



# Positionspapier

**Gesamtheitliche Bewertung der Ökologischen Klärschlamm-trocknung Offenhäuser in Bezug auf das THG-Einsparungspotenzial inkl. der Produktion und Anwendung von Pflanzenkohle.**



**November 2023**

## 1. Präambel

Aktuell werden Pyrolyseanlagen als Stand-Alone Anlagen für die Herstellung von Pflanzenkohle aus forstwirtschaftlichen Reststoffen fokussiert. Basierend auf dem gespeicherten Kohlenstoff im Produkt wird das Kohlenstoffsenkenpotenzial (C-Senken-Potenzial) berechnet und beispielsweise über den EBC C-Senken-Standard zertifiziert. Die ganzheitliche Betrachtung des CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzials von Standorten und Betrieben, das durch die systematische Verschränkung von unterschiedlichen Technologien realisiert wird, ist in der heutigen Zeit unumgänglich. Somit muss zukünftig ein Betrieb / Standort nach dem CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial und der aktiven CO<sub>2</sub>-Speicherung ihrer Prozesse bewertet werden.

Dieses Positionspapier fokussiert das CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial eines Pyrolyseprojektes, das über das C-Senkenpotenzial der produzierten Pflanzenkohle hinausgeht. Ein besonderes Augenmerk fällt hierbei auf die Einsparung von fossilen Energien durch die Bereitstellung von Abwärme und weist somit auf den aktuell noch wenig beachteten Aspekt der CO<sub>2</sub>-Einsparung hin.

Als Fallbeispiel wird die in der Nähe von Nürnberg beheimatete «Ökologische Klärschlamm-trocknung Offenhausen GmbH» (ÖKT) herangezogen. Der Betrieb, bestehend aus einer Biogasanlage und einem Klärschlamm-trockner, wurde im Jahr 2022 um eine Pyrolyseanlage erweitert. Die CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenziale setzen sich aus den folgenden Teilbereichen zusammen:

- Klärschlamm-trocknung: Die Trocknung von Klärschlamm ermöglicht eine Reduktion der Transportmenge vor Ort und geht somit mit der Einsparung an LKW-Fahrten einher. Der Klärschlamm wird neu nicht mehr auf landwirtschaftliche Felder ausgetragen – dadurch werden Methanemissionen vermieden.
- Bereitstellung von klimaneutraler Abwärme zur Trocknung von Klärschlamm aus der Biogasanlage bzw. Pyrolyse. Die thermische Nutzung von Flüssiggas für die Klärschlamm-trocknung konnte ersetzt werden.
- Produktion und Einsatz von Pflanzenkohle: Durch die Herstellung von Pflanzenkohle wird Kohlenstoff in eine beständige Form gebracht. Beim Einsatz der Pflanzenkohle in bodenbezogenen Anwendungen wird somit eine langfristige Kohlenstoffsenke geschaffen.

Die Gesamtbetrachtung dieser Treibhausgasreduktionen stellt das CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial des gesamten Pyrolyseprojektes am ÖKT dar. Die C-Senke der Pflanzenkohle, die einen Teil des Reduktionspotenzials abdeckt, kann auch zur Generierung von handelbaren CO<sub>2</sub>-Zertifikaten genutzt werden. Für die Zertifizierung der Kohlenstoffsenke ist eine präzise Berechnung der Daten im Rahmen eines Standards, sowie eine Prüfung durch eine neutrale Verifizierungsstelle notwendig. Hierfür empfiehlt sich der EBC C-Senken-Standard.

Die hier berechneten CO<sub>2</sub>-Reduktionen aus der Vermeidung der Direktausbringung des Klärschlammes, aus der Reduktion der LKW-Transporte und aus der Einsparung von fossiler Energie basieren auf Hypothesen und sind mit Unsicherheiten verbunden. Entsprechend ist die Verwendung dieser CO<sub>2</sub>-Reduktion als Grundlage für den Zertifikatshandel auf dem freien Markt nicht möglich.

Die Betrachtung dieses Reduktionspotenzials könnte in künftigen europäischen Regelwerken Einzug finden. Die Erkenntnisse aus diesem Papier können auch bei der Projektierung von Pyrolyseanlagen an weiteren Standorten herangezogen werden, um deren klimaneutrale oder klimapositive Wirkung zu bewerten.

Eines der Interessensschwerpunkte dieses Papiers ist es, die Anreize zur Investition in Pyrolyseanlagen darzulegen. Hierbei ist die EU-Taxonomie-Verordnung zu beachten, welche Regeln und Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Wirtschaftstätigkeit schafft, um so den Zielen des europäischen Green Deals nachzukommen und dabei die Wettbewerbsgleichheit für alle Unternehmen sicherzustellen. Die Verordnung umfasst ein Framework zur Messung der ökologischen Nachhaltigkeit einer Investition und fokussiert auf sechs Umweltaspekte [8]:

- Klimaschutz
- Klimawandelanpassung
- Nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen
- Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft
- Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
- Schutz und Wiederherstellung der Biodiversität und der Ökosysteme

## 2. Hintergrund und Systemgrenze

Auf Basis des landwirtschaftlichen Betriebes kam es im Jahr 2011 zum Bau der ersten Biogasanlage für die Verwertung von Landschaftspflegematerial, Mist (Pferde / Rinder / Schafe) und Silomais. Durch die Erweiterung der Biogasanlage im Jahr 2012 und 2018 kann aktuell eine Leistung von 900 kW (davon 500 kW elektrisch) über ein Blockheizkraftwerk (BHKW) abgegriffen werden (siehe [Abb. 1](#)).

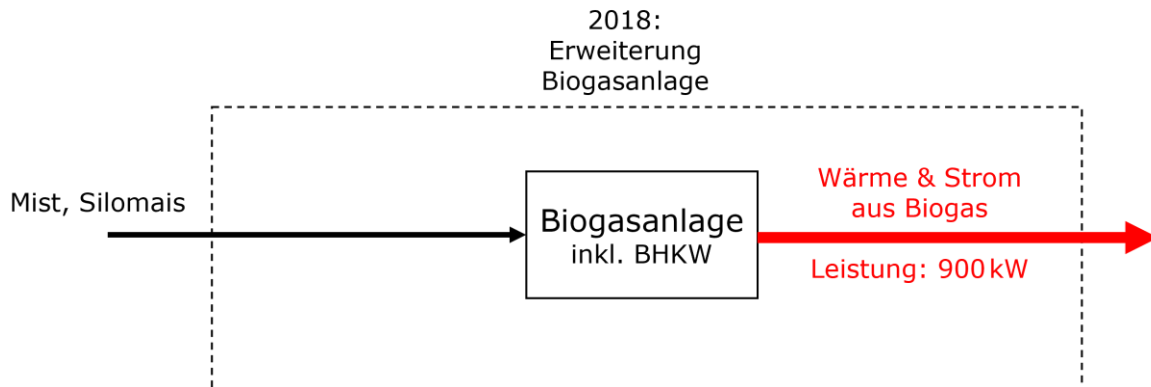


Abbildung 1: Flowchart Gesamtanlage 2018: Durch die Erweiterung der Biogasanlage kann nun Wärme und Strom von einer Leistung von 900 kW bereitgestellt werden.

