

*Bitte beachten Sie, dass das Urheberrecht bei Carbon Cascadia Games und dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ liegt.*

*Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) Lizenz lizenziert. Das bedeutet, dass das Spiel ausschließlich für private, bildungsbezogene und nicht-kommerzielle Zwecke genutzt, vervielfältigt, geteilt und bearbeitet werden darf, sofern Sie den Urheberrechtsinhabern angemessene Namensnennung leisten. Alle anderen Rechte bleiben vorbehalten.*

*Viel Spaß beim Spielen 😊*

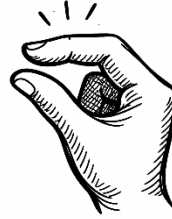
## Moderation



## Moderation

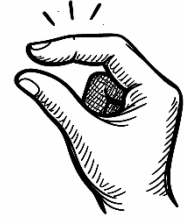


## Zeit für einen kleinen Schritt zurück.



*Diese Karte ist ein nettes Signal, dass jemand im Gespräch ein bisschen mehr Raum braucht. Es ist freundliches Feedback, keine Kritik – danke, dass du kurz innehältst und es annimmst.*

## Zeit für einen kleinen Schritt zurück.



*Diese Karte ist ein nettes Signal, dass jemand im Gespräch ein bisschen mehr Raum braucht. Es ist freundliches Feedback, keine Kritik – danke, dass du kurz innehältst und es annimmst.*

von Nils Matzner und  
Danny Otto



## Carbon Cascadia Das Kartenspiel

Carbon  
Cascadia Games  
**CCG**

### Ihre Aufgabe

Der Klimawandel ist bereits in vollem Gange, und die CO<sub>2</sub>-Emissionen steigen weiter an. Internationale Klimaforscher:innen sehen neben einer raschen Reduzierung der Emissionen auch einen dringenden Bedarf an CO<sub>2</sub>-Entnahme (CDR), um das Schlimmste abzuwenden. Akteure aus Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Regierung, Zivilgesellschaft, Bioenergieerzeugung, Pflanzenkohleproduktion, CO<sub>2</sub>-Speicherung und viele andere müssen zusammenarbeiten, um möglichst effektive, kosteneffiziente, dauerhafte und nachhaltige Verfahren zur Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu etablieren. Nur mit gemeinsamen Anstrengungen können sie biomassebasierte CDR-Kaskaden erreichen, d. h. mehrere Biomasseströme und CO<sub>2</sub>-Entnahmemethoden miteinander verknüpfen. Die Akteure suchen gemeinsam nach den besten Kaskaden.



Anleitung →



## Waldbauliche Maßnahmen

### Waldbauliche Maßnahmen

Hierbei handelt es sich um den Wald betreffende Maßnahmen mit Einfluss auf dessen CO<sub>2</sub>-Speicherpotentiale. Es kann sich sowohl um Stilllegungen von Waldflächen, Waldflächenerweiterung oder Aufforstungsmaßnahmen handeln.

### Waldbauliche Maßnahmen

#### Aufforstung mit Buche

Die Aufforstungen von buchendominierten, anpassungs- und widerstandsfähigen Mischwäldern als Kohlenstoffsinken auf zuvor nicht forstwirtschaftlich genutzten Flächen (z.B. landwirtschaftliche Nutzflächen) erfolgt durch das Pflanzen von Setzlingen. Dadurch kann langfristig Kohlenstoff gebunden werden.



	<b>Aufforstung Buche</b>	
CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 3,8 t	
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	60-70 €	
Speicherpermanenz	<100 Jahre	
Besondere Eigenschaften: Vollständiges Entnahmepotential erst ab 30 Jahren		



	<b>Aufforstung Douglasie</b>	
CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 9,6 t	
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	8-9 €	
Speicherpermanenz	<100 Jahre	
Besondere Eigenschaften: Vollständiges Entnahmepotential erst ab 20 Jahren		

### Waldbauliche Maßnahmen

#### Aufforstung mit Douglasie

Die Aufforstungen von douglasiendominierten, anpassungs- und widerstandsfähigen Mischwäldern als Kohlenstoffsinken auf zuvor nicht forstwirtschaftlich genutzten Flächen (z.B. landwirtschaftliche Nutzflächen) erfolgt durch das Pflanzen von Setzlingen. Dadurch kann langfristig Kohlenstoff gebunden werden.



