

Technische Betriebe Offenburg



Potenzialstudie Abfallentsorgung



Björnsen Beratende Ingenieure GmbH
Niederlassung Leonberg
Distelfeldstraße 15, 71229 -Leonberg
März 2023, NK, MiK, LB, off202029075.

Inhaltsverzeichnis

Erläuterungsbericht

1	Einführung	1
1.1	Stadt Offenburg	1
1.1.1	Technische Betriebe Offenburg	2
1.1.2	Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis	2
1.1.3	Waldservice Ortenau eG	2
2	Bestandsaufnahme	3
2.1	Abfallentsorgungsstruktur	3
2.2	Abfallströme, Entsorgungswege und -anlagen	5
2.2.1	Abfallströme unter Verantwortung der TBO	5
2.2.2	Abfallströme unter Verantwortung des Landratsamts Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis	8
2.2.3	Reststoff der Waldservice Ortenau eG	13
3	Potenzialanalyse	13
3.1	Potenzial der biogenen Reststoffströme	13
3.1.1	Laub	13
3.1.2	Schnittgut aus der Landschaftspflege	13
3.1.3	Grünabfall	14
3.1.4	Mist / Rasenschnitt	14
3.1.5	Altholz (AI – AIV)	15
3.1.6	Hackrohholz (Hackschnitzel)	16
3.1.7	Wurzelstöcke	16
3.1.8	Organikanteil im Hausmüll (Abfallwirtschaft Ortenaukreis)	16
3.2	Potenzial zusätzlich verfügbarer organischer Reststoffe	17

3.3	Potenziale aus anderen Reststoffströmen	18
3.3.1	Haus- / Siedlungsmüll	19
3.3.2	Wilder Müll	20
3.3.3	Straßenkehricht	21
3.3.4	Beton / Bitumen / Kies	22
3.3.5	Kunststoff- und Leichtverpackungen (Gelber Sack bzw. grüne Tonne)	22
3.3.6	Altglas, Metall- und Elektroschrott	23
3.3.7	Altreifen	24
3.3.8	Erdaushub	25
3.3.9	Mineralische Abfälle	26
3.3.10	Sperrmüll	26
3.4	Optimierungspotenzial bestehender Systeme	26
3.4.1	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage Kahlenberg	26
3.4.2	Klimaschutzpotenziale durch Digitalisierung	29
3.5	Untersuchung eines innovativen, thermischen Verwertungswegs	30
3.5.1	Pyrolyse	30
3.5.2	Inputströme	31
3.5.3	Variantenentwicklung	32
3.5.3.1	IST-Szenario	33
3.5.3.2	Szenario A: Pyrolyse von aufbereitetem Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut	34
3.5.3.3	Szenario B: Szenario A + Zusätzliche Pyrolyse von Laubpellets	35
3.5.3.4	Szenario C: Szenario A + Zusätzliche Pyrolyse von aufbereitetem Altholz	38
3.5.3.5	Vergleich der Aufbereitungsszenarien	40
3.5.4	Materialaufbereitung	42
3.5.4.1	Zerkleinerungstechnik	42
3.5.4.2	Störstoffentfrachtung	43
3.5.4.3	Siebung	44
3.5.4.4	Pelletierung	44
3.5.4.5	Trocknung	45
3.5.5	Vergleich der Anlagentechnologien	46

3.5.5.1	Carbo-FORCE GmbH	46
3.5.5.2	CTS GmbH	47
3.5.5.3	PYREG GmbH	49
3.5.6	Standort der Anlage	50
3.5.6.1	Genehmigungsrechtliche Einordnung von Anlagen	51
3.5.7	Treibhausgasbilanz	52
3.5.7.1	Ziel und Untersuchungsrahmen	52
3.5.7.2	Datenquellen und Berechnungsmethode	53
3.5.7.3	Berechnungsergebnisse	55
3.5.7.4	Schlussfolgerung	57
3.5.8	Wirtschaftlichkeitsvergleich	58
3.5.8.1	Allgemeine Eingangsparameter	58
3.5.8.2	Ergebnisse von Szenario A (Pyrolyse von aufbereitetem Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut)	60
3.5.8.3	Ergebnisse von Szenario B (Szenario A + Zusätzliche Pyrolyse von Laubpellets)	64
3.5.8.4	Ergebnisse von Szenario C (Szenario A + Zusätzliche Pyrolyse von aufbereitetem Altholz)	67
3.5.8.5	Schlussfolgerungen aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	70
3.6	Vermarktung von Produkten	70
3.6.1	Absatzmärkte für Pflanzenkohle	70
3.6.2	Wärmenutzungskonzept	70
3.6.3	Herstellung von Pyrolyseöl	71
3.6.4	CO ₂ - Zertifikatehandel	72
3.7	Integration in die Klimaschutzstrategie der Stadt Offenburg	73
4	Zusammenfassung und Ausblick	74
4.1	Empfehlungen zu Optimierungsmaßnahmen	74
4.2	Interkommunale Zusammenarbeit	75
4.3	Fahrplan zur Umsetzung	76
5	Literaturverzeichnis	77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lage des Stadtgebiet Offenburgs im Ortenaukreis (Hagar66, 2010)	1
Abbildung 2:	Entsorgungsstruktur der Stadt Offenburg in Hinblick auf die betrachteten Stoffströme (eigene Darstellung)	3
Abbildung 3:	Geographische Lage unterschiedlicher Orte der Abfallsammelstruktur der TBO, der Abfallwirtschaft Ortenaukreis und des Waldservices (Quelle: open street map; mit eigenen Anmerkungen)	4
Abbildung 4:	Aufschichtung des Schnittgutes aus der Landschaftspflege auf dem Grünablageplatz der TBO (Eigene Aufnahme, Stand: 2022)	14
Abbildung 5:	Ungenutzte Potenziale biogener Rest- und Abfallstoffe in Deutschland (DBFZ, 2015)	17
Abbildung 6:	Verwertung von Behälterglas in Deutschland, Quelle: (Umweltbundesamt, Glas und Altglas, 2021)	19
Abbildung 7:	Sammelplatz des Straßenkehricht auf dem Gelände der TBO (Eigene Aufnahme, Stand: 2022)	21
Abbildung 8:	Verwertung der Kunststoffabfälle in Deutschland (Umweltbundesamt, Kunststoffabfälle, 2021)	23
Abbildung 9:	Sammelmenen und -quoten von Elektroschrott (Umweltbundesamt, Elektro- und Elektronikaltgeräte, 2021)	24
Abbildung 10:	Verwertungswege von Altreifen (wdk Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e.V., 2022)	25
Abbildung 11:	Vereinfachtes Prozessschema der vorhandenen MBA (links) im Vergleich zu einer potentiellen Umnutzung bei getrennter Bioabfallbehandlung (rechts)	27
Abbildung 12:	Thermochemische Prozesse zur Pyrolyse von Biomassen (Quicker, 2016)	31
Abbildung 13:	Darstellung der für die Karbonisierung geeigneten und verfügbaren biogenen Stoffströme und deren Herkunft	32
Abbildung 14:	Stoffstrommodell für das IST-Szenario	34
Abbildung 15:	Stoffstrommodell für das Szenario A (Grünabfall, Wurzelstöcke, Schnittgut)	35
Abbildung 16:	Stoffstrommodell für das Szenario B (Grünabfall, Wurzelstöcke, Schnittgut, Laub)	37
Abbildung 17:	Stoffstrommodell für das Szenario C (Grünabfall, Wurzelstöcke, Schnittgut, Altholz)	39
Abbildung 18:	Ergebnisse der Stoffstrommodellierung im IST-Szenario	41
Abbildung 19:	Ergebnisse der Stoffstrommodellierung in Szenario A	41

Abbildung 20:	Ergebnisse der Stoffstrommodellierung im Szenario B	41
Abbildung 21:	Ergebnisse der Stoffstrommodellierung im Szenario C	41
Abbildung 22:	Vorzerkleinerer Komptech Crambo 3400 (links) (Komptech CEA, 2022a) und Nachzerkleinerer Maier Dieffenbacher SMV Cutting Rotor (rechts) (Dieffenbacher, o. D.)	43
Abbildung 23:	Komptech Stonefex (links) (Komptech CEA, 2022d) und Komptech Hurrican S (rechts) (Komptech CEA, 2022b)	44
Abbildung 24:	Komptech Multistar S3 (Komptech CEA, 2022c)	44
Abbildung 25:	Pelletierpresse einer Tritec Pelletieranlage (Tritec GmbH, o. D.)	45
Abbildung 26:	Verfahrenseinteilung unterschiedlicher Trocknungssysteme, Quelle: (Jan Focke, 2014).	46
Abbildung 27:	Modulares Durchlauftrocknungssystem des Typs FlowDrya FD60GS von STRONGA (Stronga, 2022)	46
Abbildung 28:	Pyrolyseanlage auf dem Hof der Abfallwirtschaft Rendsburg-Eckernförde (Abfall-Wertstoff-Ressource, AWR) in Borgstedt (Carbo-FORCE GmbH, o. D.)	47
Abbildung 29:	Anlage zur Herstellung von Futtermittelkohle in Rieden (cts Carbon Technik Schuster GmbH, o. D.)	48
Abbildung 30:	PYREG-Anlage zur Grünschnittpyrolyse in Basel (PYREG, 2022)	49
Abbildung 31:	Standort des Grünablageplatzes der TBO (Quelle: open street map)	50
Abbildung 32:	Standort des aktuellen E-Center Geländes (Quelle: open street map)	50
Abbildung 33:	Erweiterung des Gewerbepark bei Schutterwald (Quelle: open street map)	50
Abbildung 34:	Untersuchungsrahmen der Treibhausgasbilanz	53
Abbildung 35:	Treibhausgasbilanz und Einsparpotentiale im Szenarienvergleich (Basisvariante)	55
Abbildung 36:	Einsparpotentiale im Szenarienvergleich unter Annahme eines höheren Nutzungsgrads bei der thermischen Verwertung	56
Abbildung 37:	Einsparpotentiale im Szenarienvergleich Ausblick 2030 und 2050 (bezogen auf die Basisvariante)	57
Abbildung 38:	Betrachtung der Szenarien A,B und C mit jeweils drei unterschiedlichen Karbonisierungstechnologien	58
Abbildung 39:	Vergleich der Investitionskosten von Variante A.1, A.2 und A.3	62
Abbildung 40:	Vergleich der Betriebskosten von Variante A.1, A.2 und A.3	62
Abbildung 41:	Vergleich der Einnahmen von Variante A.1, A.2 und A.3	63
Abbildung 42:	Vergleich der Amortisationszeit von Variante A.1, A.2 und A.3	64
Abbildung 43:	Vergleich der Investitionskosten von Variante B.1, B.2 und B.3	65

Abbildung 44:	Vergleich der Betriebskosten von Variante B.1, B.2 und B.3	65
Abbildung 45:	Vergleich der Einnahmen von Variante B.1, B.2 und B.3	66
Abbildung 46:	Vergleich der Amortisationszeit von Variante B.1, B.2 und B.3	67
Abbildung 47:	Vergleich der Investitionskosten von Variante C.1, C.2 und C.3	68
Abbildung 48:	Vergleich der Betriebskosten von Variante C.1, C.2 und C.3	68
Abbildung 49:	Vergleich der Einnahmen von Variante C.1, C.2 und C.3	69
Abbildung 50:	Vergleich der Amortisationszeit von Variante C.1, C.2 und C.3	70
Abbildung 51:	Geplanter Fernwärmeausbau des Wärmenetzes Offenburg (Blau: Bestand, Grün: geplanter Ausbau bis 2023, Gelb: geplanter Ausbau bis 2024, Orange: geplanter Ausbau bis 2026) mit eigenen Ergänzungen aus Wärmeversorgung Offenburg, 2021 (Wärmeversorgung Offenburg GmbH & Co. KG, 2021)	71
Abbildung 52:	Grundlegendes Schema der Herstellung und Aufbereitung des TCR-Öls (Schmitt, 2021)	72
Abbildung 53:	Berechnung der zustehenden Zertifikatmenge nach Puro.Earth	73
Abbildung 54:	Erste Skizzierung eines Bauzeitenplans einer Karbonisierungsanlage in Offenburg	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Abfallströme unter der Verantwortung der TBO	6
Tabelle 2:	Zusammenfassung der Abfallströme unter Verantwortung des Landratsamtes Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis	9
Tabelle 3:	Zusammenfassung der am Wertstoffhof Rammersweier gesammelten Abfallströme (Landratsamt Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis)	10
Tabelle 4:	Zusammenfassung der am Wertstoffhof Zunsweier gesammelten Abfallströme (Landratsamt Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis)	11
Tabelle 5:	Zusammenfassung der am Wertstoffhof Schutterwald-Höfen gesammelten Abfallströme (Landratsamt Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis)	12
Tabelle 6:	Altholzkategorien nach AltholzV 2002	15
Tabelle 7:	Verfahren für die stoffliche Verwertung von Altholz nach Anhang I (zu § 3 Abs. 1) AltholzV 2002	16
Tabelle 8:	Parameter für die Abschätzung des Biogasertrags	28
Tabelle 9:	Ergebnisse der Abschätzung des Methanertrags	29
Tabelle 10:	Für die Karbonisierung geeignete Stoffströme mit angenommenen Trockensubstanzgehalten	32
Tabelle 11:	Betrachtung von drei Standortszenarien mit ihren Vor- und Nachteilen	50
Tabelle 12:	Investitionskosten für die Karbonisierungstechnologie	58
Tabelle 13:	Investitionskosten in den Szenarien A, B und C für die technischen Anlagen	59
Tabelle 14:	Annahmen der spezifischen Kosten zur Berechnung der Betriebskosten	60
Tabelle 15:	Annahmen zur Berechnung der Einnahmen	60
Tabelle 16:	Details zur Kosten, Auslastung, Durchsatz und PK-Ertrag der in Varianten A.1, A.2 und A.3 gewählten Karbonisierungsanlagen	61
Tabelle 17:	Details zur Kosten, Auslastung, Durchsatz und PK-Ertrag der in Varianten B.1, B.2 und B.3 gewählten Karbonisierungsanlagen	64
Tabelle 18:	Details zur Kosten, Auslastung, Durchsatz und PK-Ertrag der in Varianten C.1, C.2 und C.3 gewählten Karbonisierungsanlagen	67

Anlagen

Reihe A: Annahmen und Berechnungsgrundlagen

- A-1 Annahmen in den Stoffstrommodellen
- A-2 Berechnungsparameter Treibhausgasbilanz
- A-3 Finanzkennzahlen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung

Reihe B: Broschüren und Informationsmaterial

- B-1 EBC-Positivliste
- B-2 Informationsmaterial Karbonisierungs- und Verstromungsanlagen
 - B-2.1 Broschüre Carbo-FORCE
 - B-2.2 Datenblatt B+K ClinX
 - B-2.3 Datenblatt CTS 20
 - B-2.4 Datenblatt CTS 40
 - B-2.5 Broschüre DÜRR
 - B-2.6 Broschüre PYREG
- B-3 Informationsmaterial CO₂-Zertifikate
 - B-3.1 Präsentation PuroEarth
 - B-3.2 Standards Carbonfuture

Abkürzungsverzeichnis

DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
CO₂-eq	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
EBC	Europäisches Pflanzenkohle-Zertifikat (englisch: European Biochar Certificate)
EW	Einwohner
fm	Festmeter
FM	Frischmasse
IC	Industrial Control System
IINAS	Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen GmbH (englisch: International Institute for Sustainability Analysis and Strategy)
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
KMF	Künstliche Mineralfasern
KN40	Szenario Offenburg Klimaneutral 2040
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
NE	Handlungsfeld nachhaltige Energieversorgung
PPP	öffentlich-rechtliche Partnerschaft (englisch: public-private partnership)
TBO	Technische Betriebe Offenburg
TCR	Thermo-Katalytische Reformierung
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanzgehalt
wdk	Wirtschaftsverbands der deutschen Kautschukindustrie
WSO	Waldservice Ortenau eG
ZAK	Zweckverband Abfallbehandlung Kahlenberg

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

1 Einführung

Das Klimaschutzgesetz der deutschen Bundesregierung sieht vor, dass Deutschland bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral wird (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2022). Dieses Ziel bietet eine Orientierung für Akteure aus Kommunen, Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Dabei soll Klimaschutz Hand in Hand mit ökonomischem Erfolg gehen und technologieneutral und offen für Innovationen erreicht werden.

Die Stadt Offenburg reiht sich in die Pläne der Landesregierung Baden- Württembergs mit ihren Klimaschutzzielen ein und strebt ein Erreichen der Klimaneutralität bis 2040 an. Eine Teilstrategie der Zielerreichung ist die Optimierung ihrer Entsorgungsstrukturen. Dabei soll der gesamte Prozess der Abfallentsorgung betrachtet werden, um Treibhausgasemissionen zu vermeiden, die momentan bei der Sammlung bis zur Verwertung entstehen. Im Rahmen der vorliegenden Potentialstudie sollen innovative Lösungen in der Abfallwirtschaft der Stadt Offenburg untersucht werden. Ziel ist es, die bisherigen Entsorgungsstrukturen treibhausgas-effizienter zu gestalten.

1.1 Stadt Offenburg

Die Stadt Offenburg liegt im Westen Baden-Württembergs im Ortenaukreis, südöstlich von Straßburg. Mit ihren derzeit 60.388 Einwohnern ist Offenburg die größte Stadt des Ortenaukreises und erstreckt sich über eine Fläche von 78,37 km².

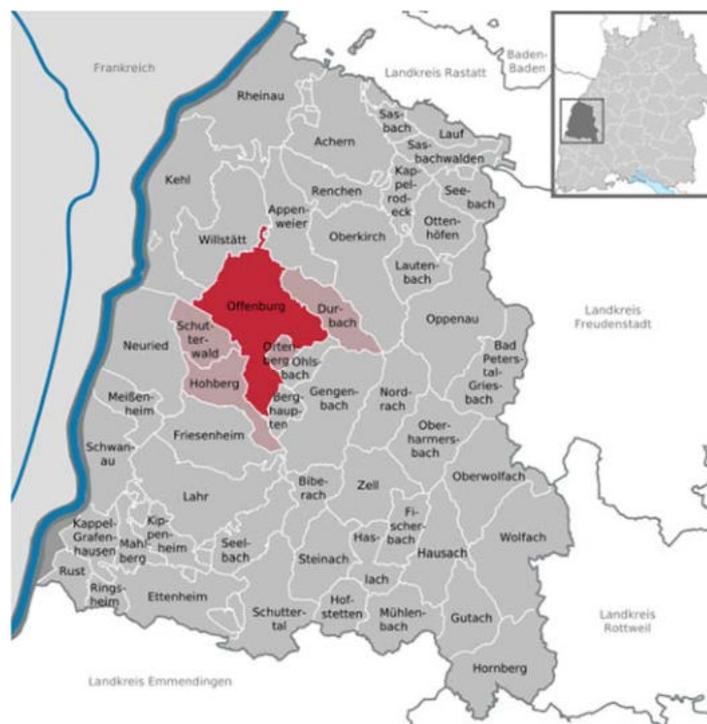


Abbildung 1: Lage des Stadtgebiet Offenburgs im Ortenaukreis (Hagar66, 2010)

Nach §20 des Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) sind öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger in ihrem Gebiet verpflichtet, die überlassene Abfälle aus privaten Haushaltungen zu verwerten und zu

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

beseitigen. Im Fall der Stadt Offenburg wird diese Pflicht vom Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis wahrgenommen. Alle weiteren Abfälle, die im öffentlichen Raum oder Einrichtungen und Verwaltungsgebäuden anfallen, sind im Verantwortungsbereich der Technischen Betriebe Offenburg (TBO).

1.1.1 Technische Betriebe Offenburg

Die TBO sorgen mit rund 320 Beschäftigten innerhalb von Offenburg für Sauberkeit, halten Straßen und Wege instand und pflegen öffentliche Grünflächen. Sie sind ein Dienstleistungsunternehmen der Stadt Offenburg in der Rechtsform eines Eigenbetriebes.

Die TBO / Straßenunterhaltung / Straßenbau unterhält ca. 260 km Straßen im Stadtgebiet Offenburg, ca. 250.000 m² Straßenbegleitgrün, 220 km Radwege und 110 km Wirtschaftswege. Im Bereich der Abfallentsorgung fallen verschiedene Abfallströme des öffentlichen Raumes und von Verwaltungsgebäuden unter der Verantwortung der TBO an, welche manuell eingesammelt werden. Zusätzlich ergibt sich Straßenkehricht aus der Straßenreinigung. Die TBO / Waldwirtschaft bewirtschaftet 2.300 ha Waldfläche und schlägt im Jahr ca. 15.000 Festmeter Holz ein.

Zusätzlich ist die TBO für die Gebäudereinigung in Schulen, Kindergärten, Familienzentren, Einrichtungen und Verwaltungsgebäuden der Stadt Offenburg zuständig. Die TBO / Gartenabteilung pflegt und unterhält ca. 837.000 m² Freifläche und Grünanlagen, davon 532.000 m² Mähflächen wie Sport- und Gebrauchsrasen sowie Wiesen, 96.100 m² Gehölzflächen, 4.400 m² Rosenflächen, 97.000 m² Wege und 5.000 m² Gartenanlagen. Überdies werden ca. 140 Kinderspielplätze gepflegt. Darüber hinaus betreuen die TBO-Werkstätten rund 140 Spielplätze und warten 27 Lichtsignalanlagen sowie 48 städtische Parkautomaten. Die TBO/Kfz-Werkstatt pflegt und wartet rund 250 eigene Fahrzeuge, Geräte und Maschinen, ferner weitere Fahrzeuge aus den städtischen Fachbereichen sowie des Energieversorgungsunternehmens badenova (Stadt Offenburg, 2022b).

1.1.2 Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis

Der Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis übernimmt in der Stadt Offenburg die Pflichten der Abfallentsorgung als öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger.

Die Abfallsortierung gliedert sich in die graue Tonne für den Hausmüll, die grüne Tonne für Papier und Pappe sowie den gelben Sack für Leichtverpackungen. Diese werden am Haus über Sammelfahrzeuge abgeholt. Glas wird in Altglascontainern gesammelt. Für Grünabfälle, Sperrmüll und Problemabfälle gibt es separate Sammlungen. In der Umgebung von Offenburg befinden sich vier Depo-nien bzw. Wertstoffhöfe.

1.1.3 Waldservice Ortenau eG

Die Waldservice Ortenau eG (WSO) wurde 2002 im Folge des Orkans „Lothar“ gegründet, um das entstandene Sturmholz vermarkten zu können und Herausforderungen in der Forstwirtschaft gemeinsam zu meistern. Aktuell beschäftigt die WSO rund 25 Forstwirte.

Zu Ihren Aufgaben gehören unter anderem die Aktivierung und Koordinierung des Energieholzgeschäfts und der Aufbau bzw. die Entwicklung von regionalen Märkten. Der WSO befindet sich in Ohlsbach südlich von Offenburg.

2 Bestandsaufnahme

In der Bestandsaufnahme wurden alle anfallenden Abfallströme, welche im Stadtgebiet Offenburg anfallen und deren Daten vorliegen, berücksichtigt. Die Daten wurden von den jeweils verantwortlichen Stellen zur Verfügung gestellt.

2.1 Abfallentsorgungsstruktur

In Abbildung 2 sind die Verantwortlichkeiten der in Offenburg anfallenden Stoffströme dargestellt. Abbildung 3 zeigt die geografische Lage der betrachteten Sammelpunkte der TBO, der Abfallwirtschaft Ortenaukreis und des Waldservice sowie den Standort der Mechanisch-biologischen Behandlungsanlage ins Ringsheim.

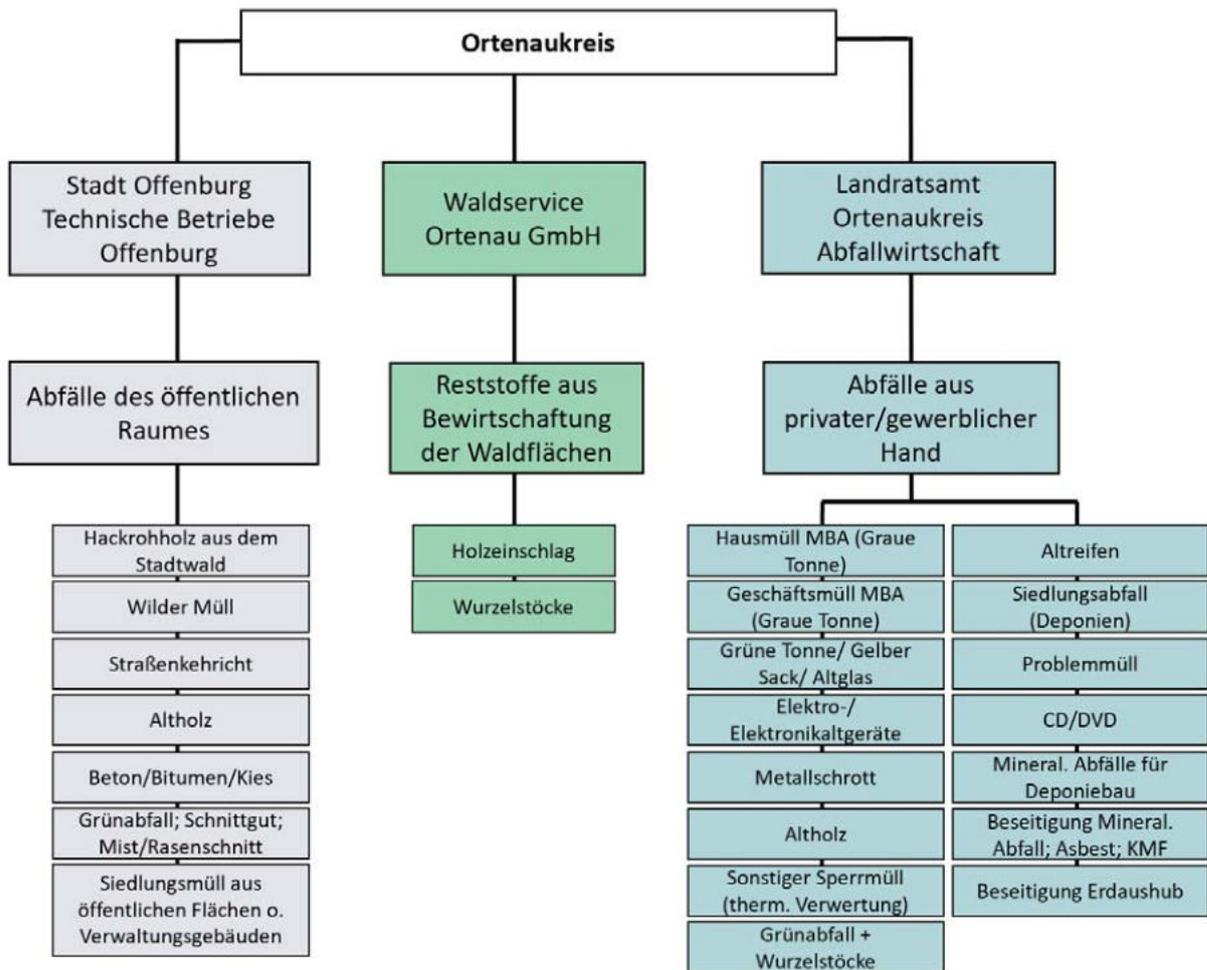


Abbildung 2: Entsorgungsstruktur der Stadt Offenburg in Hinblick auf die betrachteten Stoffströme (eigene Darstellung)

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

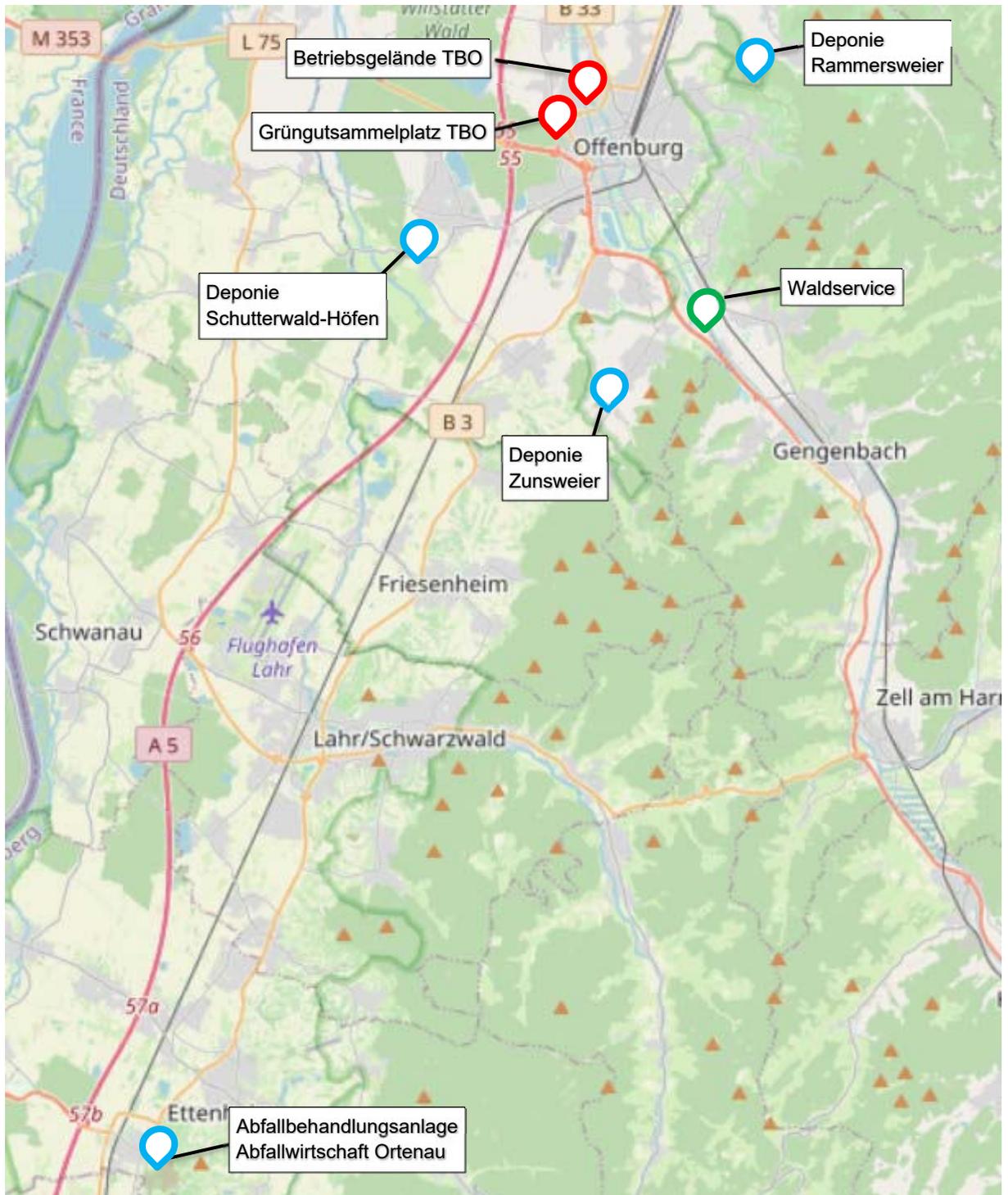


Abbildung 3: Geographische Lage unterschiedlicher Orte der Abfallsammelstruktur der TBO, der Abfallwirtschaft Ortenaukreis und des Waldservices (Quelle: open street map; mit eigenen Anmerkungen)

2.2 Abfallströme, Entsorgungswege und -anlagen

Im Folgenden werden die Abfallströme und deren Entsorgungswege aufgelistet, die unter den drei bereits erwähnten Verantwortlichen im Stadtgebiet Offenburg anfallen.

2.2.1 Abfallströme unter Verantwortung der TBO

Die Daten der nachfolgenden Tabelle 1 stammen aus den Stoffstrombilanzen der TBO und wurden aus den Datensätzen der Jahre 2018 bis 2021 gemittelt. Über die detaillierten Eigenschaften der Abfallströme, wie beispielsweise Trockensubstanzgehalt des Grünabfalls oder genauere Fraktionen des Straßenkehrichts, liegen keine Informationen vor. Für den Großteil der Fraktionen wird die Entsorgung nach der Sammlung ausgeschrieben und vergeben.

Folgende Kriterien wurden angesetzt, um die Stoffströme der TBO näher zu beschreiben:

- Menge
- Logistik (von Anfall- bis zum Verwertungsort)
- Derzeitige Verwertung
- Output der Verwertung
- Entsorgungskosten

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Tabelle 1: Abfallströme unter der Verantwortung der TBO

Stoffstrom	Menge	Einheit	Logistik (von Anfall- bis Verwertungsort)	Derzeitige Verwertung	Output aus Verwertung	Entsorgungskosten (- Kosten; + Erlöse)	Einheit
Laub (Okt. - Dez.)	1.692	t/a	<ul style="list-style-type: none"> - wird lose oder mit einem Fahrzeug aufgesaugt - Zwischenlagerung auf dem Gelände der TBO - Weitertransport zur Firma Hörnel zur Kompostierung 	<ul style="list-style-type: none"> - Kompostierung 	<ul style="list-style-type: none"> - Kompost 	- 5,0	€/t
Schnittgut aus Landschaftspflege (in Hack-schnitzeln)	160	fm/a	<ul style="list-style-type: none"> - Schnittgut aus der Pflege von öffentlichen Grünanlagen und Stadtbäumen - meist beschädigte Bäume -> geringer Heizwert - Zwischenlagerung auf dem Grünablageplatz der TBO - Weitertransport zum Abnehmer 	<ul style="list-style-type: none"> - Weiterverarbeitung zu Hack-schnitzeln - thermische Verwertung 	Annahme: <ul style="list-style-type: none"> - Wärme - Strom 	4,3	€/fm
Grünabfall (z.B. Heckenschnitt)	1.607	t/a	<ul style="list-style-type: none"> - Mengen bis ca. 4m³ werden auf dem Grünablageplatz der TBO zwischengelagert - Abtransport über Container zum Abnehmer - bei größeren Mengen erfolgt derzeit eine Direktanlieferung - 30 % holziger Anteil; 70 % krautiger Anteil 	<ul style="list-style-type: none"> - Aussiebung von Holzanteil und thermische Verwertung - Kompostierung des krautigen Anteils 	Annahme: <ul style="list-style-type: none"> - Wärme - Strom 	- 6,0	€/t
Mist/Rasenschnitt	309	m ³ /a	<ul style="list-style-type: none"> - Sammlung und Transport über Fahrzeuge - Zwischenlagerung auf dem Grünablageplatz der TBO - gesonderte Lagerung & Verwertung des Materials - Verladung in geschlossene Behälter zum Weitertransport an die Firma Hörnel zur Kompostierung 	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung von hochwertigem Kompost zum Einsatz in der Landwirtschaft als Dünger/Kompost 	<ul style="list-style-type: none"> - Kompost / Dünger 	- 5,0	€/m ³

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Holz (A1-A4) (Altholz)	85	t/a	<ul style="list-style-type: none"> - Sammlung und Lagerung in einem Container auf dem Gelände der TBO - keine Sortierung - Weitertransport zum Entsorger 	<ul style="list-style-type: none"> - thermische Verwertung 	Annahme: <ul style="list-style-type: none"> - Wärme - Strom 	- 150,0	€/t
Hackrohholz (Hackschnitzel)	2.925	t/a	<ul style="list-style-type: none"> - liegt verteilt im Wald und wird direkt von dort aus verkauft 	<ul style="list-style-type: none"> - thermische Verwertung 	Annahme: <ul style="list-style-type: none"> - Wärme - Strom 	9,6	€/t
Siedlungsmüll	687	t/a	<ul style="list-style-type: none"> - vorwiegend aus öffentlichen Mülleimern - Sammlung und Transport über Fahrzeuge - Zwischenlagerung auf dem Gelände der TBO - Transport zum Entsorger 	<ul style="list-style-type: none"> - Rückgewinnung von Wertstoffen über eine Sortieranlage - Annahme: thermische Verwertung des nicht recyclebaren Anteils 	Weiterverarbeitung von Wertstoffen Annahme: <ul style="list-style-type: none"> - Wärme - Strom 	- 195,0	€/t
Wilder Müll	9	t/a	<ul style="list-style-type: none"> - wird lose oder mit einem Fahrzeug aufgeladen - Sortierung und Zwischenlagerung in der TBO - Weitertransport zum Entsorger 	<ul style="list-style-type: none"> - Rückgewinnung von Wertstoffen über Sortieranlage - Annahme: thermische Verwertung des Rests 	Weiterverarbeitung von Wertstoffen Annahme: <ul style="list-style-type: none"> - Wärme - Strom 	- 195,0	€/t
Straßenkehrschutt	533	t FS/a	<ul style="list-style-type: none"> - wird maschinelle aufgenommen - Lagerung (außen) auf dem Gelände der TBO - Abholung und Entsorgung durch Dritte 	<ul style="list-style-type: none"> - k.A. 	<ul style="list-style-type: none"> - k.A. 	- 84,5	€/t
Beton/Bitumen/Kies	767	t/a	<ul style="list-style-type: none"> - Lagerung in einer Schüttmulde auf dem Gelände der TBO - Weitertransport zum Entsorger 	<ul style="list-style-type: none"> - Sortierung des Materials (Nach Güteklasse) - Herstellung von Recyclingbaustoffen 	Annahme: Recyclingbaustoffe	- 15,0	€/t

2.2.2 Abfallströme unter Verantwortung des Landratsamts Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis

Für die restlichen Abfallströme der Stadt Offenburg, welchen sich das Landratsamt Ortenaukreis annimmt, liegen Daten für die Gesamtheit des Ortenaukreises vor. Diese Zahlen wurden durch das Landratsamt Ortenaukreis bereitgestellt. Für die Fraktionen

- Hausmüll/Geschäftsmüll,
- Grüne Tonne/Gelber Sack/Altglas,
- Problemmüll, CD/DVD
- und den mineralischen Abfall/Asbest/Künstliche Mineralfasern (KMF)

wurde die Mengen für die Stadt Offenburg anteilig über die Bevölkerungszahl des Ortenaukreises und der Stadt Offenburg berechnet und sind in Tabelle 2 angegeben. Die dargestellten Mengen sind der Durchschnitt aus den Jahren 2018 bis 2020.

Für die weiteren Abfallströme werden die Mengen betrachtet, die auf den drei Wertstoffhöfen in Rammersweier, Zunsweier und Schutterwald-Höfen in und um Offenburg gesammelt werden. Diese tatsächlichen Mengen sind in Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellt. Hier sind die Fraktionen

- Grünabfall
- Wurzelstöcke
- Rasenschnitt
- Beseitigung Erdaushub
- Mineral. Abfälle für Deponiebau
- Siedlungsabfall (Deponien), therm. Verwertung
- Altreifen
- Sonstiger Sperrmüll/ Deponien (therm. Verwertung)
- Altholz (A1-III + A IV)
- Metallschrott
- Elektro- / Elektronikaltgeräte

mit ihren Mengen sowie weiteren Informationen aufgelistet. Für die Stoffströme Grünabfall, Wurzelstöcke und Rasenschnitt liegen zudem Informationen zur jährlichen Verteilung der anfallenden Mengen für das Jahr 2021 vor.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Tabelle 2: Zusammenfassung der Abfallströme unter Verantwortung des Landratsamtes Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis

Stoffstrom	Menge	Einheit	Logistik (von Anfall- bis Verwertungsort)	Derzeitige Verwertung	Output aus Verwertung	Entsorgungskosten (- Kosten; + Erlöse)	Einheit
Hausmüll + Geschäftsmüll MBA (Graue Tonne)	11.031	t/a	<ul style="list-style-type: none"> - Sammlung über Fahrzeuge - Transport zur mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage (MBA) nach Kahlenberg 	<ul style="list-style-type: none"> - MBA 	<ul style="list-style-type: none"> - Energieträger - Metalle - Wasser - Mineralstoffe 	k.A.	
Grüne Tonne/ Gelber Sack/ Altglas	8.387	t/a	<ul style="list-style-type: none"> - Abfuhr der Grünen Tonne mit Müllfahrzeugen - Abfuhr des Gelben Sack mit Müllfahrzeugen - Entsorgung durch Verbraucher in weißen, grünen und braunen Glascontainer; Abholung durch Dreikammer-LKW 	<ul style="list-style-type: none"> - Grüne Tonne: Sortierung, Recycling - Gelber Sack: mechanische Sortierung, Recycling - Glas: Sortierung; Recycling 	<ul style="list-style-type: none"> - z.B. Wellpappe, Papier, Papierhandtücher - z.B. Kunststoffe - Glas 	k.A.	
Problemmüll	79	t/a	<ul style="list-style-type: none"> - Sammlung über stationäre Sammelfahrzeuge 	k.A.	k.A.	k.A.	
CD/DVD	4	t/a	<ul style="list-style-type: none"> - Annahmestelle auf Wertstoffhöfen - Entsorgung über Graue Tonne 	<ul style="list-style-type: none"> - Recycling 	<ul style="list-style-type: none"> - Polycarbonat zur Herstellung von Produkten 	k.A.	
Beseitigung Mineral. Abfall; Asbest; KMF	1.223	t/a	<ul style="list-style-type: none"> - kleine Mengen an Bauschutt kann von Verbrauchern auf Deponien/Wertstoffhöfen abgegeben werden 	k.A.		k.A.	

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Tabelle 3: Zusammenfassung der am Wertstoffhof Rammersweier gesammelten Abfallströme (Landratsamt Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis)

Stoffstrom	Menge	Einheit	Logistik (von Anfall- bis Verwertungsort)	Derzeitige Verwertung	Output aus Verwertung	Entsorgungskosten (- Kosten; + Erlöse)	Einheit
Grünabfall	3.443	t/a	- Abholung einmal jährlich - ganzjährige Abgabe auf Wertstoffhöfen od. Sammelstellen der Gemeinden	- thermische Verwertung - Kompostierung	- Kompost Annahme: - Wärme - Strom	33,21	€/t
Wurzelstöcke	229	t/a	- Abgabe auf Wertstoffhöfen	- thermische Verwertung	Annahme: - Wärme - Strom	38,7	€/t
Rasenschnitt	178	t/a	- Entsorgung über graue Tonne - Abgabe bei Grünabfallsammelstellen auf den Deponien	- Kompostierung	- Kompost	k.A.	
Beseitigung Erdaushub	34.179	t/a	- Abgabe bei Erdaushubdeponien	- abh. von Erdaushub, bspw. Vermittlung über Erdaushubbörse	- Weiterverwendung	k.A.	
Mineral. Abfälle für Deponiebau	1.783	t/a	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Siedlungsabfall (Deponien), therm. Verwertung	175	t/a	k.A.	- thermische Verwertung	Annahme: - Wärme - Strom	k.A.	
Altreifen	38	t/a	- Abgabe auf Wertstoffhöfen	k.A.	k.A.	k.A.	

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Sonstiger Sperrmüll/ Deponien, (therm. Verwertung)	732	t/a	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Altholz (A I-III + AIV)	1.332	t/a	- getrennte Erfassung A I bis A III ca. 84 % und A IV ca. 16 %, gemeinsame Verwertung	- Aufbereitung und Verwertung in einem Biomassekraftwerk der Region	Annahme: - Strom - Wärme	k.A.	
Metallschrott	280	t/a	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Elektro-/Elektronikaltgeräte	458	t/a	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	

Tabelle 4: Zusammenfassung der am Wertstoffhof Zunsweier gesammelten Abfallströme (Landratsamt Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis)

Stoffstrom	Menge	Einheit	Logistik (von Anfall- bis Verwertungsort)	Derzeitige Verwertung	Output aus Verwertung	Entsorgungskosten (- Kosten; + Erlöse)	Einheit
Grünabfall	296	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	33,21	€/t
Rasenschnitt	16	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	k.A.	
Beseitigung Erdaushub	23.926	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	k.A.	
Mineral. Abfälle für Deponiebau	90	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	k.A.	

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Tabelle 5: Zusammenfassung der am Wertstoffhof Schutterwald-Höfen gesammelten Abfallströme (Landratsamt Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis)

Stoffstrom	Menge	Einheit	Logistik (von Anfall- bis Verwertungsort)	Derzeitige Verwertung	Output aus Verwertung	Entsorgungskosten (- Kosten; + Erlöse)	Einheit
Grünabfall	3.187	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	33,21	€/t
Wurzelstöcke	175	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	38,7	€/t
Rasenschnitt	265	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	k.A.	
Beseitigung Erdaushub	11.402	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	k.A.	
Mineral. Abfälle für Deponiebau	2.425	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	k.A.	
Siedlungsabfall (Deponien), therm. Verwertung	217	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	k.A.	
Altreifen	45	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	k.A.	
Sonstiger Sperrmüll/ Deponien, (therm. Verwertung)	960	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	k.A.	
Altholz (A I-III + AIV)	1.587	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	k.A.	
Metallschrott	315	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	k.A.	
Elektro-/Elektronikaltgeräte	584	t/a	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	s. Tabelle 3	k.A.	

2.2.3 Reststoff der Waldservice Ortenau eG

Im Falle des Waldservice Ortenau eG wurden biogene Stoffströme ermittelt, welche momentan keine Verwertung finden. Hierbei handelt es sich um Wurzelstöcke von Obstbäumen. Diese sind in großer Menge verfügbar und werden zunächst auf 500 t Frischmasse (FM) pro Jahr beschränkt.

3 Potenzialanalyse

3.1 Potenzial der biogenen Reststoffströme

3.1.1 Laub

In Offenburg werden durchschnittlich 1.692 t (FM)/a an Laub durch die TBO gesammelt. Dieses wird zunächst auf dem Grünablageplatz der TBO zwischengelagert und anschließend zu einem Kompostierungsunternehmen transportiert und dort zu Kompost verarbeitet.

Laub wird in den meisten Fällen kompostiert, allerdings ist es in Kompostierungsanlagen aufgrund der schlechten Rotteeigenschaften und seinem saisonalem Aufkommen eher unerwünscht. Zudem wird bei einer Kompostierung in hohen Mieten klimaschädliches Methan freigesetzt (Weidner, 2021).

Im Hinblick auf alternative Verwertungswege scheidet die Co-Vergärung aufgrund von zu geringer Gasbildung aus. Eine Nutzung in Hausmüllbehandlungsanlagen ist aus Kostengründen nicht sinnvoll und auch die hydrothermalen Karbonisierung ist durch die entstehenden problematischen Abwässer keine Option (ICU - Ingenieurconsulting Umwelt und Bau, 2021).