Mit der Gründung der Ökologischen Klärschlamm-trocknung Offenhausen (ÖKT) GmbH im Jahr 2019 spezialisierte sich der Betrieb auf das Trocknen von kommunalem Klärschlamm (ca. 6'000 t entwässertes KS pro Jahr mit 26 % TS). Die notwendige Wärme bzw. Trockenluft für das Trocknersystem wird über das Abgas des BHKWs bereitgestellt (siehe [Abb. 2](#)).

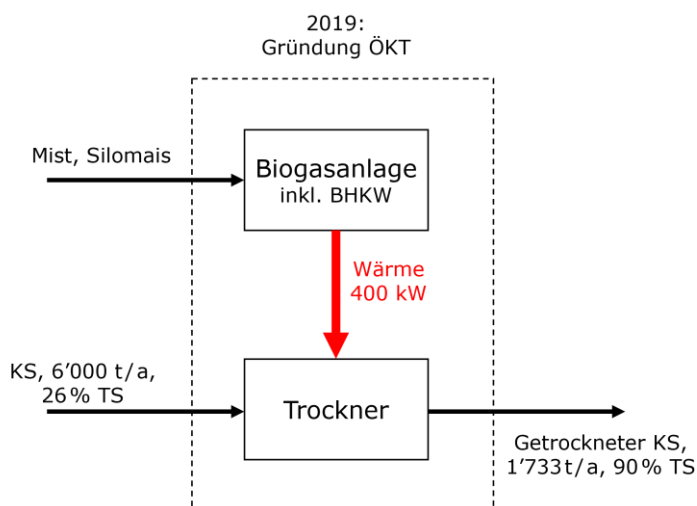


Abbildung 2: Flowchart Gesamtanlage 2019: Mit der Gründung der ÖKT wurde die Biogasanlage um einen Klärschlamm-trockner erweitert. Die hierfür benötigte Wärme wird vom BHKW der Biogasanlage bereitgestellt.



Abbildung 3: Ökologische Klärschlamm-trocknung Offenhausen GmbH

Im Jahr 2020 kam es zum Ausbau und zur Erweiterung der ÖKT. Durch Installation zweier weiterer Trocknersysteme konnte die aktuell maximale Jahreskapazität von 18'000 t erreicht werden (siehe Abb. 4). Neben der Nutzung der Abwärme aus dem BHKW musste nun Flüssiggas (LNG) als Wärmequelle eingesetzt werden. Jedoch wurde die Nutzung des Flüssiggases immer in Frage gestellt. Aus ökologischer Sicht musste eine Alternative gefunden werden.

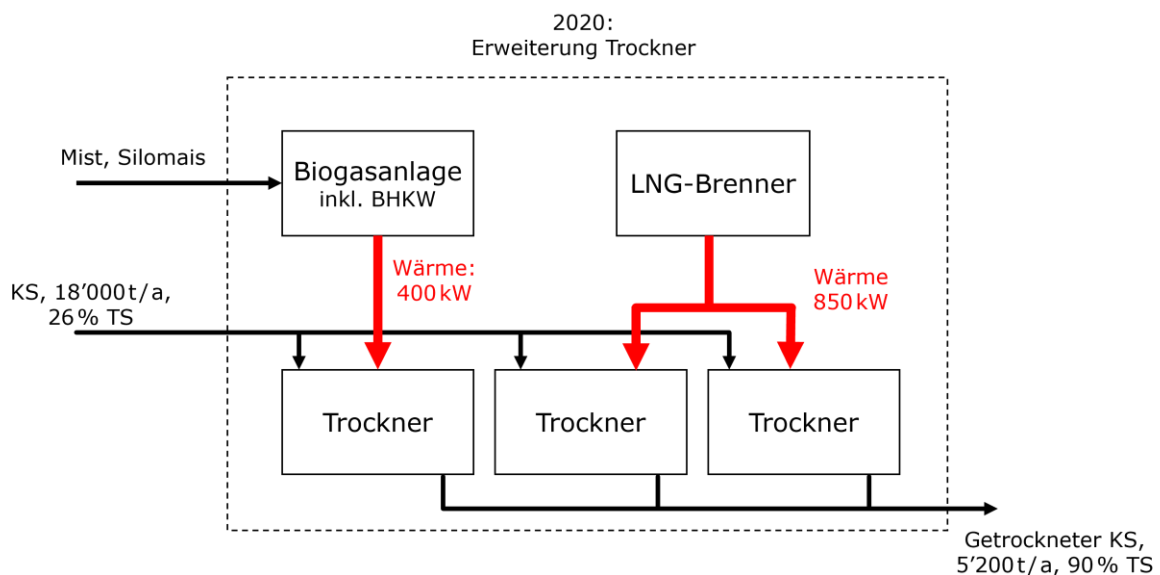


Abbildung 4: Flowchart Gesamtanlage 2020: Mit der Erweiterung des Trocknersystems musste zusätzliche Wärme mittels Flüssiggases bereitgestellt werden.

Neben der Eingliederung der Biogasanlage in die ÖKT im Jahr 2022, kam es ebenfalls zur Erweiterung der Einrichtung durch zwei Pyrolyseanlagen für die nachhaltige Bereitstellung von Abwärme für die Trockner und die gleichzeitige Erzeugung von Pflanzenkohle aus Holzhackschnitzeln. Aktuell (Q4 2023) laufen zwei Pyrolyseanlagen mit einer Gesamtkapazität von 850 kW für den kompletten Ersatz von



Erdgas im Trocknungsbetrieb (siehe Abb. 5 und 6). Zum Trocknen der Holzhack-schnitzel vor der Pyrolyse wird die Abwärme aus dem BHKW verwendet.

