab 2050 (netto) Negativemissionen erreicht werden sollen. Legt man in einer optimistischen Betrachtungsweise Restemissionen von lediglich 49 Mio. t CO<sub>2äq</sub>/a zugrunde, so könnten im Biomasse-basierten Ansatz 61% der Restemissionen durch die CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Biomasseanlagen dem Kohlenstoffkreislauf entnommen werden. Dieses erhebliche Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung wird derzeit (noch) kaum diskutiert und hat auch (mit wenigen Ausnahmen) noch keine Umsetzung im Markt gefunden. Die Frage nach der Verwendung des abgeschiedenen CO<sub>2</sub>, entweder zur Nutzung oder zur Speicherung, ist gesondert zu diskutieren und hängt maßgeblich auch von technischen Entwicklungen zur Speicherung oder Nutzung ab.

## 6 Ausblick

Ausgehend von den vorgenannten Potenzialen ist es notwendig, die CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Biomasseanlagen weitergehend zu betrachten. Dies betrifft neben Aspekten der Schritte nach der Abscheidung (Nutzungs- / Speicheroptionen) insbesondere auch die generelle ökonomische Betrachtung (Ermittlung diesbezüglicher CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Vergleich zu Handlungsalternativen).

Auch in dieser Kurzstudie nicht betrachtete Optionen der CO<sub>2</sub>-Abscheidung, wie die Erzeugung von Energie und Pflanzenkohle durch Pyrolyse, die ebenfalls bedeutsames Potenzial für die Energiewende und negative Emissionen aufweisen kann, sollte vergleichend untersucht werden.

Hessisch Lichtenau, den 10.10.2023  
**SEEGER ENGINEERING GMBH**

Zukunft auf den Punkt gebracht



Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Tim Steindamm, Projektleiter

**Anlagen:**

## Anlage Quellenverzeichnis

- Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e. V. (2023). Marktdaten 2022. Berlin: Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e. V.  
<https://www.bdbe.de/daten/marktdaten-deutschland>
- CropEnergies Bioethanol GmbH in Zeitz,  
<https://www.cropenergies.com/de/unternehmen/standorte/zeitz>
- Döring, P.; Glasenapp, S.; Mantau, U. (2020): Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2018. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente
- Hauke Hermann, L. E. (2014): Prüfung der klimapolitischen Konsistenz und der Kosten von Methanisierungsstrategien. <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/pruefung-der-klimapolitischen-konsistenz-und-der-kosten-von-methanisierungsstrategien>
- Kopernikus-Projekt Ariadne (2021): Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich.  
[https://publications.pik-potsdam.de/pubman/faces/ViewItemOverviewPage.jsp?itemId=item\\_26056](https://publications.pik-potsdam.de/pubman/faces/ViewItemOverviewPage.jsp?itemId=item_26056)
- Prabakaran Ganeshan, Vigneswaran V S, Sarath C. Gowd, Rahul Mishra, Ekta Singh, Aman Kumar, Sunil Kumar, Arivalagan Pugazhendhi, Karthik Rajendran (2023): Bioenergy with carbon capture, storage and utilization: Potential technologies to mitigate climate change, Biomass and Bioenergy, Volume 177,  
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106941>.
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021\\_04\\_KNDE45/A-EW\\_209\\_KNDE2045\\_Zusammenfassung\\_DE\\_WEB.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf)
- UBA (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – Rescue-Studie. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/rescue\\_studie\\_cc\\_36-2019\\_wege\\_in\\_eine\\_ressourcenschonende\\_treibhausgasneutralitaet\\_aufgabe2\\_juni-2021.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet_aufgabe2_juni-2021.pdf)
- UBA (2022): Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE
- UBA (abgerufen am 29.9.2023): Treibhausgasemissionen in Deutschland.  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung>

## Anlage Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Technologien für Negativemissionen aus Biomasse können nur dann erfolgreich implementiert werden, wenn bestimmte Anforderungen an die nachhaltig verfügbare Biomasse, CO<sub>2</sub>-Abscheidetechnologien und den vorhandenen Bioenergie-Anlagenpark erfüllt werden. .... 7

Abbildung 2 Schema CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus fester Biomasse ..... 10

Abbildung 3 Holzenergieanlagen und Holzverbrauch ..... 10

Abbildung 4 Betrachtete Holzenergieanlagen (ab 10 MW) ..... 11

Abbildung 5 Schema Bioethanolproduktion ..... 12

Abbildung 6 Berechnung Bioethanolproduktion ..... 12

Abbildung 7 Schema CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus gasförmiger Biomasse ..... 13

Abbildung 8 Berechnung CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenziale ..... 14

Abbildung 9 Grafik CO<sub>2</sub>-Abscheidepotenziale ..... 14

## Anlage Grafische Darstellung