Allerdings besitzt Laub viel Potential als Brennstoff für eine energetische Nutzung. Ein Forschungsprojekt des Fraunhofer Instituts hat hierzu bei der Verbrennung entstehende Emissionen gemessen. Untersucht wurden unterschiedliche Laubfraktionen separat und in Kombination mit konventionellen Holzschnitzeln sowie nach unterschiedlichen Aufbereitungs- und Lagerungsmethoden in einer Feuerungsanlage. Die Ergebnisse zeigen, dass Laub als Brennstoff für geeignete Biomassefeuerungen mit kontrollierbaren Emissionen eingesetzt werden kann, allerdings teilweise sehr hohe Aschegehalte aufweist (Weidner, 2021), welche vor allem von der Herkunft der Sammeltechnik beeinflusst werden. Ein Ansatz zur Reduzierung des Aschegehalts stellt eine nasse Aufbereitung im Rahmen eines IFFB-Verfahrens dar (Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse, IFBB). Kernbestandteile sind eine Waschung und hydrothermale Konditionierung der Biomasse zur Abreicherung mineralischer Bestandteile sowie eine mechanische Entwässerung zur Erzeugung eines aschearmen Brennstoffs und einer vergärbaren Flüssigphase (Nurmatov, 2017).

3.1.2 Schnittgut aus der Landschaftspflege

Aus der Pflege der Stadtbäume durch die TBO in Offenburg werden ca. 140 t (FM) pro Jahr gesammelt. Dieses Schnittgut wird auf dem Grünablageplatz der TBO zwischengelagert und anschließend durch den Abnehmer abtransportiert und thermisch verwertet. Dabei handelt es sich hauptsächlich um holziges Material, das durch die Pflege der Stadtbäume Offenburgs entsteht (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Aufsichtung des Schnittgutes aus der Landschaftspflege auf dem Grünablageplatz der TBO (Eigene Aufnahme, Stand: 2022)

Da das Schnittgut auch von beschädigten Bäumen stammt, weist es teilweise einen geringeren Heizwert auf. Zudem sind laut TBO Störstoffe wie beispielsweise Steine enthalten, welche die Aufbereitung des Materials erschweren. Das Schnittgut fällt vor allem im Winter und Frühjahr an.

3.1.3 Grünabfall

Im Stadtgebiet Offenburg fällt durch die Landschaftspflege durchschnittlich 1.607 t (FM) pro Jahr Grünabfall an. Die Grünabfälle der privaten Haushalte werden über Sammelstellen an drei Wertstoffhöfen im nahen Umkreis von Offenburg erfasst. An den Standorten Rammersweier, Zunsweier und Schutterwald-Höfen werden insgesamt ca. 6.926 t (FM) pro Jahr gesammelt. Der Grünabfall setzt sich aus ca. 70 % bis 75 % krautigem (Gras- und Heckenschnitt) und ca. 25 % bis 30 % holzigem (Ast- und Strauchwerk) Grünschnitt zusammen. Momentan wird der holzige Anteil des Grünabfalles thermisch verwertet, um Wärme zu generieren, und der krautige Anteil kompostiert.

Damit möglichst hohe Erfassungsquoten an Grünabfall erreicht werden, ist ein flächendeckendes Angebot an Sammelstellen förderlich. Neben den Wertstoffhöfen sollten weitere Abgabemöglichkeiten beispielsweise in Form von Containern angeboten werden. So können Treibhausgasemissionen, die aus dem Transport kleiner Mengen Grünabfall entstehen, reduziert werden. Außerdem sollten die Übergabepunkte über das ganze Jahr hinweg verfügbar sein und auf Gebühren verzichtet bzw. die gebührenfreie Menge vergrößert werden (LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2010).

3.1.4 Mist / Rasenschnitt

Die TBO sammelt in Offenburg im Durchschnitt 309 m³ (FM) pro Jahr an Rasenschnitt aus den öffentlichen Grünflächen zusammen mit Mist aus dem örtlichen Tiergehege. Diese Mischung wird durch einen Abnehmer vom Grünablageplatz abtransportiert und kompostiert.

3.1.5 Altholz (A I – A IV)

Im Stadtgebiet Offenburg werden durch die TBO durchschnittlich 85 t (FM) pro Jahr an Altholz (A I – A IV) erfasst. Dieses wird laut Angaben der TBO thermisch verwertet zur Nutzung von Wärme. Das Abfallwirtschaftsamt verzeichnet eine Menge von durchschnittlich 2.918 t (FM) pro Jahr, welche über die Wertstoffhöfe Rammersweier und Schutterwald-Höfen gesammelt wird. Das gesamte Altholz der Abfallwirtschaft wird von einem externen Unternehmen aufbereitet und in einem Biomasseheizkraftwerk in der Region verwertet.

Am Standort der TBO sowie an den Sammelplätzen Rammersweier und Schutterwald-Höfen fällt Altholz der Kategorien A I bis A IV an. Die Kategorien A I bis A III werden dabei separat von der Kategorie A IV erfasst. Die Erfassungsmengen an den Deponien teilen sich zu ca. 84 % auf die Kategorien A I bis A III und 16 % auf die Kategorie A IV auf. Die Unterteilung in Altholzkategorien nach Altholzverordnung (AltholzV) hängt von der Belastung mit Schadstoffen durch Farben, Lacke und Beschichtungen ab und ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Altholzkategorien nach AltholzV 2002

Kategorie	Beschreibung
A I	naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde
A II	verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel
A III	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel
A IV	mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Rebpfähle, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz

Altholz wird, abhängig von der Herkunft sowie der zugeordneten Altholzkategorie, ein spezieller Abfallschlüssel zugeordnet. Die Abfallschlüssel für Altholz stammen dabei aus folgenden Kategorien:

- AVV 03: Abfälle aus der Holzbearbeitung und der Herstellung von Platten, Möbeln, Zellstoffen, Papier und Pappe
- AVV 15: Verpackungsabfall
- AVV 17: Bau- und Abbruchabfälle
- AVV 19: Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen
- AVV 20: Siedlungsabfälle

Ein Gemisch verschiedener Altholzkategorien ist nach AltholzV in die höhere Kategorie einzuordnen, weshalb die Mischung aus den Kategorien A I bis A III in der Kategorie A III verortet wird.

Generell wird in Deutschland rund 15 % des Altholzaufkommens stofflich verwertet, um beispielsweise Spanplatten herzustellen. Hierfür sind aber nur gering belastete Althölzer der Kategorien A I und A II

sowie A III nach einer entsprechenden Aufbereitung zugelassen. Der überwiegende Anteil des Altholzes von 79 % wird energetisch verwertet und ein Rest von 6 % muss in Müll-/Sondermüllverbrennungsanlagen beseitigt werden. Diese Anteile wurden im Auftrag des Umweltbundesamts durch Auswertung statistischer Daten für das Jahr 2016 ermittelt (Flamme, Hams, Bischoff, & Fricke, 2020).

Die zulässigen Verfahren bei der stofflichen Altholzverwertung sind in Anhang I AltholzV aufgeführt (siehe Tabelle 7) und bestimmen das Ende der Abfalleigenschaft nach § 5 KrWG. Neben der Aufbereitung zu Holzschnitzeln und Spänen für Holzwerkstoffe zählen hierzu ebenfalls die Gewinnung von Synthesegas sowie die Herstellung von Aktiv- bzw. Holzkohle durch Pyrolyse.

Tabelle 7: Verfahren für die stoffliche Verwertung von Altholz nach Anhang I (zu § 3 Abs. 1) AltholzV 2002

Verwertungsverfahren	Zugelassene Altholzkategorien	Anforderungen
Aufbereitung von Altholz zu Holzhackschnitzeln und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen	A I, A II (A III)	Die Aufbereitung von Altholz der Altholzkategorie A III ist nur zulässig, wenn Lackierungen und Beschichtungen durch eine Vorbehandlung weitgehend entfernt wurden oder im Rahmen des Aufbereitungsprozesses entfernt werden.
Gewinnung von Synthesegas zur weiteren chemischen Nutzung	A I – A IV	Eine Verwertung ist nur in hierfür nach § 4 des Bundesimmissionsschutzgesetzes genehmigten Anlagen zulässig.
Herstellung von Aktivkohle / Industrieholzkohle	A I – A IV	Eine Verwertung ist nur in hierfür nach § 4 des Bundesimmissionsschutzgesetzes genehmigten Anlagen zulässig.

3.1.6 Hackrohholz (Hackschnitzel)

Ein weiterer Stoffstrom der TBO ist Hackrohholz mit einem jährlichen Aufkommen von ca. 2.925 t (FM). Dieses entsteht durch Holzeinschlag im städtischen Wald und wird direkt aus dem Wald von Abnehmern abgeholt und genutzt.

3.1.7 Wurzelstöcke

Durch den Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis werden Wurzelstöcke aus privaten Haushalten an den Wertstoffhöfen Rammersweier und Schutterwald-Höfen gesammelt. Hier wird eine Menge von ca. 404 t (FM) pro Jahr an Wurzelstöcken erfasst. Diese werden auf den Sammelstellen gemeinsam mit den Grünabfällen gehäckselt und anschließend einer Kompostierung bzw. energetischen Verwertung zugeführt.

3.1.8 Organikanteil im Hausmüll (Abfallwirtschaft Ortenaukreis)

Im gesamten Ortenaukreis wird der Bioabfall nicht getrennt erfasst. Daher liegen keine Angaben über die Menge des Organikanteils im Hausmüll vor.

Von insgesamt 44 Stadt- und Landkreisen in Baden-Württemberg ist der Ortenaukreis einer von 11 Stadt- und Landkreisen, welcher derzeit seinen Bioabfall über die Restmülltonne entsorgt.

Durchschnittlich liegt das Bioabfallaufkommen bei 58 kg (FM) pro Einwohner und Jahr in den Stadt- und Landkreisen von Baden-Württemberg, die Bioabfall flächendeckend getrennt erfassen (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, 2022). Im Falle einer getrennten Bioabfallerfassung würde für das Stadtgebiet Offenburg eine jährliche Menge von ca. 3.540 t (FM) Bioabfall anfallen.

3.2 Potenzial zusätzlich verfügbarer organischer Reststoffe

Zusätzlich zu den Reststoffen, welche bereits erfasst und verwertet bzw. entsorgt werden, sollten weitere Biomassen in Betracht gezogen werden. Laut dem Waldservice steht eine große, schwer zu beziffernde Menge an Wurzelstöcken aus den umliegenden Obstplantagen zur Verfügung. Diese werden meist nicht erfasst oder aufgrund eines hohen Störstoffanteils deponiert.

Weitere Stoffströme fallen in der Kläranlage in Offenburg an. Jährlich entstehen durch die Reinigung des Abwassers rund 21.000 t entwässerter Klärschlamm. Dieser wird momentan in einem Heizkraftwerk thermisch verwertet. Ein weiterer Stoffstrom sind Kirschkerne die durch die Einleitung von Kirschkerne in das Abwassernetz entstehen. Diese stellen ein Problem in der Kläranlage dar. Kirschkerne lassen sich wie andere Obstkerne oder Nussschalen über Pyrolyse zu hochwertiger Pflanzenkohle verarbeiten und stofflich verwerten.

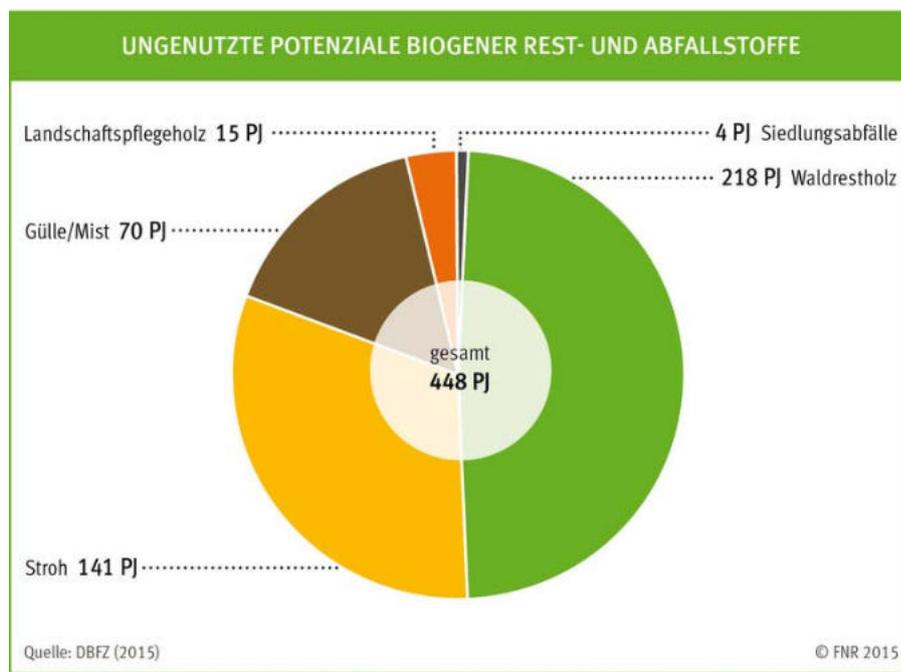


Abbildung 5: Ungenutzte Potenziale biogener Rest- und Abfallstoffe in Deutschland (DBFZ, 2015)

Die Grafik des deutschen Biomasseforschungszentrums zeigt ungenutzte Potenziale biogener Rest- und Abfallstoffe bezogen auf Gesamt-Deutschland (siehe Abbildung 5). Diese konzentrieren sich im Wesentlichen auf Waldrestholz, Gülle/Mist und Stroh. In diesen Bereichen könnten auch im Stadtgebiet Offenburg und Umgebung weitere Biomassepotentiale akquiriert werden.

Auch in den umliegenden Kommunen ist mit einem Anfall der in den Kapiteln 3.1.1 bis 3.1.8 beschriebenen biogenen Abfallarten zu rechnen, zu denen bislang noch keine quantitativen Angaben vorliegen. Aus einer interkommunalen Zusammenarbeit kann sich daher ein weiteres Potential an zusätzlich verfügbaren organischen Reststoffen ergeben, die für eine gemeinsame Verwertung zur Verfügung stehen.

3.3 Potenziale aus anderen Reststoffströmen

Im Folgenden soll auf Potenziale eingegangen werden, die sich aus einer alternativen Behandlung nicht-biogener Reststoffe ergeben und die zu einer Reduktion von Treibhausgasemissionen beitragen können. Grundsätzlich sollten in diesem Zusammenhang gemäß der Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) §6 Anreize geschaffen werden, die Gesamtmenge der anfallenden Reststoffe zu reduzieren bzw. wiederzuverwenden. Zudem sollten rechtliche Rahmenbedingungen dahingehend adaptiert werden, dass Exporte von diesen Reststoffen unterbunden werden, um Umweltprobleme nicht zu verlagern und Wertschöpfung vor Ort zu generieren.

Dieser Teil der Potenzialanalyse beschränkt sich aus den folgenden Gründen auf eine qualitative Bewertung:

- Die Entsorgung einiger Reststoffströme wird ausgeschlossen und es liegen keine Informationen zu den genauen Verwertungswegen vor. Somit ist weder eine quantitative Bewertung der mit den Verfahren verursachten Treibhausgasemissionen noch ein Vergleich mit alternativen Verfahren möglich.
- Reststoffe wie Metalle, Glas oder Elektroschrott werden heutzutage weitestgehend stofflich verwertet (siehe Abbildung 6 zur bundesweiten Verwertung von Glas). Die stoffliche Verwertung ist in Bezug auf die Abfallpyramide bzw. das Kreislaufwirtschaftsgesetz eine zu bevorzugende bzw. höherwertige Verwertungsform als die thermische Verwertung oder die Deponierung. Bei der stofflichen Verwertung kommt es darauf an, dass die Separations- und Aufbereitungsverfahren möglichst energieeffizient bzw. treibhausgassparsam sind. Derzeit existiert eine Vielzahl an möglichen Verfahren für die einzelnen Reststoffe, die im Rahmen der vorliegenden Studie nicht vollumfänglich dargestellt werden können. Stattdessen werden im Folgenden Anregungen zu zukunftsweisenden und anzunehmend treibhausgasreduzierten Aufbereitungsverfahren für einzelne Reststoffe gegeben.
- Es ist der Wunsch des Auftraggebers und entspricht der einschlägigen Fachexpertise des durchführenden Ingenieurbüros Björnsen Beratende Ingenieure GmbH, dass in dieser Studie der Fokus auf alternative und treibhausgasreduzierende Verwertungsverfahren von biogenen Reststoffen gelegt wird. Somit wird für diese Reststoffe eine detaillierte Kosten- und Treibhausgasbewertung vorgelegt (siehe Kapitel 3.5)

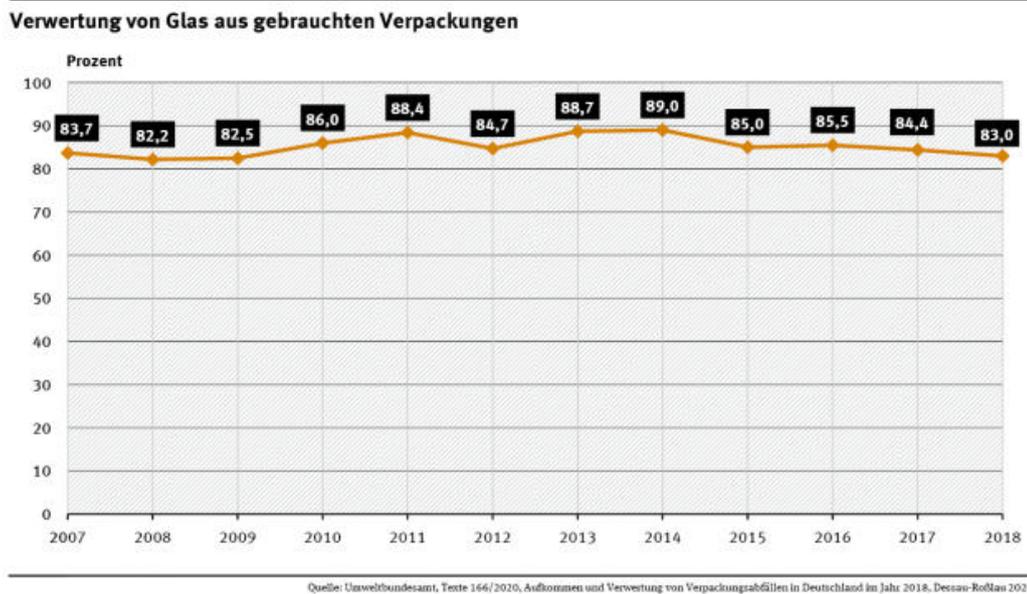


Abbildung 6: Verwertung von Behälterglas in Deutschland, Quelle: (Umweltbundesamt, Glas und Altglas, 2021)

3.3.1 Haus- / Siedlungsmüll

Die TBO sammelt 687 t pro Jahr Siedlungsmüll vorwiegend aus öffentlichen Mülleimern. Der Müll wird sortiert in Wertstoffe und Reststoffe. Die Wertstoffe werden einer stofflichen Verwertung zugeführt und der Rest wird thermisch verwertet. Die Entsorgung dieser Reststoffe wird jährlich neu von der TBO ausgeschrieben.

Derzeit wird in einem Pilotprojekt der TBO die automatische Füllstandserfassung der öffentlichen Mülleimer über Sensoren untersucht (Der Guller Stadtanzeiger Medien, 2022). Über die Erfassung der Füllstände und die Weitergabe der Informationen über Internet kann eine optimierte Tourenplanung zur Leerung der Mülleimer erfolgen. Dies reduziert die für die Leerung erforderlichen Transportstrecken und damit den Kraftstoffverbrauch und die Treibhausgasemissionen.

Der in der Stadt Offenburg anfallende private Siedlungsmüll von 11.031 t pro Jahr wird über die graue Tonne erfasst und über Müllfahrzeuge in die mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage (MBA) in Ringsheim transportiert. Dort wird der gemischte Rest- und Bioabfall über fünf Verfahrensschritte verwertet (Merten, Person, & Schrieber, 2006):

1. Mechanische Aufbereitung: Separierung des Abfalls in Größen- und Stoffklassen. Große Stör- und Wertstoffe wie Metalle, geringe Mengen an E-Schrott (Fehlwürfe), Bauschutt und eine heizwertreiche Grobfraction werden aussortiert
2. Biologische Stufe: Zerkleinerung, Mischung mit Wasser und Vergärung. Aus dem dabei entstehenden Biogas wird Strom und Fernwärme erzeugt
3. Biologische Trocknung und Abluftbehandlung: Mikroorganismen trocknen den abgepressten Gärrest. Mehrstufiges Luftmanagement nutzt Restwärme und mindert Geruchsbelastung

4. Mechanische Stofftrennung: Metallabscheider, Sieb- und Sichtungsanlagen sortieren das getrocknete Material in verschiedene Stoffklassen, d. h. Mineralien, Metalle, Brennstoffe
5. Prozesswasserreinigung: Aufbereitung des anfallenden Prozesswassers

Der Zweckverband Abfallbehandlung Kahlenberg (ZAK) stellt heraus, dass über das angewendete Verfahren das „maximale Rohstoff- und Energiepotenzial aus Resthausabfällen“ gewonnen und am Ende „hochwertige Rohstoffe und Energieträger als wirtschaftlich nutzbare Produkte“ zur Verfügung stehen (Zweckverband Abfallbehandlung Kahlenberg, 2020). Es ist festzuhalten, dass die MBA in Ringsheim aufgrund a) der Vergärung der biogenen Reststofffraktion und die damit verbundene Biogasgewinnung, b) die Abtrennung von Wertstoffen wie z.B. Metallen und c) die Gewinnung von heizwertreichen Ersatzbrennstoffen, die fossile Alternativen ersetzen, aus Sicht der Treibhausgasbilanz durchaus positiv zu bewerten ist (Umweltbundesamt, Klimaverträgliche Abfallwirtschaft, 2021). Eine Studie des Ökoinstituts aus dem Jahre 2018 stellt ebenfalls heraus, dass eine MBA gewisse Klimavorteile gegenüber z.B. einer Müllverbrennungsanlage aufweist (Dehoust, et al., 2018). Dennoch ergeben sich vor allem durch die Erfassung einer Mischung von Rest- und Bioabfall erhöhte Aufbereitungsaufwände, die wiederum energie- und dadurch treibhausgasintensiv sind. Hier könnte eine getrennte Erfassung von mindestens Bio- und Restabfallfraktionen gegebenenfalls Klimavorteile sowie das Potential einer höherwertigen und schadstoffreduzierten Reststoffnutzung z.B. als Düngemittel versprechen, was in Kapitel 3.4.1 betrachtet wird. Das KrWG setzt in Deutschland die Abfallrahmenrichtlinie der EU in nationales Recht um. Gemäß § 20 Abs. 2 KrWG sind öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger seit 2015 dazu verpflichtet, Bioabfälle getrennt zu sammeln. Dies bezieht sich sowohl auf Garten-, Park- und Landschaftspflegeabfälle als auch auf Nahrungs- und Küchenabfälle. Nach diesem Gesetz muss den privaten Haushalten ermöglicht werden, Bioabfälle getrennt vom Restmüll entsorgen zu können, vorzugsweise durch die haushaltsnahe Biotonne. Für die Umsetzungskontrolle des Gesetzes ist das jeweilige Bundesland zuständig.

Um eine hohe Erfassungsquote zu erreichen, ist die Anreizentwicklung über eine Anpassung der Abfallgebühren möglich. Laut Daten der LUBW haben Stadt- und Landkreise, welche keine oder geringe Gebühren für die Biotonne erheben, in der Regel hohe Erfassungsmengen an Bioabfällen. Wird im Vergleich dazu eine Gebühr für die Biotonne erhoben sind die Bioabfallaufkommen pro Einwohner häufig niedrig (LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2010).

3.3.2 Wilder Müll

Bei der TBO fallen 9 t pro Jahr wilder Müll an, die gesammelt, mit einem Fahrzeug transportiert und auf dem Gelände der TBO mit dem Siedlungsmüll zusammen sortiert und verwertet werden. Aufgrund der vergleichsweise geringen Mengen ist hier das Potenzial zur Reduzierung der Treibhausgase über alternative Sammlungs- und Verwertungswege begrenzt. Die viel größere Umweltwirkung ist in diesem Zusammenhang eher in anderen Kategorien zu finden, z. B. der Verschmutzung der Umwelt mit Abfall, Auswirkungen auf Flora und Fauna, Belastung mit Mikroplastik, etc. Aufklärungskampagnen können dazu beitragen, die Abfallmengen dieses Reststoffs zu reduzieren.

3.3.3 Straßenkehrriecht

Die Menge des maschinell von der TBO erfassten Straßenkehrriechts beträgt 533 t pro Jahr und stellt einen hohen Kostenposten dar. Der Straßenkehrriecht wird derzeit auf dem Gelände der TBO gelagert und durch einen externen Dritten entsorgt. Auch für diesen Reststoff ist das genaue Behandlungs- bzw. Verwertungsszenario nicht bekannt. Allerdings wird der bei der TBO gelagerte Straßenkehrriecht nach Auskunft der TBO vom zuständigen externen Dienstleister nach Hamburg transportiert. Schon allein durch diesen sehr großen Transportaufwand sollten sich durch eine ortsnähere Behandlung Treibhausgasreduktionspotenziale erzielen lassen.



Abbildung 7: Sammelplatz des Straßenkehrriecht auf dem Gelände der TBO (Eigene Aufnahme, Stand: 2022)

Straßenkehrriecht besteht in der Regel aus einem hohen mineralischen Anteil (60-80 Masse-%) und aus organischen Stoffen (10-35 Masse-%). Er ist aus folgenden Gründen ein problematischer Reststoff, der nicht ohne Vorbehandlung und nur in dafür zugelassenen Anlagen entsorgt werden kann (Retralog, 2022), (LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2017), (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2020):

- Straßenkehrriecht enthält bedenkliche Bestandteile wie z.B. Verpackungsabfälle, Zigarettenrückstände, Papiertaschentücher, hygienisch bedenklichen Hundekot, unverbrannte Treibstoffbestandteile (Tropfverluste), Öle, Abrieb von Fahrbahnen, Reifen, Bremsen und Kupplungsbelägen, Auftaumittel (Salze) aus dem Winterdienst, etc.

Laboranalysen zeigen, dass Straßenkehrriecht hohe Schadstoffgehalte vor allem von Blei, Kupfer, Zink, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, Phenolen, Benzo(a)pyren, Sulfaten und Chloriden aufweist.

- Die Zusammensetzung des Straßenkehrriechts unterscheidet sich saisonal: hoher Splittanteil im Frühjahr, hoher Fremd- und Störstoffanteil im Sommer, hoher Laubanteil im Herbst.
- Der Heizwert von Straßenkehrriecht liegt aufgrund des hohen Mineralikanteils unter 4,5 MJ/kg.

Zu den gängigen Entsorgungswegen zählen folgende Verfahren:

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

- Nass-mechanische Aufbereitungsverfahren. Voraussetzung: Straßenkehricht mit geringem Anteil an organischen Bestandteilen;
- Mechanisch biologische Behandlung in einer Anlage nach der 30. BImSchV. Voraussetzung: Straßenkehricht mit hohem Organikanteil;
- Thermische Behandlung (Drehrohrofen, Wirbelschichtofen, Mitverbrennung mit Siedlungsabfällen in der MVA). Voraussetzung: Straßenkehricht mit hohem Organikanteil.

Maßnahmen zur Vermeidung von Straßenkehricht sind wirksam in allen ökonomischen und ökologischen Bewertungskriterien. Gerade Verpackungsabfälle aus der Fastfood-Gastronomie oder to-go-Geschäften sollten in diesem Zusammenhang reduziert werden. Hier sind Initiativen mit den genannten Einrichtungen zu erwägen. Auch das Bayerische Landesamt für Umwelt hält fest, dass der Vermüllung gesellschaftlich breit aufgestellt mit vorbeugenden Maßnahmen gegengesteuert werden müsste (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2020). Bezüglich des Streugut-Anteils könnte eine Wiederverwendung ermöglicht werden, wenn sich das Streugut auf Gehwegen in reinen Wohnvierteln unverschmutzt wieder zusammenkehren und nochmals einsetzen lässt.

Eine weitere Möglichkeit ist eine Trocknung des Straßenkehrichts vor Ort auf dem Gelände der TBO. Damit könnte der Wasseranteil reduziert und somit sowohl die Entsorgungskosten als auch die transportbezogenen Treibhausgasemissionen reduziert werden. Als technische Lösung kommt eine Trocknung durch ein Unterdruckgebläse mit nachgeschalteten Gewebefiltern zur weitgehenden Abtrennung des Staubes aus der Abluft in Frage. Als Alternative nennt das Merkblatt der Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.(DWA) eine trockenmechanische Aufbereitung des Straßenkehrichts (DWA-M-378, 2008).

3.3.4 Beton / Bitumen / Kies

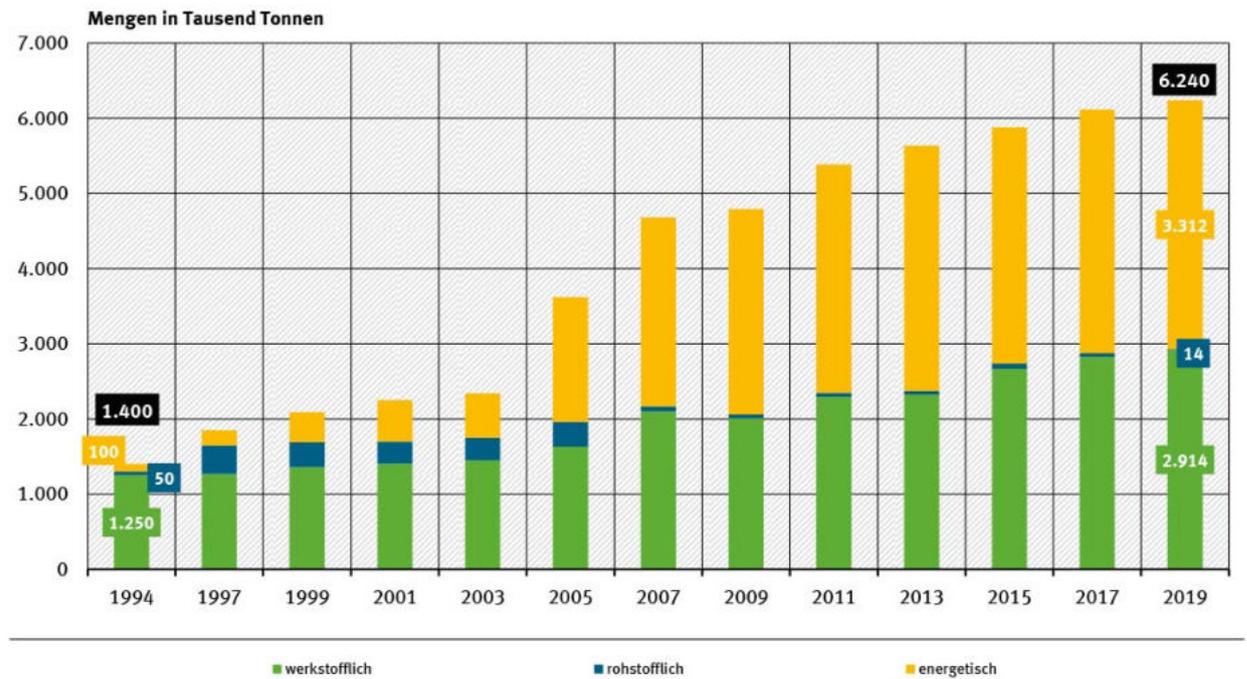
Bei der TBO fallen außerdem 767 t pro Jahr Baustellenabfälle in Form von Beton, Bitumen und Kies an. Dieser Reststoff wird auf dem Gelände der TBO in einer Schüttmulde gelagert und von einem externen Entsorger abgeholt. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Reststoff nach einzelnen Fraktionen sortiert und dann dem Baustoffrecycling zugeführt wird.

Dieses Behandlungsszenario entspricht nach Einschätzung der Verfasser des vorliegenden Berichts bereits einem hochwertigen Verwertungsweg. Weitere Anmerkungen zu dieser Art Reststoff finden sich in Kap. 3.3.9.

3.3.5 Kunststoff- und Leichtverpackungen (Gelber Sack bzw. grüne Tonne)

In der Stadt Offenburg fallen nach den oben erläuterten Abschätzungen 8.387 t pro Jahr Verpackungsabfall an, die über gelbe Säcke bzw. die grüne Tonne erfasst und abgeholt werden. Weitere Angaben zum Verbleib dieser Reststofffraktion liegen nicht vor. Ausgehend von Statistiken der Bundesrepublik Deutschland zur Verwertung von Leichtverpackungen zeigt sich, dass bisher nur etwa knapp die Hälfte einer zu favorisierenden stofflichen Verwertung zugeführt wird, der Rest wird thermisch verwertet (siehe Abbildung 8).

Entwicklung der Verwertung der Kunststoffabfälle



Quelle: Umweltbundesamt 2020, eigene Zusammenstellung mit Daten der CONVERSIO Markt & Strategy GmbH - Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019 (Stand 08/2020)

Abbildung 8. Verwertung der Kunststoffabfälle in Deutschland (Umweltbundesamt, Kunststoffabfälle, 2021)

Zwar werden über die thermische Verwertung des hochkalorischen Kunststoffabfalls Strom und Wärme generiert, die fossile Energieträger ersetzen, dennoch ergeben sich durch die stoffliche Verwertung Klimavorteile, da die Aufbereitung der einzelnen Kunststofffraktionen in der Regel klimagünstiger ist als die derzeitige Primärproduktion. Es ist damit klimapolitisch empfehlenswert, energieeffiziente Recyclinganlagen zu betreiben.

3.3.6 Altglas, Metall- und Elektroschrott

Von den Reststoffen Metall- und Elektroschrott fallen in der Stadt Offenburg an den Wertstoffhöfen Rammersweier und Schutterwald-Höfen 595 t bzw. 1.042 t pro Jahr an. Altglas wird über Altglascontainer erfasst. Die genauen Verwertungswege für die drei Reststoffe sind nicht bekannt. Wie oben bereits angedeutet wird im deutschen Mittel ein hoher Anteil des Altglases einer stofflichen Verwertung zugeführt (siehe Abbildung 6). Dies ist nach Vermeidung und Wiederverwendung, z.B. über transportoptimierte Pfandsysteme, der klimagünstigste Verwertungsweg.

Metallschrott hat eine der höchsten Recyclingquoten, die auf 93 % beziffert wird (Interzero Circular Solutions Germany GmbH, 2022). Während der Aufbereitung werden die Materialien zunächst zerkleinert und in einem Windsichter in leichte und schwere Stoffe getrennt. Anschließend erfolgt eine weitere Trennung in Eisen- und Nichteisenmetalle sowie eine Sortierung der Buntmetalle an Hand ihrer Dichte, Farbe oder Leitfähigkeit. Der am Ende sortenreine Schrott wird eingeschmolzen und für die

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Herstellung neuer Produkte genutzt (Interzero Circular Solutions Germany GmbH, 2022). Auch hier geht es neben Vermeidung und direkter Wiederverwendung um möglichst energieeffiziente Verwertungsverfahren, um die mit dem Metallrecycling verbundenen Treibhausgasemissionen so gering wie möglich zu halten.

Bezüglich des Elektroschrotts wurde deutschlandweit 2019 nur eine Sammelquote von 44,3 % erreicht. Damit wurde die Mindestsammelquote für 2019 von 65 % gemäß des Gesetzes über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG) massiv unterschritten. Die Aufgabe der Verwertung bzw. Entsorgung obliegt den Herstellern der Elektrogeräte. Das Verwertungsziel von 75 % bis 85 % je nach Gerätekategorie wurde von den Herstellern erfüllt (Umweltbundesamt, Elektro- und Elektronikaltgeräte, 2021). Bei den teilweise erheblichen Treibhausgaswirkungen, die bei der Herstellung von elektronischen Komponenten (z.B. Platinen oder ICs (Industrial Control Systems)) entstehen, kommt der stofflichen Verwertung dieser Teile eine besondere Bedeutung zu. Allerdings liegt diese Aufgabe im Verantwortungsbereich der Hersteller. Eine wichtige unterstützende Initiative, der sich die Stadt Offenburg annehmen könnte, ist die Sammelquote von Elektroschrott bzw. Elektroaltgeräten zu erhöhen. Hilfreich könnte in diesem Zusammenhang die bundesweite Informationskampagne Plan E sein (detaillierte Informationen unter www.e-schrott-entsorgen.org).

In Verkehr gebrachte Mengen, Sammelmengen und -quoten bei Elektroaltgeräten



*bezogen auf den Durchschnitt der in den 3 Vorjahren in Verkehr gebrachten Menge

Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (<https://www.bmu.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/kreislaufwirtschaft/statistiken/elektro-und-elektronikaltgeraete>)

Abbildung 9. Sammelmengen und -quoten von Elektroschrott (Umweltbundesamt, Elektro- und Elektronikaltgeräte, 2021)

3.3.7 Altreifen

An den Wertstoffhöfen Rammersweier und Schutterwald-Höfen werden jährlich 83 t Altreifen erfasst. Der genaue Verwertungsweg ist unbekannt. Gemäß des Wirtschaftsverbands der deutschen

Kautschukindustrie (wdk) teilen sich die Anteile stoffliches und thermisches Recycling von Altreifen in 68 % zu 32 % auf (siehe Abbildung 10). Das stoffliche Recycling führt zur Herstellung von Granulaten und Gummimehl sowie von Karkassen und runderneuten Reifen. Die Pyrolyse von Altreifen ist eine innovative Technologie, die dem Gedanken der Kreislaufwirtschaft entspricht und mit der weitere Klimavorteile bei der Verwertung von Altreifen realisiert werden können. Der Prozess startet mit der Extraktion des Stahldrahtes und der Zerkleinerung der Reifen in feines Gummigranulat. Im Pyrolysereaktor verdampft das Gummi bei ca. 700°C und zerfällt in seine Bestandteile Gas, Öl und Koks. Das Pyrolyseöl kann für die Kunststoffproduktion, Medikamente oder Kosmetika verwendet werden. Beim Pyrolyseprozess entsteht ferner nutzbare Wärme und Koks, der hauptsächlich als Carbon Black wieder in der Reifenindustrie eingesetzt werden kann (Jendrischik, 2022). Die Firma Pyrum in Dillingen im Saarland ist Entwickler dieser Technologie (siehe www.pyrum.net).

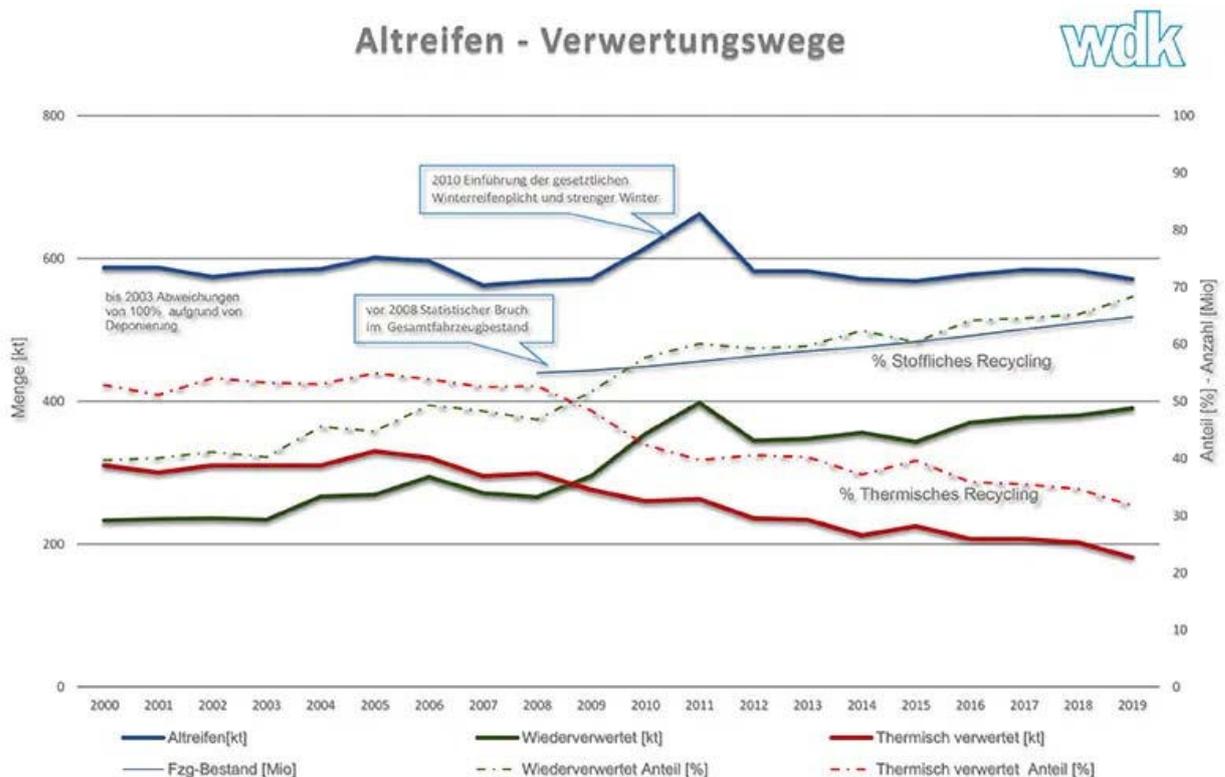


Abbildung 10. Verwertungswege von Altreifen (wdk Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e.V., 2022)

3.3.8 Erdaushub

An den drei Wertstoffhöfen Rammersweier, Zunsweier und Schutterwald-Höfen fallen insgesamt 69.505 t Erdaushub pro Jahr an, was damit mit Abstand die größte Reststoffmenge darstellt. Die genauen Entsorgungswege sind nicht bekannt. Nach bundesdeutschem Mittel werden 76 % des Bodenaushubs (inklusive Baggergut und Gleisschotter) verwertet, d.h. in überflüssigen Steinbrüchen und Abgrabungen verfüllt oder anders verwertet. Aus etwa 10 % wurden Recycling-Baustoffe hergestellt, ca. 14 % wurden auf Deponien beseitigt (Umweltbundesamt, 2021). Die Abfallwirtschaft Ortenaukreis betreibt bereits seit über 30 Jahren eine Erdaushubbörse, bei der sich Anbieter und Nachfrager von Erdmaterial beim Landratsamt melden und die entsprechenden Mengen verhandeln und austauschen

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

können. Dies wird als sehr gute, weil klimafreundliche Verwertungsoption für diesen Reststoff bewertet. Auch bei diesem Reststoff gilt die Hierarchie der Abfallpyramide, nach der Reststoffe primär vermieden oder wiederverwendet werden sollten, bevor sie verwertet oder entsorgt werden müssen.

3.3.9 Mineralische Abfälle

Diverse mineralische Abfälle fallen bei der TBO und den drei Wertstoffhöfen in Höhe von 5.521 t pro Jahr an. Die mineralischen Abfälle, die an den Wertstoffhöfen anfallen, werden in erster Linie für den Deponiebau verwendet. Auch deutschlandweit weisen mineralische Abfälle Verwertungsraten von ca. 90 % auf (Umweltbundesamt, 2021). Die Verwendung für den Deponiebau gilt dabei allerdings als vergleichsweise „niederwertige Verwertungsmaßnahme“ (Umweltbundesamt, 2021). Sowohl die Klimabilanz als auch die Nutzung natürlicher Ressourcen könnte vermutlich verbessert werden, wenn hochwertigere Verwertungsalternativen umgesetzt werden könnten. Hier ist das Unternehmen Fees in Kirchheim/Teck zu erwähnen, dass durch innovative Aufbereitungsmethoden von mineralischen Reststoffen diverse Qualitäts-Recycling-Baustoffe herstellt (siehe www.feess.de).

3.3.10 Sperrmüll

An den Wertstoffhöfen Rammersweier und Schutterwald-Höfen werden jährlich 1.692 t Sperrmüll erfasst. Dieser wird von einem externen Vertragspartner sortiert und dabei werden seit 2007 Altholz und Metallschrott abgetrennt. Für die Restbestandteile erfolgt eine thermische Behandlung in der Abfallverbrennungsanlage TREA Breisgau. Somit ergibt sich teilweise ein stoffliches Recycling von Wertstoffen und ein großer Anteil wird thermisch verwertet. Auch bei diesem Abfallstrom wäre aus Sicht des Klimaschutzes ein höherer Anteil von stofflichem Recycling wünschenswert. Bis 2007 wurden bei der Sperrmüllsortierung im Ortenaukreis beispielsweise auch weitere Wertstofffraktionen, wie Teppichreste, Kunststoff, Papier und Kartonagen abgetrennt und einer separaten Verwertung zugeführt (Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis, 2014).

Gerade zu holzigen Teilfraktionen würde sich ebenfalls eine Pyrolyse anbieten, allerdings muss dabei die Qualität der dadurch entstehenden Pflanzenkohle bei der Anwendung berücksichtigt werden. In einem Projekt gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) wurden jüngst Untersuchungen zu einer optimierten Verwertung von Sperrmüll angestellt. Die Ergebnisse zeigten, dass im Sperrmüll Werkstofffraktionen enthalten sind, die aus ökologischen Gesichtspunkten der stofflichen Wiederverwendung zugeführt werden sollten (Hahnenkamp & Tuminski, 2017).

3.4 Optimierungspotenzial bestehender Systeme

Die TBO selbst hat keine Abfallbehandlungsanlage, momentan werden alle Stoffströme ausgeschrieben und extern vergeben. Die holzigen Stoffströme werden dabei thermisch verwertet, die weiteren organischen Fraktionen kompostiert und der Rest recycelt oder thermisch verwertet.

3.4.1 Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage Kahlenberg

Der Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis verwertet seit 2006 die Abfälle aus der Grauen Tonne in der MBA Kahlenberg in Ringsheim. Die Funktionalität des Prozesses, insbesondere der Biogas erzeugung, ist nach eigenen Angaben auf den hohen Anteil organischer Abfallstoffe im behandelten Restabfall angewiesen. Hierbei werden Bioabfälle in der gemeinsamen Behandlung mit dem

Restabfall zwar energetisch verwertet. Ein stoffliches Recycling, insbesondere der enthaltenen Nährstoffe, ist bisher jedoch nicht möglich, da diese die Anlage größtenteils mit den extern verwerteten Ersatzbrennstoffen verlassen. In einem im Bau befindlichen Kraftwerk für die thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen ist die Rückgewinnung von Phosphor aus der erzeugten Asche geplant (Schwendemann, o. D.). Eine erfolgreiche Umsetzung ist die Bedingung dafür, dass im Landkreis Emmendingen und im Ortenaukreis trotz der gesetzlichen Vorgabe eine getrennte Bioabfallerfassung nicht eingefordert wird (Schwendemann, 2019).

Als mögliche Alternative, mit der eine getrennte Erfassung von Rest- und Bioabfall bei weitgehender Nutzung der vorhandenen Infrastruktur umsetzbar wäre, wurde eine Umrüstung des bestehenden MBA-Prozesses entsprechend Abbildung 11 betrachtet. Aufgrund der bisher gemeinsamen, zentralen Behandlung des Restabfallaufkommen des Ortenaukreises und des Landkreises Emmendingen ist dies nur bei einer flächendeckenden Einführung der getrennten Erfassung in beiden Landkreisen möglich.