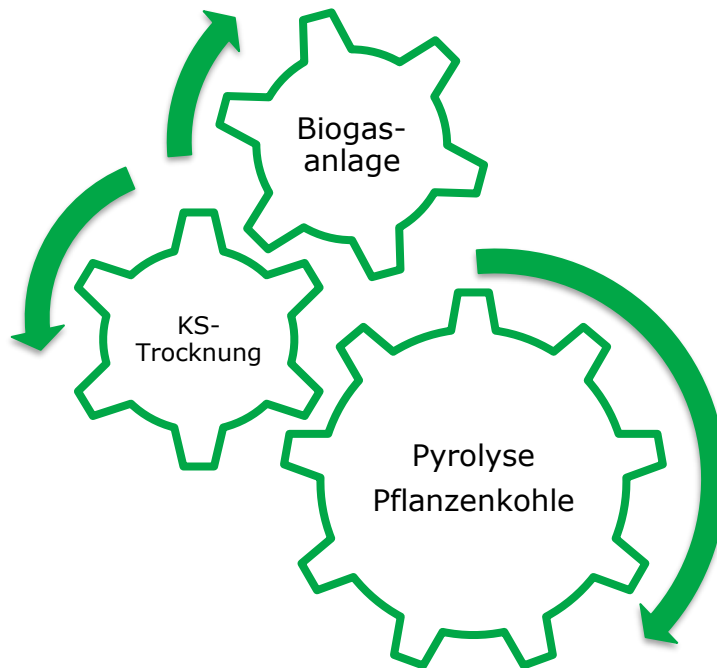


Abbildung 5: Ineinandergreifen der unterschiedlichen Technologien für die Maximierung der CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenziale.

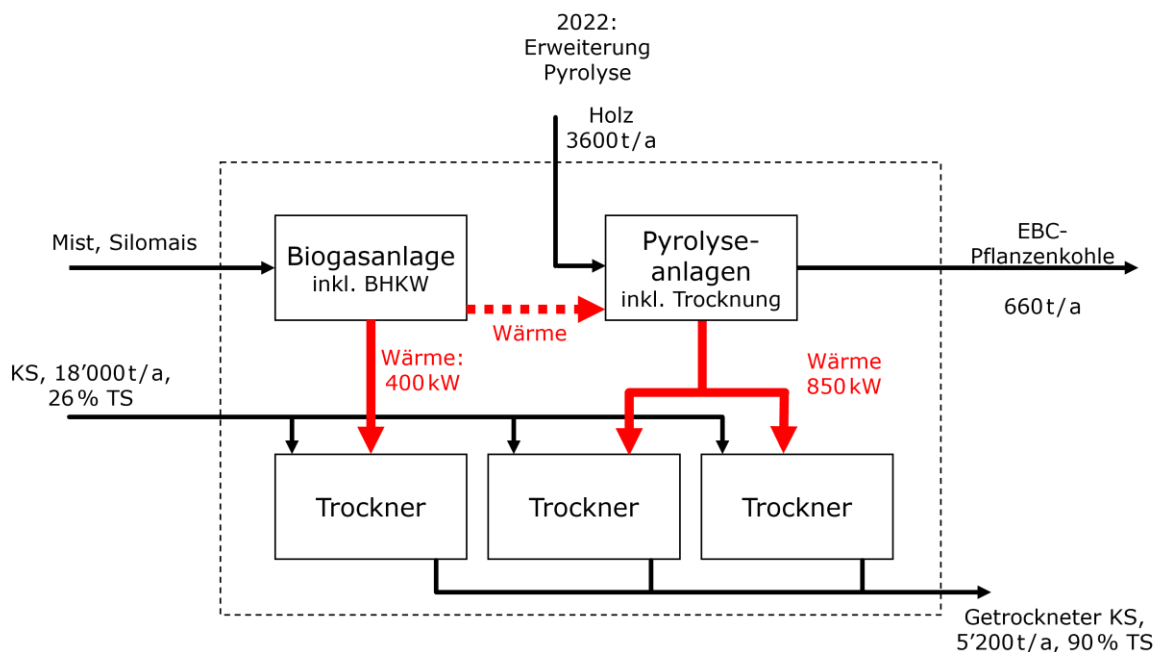


Abbildung 6: Flowchart Gesamtanlage 2022: Erweiterung der ÖKT um zwei Pyrolyseanlagen. Die fossile Wärme aus der Verbrennung des Flüssiggases wurde nun mit der erneuerbaren Alternative aus der Pyrolyse ersetzt. Mit der Pyrolyse wird gleichzeitig Pflanzenkohle hergestellt, und somit ein langfristiger Kohlenstoffspeicher geschaffen.

### 3. Ersetzen von fossilen Brennstoffen durch Abwärme aus der Pyrolyseanlage

Durch den Einsatz der beiden Pyrolyseanlagen seit Ende 2022 kann eine Leistung von 850 kW zur Trocknung des Klärschlammes bereitgestellt werden. Vor der Einrichtung der Pyrolysereaktoren musste diese Wärme durch Flüssiggas und dem BHKW der Biogasanlage abgedeckt werden, um dieselbe Menge an Klärschlamm zu trocknen (Siehe Abb. 4).

Als Alternative zur Trocknung des Klärschlammes ist die direkte Nutzung des Klärschlammes durch Direktausbringung oder Kompostierung zu sehen. Diese Nutzung wird jedoch in Deutschland und Österreich bis Ende dieses Jahrzehntes verboten.

Neben der Problematik der Ausbringung von Schadstoffen wie z.B. Mikroplastik und Medikamentenreste, ist die stoffliche Klärschlammverwertung auch aufgrund der Methanemissionen als klimaschädlichere Alternative einzustufen. Würden jährlich 18'000 t Klärschlamm (26 % TS) auf das Feld ausgetragen, sind ausgehend der Berechnungsmethode des österreichischen Umweltbundesamts CO<sub>2</sub>e-Emissionen von **19'081 t CO<sub>2</sub>e pro Jahr** zu erwarten [3]. Dieses enorme THG-Emissionspotenzial ist somit ein weiterer wichtiger Punkt, warum Klärschlamm einer umgehenden thermischen Verwertung zugeführt werden sollte.