Liefert Biomasse

### Aufforstung Eiche

Speichert CO<sub>2</sub>

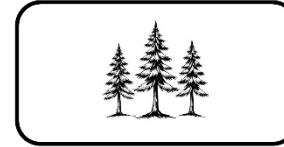
CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 1,1 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	118-120 €
Speicherpermanenz	<100 Jahre

Besondere Eigenschaften:  
Vollständiges Entnahmepotential erst ab 20 Jahren

### Waldbauliche Maßnahmen

#### Aufforstung mit Eiche

Die Aufforstungen von eichendominierten, anpassungs- und widerstandsfähigen Mischwäldern als Kohlenstoffsinken auf zuvor nicht forstwirtschaftlich genutzten Flächen (z.B. landwirtschaftliche Nutzflächen) erfolgt durch das Pflanzen von Setzlingen. Dadurch kann langfristig Kohlenstoff gebunden werden.



Liefert Biomasse

### Aufforstung Kiefer

Speichert CO<sub>2</sub>

CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 4,8 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	17-20 €
Speicherpermanenz	<100 Jahre

Besondere Eigenschaften:  
Vollständiges Entnahmepotential erst ab 20 Jahren



Speichert CO<sub>2</sub>

### Stilllegung (Buche)

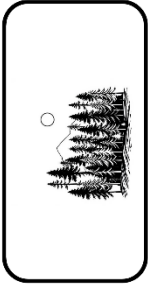
CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 14-16 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	0 € <small>(keine Investition)</small>
Speicherpermanenz	<100 Jahre

Besondere Eigenschaften:  
Vollständiges Entnahmepotential erst ab 30 Jahren

### Waldbauliche Maßnahmen

#### Dauerhafte Stilllegung (Beispiel Buche)

Das Konzept sieht eine dauerhafte Aufgabe der Bewirtschaftung von alten Buchenwäldern vor. Deutschland besitzt reichlich Buchenwälder, von denen ca. die Hälfte 100 Jahre und älter ist. Aufgrund ihrer Wachstumsseigenschaften sind sie in der Lage, hohe Kohlenstoffvorräte anzusammeln und diese auch über die üblichen Umtriebszeiten hinaus zu speichern.



Speichert CO<sub>2</sub>

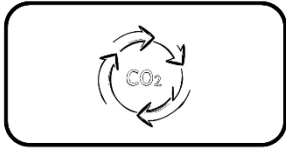
**Waldflächen-  
erweiterung**

Liefert Biomasse

kontext- abhängig	kontext- abhängig	>100 Jahre
CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	Speicherpermanenz

Das Konzept zielt auf das Zulassen einer Landnutzungsänderung auf bisher unbewaldeten Flächen in Deutschland ab. Das bewusste Zulassen und Steuern der natürlichen Sukzession in Form von überwiegend natürlicher Ansaat ermöglicht eine langfristige CO<sub>2</sub>-Anreicherung in Bäumen und Böden.