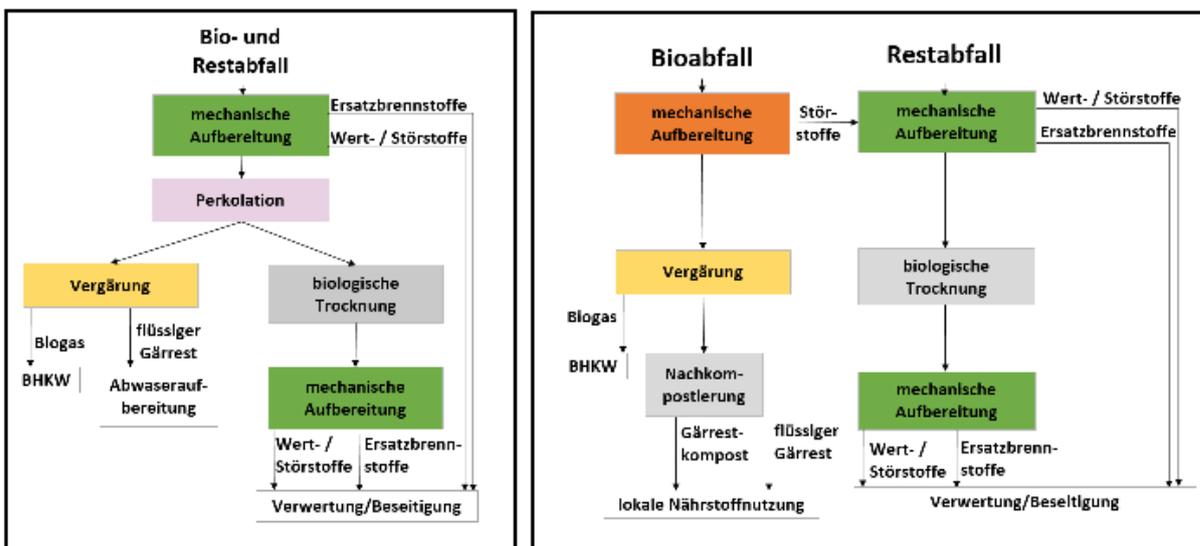


Abbildung 11: Vereinfachtes Prozessschema der vorhandenen MBA (links) im Vergleich zu einer potentiellen Umnutzung bei getrennter Bioabfallbehandlung (rechts)

Der getrennt erfasste Bioabfall kann nach mechanischer Aufbereitung zur Biogaserzeugung einer Vergärungsstufe zugeführt werden. Nach mechanischer Gärrestseparation ist eine lokale, stoffliche Verwertung des flüssigen sowie des nachkompostierten festen Gärrests als Recyclingdüngemittel möglich. Dabei besteht das Potential, den Behandlungsaufwand des Überschusswassers aus der bisherigen Vergärungsstufe zu reduzieren. Für die vorhandene Anlagentechnik ist eine Umfunktionierung zur Bioabfallvergärung denkbar, wobei der Perkulator zur Vermischung mit zurückgeführtem Gärrest und die bereits vorhandene Presse zur Gärrestseparation einsetzbar sind. Ob es möglich ist, die bestehenden Perkolatfermenter für eine Nass- oder Pfropfenstromvergärung von Bioabfall umzurüsten, kann anhand der für diese Studie verfügbaren Daten nicht beantwortet werden. Dafür wären zusätzlich Aggregate für die mechanische Aufbereitung in Abhängigkeit von der Qualität des getrennt erfassten Bioabfalls sowie eine Nachkompostierung des Gärrests notwendig. Der Restabfall könnte nach der ersten mechanischen Aufbereitung direkt der biologischen Trocknung zugeführt und anschließend

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

unter den gleichen Bedingungen wie bisher mechanisch weiter aufbereitet werden, sodass die Aus-sortierung von Wert- und Störstoffen sowie Ersatzbrennstoffen weiterhin gewährleistet wäre.

Unter Berücksichtigung der in Baden-Württemberg 2021 durchschnittlich getrennt gesammelten Bio-abfallmenge von 58 kg (FM) pro Einwohner und Jahr liegt das getrennt erfassbare Bioabfallpotential beider Landkreise bei ca. 35.000 t pro Jahr. Mit den angenommenen Werten zum Biogasertrag aus Tabelle 8 wurde das Biogaspotential bei der Vergärung der separat erfassten Bioabfälle abgeschätzt (siehe Tabelle 9). Die hierbei ermittelte Größenordnung des potenziellen Methanertrags von 1,7 bis 3,5 Millionen Nm³ pro Jahr liegt jedoch niedriger als die nach eigenen Angaben des ZAK bei der Ver-gärung des Restabfallperkolats erreichbare Methanausbeute in einem Größenbereich von 3,1 bis 4,5 Millionen Nm³ pro Jahr. Dies liegt vor allem darin begründet, dass nicht das gesamte Potential ver-gärbarer organischer Abfallbestandteile mit dem getrennt gesammelten Bioabfall erfasst wird und diese immer noch einen hohen Anteil des Restabfallaufkommens ausmachen, der bei der beschriebe-nen Umgestaltung des MBA-Prozesses nicht mehr für die Biogaserzeugung zur Verfügung stünde. Eine Erhöhung des Biogaspotentials aus getrennt erfasstem Bioabfall ist daher direkt vom Erfas-sungsgrad abhängig, für den in dieser Abschätzung ein Durchschnittswert angenommen wurde. Die-ser stellt somit, ebenso wie die Co-Vergärung weiterer biogener Reststoffe, ein Steigerungspotential des Biogasertrags dar. Ohne Berücksichtigung dieses Steigerungspotenzials verspricht die unter-suchte Umrüstung hinsichtlich der energetischen Ausbeute unter den getroffenen Annahmen keine Verbesserung. Daher ergeben sich Vorteile lediglich aus der lokalen, stofflichen Verwertung der Gär-reste. Eine detailliertere Abwägung ist mit den vorliegenden Daten nicht möglich und daher nicht Be-standteil dieser Studie.

Tabelle 8: Parameter für die Abschätzung des Biogasertrags

Parameter		Wert	Einheit	Quelle
Getrennt erfasstes Bioabfallaufkommen		58	kg/(Ew*a)	(Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, 2022)
Biogasertrag (kontinuierliche Propfenstromfermentation von Bioabfall)	min	100	Nm ³ /t Bioabfall	(Kern, Raussen, Funda, Lootsma, & Hofmann, 2010)
	max	135	Nm ³ /t Bioabfall	
Methangehalt (Bioabfallfermen-tation)	min	50	%	
	max	75	%	
Biogasertrag (MBA)	min	4,7	Mio. Nm ³ /a	(Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis, 2014)
	max	6,0	Mio. Nm ³ /a	(Schwendemann, o. D.)
Methangehalt (MBA)	min	65	%	(Merten, Person, & Schrieber, 2006)
	max	75	%	

Tabelle 9: Ergebnisse der Abschätzung des Methanertrags

Ergebnisse Methanertrag		Wert	Einheit	Quelle
MBA	min	3,1	Mio. Nm ³ /a	Berechnungsergebnis
	max	4,5	Mio. Nm ³ /a	Berechnungsergebnis
Bioabfallvergärung	min	1,7	Mio. Nm ³ /a	Berechnungsergebnis
	max	3,5	Mio. Nm ³ /a	Berechnungsergebnis

3.4.2 Klimaschutzpotenziale durch Digitalisierung

Treibhausgasreduktionspotenziale in der Abfallwirtschaft durch Digitalisierung können in den folgenden Bereichen realisiert werden:

Digitale Füllstandsmessung und Optimierung der Tourenplanung

Bei digitaler Erfassung der Füllstände von Reststoffbehältern und der Weiterleitung dieser Informationen zur automatisierten Tourenplanung lassen sich gefahrene Kilometer und damit verbundene Treibhausgasemissionen reduzieren (siehe Kap. 3.3.1 zu dem derzeit laufenden Pilotprojekt der automatischen Füllstandserfassung von öffentlichen Mülleimern über Sensoren und einer optimierten Tourenplanung). Entsprechende Initiativen könnten auch auf andere Reststoffe (z.B. Altglas, Altkleider, Altpapier) ausgedehnt werden. Auf dem Markt existieren dazu auch bereits diverse Sensorlösungen, siehe z.B. Zolitron (Zolitron, 2020) bzw. Softwarelösungen, siehe z.B. EMOS Systems (S&F Datentechnik GmbH & Co. KG, o. D.).

Nutzung digitaler Lösungen bei der Reststofftrennung

Insbesondere bei der Trennung von Altglas (nach Farben) bzw. bei der Separation von verschiedenen Kunststoffabfallfraktionen (nach Polymerarten) greifen viele Abfallwirtschaftsbetriebe bereits auf Sensortechnik bzw. digitale Lösungen zurück. Z. B. ist zur Trennung von Kunststoffverpackungen, -folien oder -tüten eine Sortiertechnik mittels Nahinfrarot-Spektrometrie recht etabliert. Mittels dieser Technik werden die häufigsten Polymere erkannt und können automatisiert sortiert werden. Bei komplexeren Produkten mit hoher Materialvielfalt kommt diese Technik aber an ihre Grenzen. Hier setzen Forschungsprojekte wie z.B. ReCircE an, in dem sensorgestützte Sortierverfahren mit den Möglichkeiten des maschinellen Lernens sowie digitalen Produktpässen kombiniert werden sollen (GreenDelta GmbH, 2022). Unter der Idee der Produktpässe oder auch „Lebenszyklusakten“ werden diverse Informationen zum Produkt bzw. seinem Lebenszyklus verstanden. Dazu zählen z.B. die beim Herstellungsprozess verwendeten Materialien und deren Eigenschaften. Diese Informationen können dann für die Materialrückgewinnung – also für die Sortierung, das Recycling und die anschließende Wiederverwertung – nutzbar gemacht werden. Sind diese Informationen verfügbar, kann dies zu einem höheren Maß an stofflichem Recycling führen.

Intelligenter Recyclinghof

Ein weiterer Ansatzpunkt ist die Verbesserung des Kundenmanagements auf Recyclinghöfen. Der

Gedanke dahinter ist, die Fahrt zum Recyclinghof zu einem positiven Kundenerlebnis zu machen. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass recyclingfähige Reststoffe auch tatsächlich abgegeben und so das stoffliche Recycling von Reststoffen gefördert wird. Um die Wartezeiten an Recyclinghöfen zu reduzieren haben die Wirtschaftsbetriebe Duisburg das Besucheraufkommen erfasst und in Echtzeit auf verschiedenen Kanälen veröffentlicht. So können Kundinnen und Kunden bereits vor dem Besuch den optimalen Besuchszeitpunkt planen und einen anderen Recyclinghof anfahren, falls am nächstgelegenen Hof aktuell zu lange Wartezeiten kommt. Nach einer erfolgreichen Pilotphase wurde das System mittlerweile auf weitere Recyclinghöfen ausgedehnt. Ferner können sich Kundinnen und Kunden bereits vor ihrem Besuch über die Veröffentlichung von 3-D-Modellen einen Überblick über den Recyclinghof verschaffen und z.B. in Erfahrung bringen, welche Container sich wo befinden (Hoffmann, 2020).

Vermeidung von Fehlwürfen

Eine Herausforderung im Zusammenhang mit der Erhöhung von stofflichen Verwertungsquoten sind Fehlwürfe bzw. der Anfall von Störstoffen. In Reallaboren auf Recyclinghöfen hat sich gezeigt, dass bereits die reine Anwesenheit von Kameras die Fehlwurfquote stark reduziert. Es ist zu erwähnen, dass alle eingesetzten Videosensoren die Daten DSGVO-konform direkt und anonymisiert verarbeiten (Hoffmann, 2020). Einen Schritt weiter geht das österreichische Unternehmen Saubermacher (Saubermacher AG, o. D.). Über das Konzept der „Smart-Waste Collection Plattform“ erfassen Sensoren und Scanner in den Müllfahrzeugen Fehlwürfe. Künstliche Intelligenz wertet die Daten kontinuierlich auf Basis von selbstlernenden Algorithmen aus. So können Bürgerinnen und Bürger sogar Feedback zu ihrem Trennverhalten direkt auf ihr digitales Endgerät erhalten, wenn sie dafür ihre Zustimmung erteilen. Pilotprojekte in Österreich haben gezeigt, dass durch das Direktfeedback die Fehlwürfe durchschnittlich um rund 50 %, im Maximum sogar um bis zu 80 % reduziert werden konnten (Allgemeine Bauzeitung, 2020).

3.5 Untersuchung eines innovativen, thermischen Verwertungswegs

3.5.1 Pyrolyse

Für das Karbonisieren von Biomasse werden Anlagen verwendet, welche die eingesetzte Biomasse unter Sauerstoffausschluss auf einer Temperatur von 500 °C bis meistens 700 °C in Kohle überführen. Hierzu gibt es unterschiedliche Verfahren und Prozessführungen, die jeweils ihre spezifischen Einsatzgebiete abdecken. Allen Verfahren am Markt gemeinsam ist jedoch, dass die entstehenden brennbaren Prozessgase direkt in einer Brennkammer verbrannt werden und somit thermische Energie entsteht. Ein Teil dieser Energie wird in den meisten Fällen für den eigentlichen Prozess verwendet, ein weiterer Teil wird meistens für die Vortrocknung des eingesetzten Brennstoffs verwendet. Die übrige Wärmeenergie kann anschließend für weitere Zwecke (Trocknung, Verstromung) eingesetzt werden.

Einen Überblick über die dazu bekannten thermochemischen Prozesse und die Abgrenzung von Pyrolyse zur Verbrennung ist in Abbildung 12 dargestellt.

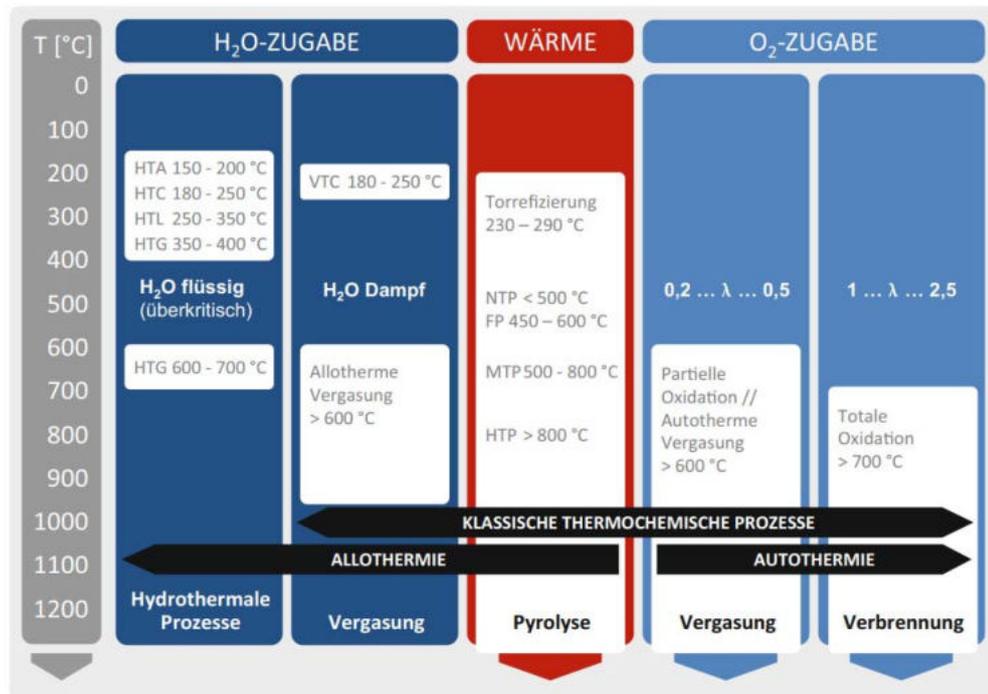


Abbildung 12: Thermochemische Prozesse zur Pyrolyse von Biomassen (Quicker, 2016)

Als negative Emissionstechnologie stellt die Karbonisierung die derzeit einzige heute anwendbare Möglichkeit dar, nicht nur Treibhausgasemissionen zu reduzieren, sondern aktiv Treibhausgase aus der Atmosphäre zu entziehen und langfristig und sicher zu speichern (pyrogenic carbon capture and storage, pyCCS). Somit stellt diese Technologie auch einen wichtigen Baustein dar, um das geplante 2 °C-Ziel noch zu erreichen.

Aufgrund dieser Tatsachen hat sich in den letzten Jahren ein breiter Markt, sowohl für den Rohstoff selbst, als auch die Dienstleistung der Kohlenstoffspeicherung auf dem CO₂-Markt entwickelt. Die Einnahmen aus dem Verkauf der Pflanzenkohle variieren dabei in Abhängigkeit der Kohlequalität und des Kohlenstoffanteils.

3.5.2 Inputströme

Generell lässt sich eine weite Bandbreite an Biomassen zur Herstellung von Pflanzenkohle verwenden. Je nach Inputmaterial entstehen Pflanzenkohlen unterschiedlicher Qualität. Diese Qualitätsstandards und zulässige Biomassen sind durch eine Positivliste bzw. Richtlinien des Europäischen Pflanzenkohle-Zertifikates (EBC) festgelegt (siehe Anlage B-1).

In den nachfolgenden Betrachtungen werden die Inputströme miteinbezogen, welche in der Stadt Offenburg bereits erfasst werden und sich für eine Karbonisierung eignen.

- Grünabfall (krautig / holzig)
- Schnittgut
- Wurzelholz
- Laub
- Altholz (A I – A III)

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Tabelle 10: Für die Karbonisierung geeignete Stoffströme mit angenommenen Trockensubstanzgehalten

Material	Frischmasse [t FM / a]	Trockenmasse [t TM / a]	Trockensubstanzgehalt	Quellenbasis Für Annahme Trockensubstanzgehalt
Schnittgut	140	70	50 %	(Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, & Scholwin, 2006)
Grünabfall	8.533	4.267	50 %	(Hüttner, Richter, Kern, Rausen, & Turk, 2019)
Laub	1.692	930	55 %	(Weidner, 2021)
Wurzelstöcke	904	452	50 %	eigene Annahme
Altholz	2.522	2.018	80 %	eigene Annahme
∑ Summe	13.791	7.737		

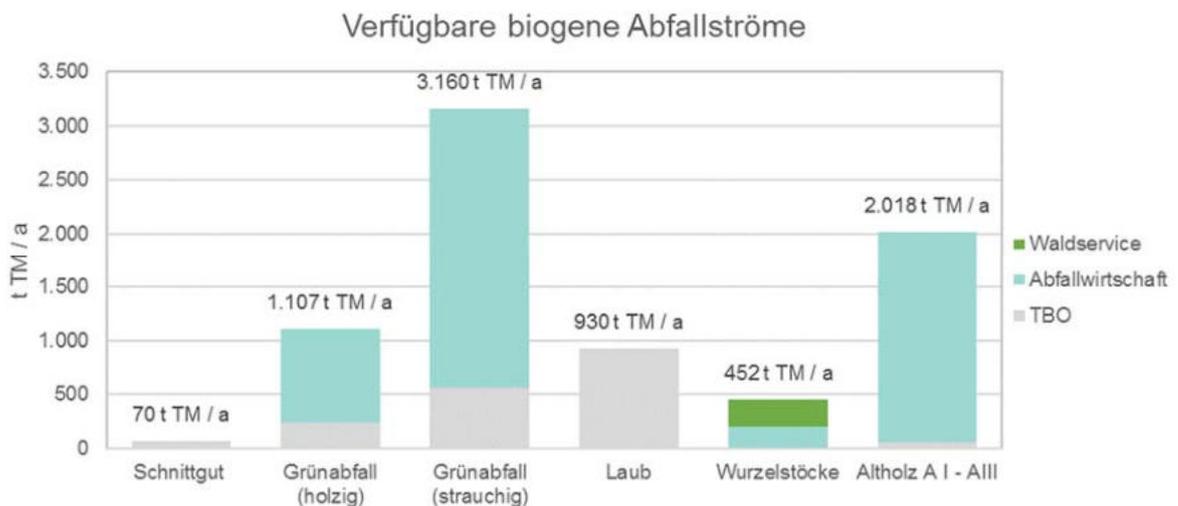


Abbildung 13: Darstellung der für die Karbonisierung geeigneten und verfügbaren biogenen Stoffströme und deren Herkunft

3.5.3 Variantenentwicklung

Im Rahmen dieser Studie wurden drei Szenarien untersucht, in denen jeweils unterschiedliche Teilmengen der in Kapitel 3.5.2 dargestellten biogenen Abfallströme in einer Karbonisierungsanlage verwertet werden. Die Untersuchung berücksichtigt auch eine vorgeschaltete mechanische Aufbereitung und Trocknung zur Vorbereitung der Abfallströme für die Karbonisierung. Ziele der Materialaufbereitung sind die Störstoffentfrachtung, die Einstellung eines Korngrößenbereichs zwischen 10 mm und 40 mm sowie die Erhöhung des Trockensubstanzgehalts auf mindestens 80 %. Die Aufbereitungsschritte bestehen in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Ausgangsmaterials aus der Zerkleinerung, der Abscheidung von Steinen und Metallen, der Siebung, gegebenenfalls einer Pelletierung und einer Vortrocknung. Eine detailliertere Beschreibung der Aufbereitungstechnik mit Beispielanlagen befindet sich in Kapitel 3.5.4.

In Abhängigkeit von den erwarteten Materialeigenschaften wurden für die betrachteten Szenarien jeweils Aufbereitungsschritte ausgewählt und Stoffstrommodelle zur Abschätzung des für die Karbonisierung nutzbaren Anteils entwickelt. Es liegen keine Messdaten zu der Zusammensetzung der betrachteten Abfallströme oder deren Verhalten in der vorgesehenen mechanischen Aufbereitung vor. Daher wurden die in Anlage A-1 dargestellten Annahmen bezüglich der abgetrennten Störstoffe, Feinfraktionen und Wassermengen verwendet, um eine Aufteilung der Eingangsmassenströme auf die jeweiligen Verwertungs- und Entsorgungswege rechnerisch darzustellen. Für die aussortierten Materialfraktionen und die im jeweiligen Szenario nicht für die Karbonisierung vorgesehenen Abfallströme werden in Abhängigkeit von den Materialeigenschaften alternative Verwertungs- und Entsorgungswege berücksichtigt. Hierbei handelt es sich um die Kompostierung, die Verbrennung in einem Biomasseheizkraftwerk, die Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage sowie das stoffliche Recycling von Metallfraktionen.

3.5.3.1 IST-Szenario

Das Stoffstrommodell des IST-Szenarios in Abbildung 14 basiert auf den in Kapitel 3.1 beschriebenen Behandlungs- und Verwertungswegen der betrachteten Abfallströme. Für die mechanische Aufbereitung von Grünabfällen und Wurzelstöcken zur Abtrennung einer krautigen Fraktion zur Kompostierung und einer holzigen Fraktion zur thermischen Verwertung wird entsprechend der vorliegenden Informationen und der üblichen Behandlungsschritte von einer Zerkleinerung mit anschließender Siebung am jeweiligen Sammelplatz ausgegangen. Gleiches gilt für die Aufbereitung des Schnittguts, welches zu Hackschnitzeln verarbeitet wird. Da diesbezüglich keine Informationen zu Verarbeitungsresten vorliegen, wurde für den gesamten Abfallstrom die Zuführung zu einer thermischen Verwertung angenommen.

Über die Nutzung des holzigen Siebüberlaufs aus der mechanischen Aufbereitung von Grünschnitt und Wurzelstöcken ebenso wie des Schnittguts ist lediglich eine nicht genau spezifizierte thermische Verwertung bekannt. Deshalb wird im Stoffstrommodell des IST-Szenarios für alle Massenströme, die einer thermischen Verwertung zugeführt werden, vereinfacht der Einsatz als Brennstoff in einem Biomasseheizkraftwerk oder Biomassekraftwerk als Verwertungsweg analog zu Altholz angenommen. Für Wurzelstöcke des WSO ist kein spezifischer Verwertungsweg bekannt, weshalb im IST-Szenario eine Ablagerung berücksichtigt ist.



Abbildung 14: Stoffstrommodell für das IST-Szenario

3.5.3.2 Szenario A: Pyrolyse von aufbereitetem Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut

In Szenario A wird das Biomassepotential aus Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut für die Karbonisierung genutzt, während Laub und Altholz weiterhin analog zum IST-Szenario behandelt werden. Für Grünabfall, Wurzelstöcke und Schnittgut ist eine gemeinsame Aufbereitung am Standort der Karbonisierungsanlage vorgesehen, um eine für die Karbonisierung geeignete Materialfraktion abzutrennen. Diese umfasst die in Abbildung 15 dargestellten Aufbereitungsschritte, deren Auswahl und Modellierung auf den erwarteten Materialeigenschaften beruhen. Um den Trockensubstanzgehalt für die folgende mechanische Aufbereitung zu erhöhen, werden die Materialien je nach Bedarf zunächst trocken gelagert. Der Trockensubstanzgehalt unterliegt saisonalen und witterungsbedingten Schwankungen, weshalb im Stoffstrommodell der Szenarien A, B und C beispielhaft ein durchschnittlicher Anstieg des Trockensubstanzgehalts von 50 % auf 60 % vor der mechanischen Aufbereitung berücksichtigt ist. Es wird von einem heterogenen Material ausgegangen, das sowohl aus strauchigen und holzigen Bestandteilen unterschiedlicher Stückgröße als auch aus mineralischen Störstoffen wie Steinen und Bodenanhäufungen besteht. Für die Einstellung des benötigten Korngrößenbereichs ist eine Vorzerkleinerung mit Siebung und Nachzerkleinerung vorgesehen. Ein Steinabscheider dient zur Abtrennung von Steinen und sonstigen Inertstoffen im Schwergut. In Abhängigkeit vom verwendeten Aggregat ist eine gleichzeitige Windsichtung zur Abscheidung von faserigen Störstoffen und Folienresten im Leichtgut möglich, wobei das Mittelgut für die weitere Aufbereitung genutzt wird. Da der für die Siebung vorgesehene untere Siebschnitt mit 10 mm deutlich kleiner ist als der zur Abtrennung einer Feinfraktion aus Grünabfällen übliche Siebschnitt von 40 mm, wird im Vergleich zum IST-Szenario mit einem geringeren Anteil gerechnet, der im Siebdurchgang ausgetragen und kompostiert wird. Außerdem wird von einem gegenüber der Mittelfraktion erhöhten Austrag von Bodenanhäufungen in der Feinfraktion und somit einer weiteren Abreicherung mineralischer Störstoffe aus dem Eingangsmaterial für die Karbonisierung ausgegangen.

Mit der in Szenario A für die Karbonisierung eingesetzten Biomasse kann nach Vorgaben des EBC und bei Einhaltung geforderter Grenzwerte Pflanzenkohle aller Zertifizierungsklassen bis maximal EBC-AgroBio produziert werden (vgl. Anlage B-1).

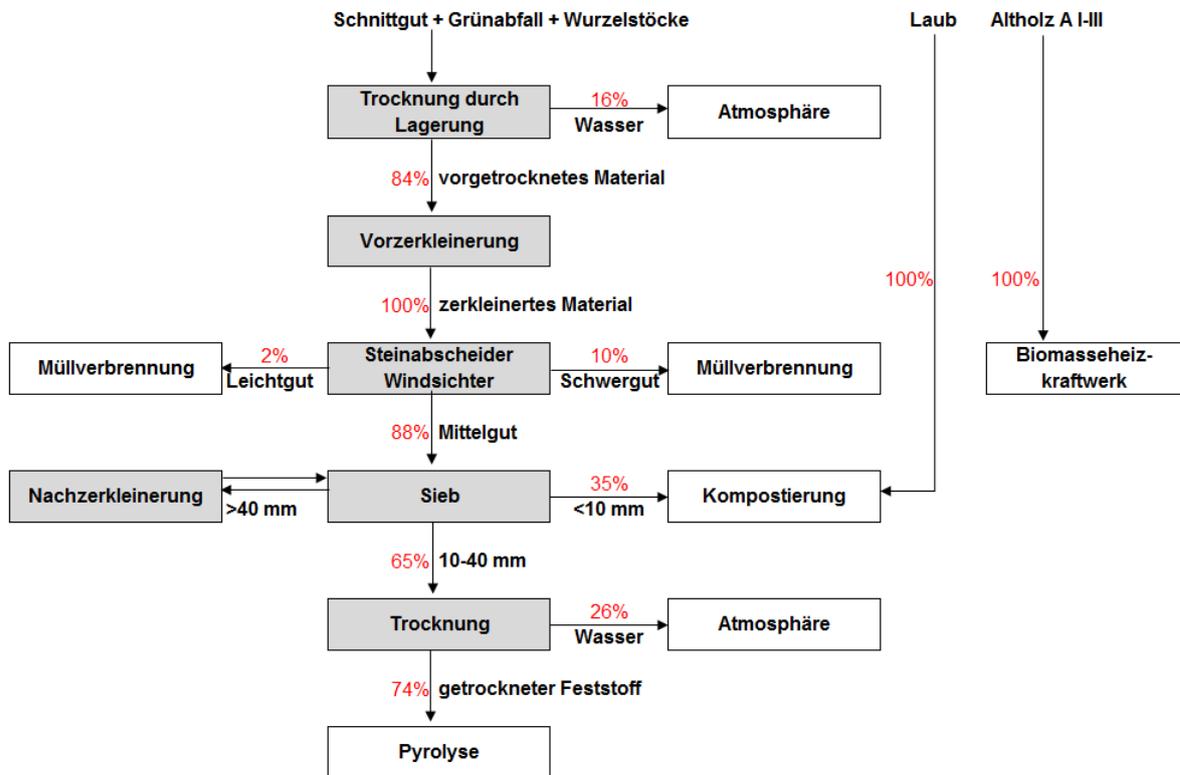


Abbildung 15: Stoffstrommodell für das Szenario A (Grünabfall, Wurzelstöcke, Schnittgut)

3.5.3.3 Szenario B: Szenario A + Zusätzliche Pyrolyse von Laubpellets

In Szenario B wird zusätzlich zu Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut auch das Biomassepotential des jährlich anfallenden Laubs für die Karbonisierung genutzt. Die Aufbereitung von Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut erfolgt analog zu Szenario A. Aufgrund der Materialeigenschaften von Laub sind hierfür jedoch andere Aufbereitungsschritte vorgesehen, die im Stoffstrommodell in Abbildung 16 dargestellt sind. Da es sich überwiegend um Blätter handelt, ist zur Erzeugung eines rieselfähigen Brennstoffs im benötigten Stückgrößenbereich eine Pelletierung vorgesehen. Bei dem von Grünflächen und Straßen separat gesammelten Laub ist neben Blättern auch mit Störstoffen wie Sand, Bodenanhäufungen, Steinen und nicht korrekt entsorgten Restabfallbestandteilen zu rechnen. Um diese vor der Pelletierung weitgehend abzuscheiden, sind eine vorgeschaltete Trocknung, eine Siebung zum Austrag von Sand und Bodenanhäufungen sowie eine Windsichtung vorgesehen, bei der Steine und sonstiges Schwergut von einer Leichtfraktion aus Blättern abgeschieden wird.

Die Karbonisierung eröffnet einen neuen Verwertungsweg für das im Laub enthaltene Biomassepotential, dessen Entsorgung aufgrund des saisonalen Anfalls und der Störstoffgehalte zunehmend eine Herausforderung für Kommunen darstellt. Für die Aufbereitung wird aber im Vergleich mit Szenario A zusätzliche Anlagentechnik benötigt, bei denen mit der saisonal anfallenden Jahresmenge im Stadtgebiet Offenburg nur eine geringe Auslastung zu erwarten ist. Die Einbeziehung zusätzlichen Laubs aus anderen Kommunen kann zu einer besseren Ausnutzung der Anlagenkapazitäten führen.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Auch die in Szenario B genutzten Biomassen ermöglichen die Herstellung von Pflanzenkohle aller Zertifizierungsklassen bis maximal EBC-AgroBio, sofern Laub separat vom Straßenkehrriecht eingesammelt wird (siehe Anlage B-1).

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

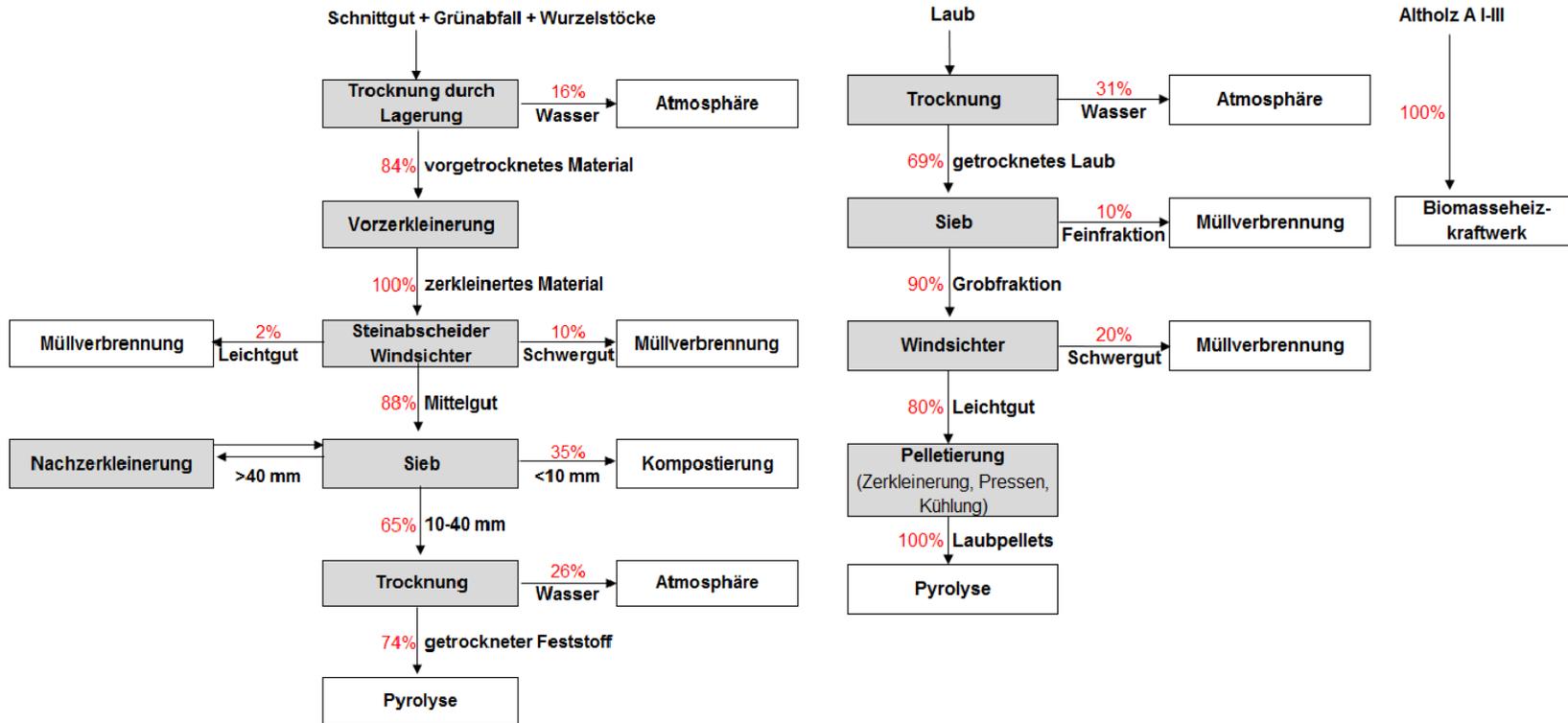


Abbildung 16: Stoffstrommodell für das Szenario B (Grünabfall, Wurzelstöcke, Schnittgut, Laub)

3.5.3.4 Szenario C: Szenario A + Zusätzliche Pyrolyse von aufbereitetem Altholz

In Szenario C wird zusätzlich zu Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut auch das separat erfasste Altholz der Kategorien A I bis A III für die Karbonisierung aufbereitet. Hierbei handelt es um ein grobstückiges, holziges Material, weshalb die im Stoffstrommodell verwendeten Aufbereitungsschritte überwiegend mit denen für Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut übereinstimmen (siehe Abbildung 17). Eine Vortrocknung durch Lagerung wird für Altholz nicht berücksichtigt, da im Vergleich zu Grünabfällen durch die vorausgegangene Nutzungsdauer ein höherer Trockensubstanzgehalt zu erwarten ist, für den ein durchschnittlicher Wert von 80 % angenommen wurde. Insbesondere durch Nägel und Schrauben ist außerdem mit einem metallischen Störstoffgehalt zu rechnen, zu dessen Abtrennung ein Eisenabscheider vorgesehen ist, zum Beispiel in Form eines Magnetabscheiders für Eisenmetalle. Bei Bedarf kann zusätzlich eine Abscheidung von Nichteisen (NE)-Metallen ergänzt werden, z. B. in Form eines Wirbelstromabscheiders.

Die zusätzliche Altholzaufbereitung bietet den Vorteil, dass durch die weitgehende Übereinstimmung der Aufbereitungsschritte mit denen von Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut die dafür vorgesehenen Aggregate genutzt werden können und eine bessere Ausnutzung der Anlagenkapazitäten möglich ist. Nachteilig ist die niedrigere erreichbare Zertifizierungsstufe der Pflanzenkohle aus Altholz. Durch den Einsatz eines Gemischs der Kategorien A I bis A III ist als höchste Zertifizierungsstufe EBC-Urban erreichbar, sofern der Anteil synthetischer Bindemittel, Beschichtungen und Kunststoffverunreinigungen unter 1 % liegt. Um eine höhere Zertifizierungsstufe bis EBC-AgroBio für Pflanzenkohle aus Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut auch im Szenario C zu erreichen, ist eine Trennung von Lagerbereichen, Nutzungszeiten der Aufbereitungstechnik und der Karbonisierungsanlage erforderlich, da ansonsten diese ebenfalls der niedrigeren Zertifizierungsstufe zugeordnet werden muss.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

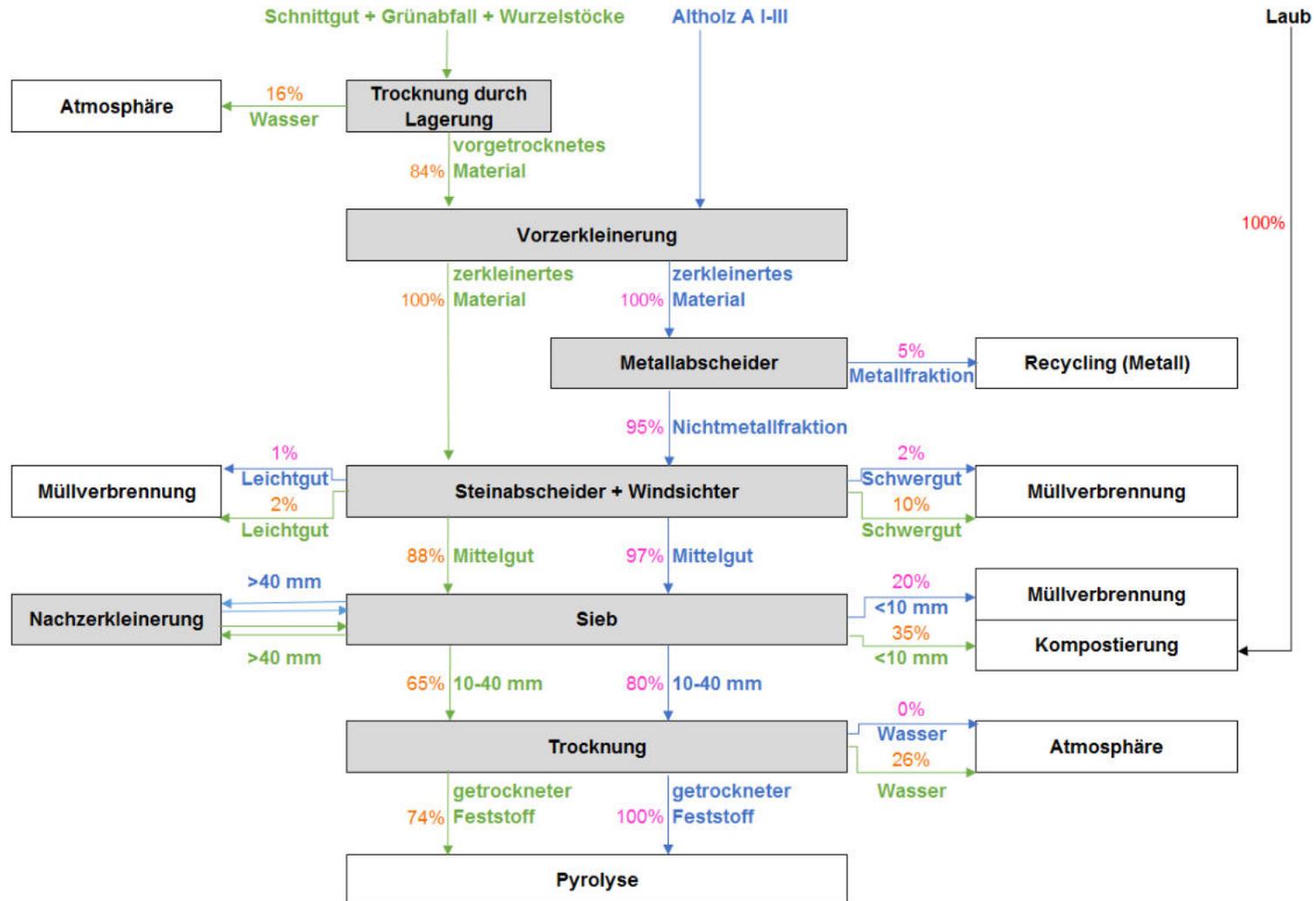


Abbildung 17: Stoffstrommodell für das Szenario C (Grünabfall, Wurzelstöcke, Schnittgut, Altholz)

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

3.5.3.5 Vergleich der Aufbereitungsszenarien

Unter Anwendung der beschriebenen Stoffstrommodelle für die Materialaufbereitung ergibt sich in jedem Szenario eine unterschiedliche Aufteilung der Inputströme auf die betrachteten Entsorgungs- und Verwertungswege Kompostierung, Pyrolyse, Biomasseheizkraftwerk, Müllverbrennung und Ablagerung sowie des bei der Trocknung in die Atmosphäre gelangende Wassers. Eine vergleichende Gegenüberstellung der Szenarien anhand von Frischmassenbilanzen befindet sich in Abbildung 18 bis Abbildung 21.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

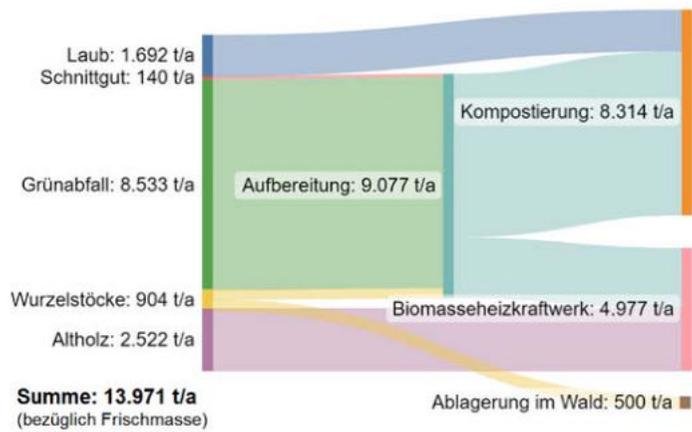


Abbildung 18: Ergebnisse der Stoffstrommodellierung im IST-Szenario, erstellt mit Sankeymatic

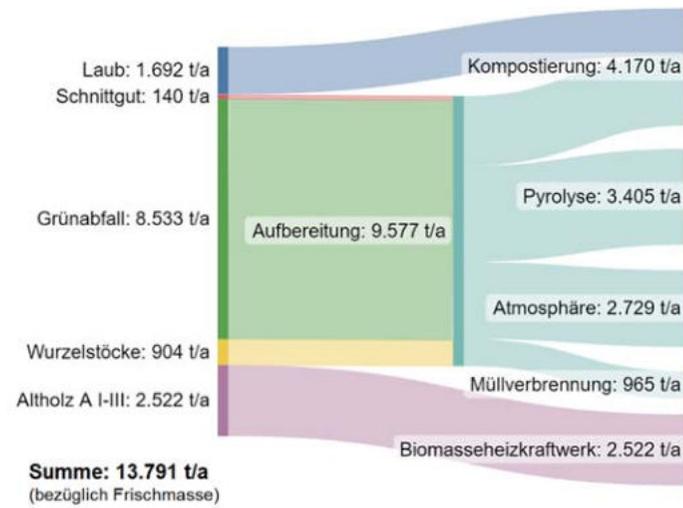


Abbildung 19: Ergebnisse der Stoffstrommodellierung in Szenario A, erstellt mit Sankeymatic

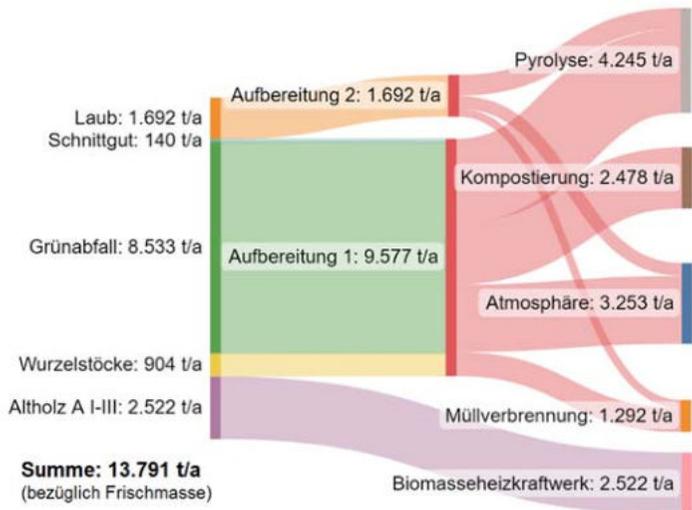


Abbildung 20: Ergebnisse der Stoffstrommodellierung im Szenario B, erstellt mit Sankeymatic

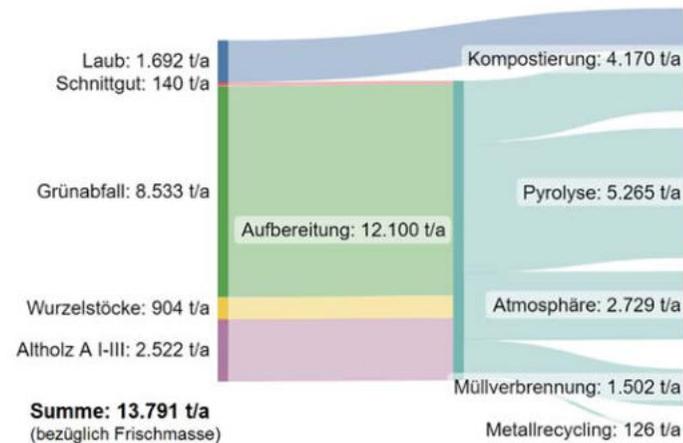


Abbildung 21: Ergebnisse der Stoffstrommodellierung im Szenario C, erstellt mit Sankeymatic

Hieraus geht hervor, dass der für die Karbonisierung nutzbare Massenstrom von Szenario A bis C steigt, da entsprechend auch der Anteil der dazu aufbereiteten Inputströme zunimmt. Grund hierfür ist, dass die verfügbare Altholzmenge größer als der jährliche Laubfall ist und von geringeren Aufbereitungsverlusten ausgegangen werden kann. Im Vergleich mit dem IST-Szenario ist der extern zu kompostierende und der in einem Biomasseheizkraftwerk thermisch zu verwertende Anteil der Inputströme in allen drei Aufbereitungsszenarien entsprechend geringer. Durch die zusätzliche Aufbereitung von Laub wird ein ursprünglich durch Kompostierung verwerteter Massenstrom in Szenario B für die Karbonisierung genutzt, weshalb es sich hierbei um das Szenario mit dem geringsten Anteil an extern kompostierter Biomasse handelt. Demgegenüber entfällt in Szenario C der in einem Biomassekraftwerk thermisch verwertete Anteil, weil alle holzigen Fraktionen für die Karbonisierung genutzt werden.