*Tabelle 1: THG-Emissionen beim Austrag des Klärschlammes auf landwirtschaftliche Felder*

Anfall nicht-entwässerter Klärschlamm, 26% TS	18'000 t / a
Anfall nicht-entwässerter Klärschlamm, umgerechnet auf 34 % TS	13'765 t / a
Methanbildung Klärschlamm (34% TS) [3]	69.05 m <sup>3</sup> / t
Dichte Methan	0.717 kg / m <sup>3</sup>
Methanemissionen nach Austrag des KS	681 t CH <sub>4</sub> / a
<b>THG-Emissionen nach Austrag des KS</b> Treibhauspotential gemäss GWP <sub>100</sub> : 28 CO <sub>2</sub> e / CH <sub>4</sub>	<b>19'081 t CO<sub>2</sub>e / a</b>

Ohne den Einsatz der Pyrolyseanlagen bei ÖKT hätte die entsprechende Wärmeleistung zur Trocknung von 850 kW durch die Verbrennung von Flüssiggas zur Verfügung gestellt werden müssen. Es sei hier erwähnt, dass der Einsatz einer Biomasseverbrennungsanlage keine Option darstellte, da hier kein weiterer Mehrwert zu erzielen war. Wie in diesem Papier verdeutlicht wird, zeichnet sich die Pyrolyse hingegen durch die Nutzung von lokalen Synergien mit Biogasanlagen und der Landwirtschaft aus. Mit der Pyrolyse wird ein Beitrag zu den Umweltzielen Klimaschutz und Kreislaufwirtschaft geleistet.

Zieht man für en Emissionsfaktor für die Verbrennung von Flüssiggas den Wert aus dem IPCC-Report heran, berechnet sich eine Treibhausgasemission von **1'584 t CO<sub>2</sub>e pro Jahr**. Eine entsprechend hohe Treibhausgasreduktion wird also durch das Ersetzen des Flüssiggases durch klimaneutrale Energie aus der Pyrolyseanlage erzielt. Die zugrundeliegenden Annahmen zur Berechnung sind im Anhang aufgeführt.

Tabelle 2: THG-Emissionen bei der Bereitstellung der Wärme durch Flüssiggas

Wärmeleistung der Pyrolyseanlagen	850 kW
Jährlich durch Pyrolyse bereitgestellte Wärme = jährlich eingesparte fossile Wärme	26'806 GJ / a
<b>THG-Emissionen bei der Bereitstellung des Wärmebedarfs durch Flüssiggas [1]</b>	<b>1'584 t CO<sub>2</sub>e/a</b>

Des Weiteren wird durch das Trocknen das Gewicht des Klärschlamm reduziert, wodurch die Emissionen aus dem Klärschlammtransport verringert werden. Für das folgende Rechenbeispiel wird von einem Transport von 50 km ausgegangen (Emissionen LKW-Transport: Emissionsdaten Umweltbundesamt [4]). Gemeinsam mit den Eingabewerten der ÖKT Offenhausen GmbH ergibt sich daraus eine Emissionsreduktion von **75 t CO<sub>2</sub>e pro Jahr**. Diese Reduktion ist zwar vernachlässigbar klein, dennoch sollte die Alternative mit den geringeren Transportemissionen vorgezogen werden.

Tabelle 3: Einsparung der THG-Emissionen beim KS-Transport durch Trocknung

Anfall nicht-entwässerter Klärschlamm	18'000 t / a
Transportemissionen nicht-entwässerter Klärschlamm	106 t CO <sub>2</sub> e / a
Anfall getrockneter Klärschlamm nach ÖKT-Anlage	5'200 t / a
Transportemissionen getrockneter Klärschlamm	31 t CO <sub>2</sub> e / a
<b>Eingesparte Transportemissionen</b>	<b>75 t CO<sub>2</sub>e/a</b>

Gemäss EBC-Richtlinien ist 70 % des Pyrolysegases stofflich oder energetisch zu nutzen. Mit der Abwärmenutzung der verwerteten Gase wird diese Anforderung sichergestellt.

#### 4. Kohlenstoffsenke der Pflanzenkohle

Beim Einsatz der Pflanzenkohle in ein terrestrisches System wird eine langfristige C-Senke geschaffen. Bei der Treibhausgasbilanzierung der Synergie zwischen Klärschlamm-trocknung und Pyrolyse ist die Berücksichtigung dieser C-Senke unabdingbar.

Die Quantifizierung dieses Produkts erfolgt durch die EBC C-Senken-Zertifizierung: Wie in den Richtlinien beschrieben, wird hierbei der Kohlenstoffgehalt der produzierten Pflanzenkohle herangezogen und die Emissionen aus der Biomassebereitstellung und -aufbereitung, dem Transport und dem Pyrolyseprozess abgezogen. Letztere umfasst u.a. die Nutzung von Strom zum Betreiben der Anlage, sowie der etwaigen Verwendung von fossilen Brennstoffen zur Vorbeheizung der Brennkammern. Die Emissionen aus dem Bau und der Instandhaltung der Pyrolyseanlage werden von einer Sicherheitsmarge abgedeckt.

Es ist bekannt, dass im BHKW der ÖKT-Anlage ein Methanschluß auftritt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das produzierte Biogas im Kraftwerk nicht vollständig verbrannt wird – bei einer vollständigen Verbrennung würden höhere NO<sub>x</sub>-Emissionen auftauchen, welche die gesetzlichen Grenzwerte zur Luftreinhaltung überschreiten würde. Aufgrund dessen werden in der Abluft des KS-Trockners, welcher durch die Abwärme der BHKW beheizt wird, Methanemissionen vermutet.



Ein wichtiger Aspekt der C-Senken-Zertifizierung stellt die Quantifizierung der Methanemissionen der Pyrolyseanlage dar: Das methanhaltige Pyrolysegas wird gemäss EBC-Richtlinie abgefangen und anschliessend verbrannt, wodurch im Abgas der Anlage relativ niedrige Methanwerte zu erwarten sind. Aufgrund des hohen Treibhausgaspotenzials von Methan im 20-jährigen Zeitraum (86-mal grösser als jenes für CO<sub>2</sub>) berechnen sich jedoch CO<sub>2</sub>e-Emissionen, welche einen Einfluss auf die Klimabilanz der Pflanzenkohle haben. Im Rahmen der C-Senken-Zertifizierung ist die CH<sub>4</sub>-Bestimmung eingefordert: Dies kann durch Einzelmessungen an der Anlage erfolgen. Da Einzelmessungen von Methan jedoch kostspielig sind, wird die EBC-Typenzertifizierung angeboten, bei welcher der Anlagentyp eines Herstellers zertifiziert wird: Hierbei müssen drei baugleiche Anlagen in Betrieb stehen, und für zwei dieser Anlagen müssen Methanmessungen vorliegen. Die durchschnittliche Methanemission dieser Anlagen kann so pauschal für sämtliche Anlagen des zertifizierten Anlagentyps übertragen werden.