**Waldbauliche Maßnahmen  
(Sukzession)  
Waldflächenerweiterung**



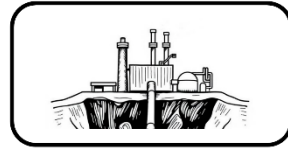
**CO<sub>2</sub>-Nutzung**

CO <sub>2</sub> -Potential (t pro Jahr)	Kontext- abhängig
Kosten (pro t CO <sub>2</sub> )	Kontext- abhängig
Speicherpermanenz	Kontext- abhängig

Besondere Eigenschaften:  
Benötigt zusätzliche Infrastruktur für  
Transport von CO<sub>2</sub>

**CO<sub>2</sub>-Nutzung**

Das abgefangene CO<sub>2</sub> kann in verschiedenen Anwendungen verwendet werden, wie z. B. in der Herstellung von Treibstoffen, Chemikalien, Baustoffen oder sogar in der Landwirtschaft. CCU trägt dazu bei, die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren und gleichzeitig die Ressourcennutzung zu optimieren, indem es Kohlenstoff als Rohstoff nutzt, anstatt ihn als Abfallprodukt zu betrachten. Anders als bei der geologischen Speicherung ist die Permanenz der Speicherung nur kontextspezifisch zu bestimmen.



**CO<sub>2</sub>-Speicherung  
(geologisch)**

Speichert CO<sub>2</sub>

CO <sub>2</sub> -Speicherkapazität Deutschland	≈ 2,3-12,8 Gt
Europa	≈ 200 Gt
CCS-Kosten (pro t CO <sub>2</sub> )	20-70 €
Speicherpermanenz	>1000

Besondere Eigenschaften:  
Benötigt zusätzliche Infrastruktur für  
Transport von CO<sub>2</sub>

**Speicherung von CO<sub>2</sub> in  
geologischen Formationen**

Abgeschiedenes CO<sub>2</sub> kann in verschiedenen geologischen Formationen (u.a. saline Aquifere, ehemalige Erdgasfelder) in Tiefen von mehr als 800 m permanent gespeichert werden. Das zu speichernde CO<sub>2</sub> kann aus verschiedenen Quellen stammen. Die Angaben zu Kosten fokussieren auf CO<sub>2</sub> aus biomasse-nutzenden Energieerzeugungsprozessen (u.a. Biogasproduktion, Biomethanproduktion) und umfassen Abscheidung, Transport und Speicherung.



## Landwirtschaft und Böden

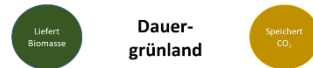
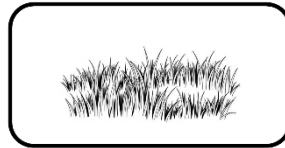
### Landwirtschaft und Böden

Hierbei handelt es sich um Maßnahmen in der Landwirtschaft, die Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Speicherpotentiale des Bodens haben. Hierzu zählen u.a. Direktsaat, Umwandlung in Dauergrünland, ganzjährige Bodenbedeckung, die Nutzung organischer Düngemittel oder Agroforstsysteme.

### Landwirtschaft und Böden

#### Umwandlung in Dauergrünland

Die Umwandlung von Ackerflächen in Dauergrünland erhöht das Potenzial der Kohlenstoffspeicherung im Boden durch die ganzjährige pflanzliche Bodenbedeckung und der stark reduzierten Bodenbearbeitung. Die daraus resultierende Bindung von Kohlenstoff im Boden durch Dauergrünland hat dadurch eine CO<sub>2</sub>-Senkenwirkung.

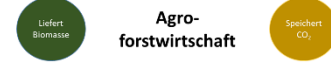
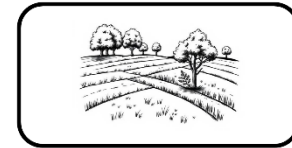


CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 3,1 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	77-170 €
Speicherpermanenz	Unsicher

### Landwirtschaft und Böden

#### Agroforstwirtschaft

Agroforstsysteme sind Landnutzungssysteme, bei denen Gehölze (Bäume, Hecken, Stäucher) mit landwirtschaftlichen Flächen kombiniert werden. Durch diese Kombination wird eine höhere Kohlenstoffanreicherung im Boden gewährleistet. Die Fläche unter den Bäumen kann entweder als Garten- und Ackerbau oder als Weide genutzt werden.



CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 5-20,8 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	125-1144 €
Speicherpermanenz	<100 Jahre

Besondere Eigenschaften:  
Langfristigere Kohlenstoffbindung durch Gehölze gewährleistet



Nutzt Biomasse

### Organischer Dünger/Kompost

Speichert CO<sub>2</sub>

CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 0,8 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	20-44 €
Speicherpermanenz	Unsicher

### Landwirtschaft und Böden

#### Organischer Dünger/Kompost

Durch die Zugabe von organischem Dünger und Kompost in den Boden wird zum einen der Kohlenstoffgehalt im Boden durch das ausgebrachte Material selbst erhöht und es werden außerdem die physikalischen Bodeneigenschaften und die Nährstoffverfügbarkeit verbessert. Durch die Bodenverbesserung wird die Pflanzenproduktivität gesteigert, wodurch die Kohlenstoffanreicherung im Boden durch die Pflanzen erhöht wird.



Speichert CO<sub>2</sub>

### Direktsaat

Liefert Biomasse

CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 2,1 t	
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	52-115 €	
Speicherpermanenz		Unsicher

### Landwirtschaft und Böden

#### Direktsaat

Bei der Direktsaat erfolgt die Einsaat und Ernte der Feldfrüchte durch eine Direktsaatmaschine zur gleichen Zeit. Dadurch wird die Bodenbearbeitung reduziert und Bodenerosionen begrenzt. Des Weiteren wird der im Boden gespeicherte organische Kohlenstoff geschützt und durch die dauerhafte Bodenbedeckung durch die Feldfrüchte und ihrer Wurzeln wird weiterer Kohlenstoff in den Boden eingebracht.



Liefert Biomasse

### Ganzjährige Bodenbedeckung

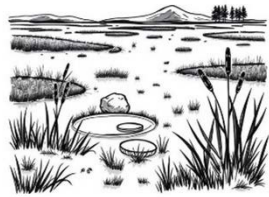
Speichert CO<sub>2</sub>

CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 1,2 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	30-66 €
Speicherpermanenz	Unsicher

### Landwirtschaft und Böden

#### Ganzjährige Bodenbedeckung

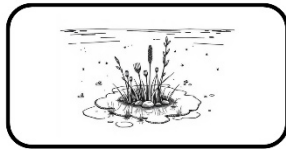
Bei der Methode der ganzjährigen Bodenbedeckung ist der Ackerboden das ganze Jahr über mit Pflanzen bedeckt, was zu einer Erhöhung des Kohlenstoffeintrages und der Kohlenstoffspeicherung in den Boden führt und brachliegende Ackerflächen vermeidet.



## Wiedervernässung

### Wiedervernässung von Mooren

Unter der Wiedervernässung von Mooren versteht man die Wiederherstellung eines stabilen Grundwasserspiegels an der Geländeoberfläche. Die Wiedervernässung entwässerter Moore kann den Netto-Kohlenstoff-Verlust sofort reduzieren oder stoppen und kann außerdem zu einer neuen CO<sub>2</sub>-Entnahme in der Streuschicht und im Torf führen. Solange das Moor nass bleibt, wird der Kohlenstoff permanent festgelegt.



Liefert Biomasse

### Paludikultur

Speichert CO<sub>2</sub>

CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 4 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	6000-34000 € <small>(Bau, Investitionskosten)</small>
Speicherpermanenz	so lange Moor nass bleibt

Besondere Eigenschaften:  
Hohes THG-Vermeidungspotential (27-36t CO<sub>2</sub> pro ha und Jahr)

### Wiedervernässung von Mooren

#### Paludikultur

Paludikultur ist eine produktive Landnutzung auf nassen und wiedervernässten Mooren. Paludikultur umfasst jede Art der Biomassennutzung, von der Ernte spontaner Vegetation auf naturnahen Standorten bis hin zu neu angelegten Kulturen auf wiedervernässten Standorten, unter Bedingungen, die den Torfkörper erhalten oder sogar eine neue Torfakkumulation begünstigen.  
Laufende Kosten: 1200-1700€ pro Hektar und Jahr