Bei den Massenströmen, die in den Szenarien A bis C in einer Müllverbrennungsanlage entsorgt werden, handelt es sich lediglich um die im Rahmen der Aufbereitung aussortierten Störstoffe. Eine direkte Deponierung mineralischer Fraktionen wird nicht berücksichtigt, da eine Verunreinigung durch den Austrag organischer Bestandteile im Schwergut wahrscheinlich ist. Grundsätzlich ist auch bei den alternativen externen Verwertungswegen durch Kompostierung oder Verbrennung in einem Biomasseheizkraftwerk mit dem Auftreten von Restfraktionen aus einer vorausgehenden oder nachgeschalteten Materialaufbereitung ebenso wie mit verdampften und verdunsteten Wassermengen zu rechnen. Diese werden in den dargestellten Massenbilanzen nicht berücksichtigt, da keine Informationen hierzu vorliegen und sie außerhalb des Bilanzraums für die Materialaufbereitung und Verwertung im Stadtgebiet Offenburg anfallen.

3.5.4 Materialaufbereitung

Um die in den Szenarien A, B und C erforderlichen Aufbereitungsschritte umzusetzen, werden verschiedene Anlagen zur Zerkleinerung, Klassierung, Pelletierung und Trocknung benötigt. Einen Überblick über die vorgesehene Verfahrenstechnik inklusive Beispielanlagen geben die folgenden Unterkapitel.

Darüber hinaus ist für die Szenarien A, B und C der Bau einer Halle zum Schutz der Anlagentechnik notwendig. Diese umfasst die Überdachung des Brennstofflagers, der Anlagen zur mechanischen Aufbereitung und der Pyrolyseanlage. Empfehlenswert ist, das Brennstofflager auf die Bevorratung eines Wochendurchsatzes zu dimensionieren sowie zusätzlich Kapazitäten zur Vortrocknung der angelieferten Materialien vorzusehen.

3.5.4.1 Zerkleinerungstechnik

Pyrolyseanlagen werden für den reibungslosen Betrieb mit Ausgangsmaterialien in Korngrößen zwischen 10 mm und 40 mm beschickt. Das Ziel der Zerkleinerung besteht darin, aus grobstückigen, heterogenen Ausgangsbiomassen ein homogenes, rieselfähiges Material zu erzeugen. Hierfür ist eine schneidende Zerkleinerung geeignet. Ein Vorzerkleinerer für Grünabfall, Schnittgut, Wurzelstöcke und Altholz wird auf jeden Fall benötigt. Zur Nachzerkleinerung des Siebüberlaufs ist entweder eine separate Anlage oder eine Rückführung in den Vorzerkleinerer möglich. Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung und die Treibhausgasbilanz wurden Anlagenkennwerte von zwei Beispielaggregaten herangezogen, bei denen es sich um einen langsam laufenden Zweiwellenvorzerkleinerer und einen Einwellenachzerkleinerer handelt (siehe Abbildung 22)



Abbildung 22: Vorzerkleinerer Komptech Crambo 3400 (links) (Komptech CEA, 2022a) und Nachzerkleinerer Maier Dieffenbacher SMV Cutting Rotor (rechts) (Dieffenbacher, o. D.)

3.5.4.2 Störstoffentfrachtung

Die Störstoffentfrachtung schließt sich der Vorzerkleinerung unmittelbar an. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Entfernung von Steinen sowie die Entfernung von Eisenmetallen gelegt.

Steine, soweit sie sich innerhalb der anlagenspezifischen Korngrößen befinden, haben keinen negativen Einfluss auf den Pyrolyseprozess. Durch den Eintrag von Steinen in die Pflanzenkohle sinkt jedoch der Kohlenstoffanteil und damit der mögliche Erlös für die Pflanzenkohle. Zu deren Abtrennung sind sowohl Nass- als auch Trockenklassierverfahren geeignet. Um den Trocknungsaufwand vor der Pyrolyse zu minimieren wurde im Rahmen dieser Studie als Beispielaggregat zur Trockenklassierung ein Steinabscheider des Modells Stonefex von Komptech GmbH herangezogen. Die in der Trennkammer durch ein Gebläse erzeugte Strömung bewirkt die Schwergutabscheidung vom holzigen Mittelgut und ermöglicht gleichzeitig den Austrag einer Leichtfraktion mit dem Luftstrom. Laub kann aufgrund der Blätterstruktur im Leichtgut ausgetragen werden, weshalb als Beispielaggregat zur Schwergutseparation bei der Laubaufbereitung ein Windsichter des Modells Hurrigan S von Komptech GmbH für die Wirtschaftlichkeitsrechnung und die Treibhausgasbilanz betrachtet wurde (siehe Abbildung 23).

Metallische Störstoffe sind insbesondere bei der Altholzaufbereitung zu erwarten. Diese werden in einem Steinabscheider oder Windsichter zwar ebenfalls im Schwergut ausgetragen, sind bei einer separaten Erfassung aber für ein Metallrecycling verfügbar. Eine Eisenmetallseparation ist beispielsweise in Form eines Trommel-, Bandrollen- oder Überbandmagnetabscheiders in das bestehende Aufbereitungssystem integrierbar. Wird auch eine NE-Metallseparation benötigt, bietet sich hingegen ein separates Aggregat mit Wirbelstrom- und Magnetabscheider zur Metallabtrennung an.



Abbildung 23: Komptech Stonefex (links) (Komptech CEA, 2022d) und Komptech Hurrigan S (rechts) (Komptech CEA, 2022b)

3.5.4.3 Siebung

Da der für die Beschickung der Pyrolyseanlage geeignete Korngrößenbereich nach oben und nach unten begrenzt ist, wird zur Klassierung von zerkleinertem Grünabfall, Schnittgut, Wurzelstöcken und Altholz eine Siebanlage mit zwei Siebschnitten zur Erzeugung von drei Materialfraktionen benötigt, sodass Übergrößen aus der Vorzerkleinerung sowie eine nicht nutzbare Feinfraktion abgetrennt werden. Als Beispielaggregat wurde in der Wirtschaftlichkeitsrechnung und der Treibhausgasbilanzierung das in Abbildung 22 dargestellte Sternsieb betrachtet. Dieses gewährleistet auch die Homogenisierung des Stoffstromes und weitere Auftrennung von verbliebenen Konglomeraten. Die Nutzfraktion wird über ein Förderband zur weiteren Verarbeitung ausgetragen.

Bei der Laubaufbereitung ist eine Siebung vor der Zerkleinerung vorgesehen und dient vor allem der Abscheidung einer sandigen Störstofffraktion, weshalb prinzipiell auch ein feiner Siebschnitt ausreicht.



Abbildung 24: Komptech Multistar S3 (Komptech CEA, 2022c)

3.5.4.4 Pelletierung

Eine Pelletierung dient der Agglomeration pulverförmiger Materialien zu Pellets definierter Stückgröße. Bei der Brennstoffherzeugung spielt vor allem die Produktion von Holzpellets eine Rolle. Für die Aufbereitung von Laub ist eine Pelletierung vorgesehen, um die Schüttdichte zu erhöhen, die Lager- und Förderbarkeit zu verbessern, und einen Brennstoff im benötigten Korngrößenbereich für die Beschickung einer Pyrolyseanlage zu erzeugen. Je nach Beschaffenheit des vorgetrockneten

Ausgangsmaterials umfasst der Prozess neben dem Pressen zu Pellets eine nachgeschaltete Kühlung sowie eine vorausgehende Zerkleinerung und Konditionierung, welche der Einstellung der Feuchte und einer optionalen Bindemittelzugabe dient. Im Rahmen dieser Studie wurden Kennwerte von Beispielanlagen der Firma Tritec GmbH herangezogen (siehe Abbildung 25). Da nicht alle Ausgangsmaterialien für eine Pelletierung geeignet sind, ist die Anwendbarkeit und die benötigte Materialvorbereitung im Rahmen von Pelletierversuchen im Voraus zu überprüfen.



Abbildung 25: Pelletierpresse einer Tritec Pelletieranlage (Tritec GmbH, o. D.)

3.5.4.5 Trocknung

Abbildung 26 liefert eine Übersicht über die Abgrenzung verschiedener Trocknungsarten für die Verarbeitung von Hackschnitzeln. Die für Grünabfall, Schnittgut und Wurzelstöcke je nach Feuchtigkeit des Materials vorgesehene Vortrocknung durch Lagerung vor der mechanischen Aufbereitung zählt nach diesem Schema zur natürlichen Trocknung, welche im rechten Ast der Grafik dargestellt ist. Für die Materialtrocknung unmittelbar vor der Karbonisierung ist eine technische Trocknung vorgesehen. Diese kann über kontinuierliche Systeme wie einen Band- oder Trommeltrockner oder alternativ einen chargenweise genutzten Containertrockner ausgeführt und der Trocknungswärmebedarf kann aus der Überschusswärme der Karbonisierungsanlage bezogen werden.

Bei kontinuierlichen Trocknersystemen wird das zu trocknende Gut durch eine Anlage geschleust, wobei das Material in Bewegung ist und durch den erhöhten Gas- und Stoffaustausch Feuchtigkeit besser aus dem Material entweichen kann. Jedoch sind diese Systeme eher problematisch in der Staubbelastung der Abluft, sodass gegebenenfalls eine Entstaubung eingesetzt werden muss. Diskontinuierliche Chargen- oder Satzrockner sind meist kostengünstiger und benötigen weniger elektrische Energie, arbeiten aber durch den geringeren Stoffaustausch an der Oberfläche nicht so effizient wie die bewegten Trocknungssysteme und sind arbeitsintensiver, da das zu trocknende Material per Radlader oder einer anderen Vorrichtung gezielt ein- und ausgebracht werden muss. Ein erhöhter Anteil an Feinfraktion stört die warme Luft am Durchdringen der Materialschüttung und führt zu einem schlechteren Trocknungsergebnis.

Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung und die Treibhausgasbilanz wurde ein modulares Durchlauftrocknungssystem des Typs FlowDrya FD60GS von STRONGA berücksichtigt (siehe Abbildung 27).



Abbildung 26: Verfahrenseinteilung unterschiedlicher Trocknungssysteme, Quelle: (Jan Focke, 2014).



Abbildung 27: Modulares Durchlauf-trocknungssystem des Typs FlowDrya FD60GS von STRONGA (Stronga, 2022)

3.5.5 Vergleich der Anlagentechnologien

In dieser Studie werden Karbonisierungsanlagen von drei Herstellern vorgestellt, welche in den folgenden Unterkapiteln beschrieben sind. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsrechnung wurden jeweils alle drei Anlagenkonzepte verglichen.

3.5.5.1 Carbo-FORCE GmbH

Die Carbo-FORCE GmbH wurde von den aktuellen Geschäftsführern Malte Graf und Kai Alberding gegründet. Das Unternehmen vertreibt Karbonisierungsanlagen, welche auf dem Carbo-CAB-TEC

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Verfahren basieren. Dieses Verfahren vereint die Vorteile von verschiedenen Karbonisierungstechniken wie Pyrolyse und Thermolyse und benötigt im laufenden Betrieb keine externe Energie. Carbo-FORCE Anlagen können aufgrund ihres individuell einstellbaren Temperaturbereichs verschiedene Inputströme wie Altholz, Gärreste oder Klärschlamm in Pflanzenkohle umwandeln.

In Borgstedt steht eine Carbo-FORCE Anlage auf dem Hof der Abfallwirtschaft Rendsburg-Eckernförde zur Herstellung von Pflanzenkohle aus Siebüberläufen. Die Karbonisate werden anschließend wieder direkt vor Ort, beispielsweise zur Filterung von Gerüchen, eingesetzt.

Adresse:

Carbo-FORCE GmbH

Industriestraße 5

D-24221 Preetz

Tel: +49 4342 789325

Mail: info@carbo-force.de

Web: www.carbo-force.de



Abbildung 28: Pyrolyseanlage auf dem Hof der Abfallwirtschaft Rendsburg-Eckernförde (Abfall-Wertstoff-Ressource, AWR) in Borgstedt (Carbo-FORCE GmbH, o. D.)

Weitere Informationen über Carbo-FORCE sind der Anlage B-2.1 zu entnehmen.

3.5.5.2 CTS GmbH

Die CTS GmbH ist eine Tochterfirma der Elektrotechnik Schuster GmbH und wurde 2016 gegründet. In den Jahren von 2000 bis 2016 wurden 10 Prototypen aufgebaut und in Betrieb genommen. 2017 wurde eine Anlage in Rieden / Oberpfalz errichtet. Dort wird hochwertige Pflanzenkohle für

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Futtermittelzwecke produziert. Geschäftsführer ist Reimund Schuster. Die Firma beschäftigt aktuell 10 Mitarbeiter.

Adresse:

CTS GmbH

Fleinheimerstraße 1

D-89561 Dischingen

Tel: +49 7327 921397

Mail: info@ct-schuster.de

Web: www.ct-schuster.de



Abbildung 29: Anlage zur Herstellung von Futtermittelkohle in Rieden (cts Carbon Technik Schuster GmbH, o. D.)

Die CTS GmbH bietet ihre Karbonisierungsanlage mit einem zusätzlichen Verstromungsaggregat in Zusammenarbeit mit der Firma Prof. Dr. Berg & Kießling GmbH (B+K) an. Dieses Unternehmen hat das KWK-Energiesystem ClinX entwickelt und bietet es seit 2012 auf dem Markt an. Das ClinX-Modul wandelt einen Teil der Abwärme der Karbonisierungsanlage durch eine Mikrogasturbine in Strom um. Die Mikrogasturbine verfügt über Luftlager, sodass keine Schmier- oder Kühlmittel notwendig sind. Über einen Wärmetauscher wird die Wärme aus dem Rauchgas auf verdichtete Umgebungsluft übertragen und anschließend zum Turbinenrad geleitet. Über die Entspannung der heißen, verdichteten Luft wird das Turbinenrad angetrieben, welches wiederum mit dem Generator gekoppelt ist. Die Anlage ist in zwei Leistungsgrößen als ClinX50 und ClinX150 erhältlich.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Die Anlage B-2.2 enthält zusätzliche Informationen über das Verstromungsmodul von B+K. Weitere Daten zu den Karbonisierungsanlagen der CTS GmbH sind den Anlagen B-2.3 und B-2.4 zu entnehmen.

3.5.5.3 PYREG GmbH

Die PYREG GmbH ist ein auf Pyrolyseanlagen spezialisierter Anlagenbauer für die unterschiedlichsten Anwendungen der Pyrolysetechnologie. Bisher wurden ca. 35 Anlagen weltweit aufgebaut und in Betrieb genommen. Typische Einsatzzwecke sind die Verarbeitung von natürlicher Biomasse zu hochwertiger Pflanzenkohle sowie die thermische Behandlung von Klärschlamm. Geschäftsführer der PYREG GmbH sind Herr Helmut Gerber und Jörg zu Dohna.

Adresse:

PYREG GmbH

Trinkbornstraße 15 - 17

D-56281 Dörth

Tel: +49 6747 953 88 0

Mail: info@pyreg.de

Web: www.pyreg.de



Abbildung 30: PYREG-Anlage zur Grünschnittpyrolyse in Basel (PYREG, 2022)

Die Pyreg GmbH bietet Ihre Pyrolyseanlagen seit kurzem mit einer zusätzlichen Verstromung in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Dürr an. Diese Firma stellt Organic Rankine Cycle (ORC)-Systeme her, welche Wärme in Elektrizität umwandeln. Der ORC Kreislauf ist ein thermodynamischer Prozess, der dem bekannten Wasser-Dampf-Kreislauf ähnelt, welcher in konventionellen Kraftwerken zur Stromerzeugung genutzt wird. Der Hauptunterschied besteht darin, dass beim ORC-Kreislauf eine

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

organische Flüssigkeit mit einem niedrigen Siedepunkt verwendet wird. Die speziell von Dürr angebotenen Cyplan ® ORC-Systeme zeichnen sich vor allem durch Effizienz und Flexibilität aus.

In Anlage B-2.5 sind weitere Informationen zur Firma Dürr. Näheres zur Karbonisierungstechnologie der Pyreg GmbH ist in Anlage B-2.6 zu finden.

3.5.6 Standort der Anlage

Bei der Auswahl eines geeigneten Standorts für die Aufstellung der Karbonisierungsanlage, der Anlagen zur mechanischen Aufbereitung und der Peripherie müssen bestimmte Kriterien beachtet werden. Diese sind im Folgenden aufgelistet:

- Einhaltung von genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen (Bebauungsplan)
- ausreichende Fläche
- ganzjährige Wärmesenke
- kurze Entfernung zur Brennstoffaufbereitung
- Infrastruktur (Strom, Wasser, Abwasser, Gas, etc.)

Derzeit stehen drei Gelände in der Stadt Offenburg zur Auswahl. Diese drei Möglichkeiten werden in Tabelle 11 mit ihren Vor- und Nachteilen näher beleuchtet.

Tabelle 11: Betrachtung von drei Standortscenarien mit ihren Vor- und Nachteilen

Kriterien	Grünablageplatz der TBO	Aktuelles E-Center Gelände	Erweiterung des Gewerbeparks bei Schutterwald
	 <p>Abbildung 31: Standort des Grünablageplatzes der TBO (Quelle: open street map)</p>	 <p>Abbildung 32: Standort des aktuellen E-Center Geländes (Quelle: open street map)</p>	 <p>Abbildung 33: Erweiterung des Gewerbepark bei Schutterwald (Quelle: open street map)</p>
Einhaltung genehmigungsrechtlicher Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit hoch, bei Erweiterung in die Waldfläche zu prüfen, da sich dort ein FFH-Gebiet befindet	Wahrscheinlichkeit gering, da es sich um eine Sonderbaufläche handelt und Wohngebiete in unmittelbarer Nähe sind	Wahrscheinlichkeit hoch, da es ein ausgewiesenes Gewerbegebiet ist

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

ausreichende Fläche	Die Fläche des derzeitigen Grünablageplatzes müsste erweitert werden	Ausreichend Fläche vorhanden. Gelände mit ca. 27.000 m ²	Es wird angenommen, dass ausreichend Fläche vorhanden ist
ganzjährige Wärmesenke	Das nächste bestehende Wärmenetz ist > 700 m entfernt. Möglichkeit der Einbindung in zukünftige Wärmenetzplanung	Übergabestation ins Wärmenetz in direkter Nähe vorhanden	Anbindung an ein Wärmenetz zu prüfen ggf. Abgabe der Wärme an naheliegende Unternehmen
kurze Entfernung zur Brennstoffaufbereitung	Mechanische Aufbereitung direkt neben Karbonisierungsanlage	Mechanische Aufbereitung direkt neben Karbonisierungsanlage	Mechanische Aufbereitung direkt neben Karbonisierungsanlage
Infrastruktur	Derzeit keine Infrastruktur vorhanden	Infrastruktur vorhanden	Infrastruktur vorhanden

In Hinblick auf die Genehmigung ist ein Standort im Gewerbepark zu bevorzugen. Hier müssten die Anfahrtswege der jeweiligen Stoffströme geprüft werden, ebenso wie eine geeignete Wärmesenke gefunden werden.

3.5.6.1 Genehmigungsrechtliche Einordnung von Anlagen

Bei Pyrolyseanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von über 1 MW handelt es sich um genehmigungsbedürftige Anlagen nach 4. BImSchV. Die Einstufung hängt vom eingesetzten Material ab. Die vorliegenden Stoffströmen sind nicht gefährliche Abfallstoffe. Bei einer maximalen Durchsatzmenge von rund 5.500 t pro Jahr und geplanten 7.500 Betriebsstunden pro Jahr liegt die angesetzte, stündliche Verwertungsmenge unter 3 Tonnen.

Nicht gefährliche Abfälle, ausgenommen die Verbrennung von Altholz der Kategorien I und II, sind damit nach Anhang I der 4. BImSchV (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen) genehmigungspflichtig nach Nr. 8.1.1.4. Altholz der Kategorie I und II ist nach Nr. 8.1.1.5, Anhang I der 4. Verordnung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2013) zu genehmigen. Für beide Fälle gilt das vereinfachte Genehmigungsverfahren.

Die Genehmigung der Anlagen zur mechanischen Aufbereitung der Stoffströme ist abhängig von der Einstufung nach gefährlichem und nicht gefährlichem Abfall. Für nicht gefährliche Abfälle, welche soweit bekannt bei den untersuchten Stoffströmen vorliegen, wird folgende Unterscheidung getroffen:

- Beträgt die täglich aufbereitete Menge an Inputmaterial über oder genau 50 Tonnen, sind die Aufbereitungsanlagen nach Nr. 8.11.2.3 des Anhang I der 4. BImSchV genehmigungspflichtig. Dies zieht ein öffentliches Verfahren nach §10 BImSchG nach sich.
- Beträgt die täglich aufbereitete Menge an Inputmaterial weniger als 50 Tonnen, ist die Aufbereitungsanlage genehmigungspflichtig nach Nr. 8.11.2.4 des Anhang I der 4. BImSchV. Dies erlaubt ein vereinfachtes Verfahren nach §19 BImSchG.

3.5.7 Treibhausgasbilanz

3.5.7.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Da neue Entsorgungsstrukturen zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen und dem Erreichen der Klimaneutralität in Offenburg beitragen sollen, wurde eine Treibhausgasberechnung im Rahmen einer Screening-Bilanz durchgeführt. Ziel der Untersuchung ist der Vergleich der Szenarien A, B und C hinsichtlich des Treibhausgaseinsparpotentials gegenüber dem IST-Szenario sowie die Identifikation entscheidender Einflussgrößen.

Als funktionelle Einheit wurde die Entsorgung der insgesamt innerhalb eines Jahres in Offenburg anfallenden biogenen Abfallströme aus Grünabfall, Schnittgut, Wurzelstöcken, Laub und Altholz der Kategorien A I bis A III ausgewählt. Diese Abfallströme wurden mit insgesamt 13.791 t (FM) bzw. 7.737 t Trockenmasse (TM) pro Jahr als Eingangsmenge für die Stoffstrommodelle verwendet. Die Zusammensetzung ist in Kapitel 3.5.2 dargestellt.

Als einzige Wirkungskategorie wurde der Treibhauseffekt mit dem Treibhauspotential über einen Zeitraum von 100 Jahren als Indikator betrachtet.

Da es sich um einen Szenarienvergleich handelt wurde die Systemgrenze so gewählt, dass lediglich Prozesse berücksichtigt werden, bei denen sich die Szenarien A, B und C vom IST-Szenario unterscheiden. Abbildung 34 veranschaulicht den gewählten Bilanzraum. Dieser beinhaltet nur die Entsorgung der betrachteten Abfallströme ab dem Anfall an den Sammelplätzen der Abfallwirtschaft Ortsaukreis bzw. der TBO und bezieht nicht die Anlieferung an die Sammelplätze mit ein. Bei den berücksichtigten Prozessen handelt es sich jeweils um den Transport der Materialien zur Behandlungsanlage, bekannte oder vorgesehene Aufbereitungsschritte sowie die tatsächliche Verwertung bzw. Behandlung. Hierbei wurden jeweils Treibhausgasemissionen aus Aufwendungen für den Materialtransport sowie dem Einsatz von Strom, Diesel und Wärme inklusive Vorketten-Emissionen und direkte Emissionen von Methan (CH_4) und Distickstoffmonoxid (N_2O) bei der Kompostierung bilanziert. Bei direkten CO_2 -Emissionen aus biogenen Abfallströmen handelt es sich nicht um fossiles CO_2 . Dennoch wurden diese in der Bilanz berücksichtigt und separat ausgewiesen, um die Wirkung der Pflanzenkohle als Kohlenstoffsенke zu veranschaulichen. Hierbei wurde angenommen, dass der gesamte Kohlenstoffgehalt biogenen Ursprungs ist. Das heißt, mögliche fossile Störstoffe wurden vernachlässigt.

Im Rahmen dieser Bilanzierung nicht berücksichtigt wurden Treibhausgasemissionen aus der Bereitstellung von nicht-energetischen Hilfs- und Betriebsstoffen der benötigten Anlagentechnik und Infrastruktur sowie der weiteren Behandlung von aussortierten Metallfraktionen und Reststoffen aus der thermischen Abfallbehandlung, wie z. B. Asche oder Rückstände der Rauchgasreinigung. Lediglich für die Produkte Kompost und Pflanzenkohle wurden Annahmen zu deren Verbleib innerhalb des Betrachtungszeitraums von 100 Jahren getroffen, da sie nach der Behandlung einen Anteil des Kohlenstoffgehalts der Ausgangsbiomassen beinhalten. Hierbei wird für den Kohlenstoffgehalt im Kompost von einem vollständigen Abbau und damit einer Umwandlung zu CO_2 innerhalb von 100 Jahren ausgegangen. Bei Pflanzenkohle wird bei einer angenommenen Abbaurate des enthaltenen Kohlenstoffs von 0,3 % pro Jahr (Kuzyakov, Bogomolova, & Glaser, 2014, zitiert nach Kammann & Schmidt, 2016)

von einer Umwandlung von 26 % des Kohlenstoffgehalts zu CO₂ innerhalb von 100 Jahren ausgegangen.

Treibhausgas-Gutschriften wurden nur für die Strom- und Wärmeproduktion berechnet und separat ausgewiesen. Auch bei Produkten wie Kompost und Pflanzenkohle ist z. B. durch Anwendungen als Dünger, Torfersatz oder Bodenverbesserer eine Gutschrift für die Substitution der dadurch ersetzten Produkte theoretisch möglich, diese ist aber stark von der jeweiligen Anwendung abhängig. Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieser vereinfachten Screening-Bilanz keine Gutschriften für nicht-energetische Produkte berücksichtigt.

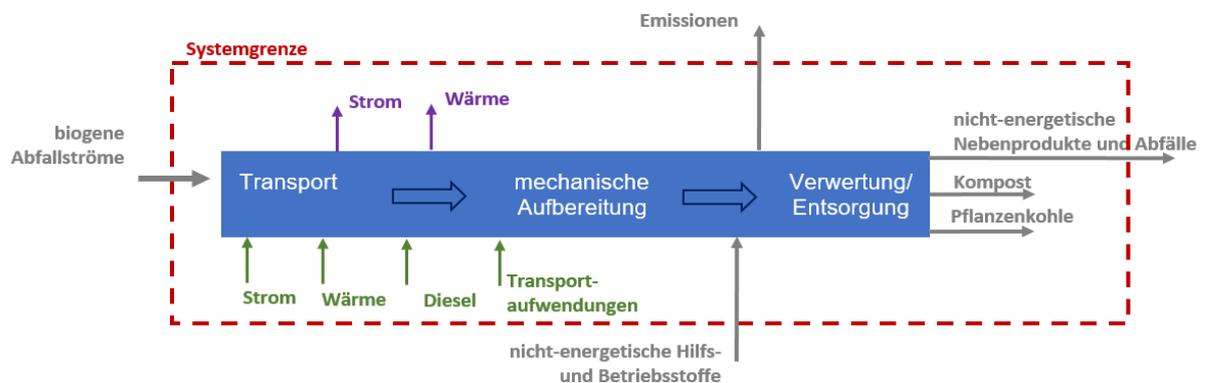


Abbildung 34: Untersuchungsrahmen der Treibhausgasbilanz

3.5.7.2 Datenquellen und Berechnungsmethode

Die Eingangsströme zur Aufbereitung und den unterschiedlichen Behandlungswegen stellen die Grundlage der Treibhausgasberechnung dar. Diese wurden den, mithilfe der Stoffstrommodelle, erstellten Massenbilanzen für die jeweiligen Szenarien entnommen.

Treibhausgasemissionen durch Transportaufwendungen und den Einsatz von Strom, Wärme und Diesel wurden mithilfe von Treibhausgasemissionsfaktoren berechnet. Diese wurden aus Datensätzen der Ecoinvent 3.8-Datenbank unter Anwendung der Charakterisierungsmethode EF 3.0 (Climate Change fossil) für Transport mittels LKW der Schadstoffklasse EURO 5, Dieselerbrennung und Wärme aus Erdgas entnommen. Der Emissionsfaktor des deutschen Strommix ist starken zeitlichen Schwankungen unterworfen. Daher wurde hierzu auf den vom Umweltbundesamt veröffentlichten, für 2021 prognostizierten Wert zurückgegriffen (Icha & Lauf, 2022), da dieser auf ein aktuelleres Jahr bezogen ist als der in der Ecoinvent 3.8-Datenbank verfügbare Datensatz. Durch den Ausbau erneuerbarer Energiequellen ist mittel- und langfristig von einer Abnahme des spezifischen Emissionsfaktors auszugehen. Für 2030 und 2050 wurden beispielsweise vom Internationalen Institut für Nachhaltigkeitsanalysen GmbH (IINAS) prognostizierte Emissionswerte auf Basis des Zielszenarios im National Energy and Climate Plan (NECP) der Bundesregierung veröffentlicht (Fritsche & Greß, 2022). Diese wurden ebenfalls verwendet, um den Einfluss der Entwicklung auf die Treibhausgasbilanz darzustellen. Die verfügbaren Emissionsfaktoren des Strommix sind endenergiebezogen und beinhalten somit auch zu einem geringen Anteil Netz- und Verteilverluste. Mangels genauer quantitativer Informationen wurde dieser Unterschied vernachlässigt und die gleichen Emissionsfaktoren für den Strombedarf und die Substitution bei der Stromproduktion verwendet.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Transportentfernung wurden basierend auf den Standorten von Sammelplätzen und Behandlungsanlagen abgeschätzt. Für die Verwertung in einer Müllverbrennungsanlage oder einem Biomasseheizkraftwerk wurden Transportdistanzen anhand vorhandener Beispielanlagen in der Region gewählt. Neben dem Materialtransport wurden für folgende Prozesse die jeweils beschriebenen Emissionen und Gutschriften berücksichtigt.

Mechanische Aufbereitung

Treibhausgasemissionen wurden für den Stromverbrauch berücksichtigt. Dieser wurde anhand der geplanten Aufbereitungsschritte auf Basis technischer Datenblätter der in Kapitel 3.5.4 beschriebenen Anlagen abgeschätzt. In Abhängigkeit von der technischen Ausführung ist gegebenenfalls für standortinterne Umlagerungen per Radlader oder eine Hallenentlüftung zusätzlicher Energiebedarf notwendig, der in dieser Bilanz vernachlässigt wurde.

Pyrolyse

Für die Verwertung durch Pyrolyse wurden Gutschriften für die maximal mögliche Strom- und Wärmeabgabe berechnet. Der Eigenverbrauch für die Materialtrocknung und den Anlagenbetrieb wurde hiervon abgezogen. Zur Berechnung der biogenen CO₂-Emissionen wurde die Differenz aus dem Kohlenstoffgehalt der Inputmaterialien und dem in Pflanzenkohle innerhalb von 100 Jahren gespeicherten Kohlenstoff verwendet. Als Datenbasis wurden beispielhaft Energie- und Massenbilanzen sowie Analysenergebnisse von CTS-Anlagen verwendet.

Kompostierung

Es wurden Treibhausgasemissionen für Strom und Diesel berücksichtigt, welche z. B. für die Belüftung, Umsetzung oder die Kompostaufbereitung benötigt werden. Zusätzlich wurden die CH₄- in und N₂O-Emissionen während der Rotte abgeschätzt. Hierzu wurde auf beispielhafte Eingangsdaten einer Ökobilanz zurückgegriffen (Bulach, et al., 2021). Für die biogenen CO₂-Emissionen wurde der gesamte Kohlenstoffgehalt aus den Inputströmen als Basis herangezogen.

Biomasseheizkraftwerk

Dieser Verwertungsweg fasst alle holzigen Materialien zusammen, die einer thermischen Verwertung zugeführt werden. Es wurden Gutschriften für die Strom- und Wärmeproduktion berechnet. Diese wurden mithilfe thermischer und elektrischer Nutzungsgrade abgeschätzt. Da es sich mangels genauerer Daten für die einzelnen Stoffströme lediglich um einen Modellprozess handelt, sind diese Parameter mit großer Unsicherheit behaftet. Deshalb wurde eine Basisvariante mit durchschnittlichen Nutzungsgraden von 26,3 %_{el} und 14,9 %_{th} berechnet, die aus einer deutschlandweiten Jahresenergiebilanz der thermischen Altholzverwertung in Biomassekraftwerken und Biomasseheizkraftwerken in einer Veröffentlichung des Umweltbundesamts stammen (Flamme, Hanewinkel, Quicker, & Weber, 2018). Es zeigt sich, dass insbesondere der thermische Nutzungsgrad der Jahresenergiebilanz in der Veröffentlichung viel geringer ist als technisch möglich. Grund ist der hohe Anteil an Kraftwerken ohne Abwärmenutzung. Deshalb wurde eine Variation dieser Parameter unter Annahme höherer Nutzungsgrade von 30 %_{el} und 50 %_{th} durch Kraft-Wärme-Kopplung durchgeführt.

Müllverbrennung

Hierbei handelt es sich ebenfalls um einen Beispielprozess, der zur Entsorgung von Sortierresten angenommen wurde. Analog zum Biomasseheizkraftwerk wurden für die Strom- und Wärmeproduktion

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Gutschriften berechnet. Hierzu wurden ebenfalls Nutzungsgrade auf Basis einer durchschnittlichen, deutschlandweiten Jahresenergiebilanz von Müllverbrennungsanlagen angenommen.

In beiden Beispielprozessen zur thermischen Verwertung wurde angenommen, dass der energetische Eigenbedarf vernachlässigbar bzw. in den Nutzungsgraden bereits berücksichtigt ist. Eine Übersicht der verwendeten Berechnungsfaktoren kann Anlage A-2 entnommen werden.

3.5.7.3 Berechnungsergebnisse

Basisvariante

Ein Vergleich der Einsparpotentiale gegenüber dem IST-Szenario in der rechten Grafik von Abbildung 35 ergibt eine Zunahme der tatsächlichen Emissionsminderung ohne Berücksichtigung von Gutschriften von Szenario A bis C. Diese korreliert mit dem Massenstrom, der nach der Aufbereitung karbonisiert wird, und damit dem langfristig in Form von Pflanzenkohle gebundenen Kohlenstoff. Unter Einbeziehung der Treibhausgasgutschriften aus der Strom- und Wärmeproduktion ist das Einsparpotential dennoch in Szenario B größer als in Szenario C. Grund hierfür sind die im Vergleich zum IST-Szenario jeweils ersetzten Verwertungswege. Laub wird im IST-Szenario kompostiert und Altholz thermisch verwertet. Die angenommene Stromabgabe sowie die damit verbundenen Treibhausgasgutschriften sind bei der thermischen Verwertung größer als bei der Karbonisierung. Deshalb führt die Karbonisierung von Altholz im Szenario C zu einer Verringerung der Treibhausgasgutschriften für das gesamte System. Da bei der Kompostierung weder Strom noch Wärme produziert werden, ergeben sich gemäß der Berechnung hierfür keine Treibhausgasgutschriften. Dies hat zur Folge, dass das Einsparpotential unter Berücksichtigung der Gutschriften in Szenario B durch die zusätzliche Karbonisierung von Laub am größten ist.

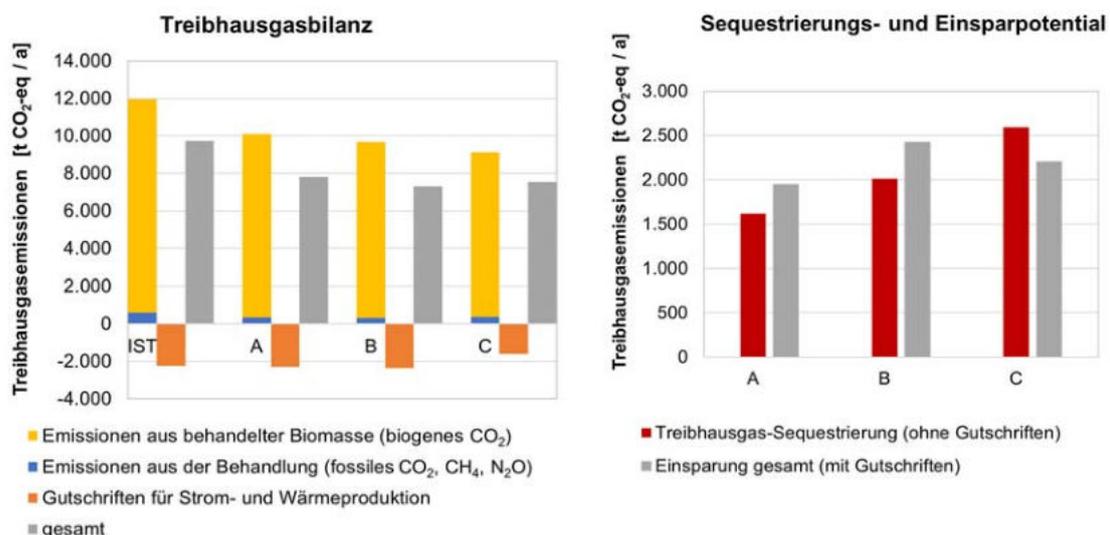


Abbildung 35: Treibhausgasbilanz und Einsparpotentiale im Szenarienvergleich (Basisvariante)

Aus der linken Grafik in Abbildung 35 geht hervor, dass die Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf bei Aufbereitung und Behandlung, dem Transport sowie der CH₄- und N₂O-Emissionen bei der Kompostierung, welche in blauer Farbe dargestellt sind, nur einen geringen Einfluss auf die

ermittelten Einsparpotentiale ausüben. Diese werden in erster Linie von der CO₂-Sequestrierung in Pflanzenkohle bestimmt, welche sich anhand der unterschiedlich großen Menge an CO₂-Emissionen aus den behandelten biogenen Materialien äußern, welche in gelber Farbe dargestellt sind. Die berücksichtigten Gutschriften aus der Strom- und Wärmeproduktion haben ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf das gesamte Einsparpotential. Diese sind aber gleichzeitig mit großen Unsicherheiten behaftet, da die Berechnung auf einer Vielzahl von Annahmen beruht.

Variation der Effizienz der thermischen Verwertung

Eine entscheidende Einflussgröße stellt die angenommene Effizienz der externen thermischen Verwertung dar. In der Basisvariante wurden maximal mögliche Nutzungsgrade bei der Pyrolyse mit Durchschnittswerten bei der externen thermischen Verwertung verwendet, um ein maximales Einsparpotential zu ermitteln. Da der verwendete Durchschnittswert des thermischen Nutzungsgrads in der Basisvariante deutlich unter dem technisch möglichen Nutzungsgrad eines Biomasseheizkraftwerks liegt, sind in Abbildung 36 die Ergebnisse der Treibhausgasbilanzierung unter Annahme höherer Nutzungsgrade von 30 %_{el} und 50 %_{th} durch Kraft-Wärme-Kopplung dargestellt. Das Einsparpotential unter Berücksichtigung der Gutschriften aus Strom- und Wärmeproduktion liegt zwar mit dieser Annahme in allen Szenarien niedriger, weil die im IST-Szenarios mit einem hohen Anteil extern thermisch verwerteter Materialien höhere Gutschriften anfallen. Im relativen Vergleich ist das Einsparpotential weiterhin in Szenario B am größten.

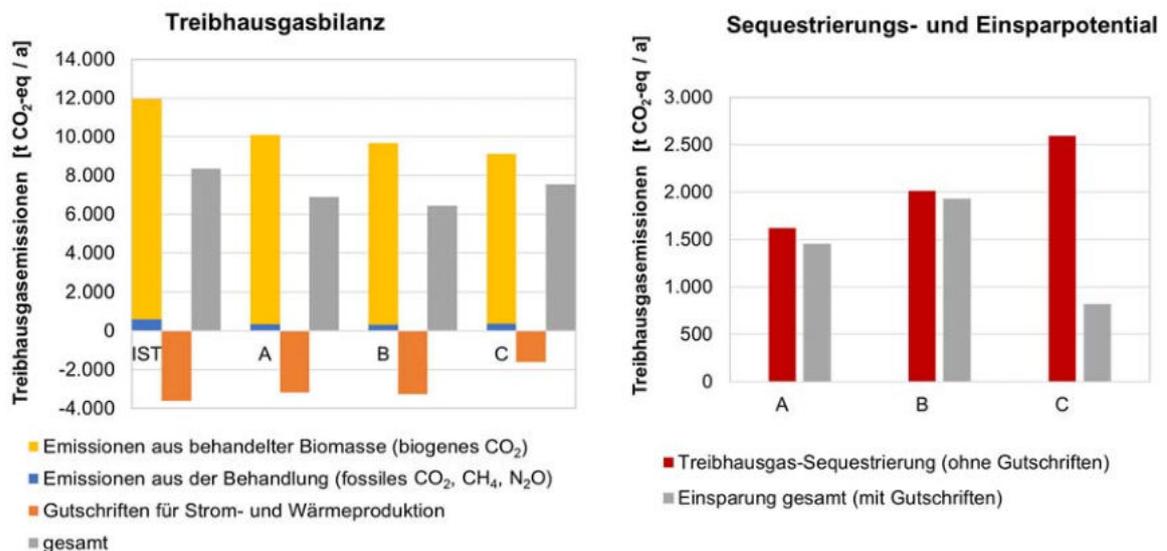


Abbildung 36: Einsparpotentiale im Szenarienvergleich unter Annahme eines höheren Nutzungsgrads bei der thermischen Verwertung

Variation des Emissionsfaktors des deutschen Strommix

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor mit großem Einfluss auf das Ergebnis ist der Emissionsfaktor des deutschen Strommix, da dieser sich kontinuierlich mit der Zusammensetzung der Energiequellen verändert und nur für einen kurzen Zeitraum gültig ist. Prognostizierte Emissionsfaktoren für 2030 und 2050 wurden in Abbildung 37 für die Treibhausgasbilanz verwendet, um einen Ausblick über die mögliche Entwicklung der Einsparpotentiale zu geben. Dies verdeutlicht, dass bei einer Stromversorgung aus zunehmend erneuerbaren Quellen der Einfluss der tatsächlichen CO₂-Entzugsleistung auf die

Treibhausgasbilanz zunimmt und langfristig das Szenario mit der größten Kohlenstoffsequestrierung in Pflanzkohle die größten Einsparpotentiale ermöglichen kann.

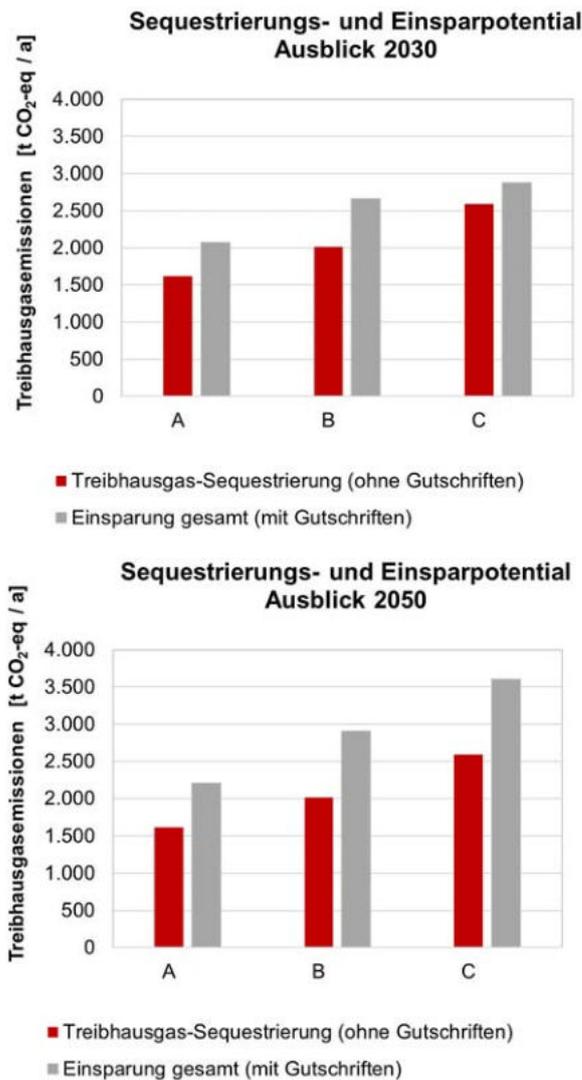


Abbildung 37: Einsparpotentiale im Szenarienvergleich Ausblick 2030 und 2050 (bezogen auf die Basisvariante)

3.5.7.4 Schlussfolgerung

Basierend auf den Ergebnissen der Treibhausgasbilanzierung des untersuchten Systems lassen sich unter aktuellen Bedingungen im Szenario B die größten Einsparpotentiale identifizieren. Gelingt in Zukunft eine Dekarbonisierung der Strom- und Wärmeerzeugung sinken die damit verbundenen Treibhausgasgutschriften. Dies führt dazu, dass sich im Szenario C aufgrund der im Vergleich höchsten in Form von Pflanzkohle sequestrierten CO₂-Menge langfristig die größten Einsparpotentiale ergeben.

3.5.8 Wirtschaftlichkeitsvergleich

3.5.8.1 Allgemeine Eingangsparameter

Die in Kapitel 3.5.3 aufgestellten Varianten werden im folgenden Abschnitt auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Jede der Varianten wird mit drei unterschiedlichen Modellen von Karbonisierungsanlagen kalkuliert. Die Auswahl der Anlagen erfolgte aufgrund ihrer Durchsatzmenge und der Eignung für die Stoffströme. Nähere Informationen über die Anlagenhersteller sind in Kapitel 3.5.5 enthalten.