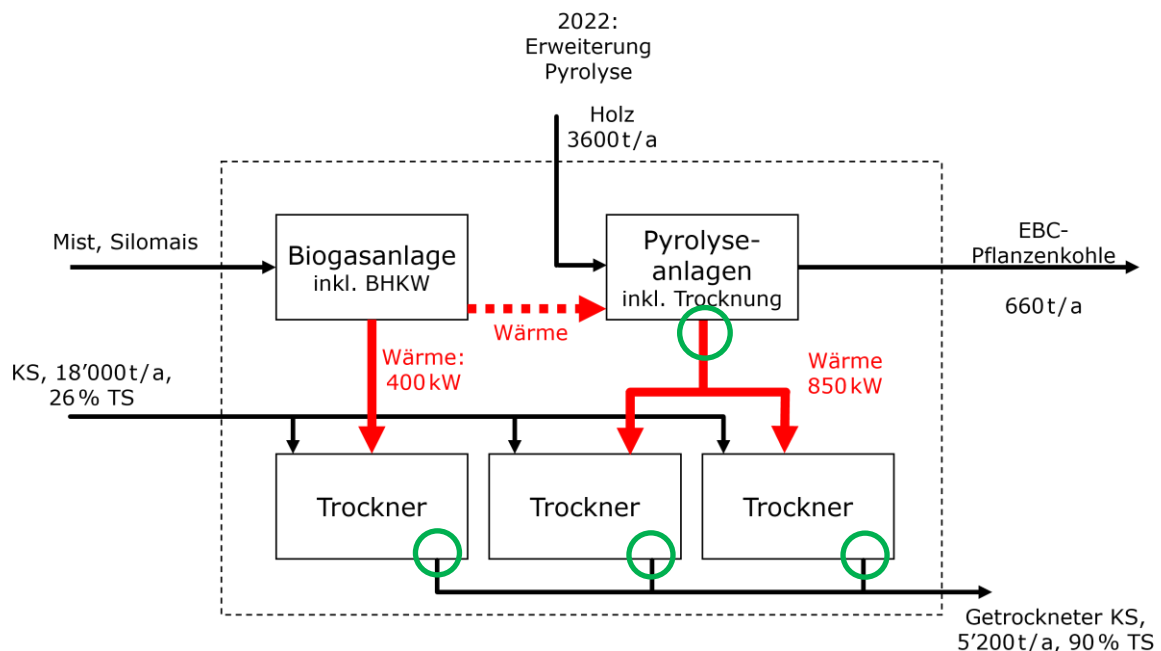


Abbildung 7: Flowchart Gesamtanlage 2022: Um die Methanemissionen und die Vermeidung des Methanschlupfs quantifizieren zu können, sind für die Anlage in Offenhausen Messungen an den grün markierten Stellen angedacht.

Für die Zertifizierung wurden Methanmessungen am Abgas nach der Pyrolyseanlage durchgeführt. Es wird vermutet, dass diese Emissionen durch die Vermeidung des Methanschlupfs gänzlich kompensiert werden können. Um diese Vermeidung quantifizieren zu können, sind für die Anlage in Offenhausen weitere CH<sub>4</sub>-Messungen an den Abgasen nach den drei Klärschlamm-trocknern angedacht. Die Messtellen zur Bestimmung der Methanemissionen und des Methanschlupfs sind in der Abbildung 7 grün markiert. Durch die EBC C-Senken-Zertifizierung einer Pflanzenkohle-Batch an einer weiteren baugleichen NGE-Anlage kann die Typenzertifizierung des Herstellers fertiggestellt werden.

Die Kohlenstoffbilanz der Pflanzenkohle bis zum Werkstor der Pyrolyseanlage wird als **C-Senken-Potenzial** bezeichnet. Das C-Senken-Potenzial an der Anlage in Offenhausen wurde bei der Zertifizierung wie folgt bestimmt:

- Emissionen aus dem Biomasseanbau werden nicht berücksichtigt, da es sich beim Ausgangsmaterial um Hackschnitzel aus Abfallholz handelt, und somit als klimaneutral anzusehen sind. Im Rahmen der C-Senke-Zertifizierung sind die Emissionen aus dem Transport der Biomasse mit 4.61 t CO<sub>2</sub>e / a bestimmt worden, jene aus der Vorbereitung der Biomasse zur Pyrolyse als 218.66 t CO<sub>2</sub>e / a.
- Bei der Trocknung des Ausgangsmaterials, beim Stromverbrauch der Pyrolyseanlage, sowie zum Vorheizen der Pyrolyse, fallen keine THG-Emissionen an, da für diese Prozesse klimaneutrale Energie aus dem Blockheizkraftwerk bezogen wird.
- Ausgehend von den Methanmessungen an der Pyrolyseanlage wurde ein jährlicher Ausstoss von 0.36 t CH<sub>4</sub> bestimmt. Es ist davon auszugehen, dass diese geringen Emissionen durch die Vermeidung des Methanschlupfs kompensiert werden können.

Die Bestimmung der C-Senke umfasst ausserdem eine Sicherheitsmarge, welche 10 % aller Emissionen entlang des Lebenszyklus ausmacht. Diese Marge deckt sämtliche indirekten Emissionen der Pflanzenkohleherstellung ab, welche bei der C-Senken-Berechnung nicht quantifiziert wurden. Zu diesen Prozessen gehören u.a. der Bau und die Wartung der Pyrolyseanlage.

Das berechnete C-Senken-Potenzial beläuft sich auf **1'936.83 t CO<sub>2</sub>e pro Jahr**. Für die finale C-Senke müsste hiervon noch die Transport- und Verarbeitungsemissionen vom Werkstor (Pyrolyseanlage) bis zur tatsächlichen Einbringung der Pflanzenkohle in eine Matrix (Boden, Kompost, Beton, etc.) abgezogen werden. In Hinblick auf dieses Pflanzenkohleprojekt empfiehlt sich die Anwendung der Pflanzenkohle im nahegelegenen Landwirtschaftsbetrieb. Dadurch kann der Transportaufwand minimiert und die Vorteile der Pflanzenkohle auf der lokalen Ebene genutzt werden – so wird dem Umweltziel der Kreislaufwirtschaft nähergekommen. Entsprechend können Transportemissionen als vernachlässigbar gering angenommen werden.