### Stilllegung der Moorfläche

Speichert CO<sub>2</sub>

CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 1-8 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro Hektar und Jahr)	1000-17000 € <small>(Bau, Investitionskosten)</small>
Speicherpermanenz	so lange Moor nass bleibt

Besondere Eigenschaften:  
Hohes THG-Vermeidungspotential (27-36t CO<sub>2</sub> pro ha und Jahr)

### Wiedervernässung von Mooren

#### Stilllegung wiedervernässter Moorflächen

Wiedervernässte Moore werden nicht weitergenutzt. Der Wasserstand wird stabil gehalten, damit das Moor dauerhaft nass bleibt, um eine Permanenz der Speicherung zu gewährleisten.

Kostenreduktion auf 100-1600€ pro ha und Jahr für Pflege, Unterhaltung und Wartung.



## Bioenergie

### Bioenergie

Bioenergie wird aus organischen Materialien wie Pflanzen oder Abfällen gewonnen. Bei der Biogasproduktion wird organisches Material vergoren, um Biogas für die Energiegewinnung zu erzeugen. Biomethan ist aufbereitetes Biogas, das als Erdgasersatz dient. Die Biomassevergasung wandelt Biomasse in ein brennbares Gas um. Ein wichtiges Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Entnahme ist BECCS, bei dem Biomasse zur Energiegewinnung genutzt und das freigesetzte CO<sub>2</sub> langfristig gespeichert wird.



Nutzt Biomasse

### Biogasproduktion

CO <sub>2</sub> -Potential (t pro Jahr)	≈ 3200 t <small>(in Modellanlage)</small>
Kosten (pro t CO <sub>2</sub> )	139-313 €
Speicherpermanenz	Abhängig von CO <sub>2</sub> -Weiternutzung

Besondere Eigenschaften:  
Benötigt zusätzliche Infrastruktur für Transport von CO<sub>2</sub>

### Bioenergie

#### Biogasproduktion

In Biogasanlagen wird Biomasse vergärt, wodurch ein Gasgemisch aus CO<sub>2</sub> und Methan entsteht, sogenanntes Biogas.

Beispielrechnung Modellanlage:

- Gemischtes Biomasse-Substrat aus 50 % Rindergülle, 20 % Rinderfestmist und 30 % Weizenstroh
- ca. 15 000 Tonnen Substrat pro Jahr
- 500 kWel installierte Leistung
- 8000 Volllaststunden pro Jahr
- 235 m<sup>3</sup> Rohbiogas pro Stunde mit 47 % CO<sub>2</sub>



Nutzt Biomasse

### Biomassevergasung

CO <sub>2</sub> -Potential (t pro Jahr)	≈ 60.000 t <small>(in Modellanlage)</small>
Kosten (pro t CO <sub>2</sub> )	27-365 €
Speicherpermanenz	Abhängig von CO <sub>2</sub> -Weiternutzung

Besondere Eigenschaften:  
Benötigt zusätzliche Infrastruktur für Transport von CO<sub>2</sub>

### Bioenergie

#### Biomasse-Vergasung

In der Holzvergasung wird Lignozellulose-Biomasse bei hohen Temperaturen in Synthesegas umgewandelt, das im Anschluss über eine Fischer-Tropsch-Synthese zu Biokraftstoffen umgesetzt wird.

Beispielrechnung Modellanlage:

- 100 MWth installierte Leistung
- Ca. 160 000 Tonnen pro Jahr Holzhackschnitzel (Buchenholz)
- Ca. 3 000 Volllaststunden pro Jahr
- Ca. 48 000 Tonnen Biokraftstoff pro Jahr



### Biomethan

CO <sub>2</sub> -Potential (t pro Jahr)	≈ 6500 t <small>(in Modellanlage)</small>
Kosten (pro t CO <sub>2</sub> )	79-153 €
Speicher- permanenz	Abhängig von CO <sub>2</sub> - Weiternutzung

Besondere Eigenschaften:  
Benötigt zusätzliche Infrastruktur für  
Transport von CO<sub>2</sub>

### Bioenergie

#### Biogasaufbereitung zu Biomethan

Biogas besteht überwiegend aus Methan und CO<sub>2</sub>. In Biogas-Aufbereitungsanlagen werden die beiden Gase getrennt. Das so gewonnene Biomethan kann ins Erdgasnetz eingespeist werden.