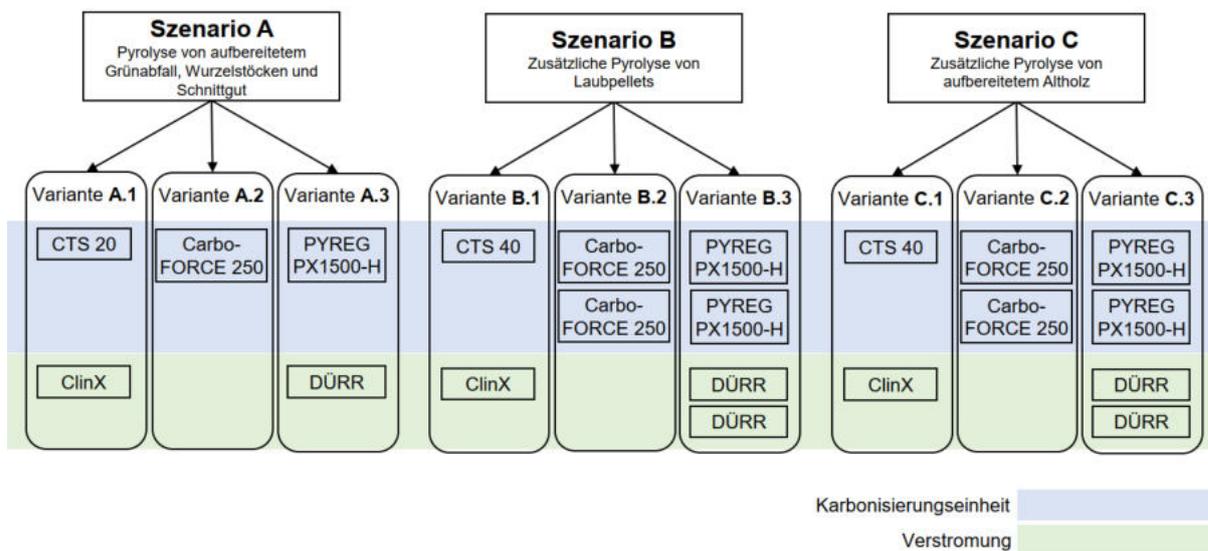


Abbildung 38: Betrachtung der Szenarien A,B und C mit jeweils drei unterschiedlichen Karbonisierungstechnologien

Die Karbonisierungsanlagen der CTS GmbH und PYREG GmbH werden mit einer zusätzlichen, auf die Karbonisierungsanlage abgestimmten Verstromungsanlage angeboten. Daher wurde für diese Anlagen die Möglichkeit der Stromproduktion aus einem Teil der Abwärme einbezogen. Die Kosten für die Karbonisierungsanlagen wurden vom Hersteller über Angebote abgefragt. Ebenso wurden vom Hersteller technische Daten zur Verfügung gestellt. Da diese materialabhängig sind, sollten Versuche mit dem Offenburger Material durchgeführt werden, um die Herstellerangaben mit dem spezifischen Material zu überprüfen.

Tabelle 12: Investitionskosten für die Karbonisierungstechnologie

Anlagentyp	Kosten der Karbonisierungsanlage	Max. Inputmenge	Konversionsrate Pflanzenkohle zu Durchsatz
CTS 20 + ClinX	2.139.505 €	2.500 t TM/a	26 %
CTS 40 + ClinX	3.500.000 €	5.500 t TM/a	26 %
Carbo-FORCE 250	934.000 €	2.750 t TM/a	26 %
Pyreg PX1500-H + DÜRR	2.750.000 €	2.325 t TM/a	24 %

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Für jedes der Szenarien wurden entsprechend der Ausgangsstoffe geeignete Anlagen zur mechanischen Aufbereitung und zur Vortrocknung mit ihren Investitionskosten und den bekannten Betriebskosten miteinbezogen. Die Kosten der Anlagen und weitere technische Daten wurden über Angebote von Herstellern angefragt. Diese technischen Angaben sind jedoch abhängig vom Inputmaterial und es wird daher empfohlen, Technikumsversuche mit dem Inputströmen aus Offenburg durchzuführen. Die ausgewählten Anlagen für die mechanische Aufbereitung sind beispielhafte Vorschläge.

Tabelle 13: Investitionskosten in den Szenarien A, B und C für die technischen Anlagen

Technische Anlage	Technologie	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Trocknung	Stronga	290.500 €	290.500 €	290.500 €
Siebung	Komptech S3	216.030 €	216.030 €	216.030 €
Störstoffentfrachtung	Komptech Stonefex	139.000 €	139.000 €	139.000 €
Vorzerkleinerung	Komptech Crambo 3400	399.210 €	399.210 €	399.210 €
Windsichter	Komptech Hurrikan S	-	153.000 €	-
Pelletierung	Tritec	-	113.150 €	-
Nachzerkleinerung	Maier Dieffenbach Cutting Rotor SRV 600	117.000 €	117.000 €	117.000 €
Gesamt		1.161.740 €	1.427.890 €	1.161.740 €

Zudem wurden Kosten für den Bau einer Halle, den zugehörigen Tiefbau und notwendige technische Ausrüstung berücksichtigt. Baunebenkosten wie Planungskosten, Kosten für Gutachten oder Statik und ein Kostenpunkt für Eventualitäten wurden jeweils prozentual auf die Gesamtkosten der Anlagentechnik aufgeschlagen.

Die Annahmen zur Finanzierung der Gesamtanlage wurden in allen Szenarien gleich getroffen. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung geht von einem Fremdfinanzierungsanteil von 60 % aus, welcher über 10 Jahre zurückgezahlt wird. Über den Abschreibungszeitraum wird eine Inflationsrate von 3 % angenommen. Der Subventionsanteil wurde mit 0 % angenommen. Alle weiteren Annahmen zur Finanzierung sind Anlage A-3 zu entnehmen.

Die durch den Betrieb der Gesamtanlage entstehenden Kosten teilen sich in fixe und variable Betriebskosten auf. Fixkosten entstehen zum einen durch die Instandhaltung der Anlagen bzw. Versicherung und werden, wenn keine Herstellerangaben vorliegen, prozentual mit 2 % der Anlagenkosten berechnet. Zum anderen fließen Lohnkosten für Betriebspersonal mit 48,60 Euro pro Arbeitsstunde ein. Der Personalaufwand setzt sich aus den Herstellerangaben der Karbonisierungsanlagen und einer Annahme über den zusätzlichen Personalaufwand für die mechanische Aufbereitung zusammen.

Die variablen Betriebskosten entstehen durch kontinuierliche Ausgaben für Wasser, Strom, Gas, Druckluft und Internet. Hierfür wurden die Herstellerangaben der einzelnen Anlagen herangezogen oder geeignete Annahmen getroffen. Die spezifischen Kosten sind in Tabelle 14 dargestellt und wurden für alle Szenarien verwendet.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Tabelle 14: Annahmen der spezifischen Kosten zur Berechnung der Betriebskosten

	Einheit	Spezifische Kosten
Wasser	€/m ³	2,70
Strom	€/kWh	0,45
Gas	€/kWh	0,08
Druckluft	€/m ³	0,27
Internet	€/a	50,00

In den Szenarien entstehen Einnahmen durch den Verkauf von Pflanzenkohle, Wärme, Strom und CO₂-Zertifikaten. Es wird angenommen, dass die Überschusswärme abzüglich der Wärme für die Trocknung und Stromproduktion in ein Nahwärmenetz eingespeist wird. In den Szenarien, in denen Strom produziert wird, wird angenommen, dass der gesamte Strom durch eigene Anlagen verbraucht wird bzw. gegen entsprechende Vergütung an Dritte verkauft wird.

Tabelle 15: Annahmen zur Berechnung der Einnahmen

Einnahmenquellen	Einheit	Variante A und B	Variante C
Pflanzenkohle	€/t TM	500,00	400,00
Überschuss-Wärme	€/kWh	0,08	0,08
Überschuss-Strom	€/kWh	0,45	0,45
CO ₂ -Zertifikate	€/CORC	75,00	75,00

Außerdem wurde angenommen, dass zusätzliche Einkünfte durch die Annahme der Inputmaterialien entstehen. Aktuell entstehen laut Angaben der TBO Kosten durch die Entsorgung des Grünabfalles, der Wurzelstöcke und des Laubs. Für die geringe Menge an Schnittgut werden Erlöse erzielt. Auch für die Abfallwirtschaft Ortenaukreis entstehen Kosten bei der Entsorgung des Grünabfalls und der Wurzelstöcke. Für die Annahme von Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut wurde pauschal ein Erlös von 20 €/ (FM) t angenommen und für die Annahme von Laub ein Erlös von 5 €/ (FM) t. Welche Kosten bei der Entsorgung von Altholz entstehen ist nicht bekannt, daher wurde hier in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kein Wert angesetzt. Ebenso ist die aktuelle Entsorgung der Wurzelstöcke und der damit verbundene finanzielle Aufwand nicht bekannt. Dieser wurde daher ebenfalls nicht in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigt.

Die entstehenden Kosten und Einnahmen der Gesamtanlage wurden über 20 Jahre hinweg in einer Gewinn- und Verlustrechnung sowie einer Cash-Flow-Rechnung betrachtet.

3.5.8.2 Ergebnisse von Szenario A (Pyrolyse von aufbereitetem Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut)

In Szenario A wird die Wirtschaftlichkeit der Pyrolyse von aufbereitetem Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut betrachtet. Der Inputstrom beträgt in der Betrachtung rund 9.600 t (FM) pro Jahr. Durch

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

die mechanische Aufbereitung verringert sich der Massenstrom auf 4.602 t (FM) pro Jahr mit einem TS-Gehalt von 60 %. Vor der Pyrolyse wird das Material durch die Abwärme der Karbonisierungsanlage auf einen TS-Gehalt von 80 % getrocknet. Es wurden drei Varianten zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit von unterschiedlichen Karbonisierungsanlagen berechnet.

In Variante A.3 wurde der Inputstrom auf 4.550 t pro Jahr (TS-Gehalt 60 %) verringert, da bei diesem Durchsatz eine Pyreg PX1500-H zu 100 % ausgelastet wäre. Ein höherer Durchsatz würde eine zweite Anlage erfordern und auf Grund der geringen Auslastung in der Berechnung zu einer Überschätzung der Kosten führen.

Tabelle 16: Details zur Kosten, Auslastung, Durchsatz und PK-Ertrag der in Varianten A.1, A.2 und A.3 gewählten Karbonisierungsanlagen

	Einheit	Variante A.1	Variante A.2	Variante A.3
Anlagentyp	-	CTS 20 + 1x ClinX	Carbo-FORCE- 250	Pyreg PX1500- H + 1x DÜRR
Anzahl der Karbonisierungsanlagen	-	1	1	1
Kosten gesamt Karbonisierung	€	2.139.505	934.000	2.750.000
Auslastung		98 %	98 %	100 %
Durchsatz (TM)	t TM/a	2.739	2.739	2.708
Pflanzenkohleertrag (TM)	t/a	712	712	650

Die Investitionsausgaben setzen sich aus den Kosten für die Karbonisierungsanlage, die technischen Anlagen (mechanische Aufbereitung und Trocknung), den Kosten für eine Betriebshalle sowie den Nebenkosten (Kosten für Planung, Gutachten, etc.) zusammen. Zusätzlich ist ein Posten für Eventualitäten für unvorhergesehene Kosten berücksichtigt. Die Höhe der Investitionsausgaben in den drei Varianten ist in Abbildung 39 dargestellt.

Die Investitionskosten der CTS und der Pyreg Anlage sind deutlich höher als die der Carbo-FORCE Anlage. Das liegt daran, dass bei der CTS und der Pyreg Anlage eine zusätzliche Verstromungsanlage im Preis inbegriffen ist, bei der Carbo-Force Anlage dagegen nicht. Die Kostenpunkte Eventualitäten und Nebenkosten unterscheiden sich geringfügig in den Varianten, da diese prozentual vom Gesamtinvest berechnet werden.

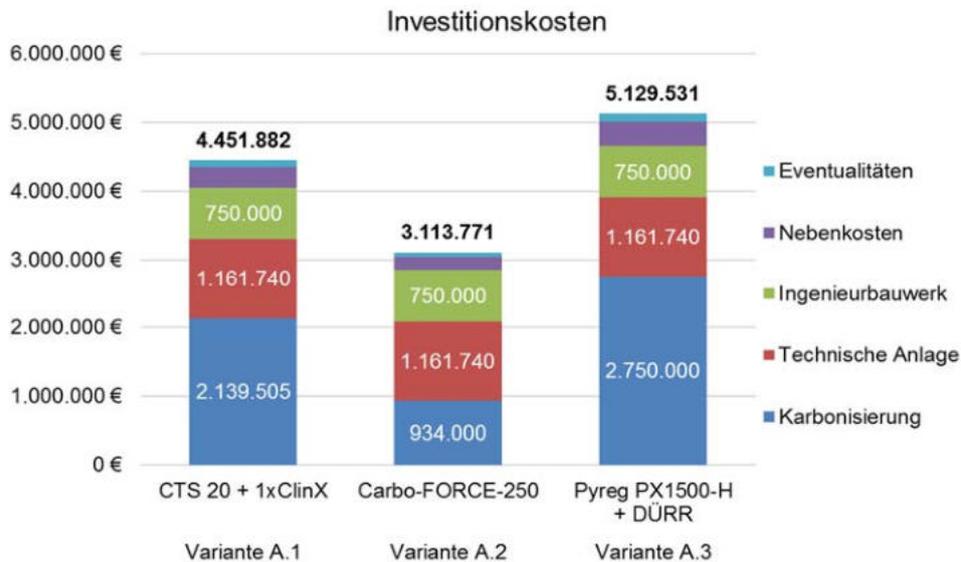


Abbildung 39: Vergleich der Investitionskosten von Variante A.1, A.2 und A.3

Wie in Abbildung 40 zu sehen, sind die Betriebskosten der Variante A.2 deutlich niedriger als die der anderen Varianten. Das liegt hauptsächlich am niedrigen Stromverbrauch der Carbo-FORCE Anlage. Die Stromverbräuche der CTS und Pyreg Anlagen wurden in die Betriebskosten eingerechnet. Diese können jedoch durch die Stromproduktion komplett gedeckt werden (siehe Abbildung 41) und werden in den Einnahmen (siehe Abbildung 42) durch vermiedene Kosten für Strom-Eigenverbrauch gegengerechnet.

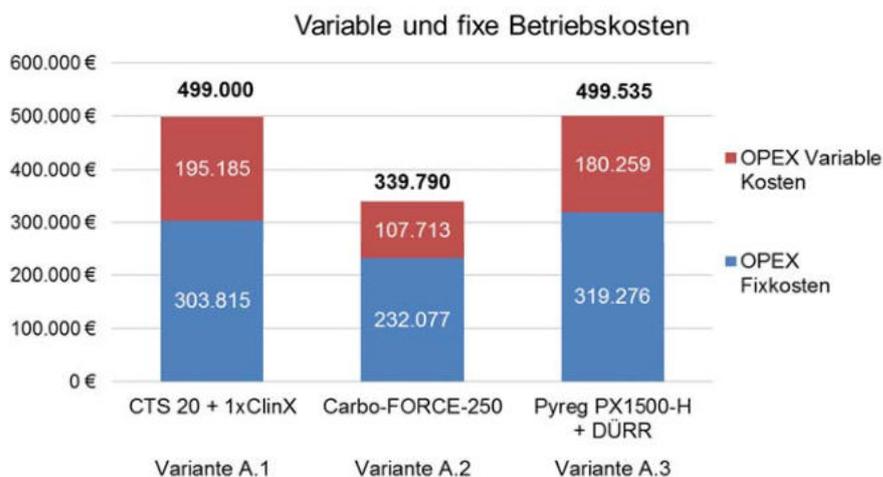


Abbildung 40: Vergleich der Betriebskosten von Variante A.1, A.2 und A.3

In Abbildung 41 werden die abgeschätzten jährlichen Stromverbräuche der Karbonisierungsanlagen und Anlagen zur mechanischen Aufbereitung und die Stromproduktion aus den Verstromungsmodulen für jede Variante dargestellt.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

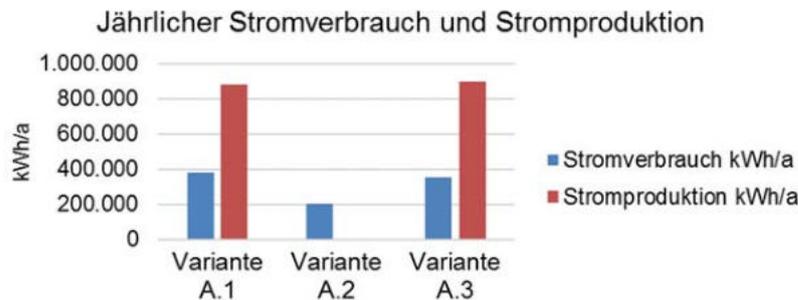


Abbildung 41: Abschätzung des jährlichen Stromverbrauchs und der Stromproduktion von Variante A.1, A.2 und A.3

Die Betrachtung der Einnahmen in Abbildung 42 zeigt, dass mit Variante A.1 die höchsten Einnahmen erzielt werden können. Ein großer Teil der Einnahmen wird durch den Verkauf von Pflanzenkohle erzielt. Der Verkaufspreis hängt stark von der Pflanzenkohlequalität ab. Eine Test-Pyrolyse der in Offenburg verfügbaren Stoffströme ist empfehlenswert, um eine genauere Aussage über mögliche Verkaufspreise treffen zu können. Die Einnahmen aus Strom teilen sich auf in vermiedene Kosten durch die Stromproduktion und die damit verbundene Reduktion des Bedarfs an zugekauften Strom für die Pyrolyseanlage und die weiteren technischen Anlagen und in Überschussstrom, der in weiteren Stromsenken verbraucht werden kann. In Variante A.2 sind die Einnahmen geringer, da kein Strom produziert wird. Zudem werden Einnahmen aus dem Verkauf von CO₂-Zertifikaten erwirtschaftet, welche bspw. in Variante A.1 rund 8 % der Gesamt-Einnahmen ausmachen. Weitere Informationen zum CO₂-Zertifikatenhandel und dessen Funktionsweise sind in Kapitel 3.6.4 zu finden.

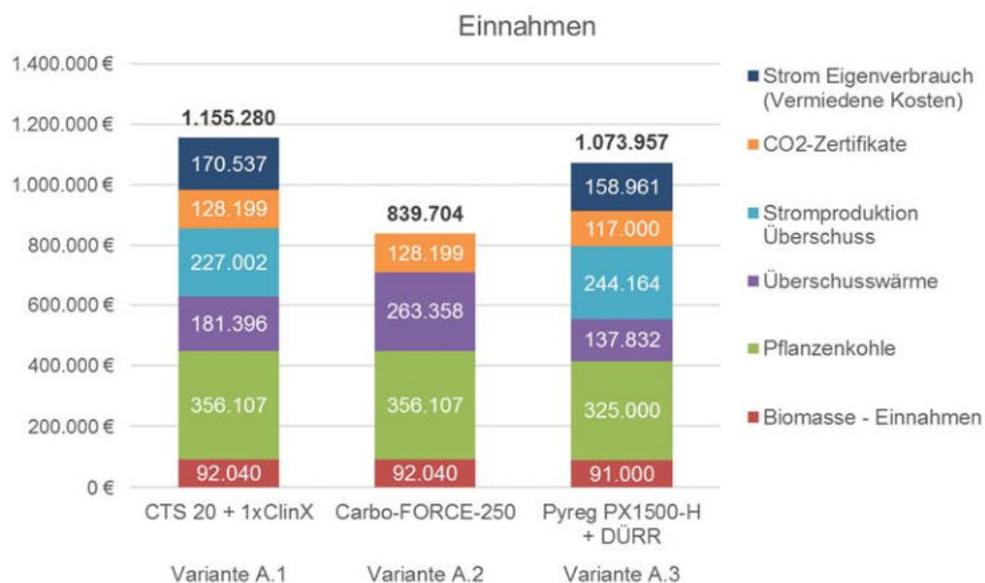


Abbildung 42: Vergleich der Einnahmen von Variante A.1, A.2 und A.3

Wie in Abbildung 43 dargestellt, liegen die Amortisationszeiten der Varianten A.1 – A.3 zwischen 5,7 und 9,9 Jahren. Die beste Payback Period stellt sich bei der Carbo-FORCE Anlage mit 5,7 Jahren ein. Dies ist auf die geringen Investitionskosten zurückzuführen. Die Payback Period in Variante A.1 ist im Vergleich zu A.2 um 0,7 Jahre höher, bietet allerdings den Vorteil, dass der gesamte Strom der auf

der Anlage verbraucht wird, selbst produziert werden kann, was eine Unabhängigkeit von schwankenden Strompreisen zur Folge hat.

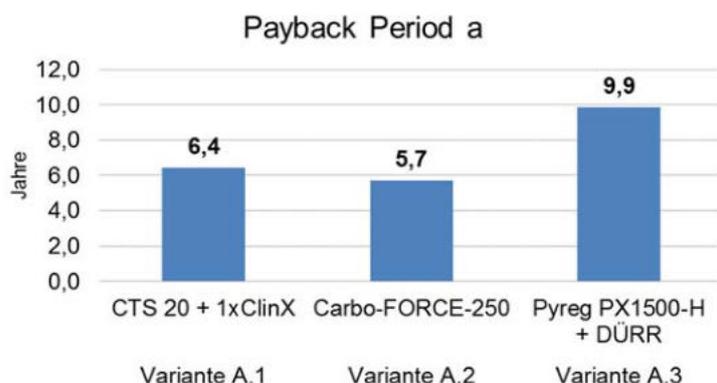


Abbildung 43: Vergleich der Amortisationszeit von Variante A.1, A.2 und A.3

3.5.8.3 Ergebnisse von Szenario B (Szenario A + Zusätzliche Pyrolyse von Laubpellets)

Szenario B unterscheidet sich von Szenario A durch die zusätzliche Pyrolyse von pelletiertem Laub. Hier wird neben der Aufbereitung von Grünabfall, Wurzelstöcken und Schnittgut die Aufbereitung von Laub, welche eine Pelletierung einschließt, betrachtet. Der Gesamt-Inputstrom addiert sich auf rund 11.300 t (FM) pro Jahr. Das Laub durchläuft einen separaten Aufbereitungsprozess und wird zu Beginn getrocknet. In die Pyrolyse geht ein Gesamt-Massenstrom von 4.246 t pro Jahr mit einem TS-Gehalt von 80 %. Es wurden drei Varianten zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit von unterschiedlichen Karbonisierungsanlagen berechnet. Diese sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Details zur Kosten, Auslastung, Durchsatz und PK-Ertrag der in Varianten B.1, B.2 und B.3 gewählten Karbonisierungsanlagen

	Einheit	Variante B.1	Variante B.2	Variante B.3
Anlagentyp	-	CTS 40 + 1x ClinX	Carbo-FORCE- 250	Pyreg PX1500- H + 1x DÜRR
Anzahl der Karbonisierungsanlagen	-	1	2	2
Kosten gesamt Karbonisierung	€	3.580.000	1.868.000	5.500.000
Auslastung		50 %	63 %	65 %
Durchsatz (TM)	t TM/a	3.431	3.431	3.431
Pflanzenkohleertrag (TM)	t/a	892	892	823

Wie in Szenario A sind auch in Szenario B die Investitionskosten in Variante B.2 mit der Carbo-FORCE Anlage am geringsten (Abbildung 44). Durch den höheren Inputstrom sind zwei Carbo-FORCE und zwei Pyreg-Anlagen notwendig. In Variante B.1 wurde eine CTS-Anlage mit 4 Meilern (CTS40) gewählt. Alle Anlagen sind jedoch nur zwischen 50 % und 63 % ausgelastet. Generell gilt, dass Anlagen bei hoher Auslastung am rentabelsten sind. Die Kosten für zusätzliche technische Anlagen liegen um rund 1,43 Mio. Euro höher als in Szenario A, da weitere Anlagen für die Behandlung des Laubs

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

notwendig sind wie beispielsweise ein Pelletiergerät. Da der Aufbereitungsprozess des Laubs für die Pyrolyse auf Annahmen basiert, sind hier Vorversuche empfehlenswert. Ebenso ist zu empfehlen, die Karbonisierung von Laubpellets zu überprüfen, um die Annahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu verifizieren.

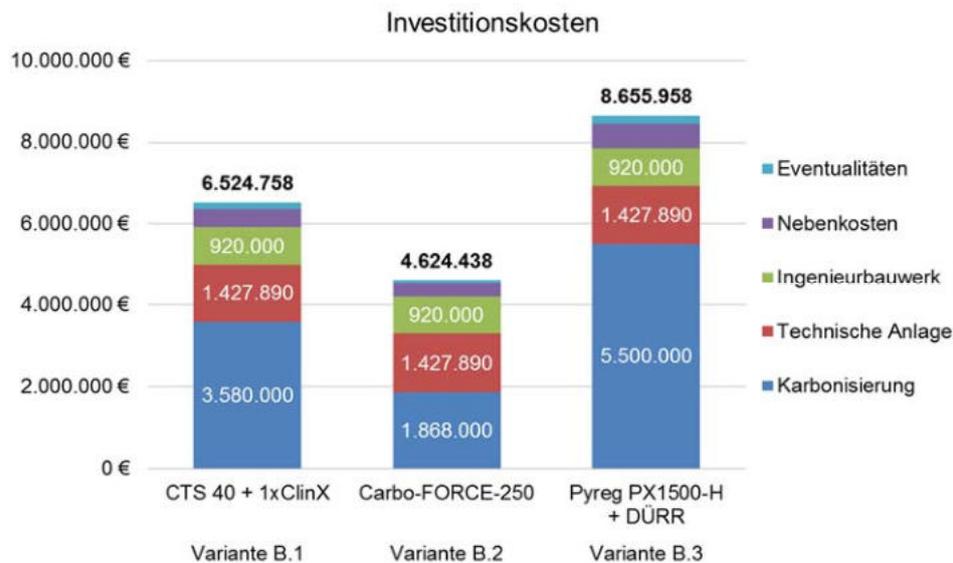


Abbildung 44: Vergleich der Investitionskosten von Variante B.1, B.2 und B.3

Durch den höheren Inputstrom und zusätzliche Aufbereitungs-Aggregate sind die Betriebskosten in Szenario B im Vergleich zu Szenario A höher (Tabelle 13/Abbildung 45). Durch den geringen Stromverbrauch der Carbo-FORCE Anlage sind die Betriebskosten in Variante B.2 im Vergleich zu B.1 und B.3 am geringsten.

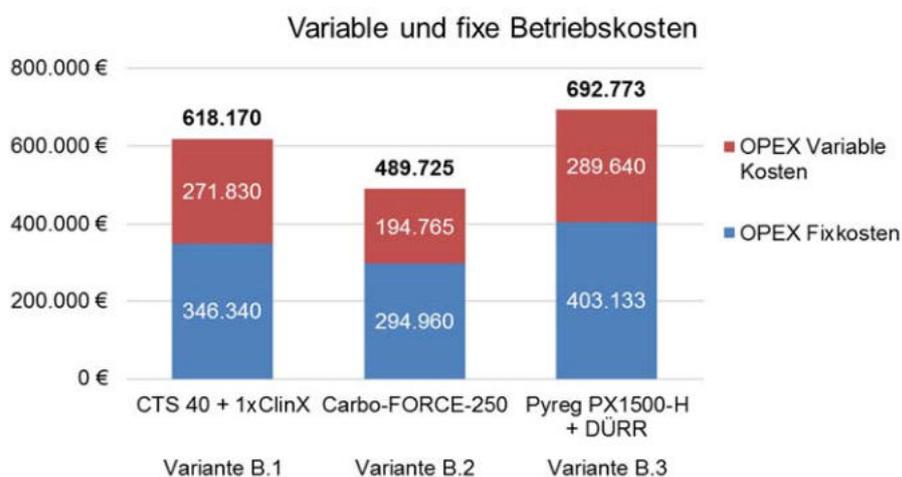


Abbildung 45: Vergleich der Betriebskosten von Variante B.1, B.2 und B.3

Abbildung 46 werden die abgeschätzten jährlichen Stromverbräuche der Karbonisierungsanlagen und Anlagen zur mechanischen Aufbereitung und die Stromproduktion aus den Verstromungsmodulen für jede Variante dargestellt. In Variante B.1 reicht die Stromproduktion nicht aus, um den

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Stromverbrauch zu decken. In Variante B.2 wurde kein Verstromungsmodul mit einkalkuliert. In Variante B.3 wird Überschussstrom generiert.

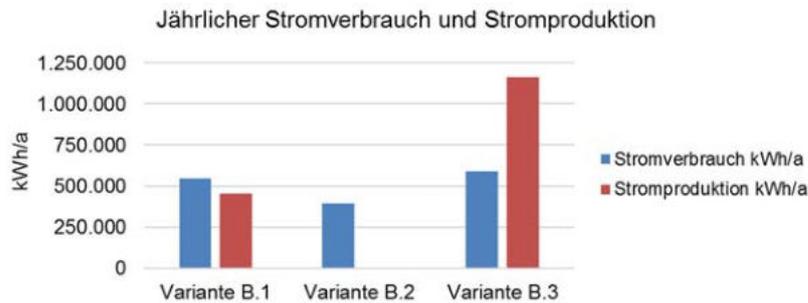


Abbildung 46: Abschätzung des jährlichen Stromverbrauchs und der Stromproduktion von Variante B.1, B.2 und B.3

Die Betrachtung der Einnahmen in Abbildung 47 zeigt, dass die Einnahmen durch den Verkauf von Pflanzenkohle in allen Varianten in einer ähnlichen Größenordnung liegen und einen verhältnismäßig großen Anteil an den Gesamt-Erträgen haben. Ebenso sind die Erträge durch den Verkauf von CO₂-Zertifikaten und die Einnahmen durch die Biomasse in allen Varianten vergleichbar. Die Erträge durch den Verkauf von Überschusswärme variieren in den Varianten. Dadurch, dass durch die Verstromungsmodul Wärme aufgenommen wird, um Strom zu generieren, verringert sich die übrigbleibende Überschusswärme zum Verkauf in einem Wärmenetz. In Variante B.3 werden über zwei DÜRR-Verstromungsmodul zusätzliche Einnahmen durch Überschussstrom generiert. In der Variante B.1 mit einer CTS40 Anlage inklusive einem ClinX-Modul wird mehr Strom verbraucht als produziert, daher werden hier keine weiteren Einnahmen durch Überschussstrom erzielt. Variante B.2 mit einer Carbo-FORCE Anlage erzielt die geringsten Erträge, da hier kein Strom produziert wird.

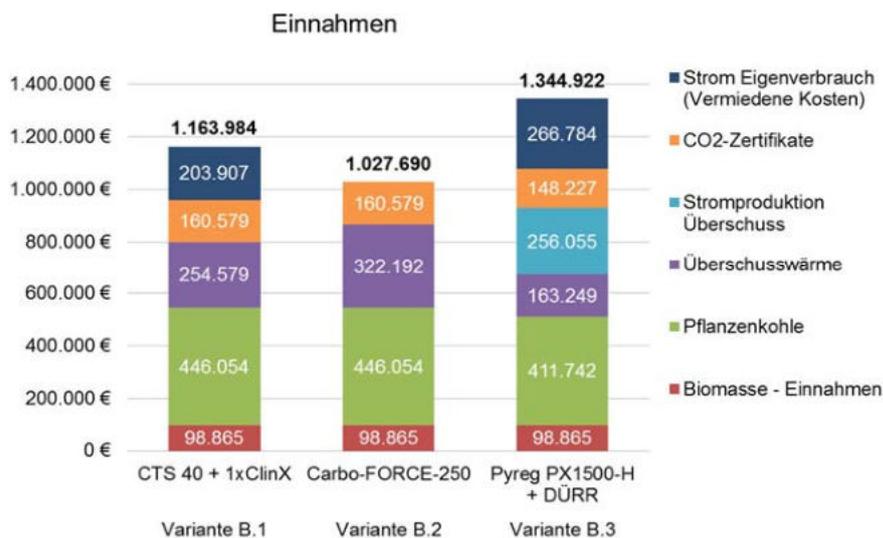


Abbildung 47: Vergleich der Einnahmen von Variante B.1, B.2 und B.3

In Szenario B liegen die Amortisationszeiten der betrachteten Varianten zwischen 9,6 und 14,5 Jahren (siehe Abbildung 48) und damit höher als in Szenario A, da hier zusätzliche Anlagen zur Aufbereitung

des Laubs notwendig sind. Zudem liegen die Auslastungen der Anlagen mit 50 % bis 65 % außerhalb des optimalen Bereiches.

Durch die geringen Investitionskosten in die Karbonisierungsanlage und deren geringeren Stromverbrauch schneidet Variante B.2 auch hier am besten ab.

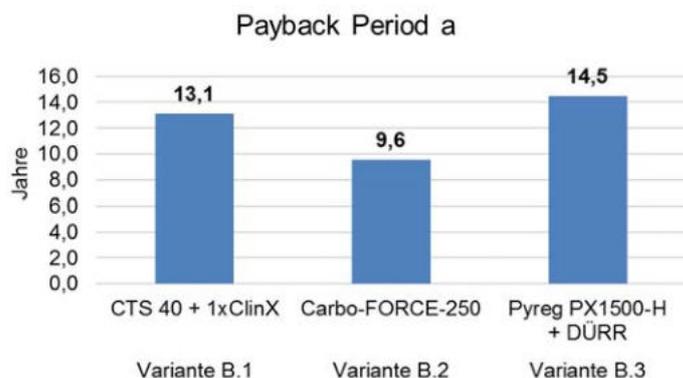


Abbildung 48: Vergleich der Amortisationszeit von Variante B.1, B.2 und B.3

3.5.8.4 Ergebnisse von Szenario C (Szenario A + Zusätzliche Pyrolyse von aufbereitetem Altholz)

In Szenario C wird die Pyrolyse von aufbereitetem Grünabfall, Wurzelstöcken, Schnittgut und Altholz der Kategorie I-III betrachtet. Die Aufbereitung des Altholzes kann über die gleichen Anlagen wie in Szenario A erfolgen. Eine genaue Analyse der tatsächlichen Zusammensetzung des Altholzes und Technikumsversuche sind notwendig, um die getroffenen Annahmen zu bestätigen.

Die gesamte Inputmenge beläuft sich auf 12.100 t (FM) pro Jahr. Nach der mechanischen Aufbereitung und Trocknung geht eine Menge von rund 5.300 t pro Jahr mit einem TS-Gehalt von 80 % in die Pyrolyse. Die drei untersuchten Varianten C.1, C.2 und C.3 sind in Tabelle 18 aufgelistet.

Tabelle 18: Details zur Kosten, Auslastung, Durchsatz und PK-Ertrag der in Varianten C.1, C.2 und C.3 gewählten Karbonisierungsanlagen

	Einheit	Variante C.1	Variante C.2	Variante C.3
Anlagentyp	-	CTS 40 + 1x ClinX	Carbo-FORCE-250	Pyreg PX1500-H + 1x DÜRR
Anzahl der Karbonisierungsanlagen	-	1	2	2
Kosten gesamt Karbonisierung	€	3.580.000	1.868.000	5.500.000
Auslastung		63 %	78 %	78 %
Durchsatz (TM)	t TM/a	4.227	4.227	4.077
Pflanzenkohleertrag (TM)	t/a	1.099	1.099	1.015

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Wie in Abbildung 49 zu sehen liegen die Gesamt-Investitionskosten je nach ausgewählter Karbonisierungsanlage zwischen ca. 6 und 8 Mio. Euro. Durch die geringen Kosten einer Carbo-FORCE Anlage schneidet Variante C.2 im Vergleich am besten ab.

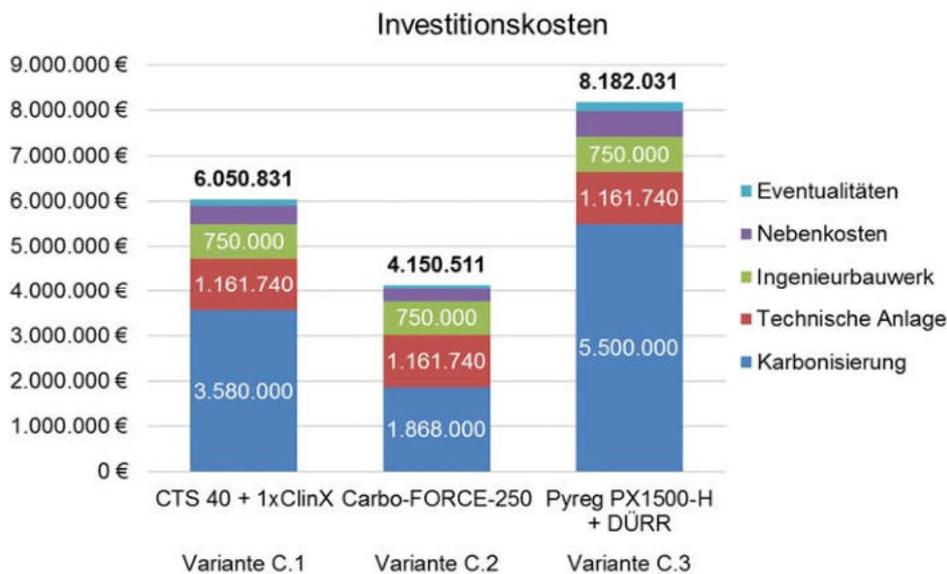


Abbildung 49: Vergleich der Investitionskosten von Variante C.1, C.2 und C.3

Die fixen und variablen Betriebskosten sind im Vergleich zu Szenario A höher durch den höheren Massenstrom und die daraus resultierenden längeren Laufzeiten der Anlagen. Ebenso steigen die Kosten für Wartung, Versicherung und Personalaufwand, da in Variante C.1 eine CTS40-Anlage und in Variante C.2 und C.3 jeweils zwei der Pyrolyseanlagen nötig sind.

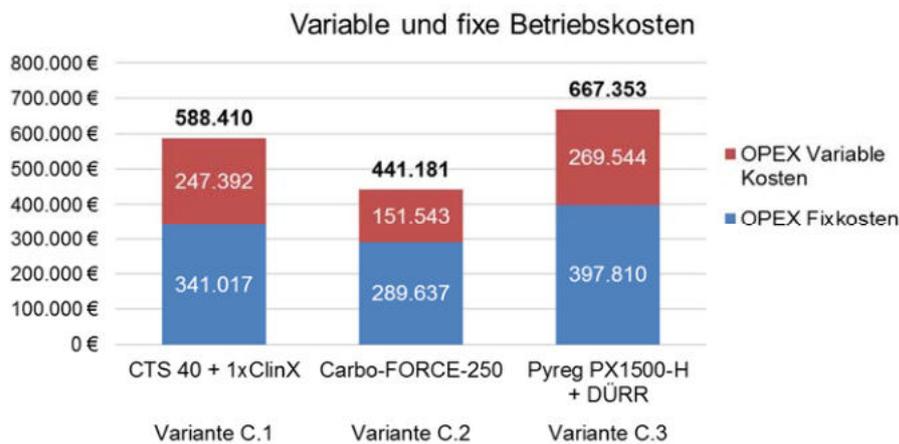


Abbildung 50: Vergleich der Betriebskosten von Variante C.1, C.2 und C.3

Abbildung 51 werden die abgeschätzten jährlichen Stromverbräuche der Karbonisierungsanlagen und Anlagen zur mechanischen Aufbereitung und die Stromproduktion aus den Verstromungsmodulen für jede Variante dargestellt. In Variante C.1 entsteht im Vergleich zu Variante B.1 Überschussstrom,

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

sodass der gesamter Stromverbrauch gedeckt werden kann. Durch die höheren Inputmengen und somit höhere Auslastung der CTS40 Anlage steht mehr Abwärme zur Verfügung.

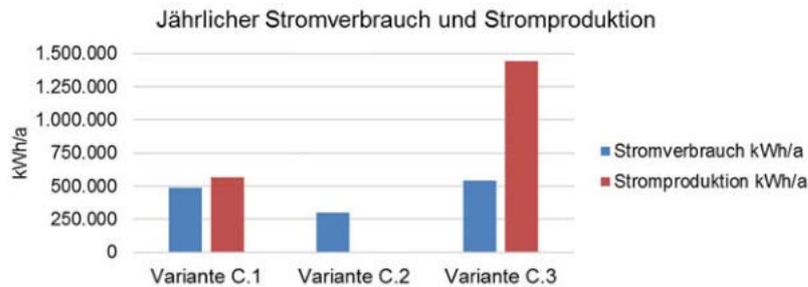


Abbildung 51: Abschätzung des jährlichen Stromverbrauchs und der Stromproduktion von Variante C.1, C.2 und C.3

Der Vergleich der Einnahmen in Abbildung 52 zeigt, dass Variante C.3 die höchsten Erträge erzielt durch den großen Anteil an Erträgen aus Überschussstrom aus zwei DÜRR-Verstromungsaggregaten. Die Einnahmen aus Pflanzkohleverkauf, CO₂-Zertifikaten und aus der Annahme der Biomasse sind in allen Varianten gleich bzw. vergleichbar. Variante C.2 erzielt die größten Einnahmen durch die Veräußerung von Überschusswärme, allerdings keine Einnahmen aus Stromproduktion aufgrund einer fehlenden Verstromung. In Variante C.1 entsteht ein geringer Überschuss an Strom.

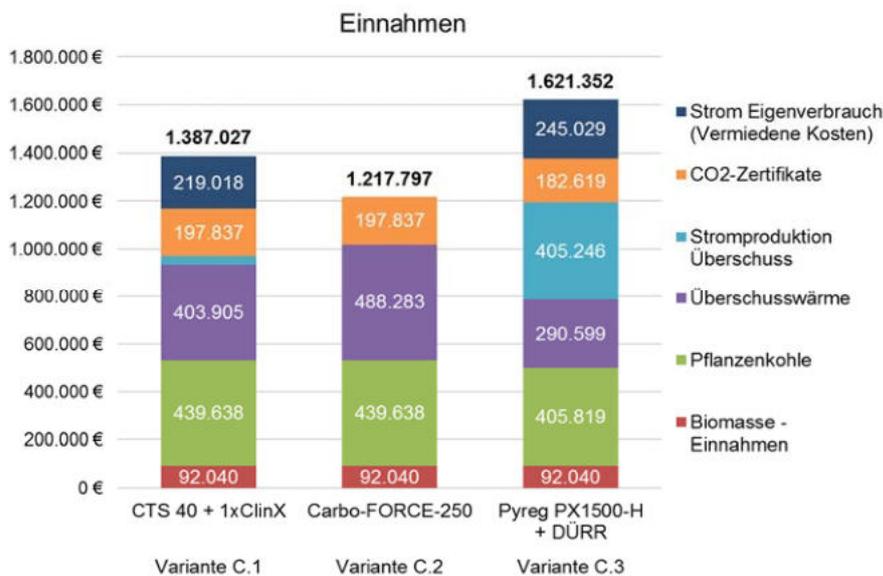


Abbildung 52: Vergleich der Einnahmen von Variante C.1, C.2 und C.3

Abbildung 53 zeigt die berechneten Amortisationszeiten der drei Varianten, welche zwischen 4,0 und 7,4 Jahren liegen. Im Vergleich zu Szenario A haben sich die Amortisationszeiten der Varianten mit Carbo-FORCE und Pyreg verbessert. Die Variante C.1 hat sich gegenüber dem Szenario A um 1 Jahr verschlechtert. Dies liegt daran, dass nur eine Verstromungsanlage einkalkuliert ist und die Einnahmen aus Überschussstrom geringer ausfallen.

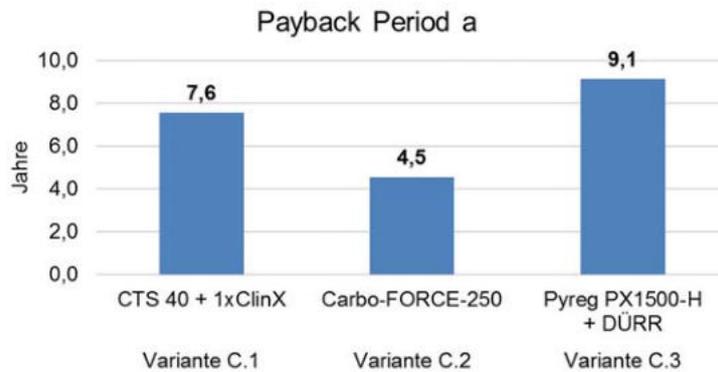


Abbildung 53: Vergleich der Amortisationszeit von Variante C.1, C.2 und C.3

3.5.8.5 Schlussfolgerungen aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Über alle Szenarien hinweg weist die Variante mit einer Karbonisierungsanlage von Carbo-FORCE die rentabelste Amortisationszeit auf. Beim Vergleich aller Varianten zeigt sich, dass sich durch die Pyrolyse von zusätzlichem Altholz mit Anlagen von Carbo-FORCE nach rund 4,5 Jahren ökonomische Vorteile erwirtschaften lassen. In Szenario B mit zusätzlicher Pyrolyse von pelletiertem Laub sind die Amortisationszeiten am höchsten, da hier zusätzliche Anlagen einkalkuliert werden müssen.

3.6 Vermarktung von Produkten

3.6.1 Absatzmärkte für Pflanzenkohle

Händler von Pflanzenkohle in Deutschland sind insbesondere die Fetzer Rohstoffe + Recycling GmbH unter dem Vertriebsnamen Moola, Carbex GmbH, Carbuna AG und Novocarbo GmbH. Eine Garantie zur Abnahme der produzierten Pflanzenkohle kann mittels eines Letter of Intents festgehalten werden, sobald die Qualität der Kohle anhand einer Probe-Karbonisierung bestätigt ist.

3.6.2 Wärmenutzungskonzept

Durch die Verstromung über eine Turbine bei den CTS-Anlagen und der PYREG-Anlage kann die Überschusswärme anteilig in Strom umgewandelt und zur Deckung des Stromeigenbedarfs sowie zur Einspeisung in das öffentliche Stromnetz genutzt werden. Die verbleibende Überschusswärme soll ebenfalls gewinnbringend eingesetzt werden. Dabei handelt es sich je nach Szenario und Variante um maximal 1 MW Wärmeleistung. Ein möglicher Einsatzbereich ist die Einspeisung der Wärme in das Fernwärmenetz der Stadt Offenburg. Abbildung 54 zeigt den geplanten Ausbau des Fernwärmenetzes. Während beim aktuellen E-Center Gelände ein direkter Anschluss möglich ist, muss bei den beiden anderen Standortalternativen eine Wärmeleitung zum bestehenden bzw. geplanten Netz gelegt werden.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

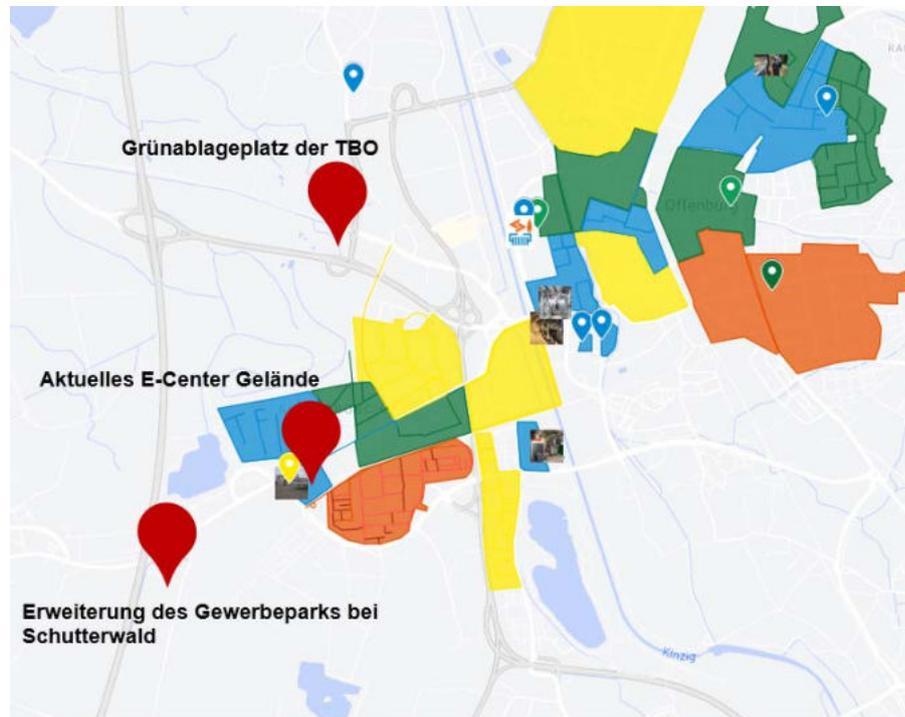


Abbildung 54: Geplanter Fernwärmeausbau des Wärmenetzes Offenburg (Blau: Bestand, Grün: geplanter Ausbau bis 2023, Gelb: geplanter Ausbau bis 2024, Orange: geplanter Ausbau bis 2026) mit eigenen Ergänzungen aus Wärmeversorgung Offenburg, 2021 (Wärmeversorgung Offenburg GmbH & Co. KG, 2021)

Eine weitere Option ist die Nutzung der Wärme für Trocknungsprozesse. Sowohl die Lohntrocknung für Bauholz als auch die Trocknung von Holzhackschnitzeln zur Feuerung sind dabei denkbar.