Tabelle 4: C-Senken-Potenzial und C-Senke der Pflanzenkohle  
 (Werte aus dem C-Senken-Potenzial-Zertifikat entnommen, Rundungsdifferenzen sind zu beachten)

Jährliche Pflanzenkohleproduktion	660 t TS / a	Daten ÖKT
C-Gehalt	92 %	Daten ÖKT
C-Speicher der jährlichen Produktion	-2'216.72 t CO <sub>2</sub> e / a	
Emissionen Biomasseanbau	0 t CO <sub>2</sub> e / a	vernachlässigt, da C-neutrales Abfallholz
Emissionen Transport Biomasse	4.61 t CO <sub>2</sub> e / a	
Emissionen Vorbereitung Biomasse	218.88 t CO <sub>2</sub> e / a	
Emissionen Trocknung Biomasse	0 t CO <sub>2</sub> e / a	klimaneutraler Strom aus Biogasanlage
Emissionen Stromverbrauch Pyrolyse	0 t CO <sub>2</sub> e / a	klimaneutraler Strom aus Biogasanlage
Emissionen Vorheizen Pyrolyse	0 t CO <sub>2</sub> e / a	klimaneutrale Wärme aus Biogasanlage
Methanemissionen Pyrolyseanlage	30.96 t CO <sub>2</sub> e / a	GWP20-Faktor: 86 t CO <sub>2</sub> e / t CH <sub>4</sub>
Sicherheitsmarge	25.44 t CO <sub>2</sub> e / a	
<b>Kohlenstoffsenken-Potenzial</b>	<b>-1'936.83 t CO<sub>2</sub>e / a</b>	
Emissionen Transport Pflanzenkohle	0 t CO <sub>2</sub> e / a	hier vernachlässigt
<b>Kohlenstoffsenke</b>	<b>-1'936.83 t CO<sub>2</sub>e / a</b>	

## 5. THG-Einsparung: Bilanz und Fazit

An der Ökologische Klärschlamm-trocknung Offenhausen wird seit ihrer Erweiterung im Jahr 2020 ein jährlicher Anfall von 18'000 t Klärschlamm getrocknet. Zunächst setzte die ÖKT einen Biogasreaktor, sowie einen Flüssiggasbrenner ein, um die Wärme für die Trocknung bereitzustellen. Um den Betrieb klimaschonender zu gestalten, wurde 2022 der Flüssiggasbrenner durch zwei Pyrolyseanlagen ersetzt. Zum einen konnten durch die Nutzung der Wärme aus der Pyrolyseanlage Emissionen aus dem fossilen Brennstoff eingespart werden; des Weiteren wird im Pyrolyseprozess qualitativ hochwertige Pflanzenkohle produziert. Durch den Einsatz dieser Pflanzenkohle im terrestrischen System wird eine langfristige Kohlenstoffsenke geschaffen. Um das CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial des gesamten Projekts zu betrachten, werden drei alternative Szenarien zur Klärschlammaufbereitung verglichen:

- Keine Klärschlamm-trocknung: Ohne die Trocknung durch ÖKT würde der jährliche Anfall an Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Feldern ausgetragen werden. Dies hätte Methanemissionen von geschätzten **19'081 t CO<sub>2</sub>e / a** zur Folge.
- Klärschlamm-trocknung mit fossiler Wärme: Bis zur Umstellung im Jahr 2022 wurde zur Trocknung des Klärschlammes eine Wärmeleistung von 400 kW durch die Biogasanlage, sowie 850 kW durch den Flüssiggasbrenner bereitgestellt. Die Nutzung von Flüssiggas als fossilen Energieträger war mit Treibhausgasemissionen von geschätzten **1'584 t CO<sub>2</sub>e / a** verbunden.
- Durch die Synergie zwischen Klärschlamm-trocknung und Pflanzenkohleproduktion, sowie den anschliessenden Einsatz der Pflanzenkohle wird eine Kohlenstoffsenke von etwa **1'937 t CO<sub>2</sub>e / a** geschaffen.

Der Vergleich zwischen den Szenarien wird im folgenden Diagramm graphisch aufgezeigt:

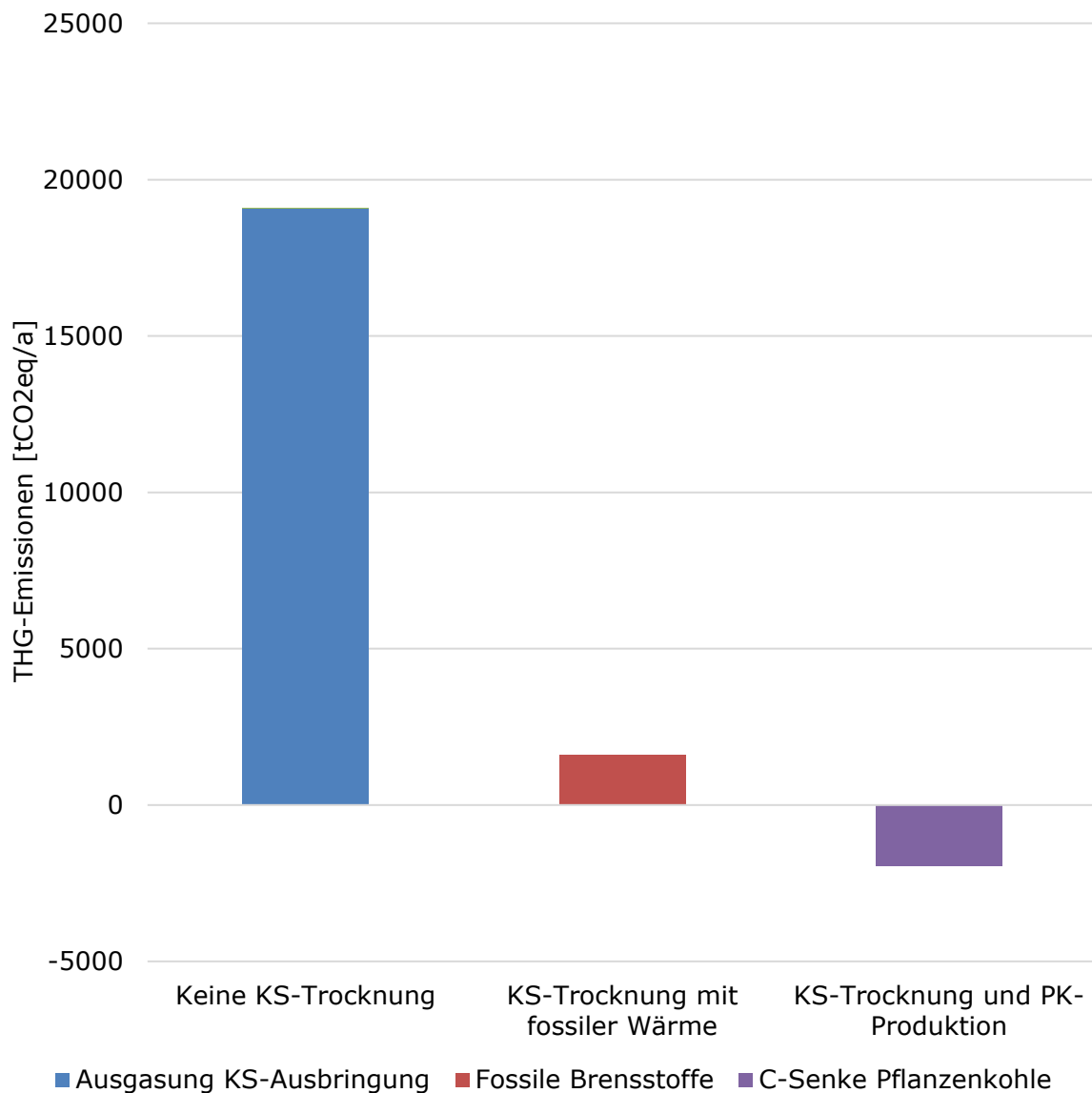


Abbildung 8: Flowchart Gesamtanlage 2022: Die Treibhausgasreduktion durch das Pyrolyseprojekt wird aufgezeigt, indem drei alternative Szenarien zur Klärschlammaufbereitung verglichen werden

Beim Vergleich dieser drei Szenarien ist ersichtlich, dass die massgebliche Verbesserung der Klimabilanz, durch Vermeidung der Klärschlammausbringung erzielt wird. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Klärschlammausbringung bis Ende des Jahrzehnts in Deutschland und Österreich ohnehin nicht mehr gesetzlich zulässig sein wird.

Betrachtet man die beiden hier dargestellten Alternativen zur Klärschlamm-trocknung, zeichnet sich die Synergie zwischen Pflanzenkohleproduktion und Klärschlammbehandlung aufgrund der Schaffung der C-Senke als klimafreundliche und sogar klimapositive Alternative aus.

Ein Pyrolyseprojekt mit lokalen Synergien kann im Rahmen der EU-Taxonomie bezüglich des Aspekts «Klimaschutz» einen nennenswerten Beitrag leisten. Mit der Nutzung der Pflanzenkohle als Düngerzusatz in der lokalen Landwirtschaft wird auch dem Umweltziel «Übergang zur Kreislaufwirtschaft» Folge geleistet.



Die berechnete CO<sub>2</sub>-Einsparung ist insbesondere für Pyrolyseanlagen interessant, welche – ähnlich wie die ÖKT – an Kläranlagen, Bioabfall-Verwertungsanlagen und/ oder landwirtschaftlichen Betrieben angeschlossen sind: Für Städte und Gemeinden, welche sich Klimaziele gesetzt haben, sind treibhausgasmindernde Prozessoptimierungen an der städtischen Infrastruktur unabdingbar. Die Pyrolyseprojekte an Biogas- und Kläranlagen können einen Betrag dazu leisten, um den gesetzten Klimazielen näherzukommen. Im Falle von Synergien der Pyrolyseanlage mit Landwirtschaftsbetrieben kann die beschriebene CO<sub>2</sub>-Einsparung in der Klimabilanz der landwirtschaftlichen Produkte angerechnet werden. Standorte mit ähnlichen Prozessoptimierungen hätten das Potenzial, gemäss der EU-Taxonomie-Verordnung als nachhaltig eingestuft zu werden. Dadurch hebt sich das Unternehmen von seinen Mitbewerbern positiv hervor, was wiederum einen Anreiz für Investoren schafft.

In Folgestudien kann auf Synergien zwischen der Pyrolyse und der Stahl-, Kunststoff- oder Bauindustrie eingegangen werden.

## 6. Weitere Aspekte

### a.) Zusatznutzen bei der Anwendung der Pflanzenkohle auf landwirtschaftlichen Feldern

Auch nach dem Einsatz der Pflanzenkohle in landwirtschaftlichen Böden sind weitere Zusatznutzen in Bezug auf die Klimawirkung zu beobachten: Durch die Pflanzenkohle wird der Humusaufbau gefördert und somit dem häufig beobachteten Abbau des organischen Kohlenstoffs entgegengewirkt. [6]

Ausserdem wird Pflanzenkohle für ihr Potenzial zur Wasserretention geschätzt. Ausgelöst durch den Klimawandel sind in den kommenden Jahren vermehrt Dürreperioden sowie Starkregen zu erwarten. Durch die Kapazität der Pflanzenkohle, Wasser zu speichern, können extreme Wetterereignisse ausbalanciert werden. Die Pflanzenkohle trägt somit zur Anpassung an den Klimawandel bei – einem der Umweltziele der EU-Taxonomie.

### b.) Einsatz der Pflanzenkohle im Biogasreaktor

In der Forschung werden beim Einsatz der Pflanzenkohle in Biogasanlagen weitere Zusatznutzen vermutet [2]. Im Hinblick auf das Projekt in Offenhausen könnten sich somit Synergien mit dem Biogasreaktor anbieten:

- Durch die Zugabe von Pflanzenkohle in den Biogasreaktor kann die Alkalität im Reaktor erhöht werden, was wiederum für die Gärung förderlich ist.
- Nährstoffe wie Stickstoff oder Schwefel können von der Pflanzenkohle aufgenommen werden. Diese Stoffe fänden sich ansonsten im Biogas als  $N_2O$ - oder  $H_2S$ -Emission wieder. Durch die Zugabe von Pflanzenkohle kann ein reineres Biogas mit höherem Methananteil erzeugt werden.
- Für die Hydrolyse, dem ersten und entscheidenden Teilprozess der Gärung, ist eine hohe Aufenthaltszeit der Mikroorganismen erforderlich. Die poröse Struktur der Pflanzenkohle bietet den Mikroorganismen eine grössere Oberfläche, auf welcher die Organismen Biofilme bilden und somit die Gärung in Gang setzen können.