Beispielrechnung Modellanlage:

- 2 500 kWel installierte Leistung
- ca. 8 400 Volllaststunden pro Jahr
- ca. 1 000 m<sup>3</sup> Rohbiogas pro Stunde (40 % CO<sub>2</sub>)



### Holz-Biomasse

CO <sub>2</sub> -Potential (t pro Jahr)	≈ 2,99 t <small>(in Modellanlage)</small>
Kosten (pro t CO <sub>2</sub> )	80-263 €
Speicher- permanenz	Abhängig von CO <sub>2</sub> - Weiternutzung

Besondere Eigenschaften:  
Benötigt zusätzliche Infrastruktur für  
Transport von CO<sub>2</sub>

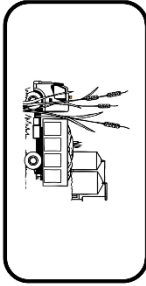
### Bioenergie

#### Verbrennung holzartiger Biomasse

Kraftwerke zur Erzeugung von Strom und Wärme können von fossilen Energieträgern auf Holzpellets umgerüstet werden. Als Ausgangsmaterialien für die Pellets kommen Holzabfälle, andere Lignozellulose-Abfälle und Primärholz infrage.

Beispielrechnung Modellanlage

- 500 MWel installierte Leistung
- ca. 7 500 Volllaststunden pro Jahr
- ca. 2,56 Mio. Tonnen Substrat pro Jahr



### Paludi-Biomasse

CO <sub>2</sub> -Potential (t pro Jahr)	≈ 900-1400 t <small>(in Modellanlage)</small>
Kosten (pro t CO <sub>2</sub> )	80-263 €
Speicher- permanenz	Abhängig von CO <sub>2</sub> - Weiternutzung

Besondere Eigenschaften:  
Benötigt zusätzliche Infrastruktur für  
Transport von CO<sub>2</sub>

### Bioenergie

#### Verbrennung von Biomasse aus Paludikulturen

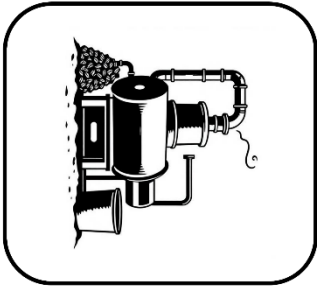
Die Biomasse aus Paludi-kulturen, also der Bewirtschaftung nasser und wiedervernässter Moore, kann stofflich und/oder energetisch genutzt werden. Da der Heizwert von Paludi-Biomasse vergleichbar mit dem von Holz ist, eignen sich die Substrate für den Einsatz in Heizwerken.

Beispielrechnung Modellanlage:

- 800 kWel installierte Leistung
- ca. 5 000 Volllaststunden pro Jahr
- ca. 800 - 1 200 Tonnen Substrat pro Jahr (Seggen, Binsen, Schilf, etc.)

Nutzt Biomasse

Speichert CO<sub>2</sub>



### Pyrolyse Biokohle- produktion

### Pyrolyse Biokohleproduktion

Pyrolyse ist ein Prozess, bei dem Biomasse ohne Sauerstoff erhitzt wird. Dadurch wird das Material in Biokohle, Gase und Öle umgewandelt. Biokohle ist sehr stabil und kann CO<sub>2</sub> über lange Zeit speichern.