Grundsätzlich gilt hinsichtlich der Pyrolysetechnologie, dass die Wirtschaftlichkeit stark abhängt von der lokalen Verwertbarkeit der Überschusswärme. Auch bezogen auf eine potenziell angestrebte Zertifizierung der entstehenden Pflanzenkohle und die damit verbundenen Vermarktungschancen gilt, dass eine EBC Zertifizierung nur bei Nutzung von mindestens 70 % der anfallenden Abwärme aus der Synthesegasverbrennung erfolgt.

3.6.3 Herstellung von Pyrolyseöl

Falls sich keine direkte Wärmenutzung am Standort anbietet, ist die Herstellung von Pyrolyseöl über eine Thermo-Katalytische Reformierung (TCR) eine potenzielle Verwertungsmöglichkeit. Hierbei entstehen neben dem Karbonisat Pyrolyseöl und Synthesegas. TCR-Öl weist durch die Reformierung und der daraus resultierenden niedrigeren Säurezahl, den geringeren Wasseranteil und einen geringeren Anteil an ungesättigten Verbindungen eine hohe Stabilität auf. Dadurch ist es bei Raumtemperatur längere Zeit lagerfähig und atmosphärisch destillierbar (Fraunhofer UMSICHT, 2022). Für das Pyrolyseöl kommen Abnehmer beispielsweise aus der chemischen Industrie in Frage. Von dem entstehenden Synthesegas wird ein Anteil zur Bereitstellung des Trocknungswärmebedarfs für das Inputmaterial benötigt. Abbildung 55 stellt den Prozess der Pyrolyseölherstellung am Beispiel von Klärschlamm schematisch dar.

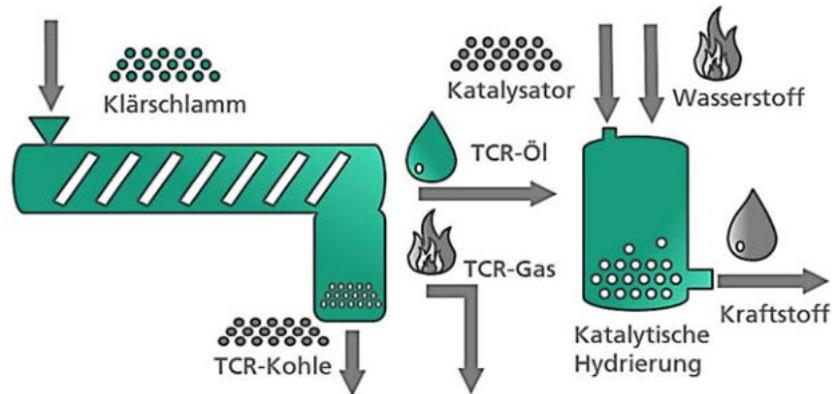


Abbildung 55: Grundlegendes Schema der Herstellung und Aufbereitung des TCR-Öls (Schmitt, 2021)

Eine Pyrolyseölabscheidung stellt eine Möglichkeit dar, in den Sommermonaten, wenn ein geringer Wärmebedarf im Fernwärmenetz besteht, die kontinuierlich anfallende Energie aus dem Pyrolyseprozess anteilig speicherbar und in den Wintermonate zu Heizzwecken nutzbar zu machen.

3.6.4 CO₂-Zertifikatehandel

Der CO₂-Zertifikatehandel ist aktuell über die zwei Plattformen Carbonfuture bzw. Puro.Earth möglich. Diese sind in der Lage, nachweislich als Kohlenstoffsenke eingesetzte Pflanzenkohle finanziell zu vergüten. Zur Finanzierung solcher Kohlenstoffsinken werden Zertifikate generiert, welche auf dem Europäischen Pflanzenkohle Zertifikat (EBC) basieren. Das unabhängige EBC-Zertifikat beziffert den Netto Klimanutzen der Pflanzenkohle am Produktionsstandort unter Berücksichtigung aller mit der Herstellung und Verwertung verursachten Emissionen. Zusätzlich stellt das EBC sicher, dass die notwendige Biomasse aus zuverlässigen Quellen stammt und zu keiner klimaschädlichen Änderung der Landnutzung beiträgt.

Da der entscheidende Faktor für die Klimawirkung einer Kohlenstoffsenke ihre Permanenz ist, sieht der ECB Sink Standard eine entsprechende Nutzungsform vor (z.B. die Zugabe in landwirtschaftliche Substrate wie Futter, Kompost, Gülle und Dünger oder in langlebige Materialien wie Beton und Harze). Die Verbrennung des Materials ist damit ausgeschlossen. Basierend auf dem momentanen Stand der Wissenschaft kann bei Boden Anwendungen von einer konservativen durchschnittlichen Abbaurate von 0,3 % pro Jahr ausgegangen werden. Einnahmen aus dem Verkauf von CO₂-Zertifikaten sind abhängig von der in der Pflanzenkohle gebundenen Kohlenstoffmenge. Die in die Betrachtung genommenen Pyrolysetechnologien versprechen unterschiedliche Konversionsraten von Ausgangsmasse zu Pflanzenkohle und daher unterschiedliche Mengen an gebundenem Kohlenstoff. Diese Menge an gebundenem Kohlenstoff kann anschließend in CO₂-Äquivalente (CO₂-eq) umgerechnet werden. Wie sich aus der produzierten Pflanzenkohle die Menge an gebundenen CO₂-eq und damit die Anzahl der generierten CO₂ Zertifikate errechnet, ist Abbildung 56 zu entnehmen.

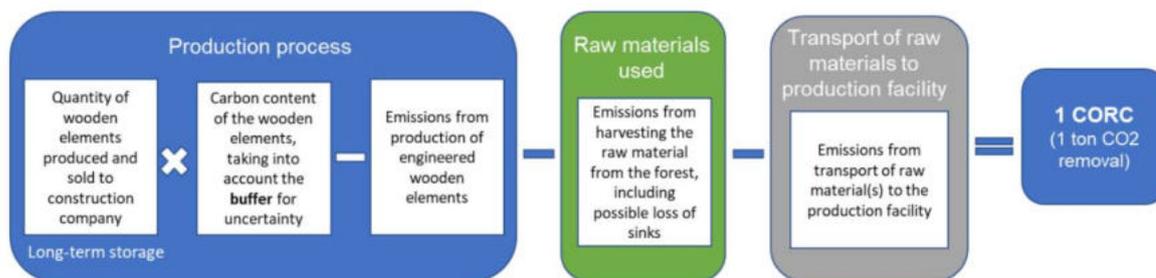


Abbildung 56: Berechnung der zustehenden Zertifikatmenge nach Puro.Earth

Als Richtwert für die Berechnung von gebundenen CO₂-eq in der Pflanzenkohle hat sich für den Rohstoff Holz ein Faktor von 2,6 etabliert. Das bedeutet, dass sich pro 1 t Pflanzenkohle rund 2,6 t CO₂-eq anrechnen lassen können. Dieser Richtwert wird jedoch stark von den produktionsspezifischen Emissionen beeinflusst. Darunter fallen u.a. Emissionen, welche im Betrieb der Aufbereitungs- und Pyrolyseanlagen entstehen und Emissionen durch Transport des Altholzes zum Produktionsstandort. Eine genaue Berechnung der gebundenen CO₂-eq erfolgt mittels einer umfassenden Ökobilanz durch den Zertifikatehändler.

Detaillierte Informationen zum Zertifizierungsprozess und den Mechanismen des Zertifikatehandels sind den Informationsbroschüren der genannten Händler in Anlage B-3.1 und B-3.2 zu entnehmen.

3.7 Integration in die Klimaschutzstrategie der Stadt Offenburg

Ein erstes integriertes Klimaschutzkonzept für die Stadt Offenburg wurde vom Gemeinderat bereits 2012 beschlossen und 2022 durch eine neue Version ersetzt. Das übergeordnete Ziel besteht im Erreichen der Treibhausgasneutralität bis 2040 (KN40), wie es auch von der Landesregierung Baden-Württemberg für das gesamte Bundesland vorgesehen ist. Dieses Zielszenario ist die Grundlage für die zukünftige Klimaschutzstrategie und die zugehörige Maßnahmenplanung, welche sich auf die Handlungsfelder nachhaltiges Wohnen, nachhaltiger Konsum, Gewerbe und Industrie, nachhaltige Energieversorgung, klimaneutrale Stadtverwaltung sowie Strategie und Innovation konzentriert (Stadt Offenburg, 2022a).

Im KN40-Szenario der Klimaschutzstrategie ist für den Wärme- und den Strombedarf sektorübergreifend eine schrittweise Reduzierung im Vergleich zum Referenzjahr 2010 sowohl für die Verbrauchsmenge als auch die spezifischen Treibhausgasemissionen vorgesehen, wobei Letztere jedoch deutlich stärker ausfallen muss. Dies ist nur durch einen Umstieg auf emissionsarme Energiequellen sowohl bei der Strom- als auch der Wärmeerzeugung möglich, zu denen auch die energetische Nutzung von Biomasse zählt. Eine Karbonisierungsanlage im Stadtgebiet Offenburg ist somit insbesondere in die Maßnahmenplanung für das Handlungsfeld nachhaltige Energieversorgung (NE) integrierbar. Hierbei kommen in erster Linie die kommunale Wärmeplanung (NE1), die Unterstützung des Fernwärmeausbaus mit erneuerbaren Energien (NE2) und der Ausbau der Energieerzeugung aus Erneuerbaren Energien (NE3) in Frage (Stadt Offenburg, 2022).

Die Karbonisierung biogener Abfallströme stellt sowohl eine stoffliche als auch eine energetische Verwertung dar. Zwar ist aufgrund der Pflanzenkohleproduktion der Brennstoffausnutzungsgrad niedriger als bei der Verbrennung, jedoch wird gleichzeitig eine Kohlenstoffsенke geschaffen. Hierdurch wird

die Generierung von CO₂-Zertifikaten basierend auf der gesamten Emissionsbilanz der technischen Umsetzung ermöglicht, was in Kapitel 3.6.4 beschrieben ist. Falls diese nicht extern vermarktet werden, sondern im Besitz der Stadt Offenburg bleiben, kann die Karbonisierung als negative Emissionstechnologie die Treibhausgasbilanz der Stadt Offenburg verbessern und auch unabhängig von der Strom- und Wärmeproduktion einen Beitrag zum Erreichen der Klimaneutralität leisten.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Studie wurden die Abfallströme der Stadt Offenburg betrachtet, um Möglichkeiten zur Entwicklung klimafreundlicher Entsorgungsstrukturen zu ermitteln. Potentiale wurden in der Nutzung der bereits getrennt erfassten biogenen Abfallströme identifiziert, die bisher überwiegend an externe Entsorgungsunternehmen abgegeben werden oder für die noch keine geeigneten Verwertungswege vorliegen. Hierbei handelt es sich um die Abfallströme Grünabfall, Schnittgut, Wurzelstöcke, Laub und Altholz, die bei der TBO, dem Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis und dem WSO anfallen. Aufgrund des Potentials zur CO₂-Sequestrierung wurde die Karbonisierung als klimaschützender Verwertungsweg für holzartige Biomassen betrachtet und hierzu Aufbereitungsszenarien für verschiedene Teilströme hinsichtlich der Treibhausgaseinsparpotenziale und der Wirtschaftlichkeit untersucht.

4.1 Empfehlungen zu Optimierungsmaßnahmen

Treibhausgaseinsparpotentiale bestehen in jedem der drei betrachteten Szenarien. Zwar wurden aktuell die höchsten Treibhausgaseinsparpotentiale in Szenario B bei der Karbonisierung von Laub zusätzlich zu Grünabfall, Schnittgut und Wurzelstöcken ermittelt, jedoch ist dies aufgrund der zusätzlich benötigten Aufbereitungs- und Pelletiertechnik mit den höchsten Invest- und Betriebskosten verbunden, was die Wirtschaftlichkeit dieser Option verschlechtert. Aus diesem Grund empfehlen wir, in einem ersten Schritt mit der Umsetzung des Szenarios A, der Aufbereitung und Karbonisierung von Grünabfall, Schnittgut und Wurzelstöcken, zu beginnen, da dieses Szenario eine gute Wirtschaftlichkeit aufweist. In einem zweiten Schritt kann die Erweiterung auf Szenario B, der Hinzunahme von Laub, oder auf Szenario C, der Hinzunahme von Altholz A I bis A III, vorgesehen werden. Bei der zusätzlichen Laubkarbonisierung ist mit einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit bei einer höheren Anlagenauslastung zu rechnen, weshalb insbesondere für dieses Szenario die Verfügbarkeit weiteren Materials aus der Laubsammlung umliegender Kommunen zu überprüfen ist. Im Fall einer Hinzunahme von Altholz wird eine Getrennthaltung während Lagerung, Aufbereitung und Karbonisierung empfohlen, um für die Pflanzenkohle aus Grünschnitt, Schnittgut und Wurzelstöcken eine Herabstufung der Zertifizierungsklasse und damit der erzielbaren Erlöse zu verhindern, was zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit führt.

Da alle Ergebnisse auf angenommenen Materialeigenschaften der betrachteten Abfallströme basieren, empfehlen wir zunächst Aufbereitungsversuche und Materialanalysen mit den jeweiligen Abfallströmen durchzuführen. Hierbei ist die Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Aufbereitungstechnik auf die jeweiligen Materialien zu überprüfen sowie den in der Praxis tatsächlich abtrennbaren und für die Karbonisierung nutzbaren Anteil zu bestimmen.

4.2 Interkommunale Zusammenarbeit

Durch die Erstellung der Potentialstudie hat die TBO Offenburg das Gespräch mit Gemeinden im Umkreis über Abfallentsorgung aufgenommen. Dabei wurde festgestellt, dass ein großes Interesse an interkommunaler Zusammenarbeit in Bezug auf die Verwertung von biogenen Reststoffströmen besteht.

Die anfallenden Mengen an Grünabfall oder Laub in der Stadt Offenburg oder anderen Gemeinden sind nicht ausreichend, um eine eigene Verwertungsanlage bei wirtschaftlicher Dimensionierung auszulasten. Auf Grund des Skaleneffekts sinken die spezifischen Verwertungskosten mit der Höherdimensionierung einer Verwertungsanlage. Durch eine kommunale Kooperation können Stoffströme zusammengefasst und gemeinsam verwertet werden. Eine derartige Zusammenarbeit kann unterschiedlich gestaltet werden. In Folgenden soll auf drei mögliche Modelle eingegangen werden.

PPP-Modell

Eine Möglichkeit ist eine öffentlich-rechtliche Partnerschaft (ÖPP), in welcher zwei oder mehrere Kommunen und privatrechtlich organisierte Unternehmen eine institutionelle Kooperation zum Betrieb einer gemeinsamen Anlage eingehen. Dieses Modell kann in zwei Varianten ausgeführt werden. Zum einen ist eine Gründung sowie Beauftragung einer neuen PPP-Gesellschaft durch mehrere Kommunen gemeinsam mit einem privaten Partner und zum anderen eine Entsorgung von Abfällen weiterer kommunaler Partner in der Anlage einer bereits bestehenden PPP-Gesellschaft möglich.

Als Organisationsformen bieten sich hier Rechtsformen wie eine GmbH oder BGB-Gesellschaft in Form einer Arbeitsgemeinschaft an. Die Arbeitsgemeinschaft ist dabei mit einem erheblich geringeren Gründungsaufwand verbunden, da die notarielle Beurkundung des Gründungsvertrages entfällt. Allerdings ist die GmbH aufgrund der überschaubareren finanziellen Risiken, die geeignetere Rechtsform.

Einbahnstraßenmodell

In diesem Modell werden die Stoffströme mehrerer Kommunen in einer kommunalen Anlage verwertet, bei der es sich nicht um eine gemeinsame Anlage der Kooperationspartner handelt. Eine Kommune übernimmt hierbei die Verwertungsaufgabe für andere Kommunen, ohne dass eine gemeinsame Institution errichtet wird. Dabei sind zwei Varianten möglich. In der ersten Variante werden durch einen oder mehrere Kreise die Stoffströme zur Verwertung an den die Anlage betreibenden Kreis angeliefert, der die Behandlung und die Verwertung bzw. Entsorgung vollständig übernimmt. In der zweiten Variante nehmen die anliefernden Kreise den behandelten Stoffstrom und / oder die nicht biologisch verwertbaren Stör- und Reststoffe aus dem Stoffstrom nach der Behandlung wieder zurück und verwerten bzw. beseitigen diese selbst.

Betreibermodell

Im Betreibermodell betreiben zwei oder mehrere Kreise eine Verwertungsanlage gemeinsam. Als Organisationsform kommen hier privatrechtliche Rechtsformen wie eine GmbH in Frage. Zudem sind öffentlich-rechtliche Rechtsformen möglich, wozu der Zweckverband oder eine kommunale Anstalt gehört.

Welches dieser Modelle im Fall von Offenburg geeignet ist und welche Akteure dabei eine Rolle spielen, sollte in weiteren Gesprächen mit interessierten Gemeinden und auch Unternehmen im Umkreis erörtert werden. Nicht außer Acht zu lassen sind dabei die rechtlichen Rahmenbedingungen, wobei

insbesondere das Vergaberecht, das Kartellrecht, das Kommunalrecht, das Steuerrecht sowie das Gebühren- und Preisrecht je nach gewähltem Modell betrachtet werden müssen.

4.3 Fahrplan zur Umsetzung

Für die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen wird zunächst eine Fördermittelakquise empfohlen. Diese kann im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative als Folgeförderung auf die Potentialstudie beantragt werden.

Die Zeit zwischen Förderantragstellung und Erhalt der Bewilligung kann genutzt werden, um Technikumsvorversuche mit Herstellern von Karbonisierungsanlagen bzw. Anlagen zur mechanischen Aufbereitung durchzuführen. So können die Werte, die in dieser Potenzialstudie angenommen wurden, verifiziert werden. Zudem sollte ein geeigneter Standort für die Gesamtanlage gefunden werden sowie ein geeignetes Betreibermodell.

Abbildung 57 zeigt einen groben Ablaufplan für den Bau einer Karbonisierungsanlage von Genehmigung bis zur Fertigstellung aller Anlagen.

AKTIVITÄT	Zeitlicher Ablauf des Projekts																																																																							
	Jahr 1											Jahr 2											Jahr 3											Jahr 4																																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																																	
Genehmigung	■																																																																							
Tiefbau											■																																																													
Elektrotechnik											■																																																													
Hallenbau											■																																																													
Anlagen - Mechanische Aufbereitung																									■																																															
Karbonisierungs- anlage																									■																																															
Verstromung																									■																																															
Trockner																									■																																															
Gasanbindung																									■																																															
Wasserpumpen- station																									■																																															
Inbetriebnahme																																				■																																				
Leistungsfahrt																																										■																														
Abnahme																																																■																								

Abbildung 57: Erste Skizzierung eines Bauzeitenplans einer Karbonisierungsanlage in Offenburg

5 Literaturverzeichnis

- Allgemeine Bauzeitung. (2020). *Intelligente Abfallwirtschaft - Smarte Müllautos reduzieren Fehlwürfe im Restmüll um bis zu 80%*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://allgemeinebauzeitung.de/abz/intelligente-abfallwirtschaft-smarte-muellautos-reduzieren-fehlwuerfe-im-restmuell-um-bis-zu-80-prozent-34390>
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2020). *Infoblätter Kreislaufwirtschaft. Straßenkehricht. Stand 02/20*. Abgerufen am 9. Dezember 2022 von https://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/entsorgung_einzeln_abfallarten/doc/strassenkehricht.pdf
- Bulach, W., Dehoust, G., Möck, A., Oetjen-Dehne, R., Kaiser, F., Radermacher, J., & Lichtl, M. (2021). *Ermittlung von Kriterien für hochwertige anderweitige Verwertungsmöglichkeiten von Bioabfällen. Enbericht*. Herausgeber: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. (05 2013). Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Mai 2017 (BGBl. I S. 1440), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Januar 2021 (BGBl. I S. 69) geändert worden ist.
- Carbo-FORCE GmbH. (o. D.). Abgerufen am 20. Dezember 2022 von <https://www.carbo-force.de/de/home>
- cts Carbon Technik Schuster GmbH. (o. D.). Abgerufen am 20. Dezember 2022 von <https://ct-schuster.de/neue-seite>
- DBFZ. (2015). *Pontenzial von Rest- und Abfallstoffen*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://bioenergie.fnr.de/bioenergie/biomasse/biomasse-potenziale/potenziale-von-rest-und-abfallstoffen>
- Dehoust, G., Möck, A., Bulach, W., Otto, S. J., Kumm, H., & Kern, W. (2018). *Ökologische Implikationen von thermischen Abfallbehandlungsanlagen. Aspekte der geplanten MVA in Wiesbaden*. Öko-Institut e. V., Berlin. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://piwi.wiesbaden.de/dokument/2/2135348>
- Der Guller Stadtanzeiger Medien. (2022). *Pilotprojekt mit Einsparpotential. Müllereimerfüllstand digital im Blick*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von https://www.stadtanzeiger-ortenau.de/offenburg-stadt/c-lokales/muellereimerfuellstand-digital-im-blick_a70981?fbclid=IwAR1kQe_5cvQD-LLL_jlupGASPJq4hWoIRx1BmcU4N5VpV3qUfeXbqINZv-Y
- Dieffenbacher. (o. D.). *Optimize Resizing Bulk Wood & Bark. SMV Cutting Rotor/Rechipper. Produktpräsentation*.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

DWA-M-378. (2008). *Umgang mit Straßenkehrriecht*.

Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Ortenaukreis. (2014). *Fortschreibung des Abfallwirtschaftskonzeptes für den Ortenaukreis*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von [https://www.abfallwirtschaft-ortenaukreis.de/ueber-uns#:~:text=Januar%202023-,Abfallwirtschaftskonzept,zum%20Ansehen%2C%20Speichern%20oder%20Herunterladen](https://www.abfallwirtschaft-ortenaukreis.de/ueber-uns#:~:text=Januar%202023-,Abfallwirtschaftskonzept,zum%20Ansehen%2C%20Speichern%20oder%20Herunterladen.).

Flamme, S., Hams, S., Bischoff, J., & Fricke, C. (2020). *Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung*. Herausgeber: Umweltbundesamt.

Flamme, S., Hanewinkel, J., Quicker, P., & Weber, K. (2018). *Energieerzeugung aus Abfällen. Stand und Potentiale in Deutschland bis 2030*. Herausgeber: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Fraunhofer UMSICHT. (2022). *TCR-Technologie: CO₂-neutrale Energieträger aus biogenen Reststoffen*. Abgerufen am 20. Dezember 2022 von <https://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/de/unsere-loesungen/tcr-technologie.html>

Fritsche, U., & Greß, H.-W. (2022). *Der nicht-erneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2021 sowie Ausblicke auf 2030 und 2050*. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien GmbH (IINAS), Darmstadt.

GreenDelta GmbH. (2022). *ReCircE*. Abgerufen am 8. August 2022 von <https://www.recirce.de/>

Hagar66. (2010). *Datei:Offenburg in OG.svg*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Offenburg_in_OG.svg

Hahnenkamp, N. J., & Tuminski, R. J. (2017). *Untersuchung zur optimierten stofflichen Verwertung von Sperrmüll - insbesondere Matratzen, Teppiche/Teppichböden und Kunststoffe – aus Haushaltungen unter Berücksichtigung der gemeinsamen Behandlung mit gewerblichen Sperrmüllanteilen. Endbericht*. Osnabrücker Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-31221.pdf>

Hoffmann, D. (2020). INTELLIGENTER RECYCLINGHOF - Digitale Kundenerlebnisse schaffen - Kreisläufe schließen. *VKS News*, S. 10-11.

Hüttner, A., Richter, F., Kern, M., Rausen, T., & Turk, T. (2019). *Leitfaden zur hochwertigen Behandlung und Verwertung von kommunalen pflanzlichen Reststoffen im Land Hessen*. Auftraggeber: Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo e. V.). Auftragnehmer: Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Witzenhausen. Abgerufen am 15. Dezember 2022 von

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

https://www.heronetzwerk.de/fileadmin/Dokumente/PDFs/Leitfaden_Verwertung_Reststoffe_online__1_.pdf

Icha, P., & Lauf, T. (2022). *Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1991 - 2021*. Herausgeber: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

ICU - Ingenieurconsulting Umwelt und Bau. (2021). *Umsetzung der klimaverträglichen Biomasse-Verwertung (Laub und Mähgut) in Berlin*. Berlin: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz.

Interzero Circular Solutions Germany GmbH. (2022). *Recycling von Bio-, Mischmüll und Metall | Ablauf & Daten*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.ecoservice24.com/de/ratgeber/artikel/recycling-und-abfallverwertung/#metallschrott-recyclen>

Jan Focke, N. S. (2014). *InnoDry - Innovatives Verfahren zur Veredelung von Sägenebenprodukten zur Verbesserung der regionalen Absatzmöglichkeiten und Versorgungssicherheit von Nah- und Fernwärmenetzen*. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, Rottenburg am Neckar. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von https://www.hs-rottenburg.net/fileadmin/user_upload/Forschung/Forschungsprojekte/Biomass/InnoDry/Endbericht-InnoDry.pdf

Jendrischik, M. (2022). *Wie Pyrum mit BASF den Durchbruch bei der Reifen-Pyrolyse schaffte*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.cleanthinking.de/wie-pyrum-mit-basf-den-durchbruch-bei-der-reifen-pyrolyse-schaffte/>

Kammann, C., & Schmidt, H.-P. (2016). *Bodenbezogene und landwirtschaftliche Anwendungen*. In P. Quicker, & K. Weber (Hrsg.), *Biokohle. Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisaten* (S. 284-311). Wiesbaden: Springer Vieweg.

Kern, M., Raussen, T., Funda, K., Lootsma, A., & Hofmann, H. (2010). *Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz*. Herausgeber: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Komptech CEA. (2022a). *CRAMBO 3400 E-MOBILE*. Abgerufen am 9. Dezember 2022 von <https://www.komptechcea.com.au/product/shredders/crambo-e-mobile/crambo-3400-2/>

Komptech CEA. (2022b). *HURRIKAN S*. Abgerufen am 9. Dezember 2022 von <https://www.komptechcea.com.au/product/separators/windsifter/hurrikan-stationary/>

Komptech CEA. (2022c). *MULTISTAR S3*. Abgerufen am 9. Dezember 2022 von <https://www.komptechcea.com.au/product/star-screens/multistar/multistar-s3/>

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

- Komptech CEA. (2022d). *STONEFEX*. Abgerufen am 9. Dezember 2022 von <https://www.komptechcea.com.au/product/separators/stone-separator/stonefex/>
- LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. (2010). *Bio- und Grünabfälle. Optimierung der Erfassung und Verwertung von Bio- und Grünabfällen in Baden-Württemberg*. (L. R. 35, Redakteur) Rheinstetten.
- LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. (2017). *Steckbrief „Straßenkehricht“*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/151537/Steckbrief+23_17-01-01.pdf/e0248616-fc52-4e7d-b040-0403cd96e5ef
- Merten, M., Person, G., & Schrieber, M. (2006). *Moderne Abfallbehandlung – die MBA Kahlenberg*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von https://www.abfallwirtschaft-ortenaukreis.de/fileadmin/user_upload/11-MBA/MBA_Artikel_und_ZAK_Verfahren.pdf
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft. (2022). *Abfallbilanz 2021. Ressourcen aus unserer kommunalen Kreislaufwirtschaft*. Stuttgart.
- Nurmatov, N. (2017). *Energetische Verwertung städtischen Laubs*. Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Witzenhausen.
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. (2022). *Klimaschutzgesetz. Generationenvertrag für das Klima*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>
- PYREG. (2022). *NEWS & PRESSE*. Abgerufen am 20. Dezember 2022 von <https://pyreg.com/de/unternehmen/news-presse/>
- Quicker, P. (2016). Überblick Thermochemische Prozesse. In P. Quicker, & K. Weber (Hrsg.), *Biokohle. Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisaten*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Retralog. (2022). *Straßenkehricht und Laub*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.retralog.com/recycling/strassenkehricht-und-laub/#:~:text=Der%20Stra%C3%9Fenkehricht%20kann%20nach%20seiner,auch%20im%20Deponiebau%20zum%20Einsatz>
- Rommeiß, N., Thrän, D., Schlägl, T., Daniel, J., & Scholwin, F. (2006). *Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

- S&F Datentechnik GmbH & Co. KG. (o. D.). *EMOS für kommunale Dienstleistungen*. Abgerufen am 22. August 2022 von <https://www.emos-system.de/abfallwirtschaft-software-kommunal.php>
- Saubermacher AG. (o. D.). *Unsere Leistungen für Kommunen*. Abgerufen am 8. August 2022 von <https://saubermacher.at/leistungen/kommunen/>
- Scheub, U. (2015). *Terra Preta. Die schwarze Revolution aus dem Regenwald; mit Klimagärtnern die Welt retten und gesunde Lebensmittel produzieren. Unter Mitarbeit von Haiko Pieplow und Hans Peter Schmidt*. München: Oekom.
- Scheufler, B., & Mehrkens, W. (1981). Stoffgesetze für die Verdichtung von Laub. *Grundl. Landtechnik*, S. 234-237.
- Schmitt, N. (2021). *Hydrotreatment von Öl aus der thermo-katalytischen Reformierung von biogenen Reststoffen. Dissertation*. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Erlangen.
- Schwendemann, R. (2019). *Land unterstützt Zweckverband Abfallbehandlung Kahlenberg bei Rückgewinnung von Phosphor*. Abgerufen am 20. Dezember 2022 von <https://www.ortenaukreis.de/index.php?ModID=7&FID=2390.14702.1&object=tx%7C2390.14702.1>
- Schwendemann, R. (o. D.). *50 Jahre Zweckverband Abfallbehandlung Kahlenberg (ZAK) Innovationen, Fortschritt und Verlässlichkeit über fünf Jahrzehnte*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.ortenaukreis.de/index.php?ModID=7&FID=3406.12559.1&object=tx%7C3406.12559.1>
- Stadt Offenburg. (2022a). *Klimaschutzstrategie „Offenburg Klimaneutral 2040“*. Abgerufen am 15. Dezember 2022 von <https://www.offenburg-klimaschutz.de/fileadmin/redakteur/Klimaschutzkonzept/Klimaschutzstrategie.pdf>
- Stadt Offenburg. (2022b). *Technische Betriebe Offenburg*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.offenburg.de/de/leben-in-offenburg/buergerservice/offenburg-a-bis-z/detail/offenburgabisz/id/4504-technische-betriebe-offenburg/>
- Stronga. (2022). *FlowDrya Green Series*. Abgerufen am 9. Dezember 2022 von <https://stronga.com/de/products/flowdrya-green-series-de/>
- Tritec GmbH. (o. D.). *Pelletierpresse - Baureihe V3*. Abgerufen am 9. Dezember 2022 von <https://www.tritec-pelletiertechnik.de/index.php/ct-menu-item-13/ct-menu-item-17>
- Umweltbundesamt. (2021). *Bauabfälle*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehelter-abfallarten/bauabfaelle#verwertung-von-bau-und-abbruchabfallen>

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

- Umweltbundesamt. (2021). *Elektro- und Elektronikaltgeräte*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/elektro-elektronikaltgeraete#wo-steht-deutschland>
- Umweltbundesamt. (2021). *Glas und Altglas*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/glas-altglas#massenprodukt-glas>
- Umweltbundesamt. (2021). *Klimaverträgliche Abfallwirtschaft*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/klimavertraegliche-abfallwirtschaft#abfallbehandlung-schutzt-heute-das-klima>
- Umweltbundesamt. (2021). *Kunststoffabfälle*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle#kunststoffe-produktion-verwendung-und-verwertung>
- Wärmeversorgung Offenburg GmbH & Co. KG. (2021). *WVO Übersichtskarte. Mit Google My Maps erstellt*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1dJkWGyCTAq0o_yCPy3_GnHIdPvgVYBd&ll=48.46386281724092%2C7.935449541499131&z=14
- wdk Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e.V. (2022). *Pressemitteilung. Recyclingquote bei Altreifen steigt auf neues Rekordhoch – Beleg für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft*. Abgerufen am 19. Dezember 2022 von <https://www.wdk.de/altreifenzahlen-2019/>
- Weidner, E. (2021). *Schlussbericht - Systematische Ermittlung von Emissionsdaten bei der thermischen Umsetzung unterschiedlicher Laubabfallfraktionen SET-Laub*. Oberhausen: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT.
- Zolitron. (2020). *Smarter, effizienter & nachhaltiger entsorgen. Füllstandsmessung und GPS-Tracking mit der Z-Node*. Abgerufen am 8. August 2022 von <https://zolitron.com/>
- Zweckverband Abfallbehandlung Kahlenberg, Z. (2020). Von https://www.abfallwirtschaft-ortenaukreis.de/fileadmin/user_upload/B5_07_MBA_Kurzinfo_2021.pdf abgerufen

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Aufgestellt:

Nathalie Kettner

Valerie Adams

Leonberg, März 2023

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'M. Probst', with a large, stylized initial 'M'.

Dr.-Ing. Michael Probst

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'K. Friedrich', with a large, stylized initial 'K'.

i.A. M.Sc. Dipl.-Ing. Kevin Friedrich

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Anlagen

Reihe A: Annahmen und Berechnungsgrundlagen

A-1 Annahmen in den Stoffstrommodellen

Szenarien	Abfallströme	Aufbereitungs-schritt	nutzbarer Anteil	nicht nutzbarer Anteil		Quelle
				Leichtgut	Schwertgut	
A,B,C	Schnittgut + Grünabfall + Wurzelstöcke	natürliche Trocknung	84%	16%		Anhebung TS-Gehalt auf 60 %
		Steinabscheider	88%	2%	10%	eigene Annahme
		Sieb	65%	35%		eigene Annahme
		Trocknung	74%	26%		Anhebung TS-Gehalt auf 80 %
	Feinfraktion + Laub	Trocknung	69%	31%		Anhebung TS-Gehalt auf 80 %
		Spannwellensieb	90%	10%		eigene Annahme
		Windsichtung	80%	20%		eigene Annahme
		Pelletierung	100%	0%		eigene Annahme
	Altholz A I- A III	Steinabscheider	97%	1%	2%	Annahmen auf Basis von (Brunner, Obernberger & Wellacher, 2005)
		Metallabscheider	95%	5%		
		Sieb	80%	20%		
		Trocknung	100%	0%		
Szenarien	Abfallströme	Aufbereitungsschritt	holzige	krautige	Quelle	
IST	Grünabfall (TBO)	mechanische Aufbereitung	30%	70%	TBO	
	Wurzelstöcke + Grünabfall	mechanische Aufbereitung	25%	75%	Abfallwirtschaft Ortenaukreis	

Szenarien	Abfallströme	Outputstrom	Glühverlust bzgl. TM	Quelle
A,B,C	Schnittgut + Grünabfall + Wurzelstöcke	Input	75%	Berechnung aus Stoffstrommodell
		Anteil zur Pyrolyse	90%	eigene Annahme
		Feinanteil zur Kompostierung	70%	eigene Annahme
		Schwergut	0%	eigene Annahme
		Leichtfraktion	90%	eigene Annahme
	Altholz A I- A III	Input	93%	Berechnung aus Stoffstrommodell
		Anteil zur Pyrolyse	100%	eigene Annahme
		Feinfraktion zur Müllverbrennung	100%	eigene Annahme
		Schwergut	0%	eigene Annahme
		Leichtfraktion	100%	eigene Annahme
		Metallfraktion	0%	eigene Annahme
	Laub	Input	79%	Berechnung aus Stoffstrommodell
		Feinfraktion zur Müllverbrennung	50%	eigene Annahme
		Schwergut zur Müllverbrennung	50%	eigene Annahme
		Anteil zur Pyrolyse	90%	eigene Annahme
Szenarien	Abfallströme	Outputstrom	Glühverlust	Quelle
IST	Grünabfall	Grobfraktion zum Biomasseheizkraftwerk	95%	eigene Annahme
		Feinfraktion zur Kompostierung	67%	Berechnung aus Stoffstrommodell
	Wurzelstöcke	Input	75%	eigene Annahme
	Schnittgut	Input	95%	eigene Annahme

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

A-2 Berechnungsparameter Treibhausgasbilanz

Kategorie	Parameter	Wert	Einheit	Quelle
Emissionsfaktoren	Strommix Deutschland (2021)	0,485	kg CO2-eq/kWh Strom	(Icha & Lauf, 2022)
	Strommix Deutschland (Ausblick 2030)	0,268	kg CO2-eq/kWh Strom	(Fritsche & Greß, 2022)
	Strommix Deutschland (Ausblick 2050)	0,032	kg CO2-eq/kWh Strom	(Fritsche & Greß, 2022)
	Wärme aus Erdgas (>100 kW)	0,239	kg CO2-eq/kWh Wärme	Ecoinvent 3.8
	(Herstellung und) Verbrennung von Diesel (bei Annahme von 9,89 kWh/L für Diesel)	3,27	kg CO2-eq/Liter	Ecoinvent 3.8
	Transport LKW >32t EURO 5 (voll hin, leer zurück)	0,091	kg CO2-eq/(t*km)	Ecoinvent 3.8
Heizwerte	Grünschnitt + Wurzelstöcke + Schnittgut (Leichtgut und Mittelfraktion)	4,30	kWh/kg TM	Annahme
	Laubpellets	4,75	kWh/kg TM	Annahme
	Altholz (Leichtgut, Fein- und Mittelfraktion)	4,80	kWh/kg TM	Annahme
	Laubsortierreste (Feinfraktion und Schwergut)	2,38	kWh/kg TM	Annahme
Kompostierung	Stromverbrauch Kompostierung	32	kWh/t	(Bulach, et al., 2021)
	Dieserverbrauch Kompostierung (bei Annahme von 9,89 kWh/L für Diesel)	2	L/t	(Bulach, et al., 2021)
	CH4 Emissionen Kompostierung	790	g CH4/t	(Bulach, et al., 2021)
	N2O Emissionen Kompostierung	53	g N2O/t	(Bulach, et al., 2021)

Kategorie	Parameter	Wert	Einheit	Quelle
Pyrolyse	maximaler Nutzungsgrad elektrisch (CTS 40 mit ClinX-Turbine)	1,0	%	eigene Anlagenbilanzierung
	maximaler Nutzungsgrad thermisch (CTS 40 mit ClinX-Turbine)	34,4	%	eigene Anlagenbilanzierung
	maximaler Nutzungsgrad elektrisch (CTS 20 mit ClinX-Turbine)	5,0	%	eigene Anlagenbilanzierung
	maximaler Nutzungsgrad thermisch (CTS 20 mit ClinX-Turbine)	31,3	%	eigene Anlagenbilanzierung
	C-Persistenz Pflanzkohle über 100 Jahre	74	%	mit 0,3% C-Abbau/a (Kuzyakov, Bogomolova, & Glaser, 2014, zitiert nach Kammann & Schmidt, 2016)
	C-Konversionsfaktor	48	%	eigene Berechnung aus Herstellerangaben und Analyseergebnissen (CTS 20-Anlage)
	C-Gehalt im Glühverlust der Biomasse	50	%	Annahme
	Faktor CO ₂ /C	3,67		stöchiometrischer Faktor
Biomassekraftwerk	Nutzungsgrad elektrisch (Basisvariante: Durchschnittswerte 2016)	26,3	%	Berechnung aus Energiebilanz in (Flamme, Hanewinkel, Quicker, & Weber, 2018)
	Nutzungsgrad thermisch (Basisvariante: Durchschnittswerte 2016)	14,9	%	Berechnung aus Energiebilanz in (Flamme, Hanewinkel, Quicker, & Weber, 2018)
	Nutzungsgrad elektrisch (höherer Wert)	30	%	Annahme
	Nutzungsgrad thermisch (höherer Wert)	50	%	Annahme
Müllverbrennung	Nutzungsgrad elektrisch (Durchschnitt 2016)	11,3	%	Berechnung aus Energiebilanz in (Flamme, Hanewinkel, Quicker & Weber, 2018)
	Nutzungsgrad thermisch (Durchschnitt 2016)	33,3	%	Berechnung aus Energiebilanz in (Flamme, Hanewinkel, Quicker & Weber, 2018)

Kategorie	Parameter	Wert	Einheit	Quelle
mechanische Aufbereitung und Trocknung	Stromverbrauch (Aufbereitung Grünschnitt, Schnittgut, Wurzelstöcke, Altholz)	10,5	kWh/t	Berechnung aus Herstellerangaben von Beispielanlagen
	Stromverbrauch (Laubaufbereitung)	80,1	kWh/t	Berechnung aus Herstellerangaben von Beispielanlagen
	Stromverbrauch (Laubpelletierung)	60,1	kWh/t	Berechnung aus Herstellerangaben von Beispielanlagen
	Stromverbrauch (Aufbereitung im IST-Szenario)	4,9	kWh/t	Berechnung aus Herstellerangaben von Beispielanlagen
	Wärmebedarf Trocknung	1200	kWh/t Wasser	Annahme
	Schüttdichte Laub (nach Trocknung)	20	kg/m ³	Größordnung basierend auf (Scheufler & Mehrkens, 1981)
	Schüttdichte sonstige Abfälle (feucht)	400	kg/m ³	Annahme
Transportentfer- nungen	Karbonisierungsanlage	8	km	Abschätzung auf Basis bekannter Standorte
	Biomasseheizkraftwerk	20	km	Abschätzung auf Basis einer Beispielanlage der Region
	Kompostierung	15	km	Abschätzung auf Basis bekannter Standorte
	Müllverbrennungsanlage	85	km	Abschätzung auf Basis einer Beispielanlage der Region

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

A-3 Finanzkenndaten für die Wirtschaftlichkeitsrechnung

Parameter	Wert	Einheit
Fremdfinanzierungsanteil	60	%
Darlehenslaufzeit	10	a
Zinssatz	4,0	%
Leitzins	2,0	%
Eigenfinanzierungsanteil	40	%
Subventionsanteil	0,0	%
Eigenkapitalkostensatz	7,5	%
Körperschafts-/Gewerbsteuer	30	%
Inflation	3,0	%