Diese Effekte sind jedoch noch Gegenstand der Forschung und noch kaum im industriellen Massstab erprobt worden. Weitere Kenntnisse aus der Forschung und Entwicklung sind nötig, damit die Synergie zwischen Pflanzenkohleproduktion und Gärung in Regelwerken Einzug finden kann. Die erwähnten Punkte tragen nicht unbedingt zu einer verbesserten Klimabilanz bei, aber stellen dennoch Investitionsanreize für ein Pyrolyseprojekt dar.

### **c.) Weitere Synergien: Pyrolyse von Klärschlamm**

Eine weitere interessante Synergie im Bereich der Klärschlammbehandlung stellt die Pyrolyse von Klärschlamm dar: Die Verpflichtung zur Phosphorrückgewinnung führt zu weiteren technischen Herausforderungen (Monoverbrennungssysteme), wo die Pyrolysetechnologie wieder eine interessante Rolle spielen kann. Die Kläranlage Niederfrohna (Sachsen) ist hierfür ein Beispiel, wo Trocknung und Pyrolyse auf einer Kläranlage stattfinden, und die weitere Nutzung des erzeugten Kohleproduktes (Klärschlamm-Karbonisat), universitär begleitet, untersucht wird. [5] Daneben wurde im 2. Quartal 2023 auch in Nordhausen (D) ein PyroDry-System zur Aufbereitung von Klärschlamm auf einer Kläranlage für Forschungsarbeiten installiert. [7]

## Anhang

Annahmen Berechnung:

CO<sub>2</sub>-Fussabdruck Flüssiggas 59.1 gCO<sub>2</sub>e / MJ Quelle: [1]

CO<sub>2</sub>e-Fussabdruck LKW-Transport 118 gCO<sub>2</sub>e / tkm Quelle: [4]

Berechnungsmethode CH<sub>4</sub>-Ausgasung bei Austrag von Klärschlamm: Quelle: [3]

Tabelle 2.19: Bildung von Methan bei der Deponierung von Klärschlamm

Abfall im Sinne § 3 (7) AWG Stoffbezeichnung gemäß ÖNORM S 2100	Menge – 25 % TS (t/a)	Menge – 34 % TS (t/a) <sup>1</sup>	Methangasbildungsrate (m <sup>3</sup> /t*a) <sup>2</sup>	Methangasbildung gesamt (m <sup>3</sup> /a)	Methangasbildung gesamt (t/a) <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> Äquivalente (t/a) <sup>4</sup>
SN 945: Stabilisierte Schlämme aus mechanisch-biologischer Abwasserbehandlung; SN 948: Schlämme aus der Abwasserbehandlung	600.000	441.176	69,05	30.463.202	21.842	388.619
	800.000	588.235	69,05	40.617.626	29.123	531.495
	382.000	280.882	69,05	19.394.870	13.906	253.790

<sup>1</sup> Als Basis für die Berechnungen dient in der Studie von Baumeler eine Trockensubstanz von 34 %. Daher wurden die entsprechenden Werte aus der Tabelle 2.18 ebenfalls auf 34 % umgerechnet.

<sup>2</sup> Für die SN 945 wird ein Wert von 52,2 m<sup>3</sup>/t\*a bei einem jährlichen Anfall von 240.000 t, für die SN 948 werden 87,3 m<sup>3</sup>/t\*a bei einem Anfall von 225.000 t/a angegeben; der in der Tabelle angeführte Wert stellt einen Mittelwert dar.

<sup>3</sup> Dichte Methan: 0,717 kg/m<sup>3</sup>

<sup>4</sup> Äquivalenzfaktor: 21; von den Werten wurde bereits die Menge CO<sub>2</sub> abgezogen, welche aus der organischen Substanz durch Verbrennung freigesetzt worden wäre, statt zur Methanbildung beizutragen.

Abbildung 9: Berechnungsmethode CH<sub>4</sub>-Ausgasung bei Austrag von Klärschlamm Quelle: [3]

## Quellen

- [1] IPCC, 2018: «Properties of CO<sub>2</sub> and carbon-based fuels» ([link](#))
- [2] Masebinu, S. O., Fanoro, O. T., Insam, H., Mbohwa, C., Wagner, A. O., Markt, R., & Hupfau, S. (2022). «Can the addition of biochar improve the performance of biogas digesters operated at 45 C?», *Environmental Engineering Research*, 27(2). ([link](#))
- [3] Umweltbundesamt (A), 2001: «Mitverbrennung von Klärschlamm in kalorischen Kraftwerken» ([link](#))
- [4] Umweltbundesamt (D), 2021: Emissionsdaten ([link](#))
- [5] Zweckverband Frohnbach – «Der Verband und seine Strukturen – Zweckverband Frohnbach» ([link](#))
- [6] Blanco-Canqui, H., Laird, D. A., Heaton, E. A., Rathke, S., & Acharya, B. S. (2020). «Soil carbon increased by twice the amount of biochar carbon applied after 6 years: Field evidence of negative priming». *GCB Bioenergy*, 12(4), 240-251. ([link](#))  
EBC (2012-2023) «European Biochar Certificate – Richtlinien für die Zertifizierung von Pflanzenkohle», Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland.  
<http://www.european-biochar.org> Version 10.3G vom 5. April 2023 ([link](#))
- [7] «Regionale Kreislaufwirtschaft zur lokalen Wiederverwendung von Klärschlamm und Biomasse mit der Option der CO<sub>2</sub> Bilanzierung (CarboMass)», Hochschule Nordhausen; [CarboMass \(hs-nordhausen.de\)](http://CarboMass.hs-nordhausen.de)
- [8] EU-Taxonomie-Verordnung ([link](#))  
  
EBC (2012-2023) «European Biochar Certificate – Richtlinien für die Zertifizierung von Pflanzenkohle», Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland.  
<http://www.european-biochar.org> Version 10.3G vom 5. April 2023 ([link](#))  
  
EBC (2020), «Zertifizierung des C-Senken Potentials von Pflanzenkohle», Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. (<http://european-biochar.org>). Version 2.1D vom 25. Januar 2021 ([link](#))