Nutzt Biomasse

### Pflanzenkohle Baustoffe

Speichert CO<sub>2</sub>

CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha, einmalig)	91,6 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	150 €
Speicherpermanenz	>100

### Pflanzenkohle in Baumaterialien

Pflanzenkohle ist ein durch Pyrolyse von Pflanzenbiomasse gewonnenes Material, das in Baumaterialien verwendet werden kann (z. B. Pflanzenkohlebeton, Dachbegrünung).



Nutzt Biomasse

### Pflanzenkohle Landwirtschaft

Speichert CO<sub>2</sub>

CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro ha und Jahr)	≈ 0,87 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	21-47€
Speicherpermanenz	>100

Besondere Eigenschaften:  
Die Abbaugeschwindigkeit der Kohle im Boden beträgt 0,3% pro Jahr

### Pflanzenkohle in der Landwirtschaft

Pflanzenkohle ist ein durch Pyrolyse von Pflanzenbiomasse gewonnenes Material, das auf landwirtschaftliche Böden aufgebracht wird. Die Zugabe von Biokohle/Pflanzenkohle in den Boden als sogenannter „Pyrogener Kohlenstoff-Dünger“ sorgt zum einen für eine langfristige Kohlenstoffspeicherung durch die Kohle selbst und für eine Verbesserung der Bodenbedingungen, was zu einer höheren Kohlenstoffanreicherung im Boden durch gesteigertes Pflanzenwachstum führen kann.



## Langlebige Biomasse-Materialien

### Langlebige Biomasse-Materialien

Durch die Verwendung langlebiger Biomasse-Materialien im Bausektor kann CO<sub>2</sub> langfristig gespeichert werden. Zu den möglichen Anwendungsbereichen gehören Holzwerkstoffe (Holzskelettkonstruktionen, Massivholzkonstruktionen, Holzrahmenkonstruktionen und Hybrid-Holzkonstruktionen) und Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen.



### Holzwerkstoffe



CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro Wohnanlage, einmalig)	≈ 2120 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	0-320 €
Speicherpermanenz	>100

### Langlebige Biomasse-Materialien

#### Holzwerkstoffe

Das Konzept betrachtet eine Wohnanlage mit mehrgeschossigen Mehrfamilienhäusern, welche in Holzbauweise errichtet wurden. Durch den Neubau von Holzgebäuden ist von einer Kohlenstoffspeicherung von durchschnittlich 212 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/m<sup>2</sup> Brutto-Grundfläche auszugehen. Zu den Konstruktionsarten von Holzgebäuden gehören insbesondere Holzskelettkonstruktionen, Massivholzkonstruktionen, Holzrahmenkonstruktionen und Hybrid-Holzkonstruktionen.



### NawaRo-Dämmstoffe



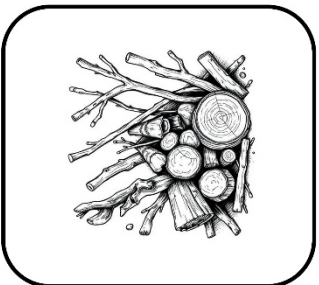
CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential (pro Einfamilienhaus)	≈ 6,5 t
CO <sub>2</sub> -Entnahmekosten (pro t CO <sub>2</sub> )	0-300 €
Speicherpermanenz	>100

### Langlebige Biomasse-Materialien

#### NawaRo-Dämmstoffe

Zunehmende energetische Sanierung des Gebäudebestandes mit kohlenstoffspeichernden Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen. Durch die Sanierung von Dämmstoffen in der Wand- und Dachdämmung von bestehenden und zukünftigen Gebäuden wird der Anteil von CO<sub>2</sub>-Senken in der thermischen Gebäudehülle erhöht. Dies umfasst alle Formen der Dämmung: Plattendämmung/Einblas-, Schütt-, und Stopfdämmung, Matten-/Ballendämmung.