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

Reihe B: Broschüren und Informationsmaterial

B-1 EBC-Positivliste und Richtlinien

Positivliste zulässiger Biomassen zur Herstellung von Pflanzenkohlen

European Biochar Certificate

Biomassen

Herkunft	Ausgangsmaterial	ID	EBC-Feed	EBC-AgroOrganic	EBC-Agro	EBC-Urban	EBC-ConsumerMaterials	EBC-BasicMaterials	Spezielle Anforderungen und Hinweise	
Landwirtschaft: Biomasse von landwirtschaftlichen Betrieben, einschließlich Reststoffen und Biomassen, die gezielt für die Herstellung von Pflanzenkohle angebaut werden.	Einhährige Energiepflanzen (z.B. Mais, Raps, Zuckerrüben, Sonnenblumen), die spezifisch für die energetische oder stoffliche Biomassennutzung angebaut wurden (NAWARO).	Ag-01	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Für EBC-AgroOrganic nur aus biologischem Anbau. Für C-Senken Zertifizierung muss die Menge der eingesetzten Düngemittel deklariert werden.	
	Mehrhährige Energiepflanzen (z.B. Miscanthus, durchwachsene Stiphe, Weizenröhrlin), die spezifisch für die energetische oder stoffliche Biomassennutzung angebaut wurden (NAWARO).	Ag-02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Für EBC-AgroOrganic nur aus biologischem Anbau. Für C-Senken Zertifizierung muss die Menge der eingesetzten Düngemittel deklariert werden.	
	Holzige Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen (KUP)	Ag-03	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Für EBC-AgroOrganic nur aus biologischem Anbau. Für C-Senken Zertifizierung muss die Menge der eingesetzten Düngemittel deklariert werden.	
	Baum-, Reben- und Strauchschnitt	Ag-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Insbesondere auf Schwermetalle aus Pflanzenschutzspritzungen achten.	
	Ernterückstände wie Stroh, Kraut, Blätter, Spelzen, Strünke	Ag-05	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Insbesondere auf Schwermetalle aus Pflanzenschutzspritzungen achten.	
	Altstroh, und Getreidestaub	Ag-06		✓	✓	✓	✓	✓	Arbeitsschutz bei stark staubenden Biomassen beachten.	
	Gemüse	Ag-07		✓	✓	✓	✓	✓	Nur Rest- und Abfallstoffe, die nicht oder nicht mehr als Futtermittel verwendet werden können. Für EBC-AgroOrganic nur aus biologischem Anbau	
	Saatgut	Ag-08		✓	✓	✓	✓	✓	Dies betrifft nur verfallenes Saatgut. Für EBC-AgroBio nur Saatgut aus biologischem Anbau.	
Forstwirtschaft und Holzverarbeitung: Naturbelassene Rinde und Holz, unbehandelt oder mechanisch behandelt, aus forstwirtschaftlichen Betrieben, Sägewerken oder ähnlichen Betrieben	Rinde	F-01	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	Holzschäl- und Häckselgut, nur mechanisch behandeltes Holz (reines Feuerholz)	F-02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nur aus zertifiziertem, nachhaltigem Anbau. Zugelassen ist das FSC und das PEFC-Siegel, weitere auf Antrag.	
	Holz, Holzreste aus mechanischer Bearbeitung (Altholz A1)	F-03	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nur aus zertifiziertem, nachhaltigem Anbau. Zugelassen ist das FSC und das PEFC-Siegel, weitere auf Antrag. Für EBC-Feed: nur aus definierten, gut dokumentierten Quellen, Biomasse aus kommunaler Sammlung nicht erlaubt.	
	Sägemehl, Sägespäne, Holzwole aus nicht-chemisch behandeltem Holz	F-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Für EBC-Agro, EBC-AgroBio und EBC-Feed nur aus naturbelassenem Holz	
Landschaftspflege: Reststoffe, die in Gemeinden, beim Unterhalt von Grundstücken, im Gartenbau und bei Naturschutzvereinen anfallen	Laub	S-01		✓	✓	✓	✓	✓	Kein Strassenwischgut. Im Betriebshandbuch können besondere Maßnahmen zur Kontrolle des Laubs auf Verunreinigungen bestimmt werden.	
	Wurzelstöcke	S-03		✓	✓	✓	✓	✓	Der Erdanteil gilt als Zusatzstoff und darf nicht mehr als 10% der TS betragen.	
	Schnittgut aus Naturschutzpflege	S-04	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓	Für EBC-Feed: nur aus definierten, gut dokumentierten Quellen, Biomasse aus kommunaler Sammlung nicht erlaubt.	
	Landschaftspflegematerial allgemein	S-05	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓	Für EBC-Feed: nur aus definierten, gut dokumentierten Quellen, Biomasse aus kommunaler Sammlung sowie Straßenbegleitgrün nicht erlaubt.	
Recycling-Wirtschaft: Restbiomasse, organische Rückstände und Abfälle aus industriellen Prozessen ("definierte Quellen") oder aus der Sammlung/Trennung durch spezialisierte Recyclingunternehmen	Urbanes Grüngut	R-01		✓	✓	✓	✓	✓	Ohne Rüst- und sonstige Abfälle aus Biomasseverarbeitung	
	Altpapier	R-02			(✓)	(✓)	✓	✓	Für EBC-Agro nur Teilsortimente (Papier mit geringem mineralischem Füllstoffanteil und ohne Lacke) und mit geringen Fremdstoffanteile: Gesamtgehalt an synthetischen Beschichtungen, Lacken und Kunststoffverunreinigungen max. 1% (10% für EBC-ConsumerMaterials und EBC-BasicMaterials, bei Überschreitung der 1%-Grenze ist eine Einzelgenehmigung erforderlich), nähere Regelungen werden bei Bedarf im Betriebshandbuch getroffen.	
	Unbehandeltes Altholz, Sägespäne, Rinde, Holzwole (Altholz Klasse A1)	R-03		✓	✓	✓	✓	✓		
	Behandeltes Altholz (geleimt, gestrichen, beschichtet) ohne PVC oder Schwermetallanreicherung oder Holzschutzmittel (Altholz Klasse A2)	R-04			(✓)	(✓)	✓	✓	Für EBC-Agro und EBC-Urban nur Teilsortimente aus definierten Quellen (z.B. reine Sperrholzabfälle) ohne Beschichtung und max. 1% synthetisches Bindemittel (Klebstoff). Synthetisches Bindemittel und Beschichtung dürfen in Summe 10% für EBC-ConsumerMaterials und EBC-BasicMaterials nicht überschreiten, bei Überschreitung der 1%-Grenze ist eine Einzelgenehmigung erforderlich, nähere Regelungen werden bei Bedarf im Betriebshandbuch getroffen.	
	Behandeltes Altholz (geleimt, gestrichen, beschichtet) mit PVC-Anteilen und/oder Schwermetallanreicherung, ohne Holzschutzmittel (Altholz Klasse A3)	R-05				(✓)	(✓)	✓	Für EBC-Urban und EBC-ConsumerMaterials ist eine Einzelzulassung erforderlich. Synthetische Bindemittel, Beschichtungen und/oder Kunststoffverunreinigungen dürfen bei EBC-Urban 1% und bei EBC-ConsumerMaterials/EBC-BasicMaterials 10% nicht überschreiten, nähere Regelungen werden bei Bedarf im Betriebshandbuch getroffen und können insbesondere häufigere Analysen auf PCDD/F und Schwermetalle umfassen.	
	Altholz mit Holzschutzmitteln (Altholz Klasse A4)	R-06				(✓)	(✓)	✓	Für EBC-Urban und EBC-ConsumerMaterials ist eine Einzelzulassung erforderlich. Der Hersteller muss den vollständigen thermischen Abbau von Holzschutzmitteln durch die angewandten Pyrolysebedingungen nachweisen. Synthetische Bindemittel, Beschichtungen und/oder Kunststoffverunreinigungen dürfen bei EBC-Urban insgesamt 1% und bei EBC-ConsumerMaterials sowie EBC-BasicMaterials insgesamt 10% nicht überschreiten, nähere Regelungen werden bei Bedarf im Betriebshandbuch getroffen und können insbesondere häufigere Analysen auf PCDD/F und Schwermetalle umfassen.	
	Reststoffe aus industrieller Biomasseverarbeitung	R-07		(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	Jeder einzelne Reststoff muss von der EBC bewertet werden. Es muss eine Sondergenehmigung erteilt werden, welche die Zusatzstoffe, Verarbeitung und Kontrolle regelt. R-07-Ausgangsstoffe sind nur mit dem unterzeichneten EBC-Prozessbewertung zugelassen.
	Papierfaserschlamm	R-08		✓	✓	✓	✓	✓	✓	Nur aus chemisch unbehandeltem Holzfasern, eine Schadstoffanalyse des Papierfaserschlammes muss vorliegen
Küchen- und Kantinenabfälle	Küchen-, Kantinen und Restoranturückstände	K-01			✓	✓	✓	✓	Verunreinigung durch Plastik darf 1% nicht überschreiten (10% für EBC-ConsumerMaterials und EBC-BasicMaterials, Einzelgenehmigung erforderlich).	
Nahrungs- und Genussmittelverarbeitung auf pflanzlicher Basis: aus Lebensmittelhandwerk und -industrie, dem Lebensmittelgroßhandel, Supermärkten, Convenience Stores usw.	Material aus Wasch-, Reinigungs-, Schäl-, Zentrifugier- und Abtrennprozessen	N-01		✓	✓	✓	✓	✓	Der Erd- oder Sandanteil gilt als Zuschlagstoff und darf 10% der TM nicht überschreiten.	
	Trester, Kerne, Schalen, Schrote oder Pressrückstände (z.B. von Ölmühlen, Treber)	N-02	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	Überlagerte Nahrungs-, Lebens- und Genussmittel	N-03		✓	✓	✓	✓	✓	Nur pflanzliche Lebensmittel. Die Verunreinigung durch Plastik darf 1% nicht überschreiten (10% für EBC-ConsumerMaterials und EBC-BasicMaterials, Einzelgenehmigung erforderlich).	
	Fabrikationsrückstände aus der Herstellung von Nahrungsmittelkonserven	N-04		✓	✓	✓	✓	✓	nur rein pflanzliche Rückstände	
	Wurzelmittelrückstände	N-05	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	Rückstände aus der Kartoffel-, Mais- oder Reistärkeherstellung	N-06	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	Obst-, Getreide- und Kartoffelschlempen, Alkoholbrennereirückstände	N-07	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	Maltztreber-kerne und -staub aus der Bierproduktion Hopfentreber, Trub und Schlamm aus Brauereien	N-08	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	Trester, Weintrub, Schlamm aus der Weinbereitung	N-09	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	Tabak, Tabakstaub, -grün, -rippen, -schlamm	N-10		✓	✓	✓	✓	✓		
	Tee- und Kaffeesatz	N-11		✓	✓	✓	✓	✓		
	Früchte	N-12	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

	Melasserückstände	N-13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Speiseplätzsubstrate	N-15		✓	✓	✓	✓	✓	Die Anrechenbarkeit für EBC-C-Senken muss separat geprüft werden, Kohlenstoff aus Torf darf nicht angerechnet werden.
	Rückstände aus der Verarbeitung von Kaffee (Süßholzwurzeln), Kakao (Pressrückstände) oder Tee	N-16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Bewirtschaftung von Gewässern	Rechengut, Schwemmgut, Abfischgut, Mähgut	W-01		✓	✓	✓	✓	✓	Die Verunreinigung durch Plastik darf 1% nicht überschreiten (10% für EBC-ConsumerMaterials und EBC-BasicMaterials, Einzelgenehmigung erforderlich).
	Wasserpflanzen	W-02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Für EBC-Fütter: nur aus Aquakultur oder spezieller Sammlung von Wasserpflanzen, um Verunreinigungen streng zu vermeiden.
Textilindustrie	Zellulose-, Baumwoll- und Pflanzenfasern	T-01		✓	✓	✓	✓	✓	Der Anteil an Kunstofffasern darf maximal 1% (EBC-Material: 15%) betragen. Für AgroBio dürfen die Fasern nicht gefärbt oder anderweitig chemisch behandelt sein.
	Fasern von Hanf, Sisal, etc.	T-02		✓	✓	✓	✓	✓	
Biogasanlagen	Nicht tierische Gärreste	G-01		(✓)	✓	✓	✓	✓	Der Anteil an tierischem Ausgangsmaterial für die Biogasanlage muss weniger als 40% betragen. Die Verunreinigung des Gärrestes durch Kunststoffe darf 1% nicht überschreiten (10% für EBC-ConsumerMaterial und EBC-BasicMaterials, Einzelgenehmigung erforderlich). Für EBC-AgroBio dürfen nur Gärreste aus landwirtschaftlichen Biomassen oder für die EBC-AgroBio Produktion zugelassenen Biomassen verwendet werden.

Zuschlagstoffe

Zuschlagstoffe dienen der Verbesserung der Pyrolysebedingungen und Pflanzenkohle-Qualität. Ihr Anteil an der pyrolysierten Biomasse darf insgesamt 10% TM nicht übersteigen. Höhere Dosierungen erfordern eine Einzelgenehmigung.

Gruppe	Ausgangsmaterialien								Spezielle Anforderungen
Mineralisch-organische Bestandteile	Kalk	Z-01		✓	✓	✓	✓	✓	
	Bentonit	Z-02		✓	✓	✓	✓	✓	
	Gesteinsmehle	Z-03		✓	✓	✓	✓	✓	
	Ton	Z-04		✓	✓	✓	✓	✓	
	Lehm	Z-05		✓	✓	✓	✓	✓	
	Boden	Z-06		✓	✓	✓	✓	✓	
	Holz- und Pflanzenaschen	Z-07		✓	✓	✓	✓	✓	Nur zertifizierte Aschen. Zugelassen sind RAL-gütesichere Aschen (Dünger und Düngerausgangsstoff), weitere ggf. auf Antrag. Betriebshandbuch kann zusätzliche Analysen und Grenzwerte für die Asche (in der Schweiz) umfassen.

Die Aufnahme weiterer, in der Positivliste nicht aufgeführter Biomassen und Zuschlagstoffe kann beim Ithaka Institut beantragt werden.

Die Entscheidung über die Aufnahme in die Positivliste sowie mögliche Zusatzanforderungen werden vom wissenschaftlichen Beirat des EBC entschieden.

Bei schwierigen Entscheidungen wie z.B. Klärschlamm oder Viehmist wird ein wissenschaftliches Gutachten erstellt.

Alle Entscheidungen werden begründet und auf der EBC-Webseite publiziert.



Richtlinien

European Biochar Certificate

für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle

Version 10.1G – Stand 10.01.2022

Bitte zitieren als:

EBC (2012-2022) 'European Biochar Certificate – Richtlinien für die Zertifizierung von Pflanzenkohle', Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. <http://www.european-biochar.org>
Version 10.1G vom 10. Januar 2022

Impressum

Die EBC-Richtlinien gelten seit 1. Januar 2012 und sind Grundlage für die Zertifizierung von Pflanzenkohle in Europa und weltweit. Der EBC-Standard wurde vom Ithaka Institut entwickelt und ist im Besitz der Carbon Standard International.

Hans Peter Schmidt*, Ithaka Institute for Carbon Strategies, Switzerland

Thomas Bucheli, Agroscope Zürich, Switzerland

Claudia Kammann, University Geisenheim, Germany

Bruno Glaser, Universität Halle, Germany

Samuel Abiven, Ecole Normale Supérieure, Paris, France

Jens Leifeld, Agroscope Zürich, Switzerland

Gerhard Soja, AIT & University of Natural Resources and Life Science, Vienne, Austria

Nikolas Hagemann, Ithaka Institute, Germany

* korrespondierender Autor: schmidt@ithaka-institut.org

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung der
Carbon Standard International, Switzerland (www.carbon-standards.com)

Copyright: © 2022 Carbon Standards International

Inhaltsverzeichnis

- A. Kurzfassung des EBC-Zertifikates zur Vorbereitung der Kontrolle
 - 1. Ziel der Richtlinien und Zertifizierung
 - 2. Definition von Pflanzenkohle
 - 3. Die EBC-Zertifizierungsclassen
 - 4. Eingesetzte Biomasse
 - 5. Definition von Pflanzenkohle-Chargen und die Einsendung von Analyseproben
 - 6. Probenahme
 - 7. Eigenschaften der Pflanzenkohle
 - 8. Pyrolysetechnik
 - 9. Arbeits- und Anwenderschutz
 - 10. Pflanzenkohle für den Einsatz in der Tierfütterung (EBC-Futter)
 - 11. Zertifizierung von Pflanzenkohle-verarbeitenden Betrieben
 - 12. Markenschutz und Pflichtangaben
 - 13. Kontrolle, Qualitätsmanagement und Zertifizierung
 - 14. Referenzen

ANHANG

- 1. Analytische Methoden – Basispaket
- 2. Analytische Methoden für EBC-Futter
- 3. Analytische Methoden für Zusatzparameter
- 4. Erstellung repräsentativer Proben
- 5. Länderanhang für Schweden

A. Kurzfassung des EBC-Zertifikats für Produzenten von Pflanzenkohle

Betriebe, die zertifizierte Pflanzenkohle verarbeiten und handeln, konsultieren bitte direkt Kapitel 10.

1. Anmeldung

- 1.1 Hersteller von Pflanzenkohle melden sich als Produzent auf der Webseite des EBC an (<https://european-biochar.org/en/ebc-producer/send-batch-request>). Der Hersteller erhält dann sein Login für die EBC-Website, auf der er alle notwendigen Informationen über sein Unternehmen und die von ihm verwendete Pyrolysetechnologie eingeben muss.
- 1.2 Nach einer ersten Überprüfung der technischen Informationen und einem persönlichen Telefonkontakt zwischen dem Herstellern und Carbon Standards International werden die Unternehmensinformationen an die akkreditierte Kontroll- und Zertifizierungsstelle bio.inspecta AG (<https://www.bio-inspecta.ch/de/services>) übermittelt.
- 1.3 Der Produzent erhält von bio.inspecta AG ein Angebot und einen Vertrag für die EBC-Zertifizierung.
- 1.4 Sobald der Produzent den Inspektionsvertrag unterzeichnet hat, koordiniert Carbon Standards International einen Termin für ein technisches Voraudit, das in der Regel über ein Videokonferenzsystem durchgeführt wird.
- 1.5 Im Rahmen des technischen Voraudits wird ein unternehmensspezifischer Qualitätssicherungs- und Probenahmeplan erstellt und in den technischen EBC-Kontrollunterlagen vermerkt. Darüber hinaus erfolgt eine Einweisung in die EBC-Methodik, die EBC-Dokumente und die zu führenden Protokolle sowie das Vorgehen bei der jährlichen Kontrolle durch die bio.inspecta AG.
- 1.6 Der zu zertifizierende Betrieb benennt einen Qualitätsmanager, welcher der direkte Ansprechpartner für die Kontrollstelle bio.inspecta AG ist und den gesamten Zertifizierungsprozess abwickeln wird.

2. Produktionscharge

- 2.1 Eine Produktionscharge beginnt mit deren Anmeldung auf der EBC-Webseite. Hierbei erhält die Produktionscharge eine eindeutige ID-Nummer mit QR-Code.

- 2.2 Eine Produktionscharge dauert inklusive jedweder Produktionsunterbrechung maximal ein Kalenderjahr.
- 2.3 Die Pyrolysetemperatur in °C darf sich während der Produktion um nicht mehr als 20% ändern. Bei einer deklarierten Pyrolysetemperatur von bspw. 600 °C sind damit kurzfristige Schwankungen zwischen 480 °C und 720 °C gestattet.
- 2.4 Die Zusammensetzung der Biomassen darf sich nicht um mehr als um 20% verändern. Wird beispielsweise ein Gemisch aus 50% Getreidespelzen und 50% Landschaftspflegeholz pyrolysiert, dürfen die Anteile um d.h. im Bereich 40% bis 60% ($\pm(50\% \times 20\%) = \pm 10\%$) variieren.
- 2.5 Wenn ein Hersteller von Pflanzenkohle zum ersten Mal eine Pflanzenkohle-Produktionscharge registriert, muss innerhalb der ersten zwei Monate nach der Registrierung eine repräsentative Probenahme durch einen akkreditierten Probenehmer durchgeführt werden.
- 2.6 Nach Ablauf einer Produktionscharge muss eine darauffolgende, neue Produktionscharge wiederum auf der EBC-Webseite angemeldet werden.
- 2.7 Wenn die neue Produktionscharge mit denselben Parametern wie die vorhergehende Charge hergestellt wird, ist die Analyse der vorhergehenden Charge gültig, bis eine Probe der neuen Charge entnommen und analysiert wird.
- 2.8 Die Probenahme einer neuen Charge, die auf eine mit denselben Parametern hergestellte Produktionscharge folgt, sollte innerhalb eines Jahres nach der letzten Probenahme und Analyse erfolgen. Die Probenahme sollte während des Inspektionsbesuchs abgeschlossen werden.

3. Probenahme und Einsendung der Probe zur Analyse

- 3.1 Die repräsentative Probe einer Produktionscharge wird beim Erstaudit und danach während jeder Jahreskontrolle durch einen akkreditierten Probenehmer nach dem im Erstaudit vertraglich festgelegten Probenahmeplan gezogen und an ein EBC akkreditiertes Labor geschickt.
- 3.2 Der Probenehmer ist entweder dieselbe Person wie der von der Kontrollstelle bio.inspecta AG entsandte Kontrolleur oder ein firmeninterner oder externer Probenehmer, der erfolgreich an der offiziellen EBC-Probenahmeschulung teilgenommen hat.
- 3.3 Die Probe muss auf der EBC-Website registriert werden, wo die Proben-ID und der Laborauftrag für die EBC-Analyse generiert werden.

- 3.4 Die versiegelte Probe muss zusammen mit der EBC-Proben-ID und dem Auftrag für die Analyse an das ausgewählte akkreditierte EBC-Labor geschickt werden.
- 3.5 In Entsprechung mit dem vertraglich festgelegten Probenahme- und Gütesicherungsplan sorgen die Produktionsbetriebe für die Entnahme und versiegelte Lagerung regelmäßiger (in der Regel täglicher) Rückstellproben.

4. Zulässige Biomassen für die Herstellung von Pflanzenkohle

- 4.1 Alle Biomassen, die auf der EBC-Positivliste verzeichnet sind, dürfen einzeln oder gemischt als Ausgangsstoff zur Herstellung von EBC-Pflanzenkohle verwendet werden. Für jede Zertifizierungsklasse gelten bestimmte Einschränkungen, die aus der EBC-Positivliste hervorgehen. So dürfen zum Beispiel für EBC-Futter nicht alle Biomassen verwendet werden, die für EBC-Rohstoff eingesetzt werden dürfen. Innerhalb einer Charge darf die Art Biomasse nicht verändert werden, bzw. dürfen sich die Mischungsverhältnisse um nicht mehr als 20% verändern (vgl. 2.5).
- 4.2 Mineralische Zusätze gemäß EBC-Positivliste dürfen zugesetzt werden. Bei einem Zusatz von mehr als 10% bezogen auf die Pflanzenkohle-Masse wird die Genehmigung durch Carbon Standard International erforderlich. Bei EBC-Futter sind keine mineralischen Zusätze zugelassen.

5. Vorgaben an die Pyrolysetechnik

- 5.1 Die Nutzung der Abwärme oder Nutzung der flüssigen und gasförmigen Pyrolyseprodukte muss gewährleistet werden.
- 5.2 Die national festgelegten Emissionsgrenzwerte müssen eingehalten werden.

6. Eigenschaften der Pflanzenkohle

- 6.1 Die Pflanzenkohlen für alle Zertifizierungsklassen müssen mindestens nach dem EBC-Basic Analysepaket analysiert werden. Für EBC-Futter sind zusätzlich die Analysen des EBC-Futterpakets erforderlich.
- 6.2 Folgende Grenzwerte sind einzuhalten:

EBC-Zertifizierungsklasse	EBC-Futter	EBC-AgroBio	EBC-Agro	EBC-Urban	EBC-Gebrauchsmaterial	EBC-Rohstoff	
Elementaranalyse	Angabe von Ctot, Corg, H, N, O, S, Asche						
	H/Corg	< 0.7					
Physikalische Parameter	Wassergehalt, Trockensubstanz, Schüttdichte (@ < 3mm Partikelgröße), WHC, pH, Salzgehalt, elektrische Leitfähigkeit des Feststoffes						
TGA	Muss für das erste Batch einer Pyrolyseanlage vorgelegt werden.						
Nährstoffe	Angabe von N, P, K, Mg, Ca, Fe						
Schwermetalle	Pb	10 g t-1 (88% TS)	45 g t-1 TS	120 g t-1 TS	120 g t-1 TS	120 g t-1 TS	Pflichtangabe, keine Grenzwert für Zertifizierung
	Cd	0.8 g t-1 (88% TS)	0.7 g t-1 TS	1,5 g t-1 TS	1,5 g t-1 TS	1,5 g t-1 TS	
	Cu	70 g t-1 TS	70 g t-1 TS	100 g t-1 TS	100 g t-1 TS	100 g t-1 TS	
	Ni	25 g t-1 TS	25 g t-1 TS	50 g t-1 TS	50 g t-1 TS	50 g t-1 TS	
	Hg	0.1 g t-1 (88% TS)	0.4 g t-1 TS	1 g t-1 TS	1 g t-1 TS	1 g t-1 TS	
	Zn	200 g t-1 TS	200 g t-1 TS	400 g t-1 TS	400 g t-1 TS	400 g t-1 TS	
	Cr	70 g t-1 TS	70 g t-1 TS	90 g t-1 TS	90 g t-1 TS	90 g t-1 TS	
	As	2 g t-1 (88% TS)	13 g t-1 TS	13 g t-1 TS	13 g t-1 TS	13 g t-1 TS	
Organische Schadstoffe	16 EPA PAK	Angabe	4±2 g t-1 TS	6.0+2.2 g t-1 TS	Deklaration	Deklaration	not required
	8 EFSA PAK	1.0 g t-1 TS				4 g t-1 TS	
	Benzo[e]pyren, Benzo[<i>k</i>]fluoranthen	< 1.0 g t-1 TS for jede der beiden Substanzen					
	PCB, PCDD/F	Siehe Kapitel 10	Einmalige Analyse für erstes Batch einer Produktionsanlage. Für PCB: 0.2 mg kg-1 TS, für PCDD/F: 20 ng kg-1 (I-TEQ OMS).				

Tab.1: Übersicht über die wichtigsten analytischen Parameter für EBC Pflanzkohle.

6.3 Zusätzliche oder strengere Grenzwerte, die nur für bestimmte Länder gelten, sind im jeweiligen Länderanhang geregelt (siehe Anhang A5ff).

6.4 Pflanzkohle der Klassen EBC-Feed, EBC-Agro, EBC-AgroBio und EBC-Urban muss auf einen Wassergehalt eingestellt werden, der die Staubbildung und damit auch die Selbstentzündung verhindert (empfohlen sind 30%). Pflanzkohle der Klassen EBC-Gebrauchsmaterial und EBC-Rohstoff darf mit einem geringeren Wassergehalt verkauft werden, sofern entsprechende Sicherheitsvorkehrungen, insbesondere im Hinblick auf Explosions- und Gesundheitsschutz, getroffen wurden. Diese Pflanzkohlen dürfen nur dann an Geschäftskunden (B2B) verkauft werden, wenn diese die entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen treffen.

7. Arbeitsschutz

7.1 Die Arbeiter müssen schriftlich bestätigen, über etwaige Gefahren am Arbeitsplatz aufgeklärt worden zu sein und über entsprechend notwendige Schutzkleidung zu verfügen.

1. Ziel der Richtlinien und der Zertifizierung

Holz- und Pflanzenkohle gehören seit über zwei Jahrtausenden zu den grundlegenden Rohstoffen der Zivilisation. Der weitaus größte Teil der Holzkohle wurde zum Kochen, zum Heizen und zur Metallherstellung verwendet. Ein Teil der Holz- und Pflanzenkohlen wurde aber auch schon vor Jahrhunderten als Bodenverbesserer, als Stall- und Sanitärstreu, Heilmittel und auch als Futterergänzung verwendet. Im letzten Jahrhundert ging viel von diesem traditionellen Wissen verloren und ist erst um die Jahrtausendwende wieder neu entdeckt worden.

Dank umfangreicher multidisziplinärer Forschungen und praktischer Versuche ist es gelungen, die biologischen und physikalisch-chemischen Abläufe beim Einsatz von Pflanzenkohle besser zu verstehen und Schritte zu ihrem Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis einzuleiten. Seit 2015 wurde bereits eine deutliche Zunahme der landwirtschaftlichen Verwendung von Pflanzenkohle verzeichnet. Ab 2020 wird eine weitere Beschleunigung sowohl des landwirtschaftlichen als auch des industriellen Einsatzes von Pflanzenkohle erwartet. Die landwirtschaftlichen Anwendungen reichen dabei von der Bodenverbesserung, dem Einsatz als Kompostierzusatz und als Trägerstoff für Düngemittel oder Gülle bis hin zur Stalleinstreu, zu Silagehilfsstoffen und zu Futtermittelzusätzen. Die industrielle Anwendung betrifft insbesondere die Sektoren der Bau- und Kunststoff- sowie der Papier- und Textilindustrie.

Die meisten traditionellen Methoden zur Herstellung von Holz- und Pflanzenkohle waren hinsichtlich ihrer Kohlenstoffeffizienz und vor allem hinsichtlich ihrer Umweltbilanz ungenügend und sind entsprechend ungeeignet, um die zu erwartenden Mengen an Pflanzenkohle für Industrie und Landwirtschaft zu produzieren. Erst durch moderne Pyrolyseanlagen und -methoden kann Pflanzenkohle aus einer großen Vielfalt von Biomassen energieeffizient und ohne Belastung für die Umwelt hergestellt werden. Da sowohl die Eigenschaften der Pflanzenkohle als auch die Umweltbilanz ihrer Herstellung stark abhängig von der technischen Steuerung der Pyrolyse und den verwendeten Biomassen sind, war es notwendig, ein sicheres Kontrollsystem für die Herstellung und Analyse von Pflanzenkohle einzuführen.

Mit den vorliegenden Richtlinien für die Erlangung des Europäischen Pflanzenkohle-Zertifikates bietet Carbon Standard International eine wissenschaftlich fundierte, praxisnahe und gesetzeskonforme Kontrollgrundlage an. Durch das EBC-Zertifikat kann die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle sichergestellt werden. Damit können Pflanzenkohle-Produzenten die Qualität der Pflanzenkohle gegenüber Anwendern und Behörden nachweisen und garantieren.

Die Pflanzenkohle-Technologie entwickelt sich weiterhin sehr rasch. Weltweit werden in zahlreichen Forschungsprojekten die Eigenschaften von Pflanzenkohlen und deren Wechselwirkungen mit anderen Substanzen, Materialien und der Umwelt untersucht. Monatlich erscheinen neue Versuchsergebnisse und hunderte wissenschaftliche Studien zum Thema werden veröffentlicht. Jedes Jahr streben neue Hersteller von Pyrolyseanlagen auf den Markt, und die Einsatzbereiche für Pflanzenkohle und von pflanzenkohle-basierten Produkte wachsen. Das vorliegende Pflanzenkohle-Zertifikat ist mit dieser wissenschaftlichen und technischen Dynamik eng verknüpft und wird dementsprechend jedes Jahr nach den neuesten Erkenntnissen und Entwicklungen überarbeitet. Grenzwerte und Analysemethoden werden jeweils an die neuesten Erkenntnisse angepasst oder wenn nötig neu eingeführt.

Das Ziel der Richtlinien besteht in der Gewährleistung einer wissenschaftlich stichhaltigen, gesetzlich abgesicherten, wirtschaftlich verantwortbaren und praktisch umsetzbaren Kontrolle der Produktion und Qualität von Pflanzenkohle. Für Anwender von Pflanzenkohle und Produkten auf Basis von Pflanzenkohlen soll eine transparente und nachvollziehbare Kontrolle und Qualitätsgarantie ermöglicht werden.

2. Definition von Pflanzenkohle

Pflanzenkohle ist ein poröses, kohlenstoffhaltiges Material, das durch Pyrolyse aus klar definierten, pflanzlichen Biomassen hergestellt und so angewendet wird, dass der enthaltene Kohlenstoff langfristig und klimarelevant als C-Senke gespeichert bleibt oder in industriellen Fertigungsprozessen fossilen Kohlenstoff ersetzt.

Pflanzenkohlen werden durch Pyrolyse pflanzlicher Biomassen hergestellt. Als Pyrolyse gilt hierbei die thermochemische Konversion von Biomassen bei stark reduziertem Sauerstoffgehalt und bei Temperaturen zwischen 350°C und 1000 °C. Torrefizierung und Hydrothermale Karbonisierung sind verwandte Verkohlungsprozesse, deren Endprodukte nach der vorliegenden Definition nicht als Pflanzenkohle bezeichnet werden und nicht Teil der vorliegenden Richtlinien sind. Biomasse-Vergasung wird hier als ein Spezialfall der Pyrolyse verstanden und kann, wenn sie für die Herstellung von Pflanzenkohle optimiert ist, ebenfalls nach dem EBC zertifiziert werden.

Pflanzenkohle wird sowohl durch ihre Qualitätsmerkmale als auch durch ihre Ausgangsprodukte, nachhaltige Herstellung und Anwendung definiert.

Pflanzenkohle ist ein äußerst vielseitiges Material mit einer wachsenden Anzahl von Anwendungen in der Landwirtschaft, der Umwelttechnik und der Grundstoffindustrie. Jede Anwendung, wie z.B. die Verwendung als Bodenverbesserungsmittel, Futtermittel oder als Zusatzstoff für Baumaterialien, Textilien und Kunststoffe, erfordert spezifische Pflanzenkohle-Qualitäten. Daher erfordert jede Anwendung geeignete Zertifizierungsparameter, die spezifiziert, kontrolliert und garantiert werden müssen.

3. Die EBC-Zertifizierungs-klassen

Um mit der wachsenden Zahl der Anwendungen von Pflanzenkohle Schritt zu halten, hat das EBC eine Reihe von Zertifizierungs-klassen eingeführt. Je nach Anforderungen und Sicherheitsvorschriften der verschiedenen Anwendungen gelten unterschiedliche Grenzwerte und andere Kontrollparameter. Mit der Veröffentlichung von EBC v10.0 wurde die Zertifizierungs-klasse EBC-Rohstoff als grundlegende und fundamentale Zertifizierungs-klasse eingeführt. Sie definiert, was gemäß EBC als Pflanzenkohle angesehen werden kann und was nicht. Sie erfüllt alle Anforderungen der EU-REACH-Verordnung [1]. Alle gegenwärtigen und zukünftigen Zertifizierungs-klassen erfüllen mindestens die Anforderungen von EBC-Rohstoff und erfüllen somit auch alle Anforderungen der EU-REACH-Verordnung. Alle EBC-Zertifizierungs-klassen sind zur C-Sink-Zertifizierung berechtigt.

Die Definition einer Zertifizierungs-klasse (z.B. EBC-Urban oder EBC-Gebrauchsmaterialien) trifft eine Aussage über die Zulässigkeit von Pflanzenkohle für einen bestimmten Zweck in Bezug auf geltende Gesetze, Vorschriften und relevante Industrienormen. Die Zuordnung zu einer Zertifizierungs-klasse ist keine Aussage über die Vorzüglichkeit von Pflanzenkohle (d.h. gute, bessere oder beste Pflanzenkohle für einen bestimmten Zweck/eine bestimmte Verwendung), sondern unterscheidet zwischen Pflanzenkohle, die für eine bestimmte Art der Anwendung (z.B. in der Landwirtschaft oder im Bauwesen) zulässig oder unzulässig ist. Jede Anwendung und damit jede Zertifizierungs-klasse hat ihre eigenen Anforderungen. Jede Pflanzenkohle und jedes auf Pflanzenkohle basierende Produkt muss entsprechend der jeweiligen EBC-Zertifizierungs-klasse gekennzeichnet werden. Wenn eine Pflanzenkohle beispielsweise als Baumaterial verkauft wird, muss sie als EBC-Rohstoff gekennzeichnet sein. Eine als EBC-Agro gekennzeichnete Pflanzenkohle kann nicht als Baumaterial gehandelt werden. Als EBC-Futter gekennzeichnete Pflanzenkohle kann nicht als Bodenverbesserungsmittel verkauft werden. Gleichwohl kann die Pflanzenkohle aus einer Produktionscharge die Anforderungen mehrerer Zertifizierungs-klassen zugleich erfüllen. Verschiedene Verpackungseinheiten aus ein und derselben Produktionscharge können daher unter unterschiedlicher EBC-Label-Kennzeichnung verkauft werden (z.B. EBC-Futter, EBC-Agro und EBC-Gebrauchsmaterial). Eine Verpackungseinheit darf jedoch nicht mit mehr als einer Zertifizierungs-klasse gekennzeichnet werden. Einzige Ausnahme ist EBC-AgroBio und EBC-Agro, die beide zugleich auf einer Verpackung abgedruckt werden dürfen.

Pflanzenkohle mit **EBC-Futter** Zertifizierung erfüllt alle Anforderungen der EU-Futtermittelverordnung [2]. Zusätzlich zur EBC-Feed-Zertifizierung muss ein Hersteller von Pflanzenkohle als Futtermittelhersteller gemäß den jeweiligen nationalen Anforderungen zugelassen sein. Zu diesem Zweck rät das EBC den Herstellern von Pflanzenkohle und Futtermitteln auf Pflanzenkohlebasis zu einer ergänzenden GMP+ Zertifizierung als Futtermittelhersteller. EBC und GMP+ arbeiten bei der Analyse und Risikobewertung von Pflanzenkohle zusammen, und beide Seiten empfehlen nachdrücklich die doppelte Zertifizierung von Futtermitteln auf Pflanzenkohlebasis. EBC-Futtermittel-Pflanzenkohle darf nur dann als Bodenverbesserungsmittel verkauft werden, wenn die Zertifizierung bestätigt,

dass die erforderlichen zusätzlichen Zertifizierungsparameter, wie sie für die Zertifizierungsklassen EBC-Agro und EBC-AgroBio definiert sind, erfüllt werden, und die Pflanzenkohle entsprechend gekennzeichnet ist.

Mit **EBC-Agro** und **EBC-AgroBio** zertifizierte Pflanzenkohle erfüllt alle Anforderungen der neuen EU-Düngemittelverordnung [3]. Mehrere EU-Länder wie Österreich, Schweden und Ungarn haben die Verwendung von Pflanzenkohle gemäß den Anforderungen von EBC-Agro auf nationaler Ebene zugelassen. Auf der Grundlage dieser nationalen Zulassungen können diese Pflanzenkohlen exportiert und in allen anderen EU-Ländern verwendet werden. Mehrere EU- und EFTA-Länder haben ihre eigenen Beschränkungen für die landwirtschaftliche Verwendung von Pflanzenkohle. Die Schweiz zum Beispiel verlangt die Zertifizierung nach EBC-AgroBio, erlaubt aber nur holzige Biomasse als Ausgangsmaterial für die Pyrolyse. Deutschland verlangt derzeit einen Mindestgehalt an Kohlenstoff von 80% für Pflanzenkohle («Holzkohle»), die aus unbehandeltem Holz hergestellt werden muss. Schweden hat Grenzwerte festgelegt, die über die EU-Verordnung und EBC-Agro hinausgehen und die im Schweden-Anhang des EBC geregelt sind. Das EBC-AgroBio Zertifikat erfüllt alle Anforderungen der Verordnung der EU-Kommission über den ökologischen Landbau [4]. Die jeweiligen Spezifikationen und Grenzwerte werden kontinuierlich an die Weiterentwicklung der einschlägigen europäischen Gesetzgebung und den wissenschaftlichen Fortschritt angepasst.

EBC-Urban bietet einen strengen Standard für die Verwendung von Pflanzenkohle bei der Baumbepflanzung, bei der Pflege von Parks, der Verschönerung von Gehwegen, für Zierpflanzen und bei der Regenwasserableitung und -filterung. Die Hauptrisiken bei all diesen Verwendungen sind die Verunreinigung des Grund- und Oberflächenwassers und die Risiken bezüglich der Arbeitssicherheit, denen die EBC-Urban-Zertifizierung wirksam vorbeugt. Da die städtische Anwendung von Pflanzenkohle nicht der landwirtschaftlichen Gesetzgebung unterliegt, wurden einige Parameter und ihre jeweiligen Grenzwerte so angepasst, dass sie der speziellen Matrix Pflanzenkohle besser Rechnung tragen. Zum Beispiel ist der EBC-Urban-Grenzwert für PAKs im Wesentlichen auf die acht krebserregenden PAK der 16 EPA-PAK beschränkt, wobei der gleiche Grenzwert wie für EBC-Futter und EBC-Agro verwendet wird. PAK sind in städtischen Umgebungen allgegenwärtig (z.B. durch Reifenabrieb und Autoabgase), und auf städtische Böden aufgebrachte Pflanzenkohle wirkt als Adsorber dieser Umweltgifte, sofern niedrige PAK-Gehalte in der Pflanzenkohle gewährleistet sind (wie es bei Verwendung von Pflanzenkohle mit EBC-Urban Zertifikat der Fall ist).

EBC-Urban zertifizierte Pflanzenkohle darf nicht als Bodenverbesserungsmittel für die Nahrungs- oder Futtermittelproduktion verwendet werden. Wenn Pflanzenkohle in städtischen Gemeinschaftsgärten oder Hausgartenprojekten verwendet werden soll, wird die EBC-Agro oder EBC-AgroBio Qualität empfohlen. EBC-Urban kann auch für die Sanierung von kontaminierten Böden, Sedimenten oder Grundwasser, für die Produktion von Zierpflanzen und für Baumschulen eingesetzt werden. EBC-Agro und EBC-AgroBio zertifizierte Pflanzenkohlen erfüllen alle Anforderungen von EBC-Urban und können für alle städtischen Bodenwendungen verwendet werden.

Die Zertifizierungsklassen **EBC-Gebrauchsmaterial** und **EBC-Rohstoff** decken alle notwendigen Umwelanforderungen für Nicht-Bodenanwendungen ab.

EBC-Gebrauchsmaterial ist für Pflanzenkohle bestimmt, die in Produkten verwendet wird, die in direkten Hautkontakt mit Verbrauchern oder mit Lebensmitteln kommen können. Beispiele wären Kaffeebecher zum Mitnehmen, Computergehäuse aus Kunststoff, Zahnbürsten, Teppiche, Textilien, Blumentöpfe, Wasserrohre usw. Dies gilt jedoch nicht für Medizin- und Gesundheitsprodukte oder Lebensmittel. Die Pflanzenkohle muss eingesetzt werden, dass bei der Verwendung des Produkts kein Kohlestaub freigesetzt wird.

Sowohl EBC-Gebrauchsmaterial als auch EBC-Rohstoff dürfen nicht in der Landwirtschaft oder für andere Bodenanwendungen wie die Pflanzung von Stadtbäumen, die Bodensanierung oder die Rekultivierung von Bergwerken verwendet werden. Nach EBC-Rohstoff zertifizierte Pflanzenkohlen dürfen nicht direkt an Privatkunden (B2C) verkauft werden, sondern werden ausschließlich an andere Unternehmen (B2B) gehandelt, bei denen eine angemessene Handhabung (d.h. Vermeidung von Staubeentwicklung, Atemschutz, Vermeidung von Hautkontakt) gewährleistet werden kann.

Die Zertifizierungsklasse EBC-Rohstoff definiert, was als *Pflanzenkohle* angesehen und als nachhaltiger Rohstoff verwendet werden kann. Andere feste Rückstände aus der Pyrolyse oder Vergasung von Biomasse, die die EBC-Rohstoff-Grenzwerte überschreiten, müssen als (potenziell) giftiger Abfall betrachtet und gemäß den lokalen, nationalen oder internationalen Gesetzen als Abfall entsorgt werden. Pyrolyseprodukte aus Rohstoffen, die nicht auf der EBC-Rohstoff-Positivliste aufgeführt sind (z.B. Industrieabfälle oder fossiler Kohlenstoff wie Braunkohle), sollten nicht als Pflanzenkohle betrachtet werden und dürfen nicht unter dem EBC-Siegel gehandelt werden.

Für alle Zertifizierungsklassen gelten dieselben Kriterien bezüglich Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung in Bezug auf die Produktion von Pflanzenkohle (d.h. Emissionen, Lagerung von Rohstoffen, Definition von Chargen, Kontrolle der Pyrolyseparameter), Probenahme und Inspektion vor Ort.

Zertifizierungsklassen für spezifische Industrien, die Pflanzenkohlequalitäten für die Verwendung in Baumaterialien, Polymeren, Textilien und anderen Materialien definieren, werden ab 2022, je nach Nachfrage der jeweiligen Industrien, entwickelt.

Wenn europäische Pflanzenkohleproduzenten an der Definition und Einbindung neuer Zertifizierungsklassen in das EBC interessiert sind, sollten sie einen Antrag an das EBC senden. Der wissenschaftliche Beirat des EBC wird den Antrag eingehend prüfen und entweder die Zertifizierungsklasse hinzufügen oder die Gründe für die Ablehnung veröffentlichen.

Zur Erlangung des EBC-Zertifikates müssen die in den folgenden Kapiteln dargelegten Kriterien bezüglich der eingesetzten Biomasse, der Produktionstechnik, den Eigenschaften der Pflanzenkohle, des Arbeitsschutzes sowie der Produktkennzeichnung erfüllt werden.

4. Eingesetzte Biomasse

- 4.1 Zur Herstellung von Pflanzenkohle dürfen ausschließlich Biomassen und keine fossilen Kohlenstoffe verwendet werden. Welche Biomassen je nach Zertifizierungsstufe zulässig sind, ergibt sich aus der EBC-Positivliste zulässiger Biomassen zur Herstellung von Pflanzenkohlen (Anhang 1).
- 4.2 Die saubere Trennung von nicht-biogenen Fremdstoffen wie Metallen, Bauschutt, Elektronikschrott etc. muss gewährleistet sein.
- 4.3 Für die Herstellung von EBC-Feed und EBC-Agro Qualitäten dürfen die verwendeten Biomassen keine Farbstoffe, Lösungsmittel oder andere potentiell toxische Verunreinigungen aufweisen.
- 4.4 Für die Herstellung von EBC-Futter, EBC-Agro, EBC-AgroBio und EBC-Urban darf die unvermeidbare Verunreinigung der Biomasse durch Kunststoff- und Gummiabfälle 1% (m/m) nicht überschreiten. Für die Herstellung von Pflanzenkohle für Werkstoffe (EBC-Gebrauchsmaterial, EBC-Rohstoff) können Kunststoff- und Gummianteile von bis zu 10% akzeptiert werden, allerdings sind diese deklarationspflichtig und bedürfen der schriftlichen Genehmigung von Carbon Standards International. Im letzteren Fall kann Carbon Standards International zusätzliche Anforderungen an den Pyrolyseprozess festlegen sowie zusätzliche Analysen verlangen, um die Sicherheit des Produkts und seiner Anwendung zu gewährleisten, und den aus Kunststoffen gewonnenen Kohlenstoff vom C-Senken-Potenzial der Pflanzenkohle abzuziehen. Auf der Grundlage laufender Forschungen, die zeigen, dass Kunststoffe unter definierten Pyrolysebedingungen vollständig eliminiert werden, könnten 2022/23 höhere Grenzwerte für die Kunststoffkontamination des Einsatzmaterials eingeführt werden.
- 4.5 Beim Einsatz von landwirtschaftlichen Primärprodukten (z.B. der Anbau von Biomasse für die Herstellung von Pflanzenkohle und Energie) muss eine nachhaltige Produktion der nachwachsenden Rohstoffe und der Erhalt des Humusgehalts des Bodens gewährleistet sein.
- 4.6 Pflanzenkohle darf nur dann aus Forstholz hergestellt werden, wenn eine nachhaltige Bewirtschaftung des entsprechenden Waldes durch PEFC oder FSC Zertifikate oder durch vergleichbare regionale Standards oder Gesetze nachgewiesen werden kann.
- 4.7 Mineralische Zusätze wie Gesteinsmehle und Aschen, die in der EBC-Positivliste (Anhang 1) aufgeführt sind dürfen zur Lenkung der Pflanzenkohlequalität eingesetzt

werden, sind aber deklarationspflichtig. Wenn sie mehr als 10 % Masse der Pflanzkohle beitragen, bedarf dies der schriftlichen Genehmigung durch Carbon Standard International. Bei einer Zugabe von mehr als 10 % kann Carbon Standard International zusätzliche Qualitätskontrollen hinsichtlich organischer und anorganischer Schadstoffe verlangen. Bei EBC-Futter sind bisher keine mineralischen Zusätze zugelassen.

4.8 Die Eingangsbelege für die verarbeiteten Biomassen und Zuschlagsstoffe müssen vollständig vorliegen und für mindestens fünf Jahre archiviert werden.

Bei der Pyrolyse von nicht-pflanzlichen Biomassen wie Klärschlamm, Wirtschaftsdünger, Gülle einschließlich Biogasgärresten oder Knochen und Schlachthofabfällen können ebenfalls wertvolle Materialien entstehen, die im Interesse der Bioökonomie und des Klimaschutzes genutzt werden könnten. Es ist geplant, diese nicht-pflanzlichen Biomassen in die EBC-Positivliste aufzunehmen, nachdem eine belastbare wissenschaftliche Publikation über die Produktsicherheit und die Bedingungen ihrer Verwendung veröffentlicht wurde.

Wenn Hersteller von Pflanzkohle daran interessiert sind, neue Biomassen oder mineralische Zusatzstoffe in die EBC-Positivliste aufzunehmen, sollten Sie einen Antrag an Carbon Standards International senden. Der wissenschaftliche Beirat des EBC wird den Antrag eingehend prüfen und entweder den Rohstoff hinzufügen oder die Gründe für die Ablehnung veröffentlichen. Carbon Standard International steht bereit, nationale Anhänge zu definieren, um die allgemeine EBC-Zertifizierung mit allfälligen Änderungen nationaler Gesetze und Bestimmungen, z.B. bezüglich zulässiger Ausgangsmaterialien, jeweils zeitnah in Einklang zu bringen.