## Reststoffe

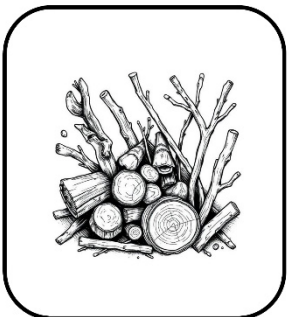


Liefert  
Biomasse

## Reststoffe

Reststoffe aus der Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Bauwirtschaft oder Paludiculture können als Biomasse in verschiedenen Verfahren zur Entnahme von CO<sub>2</sub> eingesetzt werden. Reststoffe für CDR können aus vielen Quellen stammen: Holzreste aus Wäldern und der Bauwirtschaft, Pflanzenabfälle aus Feuchtgebieten und Ernterückstände wie Stroh oder Schnittgut aus der Landwirtschaft. Diese Materialien können zu Biomasse für Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Entnahme verarbeitet werden.

## Reststoffe



Liefert  
Biomasse

## Reststoffe

Reststoffe aus der Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Bauwirtschaft oder Paludiculture können als Biomasse in verschiedenen Verfahren zur Entnahme von CO<sub>2</sub> eingesetzt werden. Reststoffe für CDR können aus vielen Quellen stammen: Holzreste aus Wäldern und der Bauwirtschaft, Pflanzenabfälle aus Feuchtgebieten und Ernterückstände wie Stroh oder Schnittgut aus der Landwirtschaft. Diese Materialien können zu Biomasse für Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Entnahme verarbeitet werden.

## Reststoffe

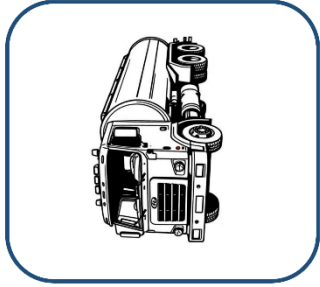


Liefert  
Biomasse

## Reststoffe

Reststoffe aus der Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Bauwirtschaft oder Paludiculture können als Biomasse in verschiedenen Verfahren zur Entnahme von CO<sub>2</sub> eingesetzt werden. Reststoffe für CDR können aus vielen Quellen stammen: Holzreste aus Wäldern und der Bauwirtschaft, Pflanzenabfälle aus Feuchtgebieten und Ernterückstände wie Stroh oder Schnittgut aus der Landwirtschaft. Diese Materialien können zu Biomasse für Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Entnahme verarbeitet werden.

**Transport**



**Tankwagen**

**Transport von CO<sub>2</sub> per Tanklastwagen**

Abgefangenes CO<sub>2</sub> kann verflüssigt und mit Tanklastwagen zu Speicher- oder Nutzungsstandorten transportiert werden. Dies ist besonders hilfreich, wenn keine Pipeline vorhanden ist. Umweltwirkungen entstehen vor allem durch Dieselverbrauch, der CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffemissionen verursacht, sowie durch den Energiebedarf für Druck und Kühlung des CO<sub>2</sub>. Kürzere Transportwege mindern diese Effekte.

**Transport**



**LKW**

**Transport von Biomasse per LKW**

Biomasse kann mit üblichen LKW zu Verarbeitungsanlagen gebracht werden. Diese Methode ist flexibel und eignet sich für kurze bis mittlere Distanzen. Allerdings entstehen durch den LKW-Verkehr Emissionen, zusätzlicher Verkehr sowie Staub- und Lärmbelastungen. Die Nutzung regionaler Biomasse und optimierte Fahrtrouten können die Umweltwirkungen verringern.

**Transport**



**Pipeline**

**Transport von CO<sub>2</sub> per Pipeline**

Pipelines können große Mengen komprimierten CO<sub>2</sub> effizient und mit relativ geringen Betriebsemissionen transportieren. Sie eignen sich für einen kontinuierlichen, langfristigen Transport zu Speicherstätten. Der Bau von Pipelines erfordert jedoch Flächen, Energie und sorgfältige Sicherheitsmaßnahmen, um Leckagen zu vermeiden. Im Betrieb sind die Umweltwirkungen in der Regel geringer als beim Transport per Lkw.