5. Pflanzenkohle-Charge und deren Anmeldung

Als Definition einer einheitlichen Pflanzenkohle-Charge gilt:

- 5.1 Jeder Produktionscharge muss auf der EBC-Webseite angemeldet werden. Hierbei wird von der EBC eine eindeutige ID-Nummer mit entsprechendem QR-Code für die Produktionscharge zugeteilt. Die ID-Nummer und der QR-Code gewährleisten die Rückverfolgbarkeit des Ausgangsmaterials (Biomasse), der Produktionsbedingungen und der Qualität der Pflanzenkohle.
- 5.2 Eine Produktionscharge dauert inklusive jedweder Produktionsunterbrechung maximal 365 Tage.
- 5.3 Die Pyrolysetemperatur in °C darf sich während der Produktion um nicht mehr als 20% ändern. Bei einer deklarierten Pyrolysetemperatur von bspw. 600 °C sind damit kurzfristige Schwankungen zwischen 480 °C und 720 °C gestattet. Dokumentierte Produktionsunterbrechungen, geplant wie ungeplant, sind gestattet, sofern nach Wiederaufnahme der Produktion der festgelegte Temperaturbereich eingehalten wird. Je nach Produktionsprozess, muss Pflanzenkohle aus dem Anfahr- und Abschaltprozess der Anlage sorgfältig abgetrennt und dokumentiert werden und darf nicht als EBC-Futter, EBC-AgroBio oder EBC-Agro vermarktet werden. Der genaue Umgang mit der Pflanzenkohle aus dem Anfahr- und Abschaltprozess wird im Betriebshandbuch geregelt.
- 5.4 Die Mischung verschiedener, in der EBC-Positivliste geführter Biomassearten, die für die Produktion einer Pflanzenkohle-Charge verwendet werden, darf sich nicht um mehr als um 20% verändern. Wird beispielsweise ein Gemisch aus 50% Getreidespelzen und 50% Landschaftspflegeholz pyrolysiert, dürfen die Anteile im Bereich 40% bis 60% ($\pm(50\% \times 20\%) = \pm 10\%$) variieren.
- 5.5 Wenn ein Hersteller von Pflanzenkohle zum ersten Mal eine Produktionscharge registriert, muss innerhalb der ersten zwei Monate nach der Registrierung eine repräsentative Probenahme durch einen akkreditierten Probenehmer durchgeführt werden.
- 5.6 Nachdem eine Produktionscharge abgelaufen ist, muss eine nachfolgende, neue Produktionscharge auf der EBC-Website registriert werden.
- 5.7 Wenn die neue Produktionscharge mit denselben Parametern wie die vorhergehende Charge hergestellt wird, ist die Analyse der vorhergehenden Charge gültig, bis eine Probe der neuen Charge entnommen und analysiert wurde.

- 5.8 Die Probenahme einer neuen Charge, die auf eine mit denselben Parametern hergestellte Produktionscharge folgt, hat innerhalb eines Jahres nach der letzten Probenahme und Analyse zu erfolgen. Die Probenahme sollte während des Inspektionsbesuchs abgeschlossen werden.
- 5.9 Es muss ein vollständiges Produktionsprotokoll (vorliegen, in dem neben den Temperaturen und der Biomasse-Zusammensetzungen auch die genaue Beschreibung und Zeitpunkte eventueller Komplikationen bei der Herstellung, sowie jedweder Anlagenstillstand dokumentiert sind. Außerdem muss die tägliche Entnahme der Rückstellprobe aufgezeichnet werden (siehe Kapitel 6.3 Rückstellprobe).
- 5.10 Die Produktionsmengen jeder Charge müssen täglich dokumentiert werden.
- 5.11 Am letzten Produktionstag einer Charge müssen Datum und Uhrzeit des Endes einer Pflanzenkohle-Charge auf der EBC-Webseite gemeldet werden. Dabei muss auch die Gesamtproduktionsmenge der damit abgeschlossenen Pflanzenkohle-Charge gemeldet werden.
- 5.12 Produktionschargen können nicht rückwirkend angemeldet werden. Der Beginn einer Produktionscharge ist frühestens der Tag der Anmeldung auf der EBC-Webseite.

Sobald entweder Punkt 5.4 oder Punkt 5.5 nicht mehr erfüllt werden, gilt eine Produktionscharge als abgeschlossen. Es muss eine neue Produktionscharge mit den geänderten Parametern auf der EBC-Webseite angemeldet und ein Termin mit dem akkreditierten Probenehmer vereinbart werden. Der jährliche Kontrollbesuch findet unabhängig von der Anzahl der produzierten Chargen einmal pro Kalenderjahr statt.

6. Probenahme

6.1 Repräsentative Analyseprobe

Seit 1. Januar 2021 müssen die Pflanzkohle-Proben, die zur EBC-Analytik an das akkreditierte Labor eingesendet werden, zwingend von einem akkreditierten Probenehmer durchgeführt werden. Der Probenahmeplan wird während des Erstaudits erarbeitet und muss von Carbon Standard International genehmigt werden, er wird im online Betriebshandbuch dokumentiert. Der akkreditierte Probenehmer hat dabei dem betriebsspezifischen Probenahmeplan zu folgen.

Die akkreditierte Kontrollstelle ist jederzeit berechtigt, selbst und unangekündigt Pflanzkohle- und Biomasseproben zu entnehmen und diese an ein akkreditiertes Labor oder an Carbon Standard International zu senden.

6.2 Einsendung der repräsentativen Probe

Die repräsentativen Analyseproben müssen vom akkreditierten Probenehmer versiegelt und vor dem Versand auf der EBC-Webseite angemeldet werden. Der Produzent sendet die versiegelte Probe an das von ihm ausgewählte EBC-akkreditierte Labor.

6.2.1. Die Anmeldung zur Einsendung der Analyseprobe erfolgt bei der Anmeldung einer neuen Produktionscharge auf der EBC-Webseite.

6.2.2. Als EBC-Analyseproben gelten nur diejenigen Proben, die über die EBC-Webseite angemeldet und denen so eine eindeutige ID-Nummer zugeteilt wurde.

6.2.3. Das akkreditierte Labor sendet die Analyseergebnisse an den Betrieb und in Kopie an die akkreditierte Kontrollstelle, Carbon Standards International und an das Ithaka Institut.

6.2.4. Das Ithaka Institut hat das Recht, die Analyseergebnisse anonymisiert für statistische Auswertungen zu verwenden.

6.3 Rückstellprobe

Zusätzlich zur EBC-Analyse-Probe sind die Hersteller verpflichtet, selbst regelmäßig (in der Regel tägliche) Rückstellproben zu ziehen und diese für mindestens zwei Jahre

aufzubewahren. Die genaue Vorschrift wird beim Erstaudit festgelegt. Sollte beim Erstaudit kein abweichendes Protokoll festgelegt werden, gilt:

Täglich ist eine frische Probe von einem Liter entweder aus dem Querstrom oder von der gesammelten Tagesproduktion zu entnehmen. Die Querstromprobe kann sowohl manuell als auch automatisiert aus der Tagesproduktion entnommen werden [5].

Der tägliche Entnahmezeitpunkt ist im Produktionsprotokoll einzutragen. Die Tagesproben sind für jeweils einen Monat in einem Probebehälter als Mischprobe zu sammeln. Nach einem Monat ist die Mischprobe zu versiegeln. Die nächsten 30 Querstromproben werden in einem neuen Probebehälter gesammelt, bis auch dieser versiegelt und gelagert wird.

Die monatliche Rückstellproben von mindestens 30 Litern müssen mindestens zwei Jahre trocken und geschützt aufbewahrt werden. Die Rückstellproben dienen insbesondere dem Schutz des Produzenten, um bei etwaigen Beanstandungen durch Behörden oder Kunden jeweils dezidiert nachweisen zu können, dass die entsprechende Pflanzenkohle nach der Produktion frei von Schadstoffen war und der durch das EBC-Zertifikat garantierten Qualität entsprach.

Beim Erstaudit können betriebsspezifische Vorschriften zur Erstellung und Lagerung der Rückstellproben festgelegt werden.

7. Eigenschaften der Pflanzenkohle

Ziel des EBC-Zertifikats ist es, die Einhaltung aller umweltrelevanten Grenzwerte zu garantieren sowie diejenigen Produkteigenschaften zu deklarieren, die für die jeweilige Zertifizierungsstufe relevant sind und mit vertretbarem finanziellem Aufwand analysiert werden können.

Es gäbe darüber hinaus noch zahlreiche weitere Analysemöglichkeiten, um Pflanzenkohle noch umfassender zu charakterisieren und klassifizieren. Allerdings würde dies den Kostenrahmen des EBC sprengen. Wir wollen nicht alles Mögliche, sondern nur alles Nötige analysieren, regeln und gewährleisten.

Die genannten Grenzwerte sind nur in Verbindung mit den zulässigen Prüfverfahren und zulässigen analytischen Methoden gültig. Diese sind für die einzelnen Parameter in den Anhängen 1-3 detailliert.

Zusätzliche oder verschärfte Grenzwerte, die nur für bestimmte Länder gelten, sind im jeweiligen Länderanhang geregelt (siehe Anhang A5ff).

7.1 Der Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) der Pflanzenkohle muss deklariert werden.

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff von Pflanzenkohlen schwankt je nach verwendeter Biomasse und Prozesstemperatur zwischen etwa 35 und 95% der Trockenmasse. So liegt z.B. der Kohlenstoffgehalt von pyrolysiertem Stroh meist zwischen 40 und 50% sowie der von Holz und Nusschalen zwischen 70 und 90%.

In früheren Versionen des EBC-Zertifikats galt für Pflanzenkohlen ein Mindestgehalt an organischem Kohlenstoff von 50%. Alle unter diesem Grenzwert liegenden Pyrolyseprodukte galten unter der alten Definition als Pyrolysate (pyrogenic carbonaceous materials, PCM). Zahlreiche in den letzten Jahren veröffentlichte Fachartikel zeigen allerdings, dass der Kohlenstoffgehalt kein hinreichendes Kriterium für eine solche Unterscheidung darstellt. Gerade Pflanzenkohlen aus Ernteresten wie Stroh und Getreidehülsen zeigten sich für verschiedene landwirtschaftliche und industrielle Anwendungen als vorzüglich geeignet, obwohl der Kohlenstoffgehalt meist unter 50% liegt. Da die Nutzung von Ernteresten und sonstigen sekundären, pflanzlichen Biomassen sowohl für den Klimaschutz als auch für die Schließung der Nährstoffkreisläufe erstrebenswert ist, ist der frühere Grenzwert von 50% nicht mehr zeitgemäß.

7.2 Das molare H/C_{org} -Verhältnis muss kleiner als 0,7 sein.

Aus dem molaren H/C_{org} -Verhältnis lässt sich die Intensität der Pyrolyse und somit auch die Stabilität der Pflanzenkohle ableiten. Das Verhältnis gehört zu den wichtigsten Charakterisierungsmerkmalen von Pflanzenkohle und ist unablässig für die Bestimmung des C-Senken Potentials. Die Werte schwanken je nach Biomasse und Verfahren. Höhere Werte als 0,7 lassen auf minderwertige Kohlen und mangelhafte Pyrolyse-Verfahren schließen [6].

7.3. Das molare O/C_{org} -Verhältnis muss kleiner als 0,4 sein.

Ergänzend zum molaren H/C_{org} -Verhältnis ist auch das molare O/C_{org} -Verhältnis für die Charakterisierung von Pflanzenkohle und ihre Unterscheidung zu anderen kohleartigen Produkten relevant [6]. Da die direkte Messung des O-Gehaltes teuer und derzeit nicht standardisiert ist, wird die Berechnung des O-Gehaltes aus dem C, H, N, S und Asche-Gehalt akzeptiert.

Durch Nachbehandlung der Pflanzenkohle sowie durch Ko-Pyrolyse mit oxidativen oder katalytisch wirkenden Zusatzstoffen kann das O/C_{org} -Verhältnis teils auch über 0,4 liegen. In diesem Fall würde die EBC eine Plausibilitätsprüfung durchführen und eine entsprechende Ausnahmegewilligung erteilen, sofern Produktqualität und Umweltschutz gewährleistet sind.

7.4 Flüchtige Organische Verbindungen (VOC) werden durch TGA bestimmt.

Während des Pyrolyseprozesses werden polyaromatische Kohlenstoffverbindungen, Karbonate und eine Vielzahl flüchtiger organischer Verbindungen produziert. Letztere sind hauptsächlich im Pyrolysegas enthalten, welches teilweise an den Oberflächen und in den Poren der Pflanzenkohle kondensiert. Diese aus dem Pyrolysegas kondensierten VOC sind ein integraler Bestandteil von Pflanzenkohle und für verschiedene Funktionen der Pflanzenkohle von Bedeutung [7,8].

Eine quantitative Bestimmung der VOC ist allerdings nicht mit vertretbarem Aufwand durchzuführen. Es ist jedoch bekannt, in welchem Temperaturbereich mit welcher Art von VOC zu rechnen ist. Zur unabhängigen Abschätzung der realen Pyrolysetemperatur, die aus verschiedenen Gründen von der am Reaktor gemessenen Temperatur abweichen kann, wird eine Thermogravimetrische Analyse (TGA) verwendet, bei der durch schrittweise Temperaturerhöhung unter Luftabschluss der Gewichtsverlust durch das Austreiben flüchtiger Verbindungen der Pflanzenkohle bestimmt wird. Anhand des TGA Diagramms kann sowohl der absolute Gehalt an VOC sowie die Temperatur bestimmt werden, derer die Pflanzenkohle während der Pyrolyse maximal ausgesetzt war.

Der VOC Gehalt und deren Temperatur abhängige Entgasung sind somit vor allem ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung des Pyrolyseprozesses. Aus diesem Grund wird es als

ausreichend erachtet, wenn die TGA-Analyse nur im ersten Kontrolljahr einer Produktionsstätte durchgeführt wird.

7.5 Die Nährstoffgehalte der Pflanzenkohle müssen zumindest für die Elemente Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium, Eisen und Kalzium deklariert werden.

Die Schwankungen der Nährstoffgehalte verschiedener Pflanzenkohlen können sehr hoch sein. Die Nährstoffe können bis zu einem Drittel des Gesamtgewichts ausmachen. Es ist zu beachten, dass diese Nährstoffe aufgrund kovalenter Bindungen (v.a. bei Stickstoff) und/oder der hohen Adsorptionskapazität der Pflanzenkohle nur bedingt pflanzenverfügbar sind und möglicherweise nur über Jahrzehnte wieder in den biologischen Kreislauf eingebunden werden. So liegt die Nährstoffverfügbarkeit von Pflanzenkohle-Phosphor im ersten Jahr bei rund 15% und die von Stickstoff bei nur 1%, während Kalium bis zu 50% pflanzenverfügbar ist [9].

Für den Einsatz in der Landwirtschaft und Tierhaltung ist die Angabe dieser Nährstoffgehalte gesetzlich vorgeschrieben. Für Materialnutzungen sind die Nährstoffgehalte in der Regel weniger relevant, können aber je nach Anwendung gerade bei höheren Gehalten an Kalzium, Kalium und Magnesium die Materialeigenschaften beeinflussen, weshalb die Deklaration der Nährstoffgehalte auch für EBC-Gebrauchsmaterial und EBC-Rohstoff verpflichtend ist.

7.6 Die Grenzwerte für Schwermetalle dürfen nicht überschritten werden.

Die folgenden Höchstwerte für Schwermetallgehalte basieren für EBC-Agro auf der EU-Düngemittelverordnung EU 2019/1009 [10], der Bundesbodenschutzverordnung [11] und für EBC-AgroBio auf der EU-Verordnung 2019/2164 über den ökologischen Landbau und der Schweizerischen Verordnung zur Risikoreduktion bei chemischen Produkten (ChemRRV). Nach dem Vorsorgeprinzip müssen EBC-Urban und EBC-Gebrauchsmaterial die gleichen Schwermetallgrenzwerte einhalten wie EBC-Agro. Da die unter EBC-Rohstoff zertifizierte Pflanzenkohle in Materialien eingebaut werden, aus denen die Pflanzenkohle nicht auslaugen kann, gelten keine Grenzwerte für Schwermetalle.

Silber wurde 2021 in die Liste der zu analysierenden Schwermetalle aufgenommen. Es wird allerdings kein Grenzwert angewendet. Für EBC-Futter gelten zusätzliche Parameter und Methoden, die in Kapitel 10 beschrieben werden.

Tab. 2: Grenzwerte für Schwermetalle nach EBC-Zertifizierungsclassen, bezogen jeweils auf die Trockensubstanz (TS) der Pflanzenkohle.

	EBC-Futter	EBC-AgroBio	EBC-Agro / EBC-Urban / EBC-Gebrauchsmaterial	EBC-Rohstoff
Schwermetalle				kein Grenzwert, nur deklarationspflichtig
Pb	10 g t-1 (88%TS)	45 g t-1 TS	120 g t-1 TS	
Cd	0.8 g t-1 (88% TS)	0.7 g t-1 TS	1,5 g t-1 TS	
Cu	70 g t-1 TS	70 g t-1 TS	100 g t-1 TS	
Ni	25 g t-1 TS	25 g t-1 TS	50 g t-1 TS	
Hg	0.1 g t-1 (88% TS)	0.4 g t-1 TS	1 g t-1 TS	
Zn	200 g t-1 TS	200 g t-1 TS	400 g t-1 TS	
Cr	70 g t-1 TS	70 g t-1 TS	90 g t-1 TS	
As	2 g t-1 (88% TS)	13 g t-1 TS	13 g t-1 TS	
Ag	kein Grenzwert, nur deklarationspflichtig			

Schwermetalle sind Bestandteil aller Ökosysteme. Auch in natürlichen, von menschlichen Aktivitäten kaum beeinflussten Böden nimmt jedwede Pflanzen über 50 geogene Elemente des Periodensystems auf und darunter befinden sich alle wesentlichen Schwermetalle. Kritisch sind Schwermetalle nur dann, wenn deren Konzentration zu hoch ist, weshalb je nach Anwendungsart die in Tabelle 2 verzeichneten Grenzwerte festgelegt wurden.

Ausser einigen wenigen Schwermetallen, die bei den vorherrschenden Pyrolysetemperaturen flüchtig oder halb-flüchtig sind (z.B. Quecksilber), bleibt die gesamte Menge an Schwermetallen, die ursprünglich in der Biomasse enthalten waren, in der Pflanzenkohle erhalten. Da sich während der Pyrolyse aber das Gewicht der ursprünglichen Biomasse durch den Verlust vor allem an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff um über 50% reduziert, führt der gleichzeitige Erhalt der Schwermetalle zu deren Aufkonzentrierung, so dass der prozentuale Gehalt in der Pflanzenkohle höher als im Ausgangsmaterial ist. Sofern die Biomasse nicht auf kontaminierten Böden aufwuchs oder durch externe Behandlung (z.B. Kupferspritzung im Weinbau) oder Verunreinigung (z.B. bleihaltige Farben) erhöhte Schwermetallgehalte aufweist, ist die Aufkonzentrierung durch die Pyrolyse jedoch als unkritisch zu betrachten. Schwermetallgehalte jenseits der Grenzwerte weisen also vor allem auf die Kontaminierung der verwendeten Biomassen hin. Damit ist die Quantifizierung der Schwermetallgehalte eine zusätzliche Kontrolle der Biomassequalität.

Bei industriellen Anwendungen, einschließlich der Verwendung von Pflanzenkohle in Asphalt, Beton und Verbundwerkstoffen, ist das Risiko, dass Schwermetalle in die Umwelt ausgewaschen werden oder die Nutzer dieser industriellen Materialien schädigen, im Allgemeinen recht gering. Aus diesem Grund verlangt EBC-Rohstoff nur die Deklaration von Schwermetallgehalten, legt aber keine Grenzwerte fest. Wir rechnen damit, in Zukunft weitere anwendungsspezifische EBC-Grenzwerte festzulegen. So werden zum Beispiel bei der Verwendung der Pflanzenkohle in Textilien andere Grenzwerte als bei der Verwendung in Asphalt anzusetzen sein, was jedoch zum jetzigen Zeitpunkt der industriellen Entwicklung noch nicht sinnvoll durch das EBC abgedeckt werden kann. Allerdings obliegt es bereits heute der Pflicht der industriellen Anwender, die jeweiligen Grenzwerte ihrer Branche

einzuhalten. Zudem werden alle industriellen Anwender aufgefordert, eine sorgfältige Betrachtung über das Ende des Lebenszyklus ihrer Industriematerialien vorzunehmen, um zu verhindern, dass Schadstoffe in die Umwelt gelangen.

7.7 pH-Wert, Salzgehalt, Schüttdichte und Wassergehalt müssen deklariert werden.

Der pH-Wert der Pflanzenkohle ist ein wichtiges Kriterium für den gezielten Einsatz sowohl in Substraten als auch zur Nährstofffixierung bei der Tierhaltung und ebenso in industriellen Produkten. Der Salzgehalt, gemessen über die elektrische Leitfähigkeit des Waschwassers von Pflanzenkohle, kann auf eine Verunreinigung des Ausgangsmaterials hinweisen und sollte daher gemessen werden. Schüttdichte (bezogen auf Trockensubstanz) und Wassergehalt sind notwendige Angaben für den Handel mit Pflanzenkohle sowie für die Herstellung gleichbleibender Substratmischungen.

Pflanzenkohle der Klassen EBC-Futter, EBC-Agro, EBC-AgroBio und EBC-Urban muss auf einen Wassergehalt eingestellt werden, der Staubbildung und damit auch Selbstentzündung verhindert (siehe auch Kapitel 9.3). Eine geeignete Lagerung muss verhindern, dass die Pflanzenkohle austrocknet. EBC empfiehlt zu diesem Zweck einen Wassergehalt von 30%. Für EBC-Gebrauchsmaterial und EBC-Rohstoff, die ausschließlich im B2B-Bereich gehandelt werden, gibt es keine Vorgaben zum Wassergehalt. Wenn die Pflanzenkohle jedoch mit einem Wassergehalt von weniger als 30% oder einem Wassergehalt, der die Staubbildung nicht wirksam verhindern kann, verkauft wird, müssen Hersteller und Händler die damit verbundenen Gefahren gemäß den einschlägigen Normen und lokalen, nationalen und internationalen Anforderungen angeben. Dazu gehören unter anderem Selbstentzündung, Staubexplosion und Gesundheitsgefahren durch das Einatmen von (Fein-)Staub. Geeignete Sicherheitsvorkehrungen müssen angegeben werden.

7.8 Messung des Wasserhaltevermögens (WHC).

Das Wasserhaltevermögen (WHC) liefert einen Richtwert für die Mischung mit Flüssigkeiten und die Wirksamkeit für die Erhöhung des Wasserspeichervermögens von Böden oder für die Feuchtigkeitsaufnahme und -pufferung von Pflanzenkohle-basierten Baumaterialien.

7.9 Elektrische Leitfähigkeit des Pflanzenkohle-Feststoffes

Die elektrische Leitfähigkeit von Pflanzenkohle ist ein äußerst wichtiger indirekter Parameter zum Vergleich von Chargen und der Homogenität der Pflanzenkohle innerhalb einer bestimmten Charge. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass bestimmte Wirkungen von Pflanzenkohle im Boden, im Verdauungssystem, in anaeroben Fermentern, bei der Kompostierung und in bestimmten Verbund- und Baumaterialien mit der elektrischen

Leitfähigkeit des Pflanzenkohle-Feststoffs zusammenhängen können. Sie sollte nicht mit der elektrischen Leitfähigkeit des Wassers, in dem Pflanzenkohle geschüttelt wurde, verwechselt werden, letztere Methode wird zur Abschätzung des Salzgehalts angewendet.

7.10 Spezifische Oberfläche und Porengrößenverteilung werden als Zusatzparameter empfohlen

Die spezifische Oberfläche nach BET ist ein wichtiges Charakterisierungs- und Vergleichskriterium für die physikalische Struktur von Pflanzenkohle. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass jedes Messverfahren nur einen spezifischen Teil der Oberfläche misst. Weiterhin ist es auch noch nicht möglich, zu definieren, welcher Teil der gemessenen Oberfläche z.B. für die Benetzung mit Wasser oder zur Ansiedlung von Mikroorganismen zur Verfügung steht. Damit ist die BET-Oberfläche als relativer Wert zu betrachten, welcher eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Pflanzenkohlen ermöglicht. Für eine genauere Evaluierung der Poren- und damit der Materialeigenschaften von Pflanzenkohlen bräuchte es insbesondere Daten zur Porengrößenverteilung. Auch aufgrund der hohen Kosten und begrenzten Relevanz für die Beurteilung der Umweltauswirkungen wird die Messung der spezifischen Oberfläche und der Porengrößenverteilung als zusätzlicher Parameter empfohlen, ist aber nicht zwingend erforderlich.

7.11 Die Grenzwerte für PCB, PCDD/F müssen eingehalten werden.

In modernen Pyrolyseanlagen entstehen bei der Pyrolyse von Biomassen gemäß Positivliste nur sehr geringe Mengen an polychlorierten Biphenylen (PCB) und polychlorierten Dibenzop-Dioxinen und -Furanen(PCDD/F) [12]. Aus diesem Grund wird außer für EBC-Futter eine einmalige Kontrolle pro Anlage als ausreichend erachtet. Diese Schadstoffgehalte sind hauptsächlich vom Chlorgehalt der pyrolysierten Biomasse abhängig. Alle auf der Positivliste autorisierten Biomassen haben einen geringen Chlorgehalt und lassen bei der Pyrolyse nur äußerst geringe Gehalte dieser organischen Schadstoffe erwarten, die um mehrere Potenzen unterhalb der Grenzwerte liegen. Sollte die Kontrollstelle des EBC das Risiko einer Chlorbelastung der Ausgangsbiomassen für relevant halten, können zusätzliche PCB und PCDD/F-Analysen verlangt werden. Letzteres gilt insbesondere für EBC-Material, wo es zu Verunreinigungen mit chlorhaltigen Kunststoffresten kommen kann. Die Grenzwerte orientieren sich an den in Deutschland und in der Schweiz geltenden Bodenschutzverordnungen [11,13].

Die Grenzwerte für PCB liegen bei 0,2 mg kg⁻¹ (DM) und für PCDD/F jeweils bei 20 ng kg⁻¹ (I-TEQ OMS).

7.12 Grenzwerte für PAK-Gehalte dürfen nicht überschritten werden.

EBC-Zertifizierungs-kategorie		EBC-Futter	EBC-AgroBio	EBC-Agro	EBC-Urban	EBC-Gebrauchsmaterial	EBC-Rohstoff
Organische Schadstoffe	16 EPA PAK	Deklaration	4±2 g t ⁻¹ TS	6.0+2.2 g t ⁻¹ TS	Deklaration	Deklaration	nicht erforderlich
	8 EFSA PAK	1.0 g t ⁻¹ TS					4 g t ⁻¹ TS
	benzo[e]pyrene benzo[j]fluoranthene	< 1.0 g t ⁻¹ TS für jede der beiden Substanzen					

Tab. 3 Grenzwerte für PAK-Gehalte

Die Pyrolyse von organischen Materialien führt zur Bildung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) [14]. Der PAK-Gehalt von Pflanzenkohle hängt in erster Linie von den Pyrolysebedingungen wie der Temperatur und der Trennung von Pflanzenkohle und Pyrolysegasen im Reaktor und beim Austrag ab [15,16]. Geeignete Produktionstechnologien können eine unerwünschte PAK-Kontamination der Pflanzenkohle vermeiden, sofern der Prozess korrekt gesteuert wird. Dies kann sowohl mit offenen Anlagen (z.B. Kon-Tiki) als auch mit modernen Pyrolysereaktoren erzielt werden. Die Art des für die Pflanzenkohleherstellung verwendeten Biomasse-Rohstoffs hat einen vernachlässigbaren Einfluss auf den PAK-Gehalt [17].

Bei der Herstellung von Pflanzenkohle werden PAK mit den Pyrolysegasen freigesetzt und bei deren Verbrennung zerstört. Je nach den Prozessbedingungen kann jedoch ein kleinerer oder größerer Teil der freigesetzten PAK von der gleichzeitig produzierten Pflanzenkohle adsorbiert werden. Wenn die Pflanzenkohle in Gegenwart von PAK-haltigem Pyrolysegas abkühlt, kondensieren erhebliche Mengen an PAK an den inneren und äußeren Oberflächen der Pflanzenkohle. Daher müssen Pflanzenkohle und Pyrolysegas bei Temperaturen getrennt werden, die keine Kondensation und Sorption von PAK auf der Pflanzenkohle zulassen. Eine kontrollierte Behandlung mit Wasserdampf kann dazu beitragen, die Ansammlung von PAK zu vermeiden.

Im Prinzip kann Pflanzenkohle mit einem sehr niedrigen PAK-Gehalt schon mit einfachsten Mitteln hergestellt werden, wie der Kon-Tiki [18] zeigt. Einige industrielle Pyrolyse- und Vergasungstechnologien, die in den letzten Jahrzehnten entwickelt wurden, führten jedoch zu Pflanzenkohle mit erhöhten PAK-Gehalten [19], was ein Hinweis auf unzureichende oder ungeeignete Produktionsführung ist. Die technische Machbarkeit der Herstellung von Pflanzenkohle mit sehr niedrigen PAK-Gehalten wird von allen EBC-zertifizierten Pflanzenkohleunternehmen und ihren Technologielieferanten seit 2012 unter Beweis gestellt.

Die einzelnen PAKs unterscheiden sich stark in ihrer Toxizität [20]. Die Art und der Grad der Toxizität (z.B. Genotoxizität, Karzinogenität, Ökotoxizität) hängen von der Molekularstruktur, der Konzentration, der Bioverfügbarkeit, dem Expositionsweg und dem zeitlichen Verlauf der Exposition ab. Die Bioverfügbarkeit für Mensch, Tier und Ökosystem eines PAH-Moleküls wird durch die Matrix bestimmt, an die das Toxin gebunden ist.

Wie Hilber et al. [21,22] gezeigt haben, wirkt Pflanzenkohle, die dem Boden zugesetzt wird, eher als Senke denn als Quelle von PAK. Da PAKs in landwirtschaftlichen und städtischen Umgebungen allgegenwärtig sind, adsorbieren Pflanzenkohlen mit niedrigem PAK-Gehalt mehr PAK aus dem Boden als sie in den Boden abgeben. Die hohe Adsorptionskapazität unterscheidet Pflanzenkohlen von anderen Bodenhilfsstoffen wie Kompost, Gärresten, Mist und Düngern. Die Verwendung identischer PAK-Grenzwerte für Materialien mit geringer und hoher PAK-Adsorptionskapazität könnte daher in Frage gestellt werden.

Pflanzenkohle ist nicht nur ein starker Adsorber für PAK [23], sondern auch die Bioverfügbarkeit der an Pflanzenkohle gebundenen PAKs ist äußerst gering [21]. Im Vergleich zu Kompost, Gärresten, Düngemitteln, atmosphärischen Ablagerungen oder Heu, die jeweils wichtige Eintrittspunkte für PAK in landwirtschaftliche Systeme sind [24,25], ist die Bioverfügbarkeit von PAK aus Pflanzenkohle am geringsten. Die Risiken von bioverfügbaren PAKs für Pflanzen, Bodenbiota, Tiere und Menschen sind recht gut bekannt und untersucht [20,26–28]; unseres Wissens nach wurde jedoch bisher nur eine erste Untersuchung über die spezifischen Risiken durch an Pflanzenkohle gebundene PAKs veröffentlicht [29]. In Ermangelung einer angemessenen Risikobewertung hat das Vorsorgeprinzip die Regulierungsbehörden dazu veranlasst, für Pflanzenkohle dieselben Grenzwerte für den PAK-Gehalt anzuwenden wie für Kompost oder Gärreste. Ein weiterer Grund für die Anwendung der gleichen PAK-Grenzwerte für alle Bodenverbesserungsmittel ist der Grundsatz, dass die Gesamtkonzentration von PAK im Boden nicht im Laufe der Zeit ansteigen darf und die Gesamtkonzentration unter den gesetzlich festgelegten Grenzwerten bleiben muss.

Hilber et al. 2019 [30] zeigten, dass die Verwendung niedriger PAK-Grenzwerte angemessen und vernünftig ist. Als Pflanzenkohlen mit höheren Gehalten an PAK (bis zu 60 mg Σ 16 EPA-PAH pro kg Pflanzenkohle) in den Pansen eines fistulierten Rindes eingebracht wurden, wurde mehr als die Hälfte der PAK aus der Pflanzenkohle im Verdauungssystem der Kuh freigesetzt und könnte somit das biologische System und die Tiergesundheit beeinträchtigt haben. Daher wurden unter Anwendung des Vorsorgeprinzips und unter Beachtung bestehender Vorschriften für andere Substrate und Materialien in der Landwirtschaft und Industrie die EBC-Grenzwerte für PAK auf Grundlage der folgenden bestehenden gesetzlichen Vorschriften und Überlegungen festgelegt:

In der anstehenden Novelle der neuen EU-Düngemittelverordnung wird ein Grenzwert von 6 mg kg⁻¹ TS für die Summe der 16 EPA-PAH festgelegt [3,31]. Seit 2021 gilt dieser

Grenzwert für EBC-Agro. Die Liste der 16 einzelnen PAH-Verbindungen wurde von der U.S. Environmental Protection Agency zusammengestellt, um die Überwachung und Regulierung von PAHs zu ermöglichen. Diese 16 Verbindungen wurden aus Hunderten von PAK [32] aufgrund ihrer Umweltrelevanz, ihrer Toxizität und der Möglichkeit, sie zu messen, ausgewählt.

Der Grund für die Verwendung der 16 EPA-PAKs als Referenz und die Auswahl solcher niedriger Grenzwerte basiert, wie oben erläutert, nicht auf der Pflanzenkohle-Wissenschaft oder Pflanzenkohle-spezifischen Risikobewertungen, sondern ausschließlich auf Grenzwerten, die für andere Bodenzusatzstoffe wie Kompost, Gärreste, Pflanzensubstrate und (kontaminierte) Böden festgelegt wurden. In Ermangelung von Untersuchungen, wie PAK in Pflanzenkohle die Umwelt und die Gesundheit gefährden können, war es einfacher und schneller, die niedrigsten bekannten Grenzwerte für jede Art von Bodenzusatzstoff zu verwenden und sie auch auf Pflanzenkohle anzuwenden. Die Alternative zu dieser pragmatischen Entscheidung wäre gewesen, zu warten, bis die systematische Forschung die Beweise liefert, um Referenzsubstanzen und Grenzwerte speziell für Pflanzenkohle zum Schutz von Böden, Pflanzen, Tieren, Arbeitnehmern und Verbrauchern zu definieren - eine inakzeptable Verzögerung für die Verbreitung des Einsatzes von Pflanzenkohle. Aus diesem Grund hat das EBC diese niedrigen PAK-Grenzwerte in ihren Standards seit jeher verteidigt.

Sowohl nach der schweizerischen Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV [13]) als auch nach der EU-Bio-Verordnung [4] gilt für die Summe der 16 EPA-PAH ein Grenzwert von $4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$, der daher als Grenzwert für EBC-AgroBio festgelegt wurde. Solche niedrige Grenzwerte sind jedoch äußerst schwierig zu analysieren und können nur mit einer Genauigkeit von 50% gewährleistet werden. Es gibt keinen wissenschaftlichen Beweis dafür, dass die 4 mg kg^{-1} der Bio-Verordnung sicherer oder weniger riskant sind als die 6 mg kg^{-1} der kommenden EU-Düngemittelverordnung.

Für Tierfutter gibt es bisher keinen Grenzwert der EU oder der Mitgliedstaaten für PAK und somit auch keinen PAK-Grenzwert für Pflanzenkohle in der Fütterung. Durch die Veröffentlichung von Hilber et al. [30] wissen wir jedoch, dass PAK im Pansen von Rindern desorbiert werden und somit Tiere, die regelmäßig mit Pflanzenkohle gefüttert werden, schädigen können. Außerdem sollte das EBC nicht zulassen, dass Pflanzenkohle mit zu hohen PAK-Gehalten über den Weg der Tierfütterung in den Boden gelangt. Da die derzeitigen EU-Gesetze die Fütterung von Tieren mit Substanzen, die als Bodenzusatz nicht zulässig sind, nicht verbieten, ist es äußerst wichtig, dass die als Futtermittelzusatz verwendete Pflanzenkohle einer PAK-Qualitätskontrolle unterzogen wird.

Da es keine staatlichen Vorschriften für PAK in Futtermitteln gibt, ist die Frage berechtigt, ob die Auswahl der 16 EPA-PAK-Verbindungen die beste Wahl für die Überwachung von PAK auf Pflanzenkohle ist. Die Verwendung eines Grenzwerts für die einfache Summe dieser 16 PAK verleiht jeder einzelnen Substanz die gleiche Bedeutung bei der Interpretation der

Analyse. Obwohl alle 16 PAK zu den prioritären Umweltschadstoffen der EPA gehören, lässt sich diese Liste in acht krebserregende¹ und acht vermutlich nicht krebserregende PAK unterteilen. Daher sollte den krebserregenden Verbindungen besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden [33], und folglich definiert das EBC Grenzwerte für 8 EFSA-PAK auf Basis folgender Daten:

Bei 936 Pflanzenkohle-Analysen, die mit den EBC-akkreditierten Methoden durchgeführt wurden, stellten wir fest, dass die acht nicht krebserregenden PAK mehr als 80% aller analysierten PAK ausmachten. In Anbetracht der großen Zahl von Analysen kann dies als allgemeine Verteilung der von Pflanzenkohle bei den üblichen Pyrolyse- und Vergasungstechnologien adsorbierten PAK angesehen werden [16]. Die aktuellen $\Sigma 16$ EPA-PAH-Grenzwerte für Pflanzenkohle beruhen daher auf der Annahme, dass es eine mehr oder weniger allgemeingültige Verteilung der einzelnen PAK-Verbindungen auf Pflanzenkohle gibt, d.h. dass Pflanzenkohlen mit ähnlichen 16 EPA PAK Werten auch eine ähnliche Toxizität aufweisen. Es ist jedoch technisch möglich, den Gehalt an kleineren (nicht krebserregenden) PAK bei der Nachbehandlung durch Pyrolyse zu reduzieren, während die komplexeren (krebserregenden) PAK aufgrund der höheren Affinität der Pflanzenkohle für höhermolekulare PAK in der Pflanzenkohle verbleiben. Daher könnten die 4 mg $\Sigma 16$ EPA-PAKs kg^{-1} einer solchen Pflanzenkohle hauptsächlich aus krebserregenden Substanzen wie Benzo[a]pyren (BaP) bestehen. Solch hohe Gehalte an krebserregenden Stoffen würden ein erhebliches Gesundheitsrisiko darstellen, wenn sie in Futtermitteln und Böden verwendet werden. Um dieses Risiko aufgrund der Möglichkeit selektiver Nachbehandlung von stark PAK-belasteten Pflanzenkohlen zu vermeiden, hat die EBC im Jahr 2022 einen neuen Grenzwert für die acht krebserregenden Verbindungen eingeführt (siehe Fußnote).

Das EBC folgt dem Vorschlag der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA), die Lebensmittelsicherheit durch die Überwachung der Gesamtkonzentrationen der acht kanzerogenen PAK zu bewerten [34]. Im Datensatz der 936 EBC $\Sigma 16$ EPA PAK Analysen enthielten 99% aller analysierten Proben, die den EBC-Agro Grenzwert von 6 mg $\Sigma 16$ EPA PAK kg^{-1} einhielten, weniger als 1 mg $\Sigma 8$ EFSA PAK kg^{-1} . Da wir von der EBC-Zertifizierungskontrolle die Gewissheit haben, dass keine der 936 Proben einer Behandlung zur Reduzierung ausgewählter PAK-Spezies unterzogen wurde, können wir mit hinreichender Sicherheit davon ausgehen, dass die 936 Proben die übliche Verteilung der von Pflanzenkohle adsorbierten PAK in den gängigen Pyrolyse- und Vergasungstechnologien repräsentieren. Im Falle einer Nachbehandlung der Pflanzenkohle oder der Verwendung neuartiger Pyrolysetechnologien, die selektiv die leichteren (nicht kanzerogenen) PAK reduzieren, ist der neue Grenzwert von 1 mg $\Sigma 8$ EFSA-PAK kg^{-1} sicherer als die (höheren)

¹ Die acht krebserregenden Verbindungen innerhalb der 16 EPA-PAK = 8 EFSA-PAK sind Benzo[a]pyren, Benzo[a]anthracen, Chrysen, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren, Dibenzo[a,h]anthracen, Indeno[1,2,3-cd]pyren, Benzo[ghi]perylen

Σ 16 EPA-PAK-Grenzwerte, welche erhöhte Mengen kanzerogener PAK verschleiern könnten.

Aus den oben genannten Gründen wird 1 mg Σ 8 EFSA PAHs kg^{-1} als neuer Grenzwert für EBC-Futter, EBC-Urban und EBC-Gebrauchsmaterial festgelegt. Um die Sicherheit von EBC-Agro und EBC-AgroBio zu erhöhen, gelten die 1 mg 8 EFSA PAHs kg^{-1} dort als zusätzlicher Grenzwert zu den bestehenden Σ 16 EPA PAHs kg^{-1} Grenzwerten. Für EBC-Rohstoffe wird ein Grenzwert von 4 mg Σ 8 EFSA-PAK kg^{-1} festgelegt. Die 16 EPA-PAH müssen für alle Zertifizierungsklassen angegeben werden, ausgenommen für EBC-Rohstoff. Die Liste der acht krebserregenden PAK in der EU-REACH-Verordnung enthält zwei Stoffe, die von den 8 EFSA- und den 16 EPA-Verbindungen abweichen. Um die EU-REACH-Verordnung einzuhalten², nimmt die EBC ab 2022 diese beiden zusätzlichen PAKs in ihr Analyseprogramm auf und kontrolliert, dass weder Benzo[e]pyren noch Benzo[j]fluoranthen für keine der Zertifizierungsklassen in höheren Konzentrationen als 1 mg kg^{-1} je Einzelsubstanz enthalten sind.

Der **EBC-Urban**-Grenzwert für PAK wird durch die acht krebserregenden PAK definiert. Dies erlaubt einen zuverlässigen Schutz für Arbeitnehmer, Bürger und Böden. Da PAK in der städtischen Umwelt allgegenwärtig sind (z.B. durch Autoabgase, Reifenabrieb, Haushaltsheizungen und atmosphärische Ablagerungen) und weil Pflanzkohle, die in städtischen Boden eingesetzt wird, ein starker Adsorber für PAK ist, wirkt EBC-zertifizierte Pflanzkohle in der städtischen Umwelt insgesamt als Netto-Adsorber für diese Umweltgifte.

Die Grenzwerte für **EBC-Gebrauchsmaterial** sind strenger als die EU-REACH-Verordnung für Verbraucherprodukte, welche alle Produkte verbietet, die mehr als 1 mg kg^{-1} eines der acht einzelnen krebserregenden EU-PAK enthalten [1]. Das EBC geht davon aus, dass es konsequent ist, den gleichen Grenzwert für krebserregende PAK für die Bereiche Boden, Futtermittel, Lebensmittel, Wasser, Ökosysteme und Verbraucherprodukte zu verwenden.

Der Grenzwert für Σ 8 EFSA-PAK in EBC-Rohstoff liegt bei 4 mg kg^{-1} , da die Pflanzkohlepartikel in mineralische oder polymere Grundstoffe (z.B. Beton, Asphalt, Putz, Verbundstoffe) eingebettet und fest gebunden sind. Damit wird ein direkter Kontakt mit lebenden Organismen vermieden. Dieser Grenzwert basiert hauptsächlich auf dem, was bei

² Die VERORDNUNG (EU) Nr. 1272/2013 der EU-Kommission nennt Benzo[a]pyren, Benzo[e]pyren, Benzo[a]anthracen, Chrysen, Benzo[b]fluoranthen, Benzo[j]fluoranthen, Benzo[k]fluoranthen und Dibenzo[a,h]anthracen als PAK (EU-PAK), die als krebserzeugend eingestuft sind. Im Vergleich zu den 8 EFSA-PAK, die eine Teilmenge der 16 EPA-PAK sind, fehlen Indeno[1,2,3-cd]pyren und Benzo[ghi]perylen in der EU-Verordnung. Benzo[e]pyren und Benzo[j]fluoranthen gehören jedoch weder zu den 8 EFSA-PAK noch zu den 16 EPA-PAK. Daher wurden Benzo[e]pyren und Benzo[j]fluoranthen bisher bei der Routineanalyse von Pflanzkohle noch nicht quantifiziert, aber ab 2022 in die EBC-Analysen aufgenommen, um die Konformität mit der EU-REACH-Verordnung zu gewährleisten.

angemessenen Sicherheitsmaßnahmen (Verpackung, Lagerung und Belüftung) und geeigneter persönlicher Schutzausrüstung als unbedenklich für die Mitarbeiter angesehen werden kann. Darüber hinaus gilt für EBC-Rohstoff auch und zusätzlich der EU-Grenzwert für Produkte, bei denen ein Hautkontakt zu erwarten ist. Dieser liegt bei maximal 1 mg kg^{-1} für jede einzelne Verbindung der $\Sigma 8$ EFSA-PAK und für die zusätzlichen EU-PAK Benzo[e]pyren und Benzo[j]fluoranthren.

Dank der oben genannten Anforderungen sind alle EBC-zertifizierten Pflanzenkohlen mit der EU-REACH-Verordnung der Kommission [1] konform. Zudem müssen die $\Sigma 16$ EPA-PAH für alle EBC-Zertifizierungsclassen außer für EBC-Rohstoff angegeben werden.

Es ist zu beachten, dass aufgrund der hohen Adsorptionskapazität von Pflanzenkohle die meisten Analysemethoden, die beispielsweise für die Bodenanalyse von PAK verwendet werden, nicht für Pflanzenkohle geeignet sind [19]. Es wird daher dringend empfohlen, für die Durchführung von PAK-Analysen auch außerhalb der EBC-Zertifizierung immer den Service eines EBC-akkreditierten Labors in Anspruch zu nehmen.

Die sehr niedrigen PAK-Grenzwerte erlauben nur eine analytische Genauigkeit von 50% für den Grenzwert von $4 \text{ mg } \Sigma 16 \text{ EPA-PAK kg}^{-1}$ und von 40% für den Grenzwert von $6 \text{ mg } \Sigma 16 \text{ EPA-PAK kg}^{-1}$, was eine Genauigkeit von $\pm 2 \text{ mg kg}^{-1}$ (TS) bzw. $\pm 2,4 \text{ mg kg}^{-1}$ (TS) bedeutet. Generell ist anzumerken, dass es bei einer so geringen Analysegenauigkeit selbst unter professionellen Laborbedingungen nicht angebracht ist, zwei Grenzwerte so nah beieinander festzulegen. Die EBC befolgt die verschiedenen EU-Verordnungen für den ökologischen und konventionellen Landbau, möchte die EU-Behörden aber dazu auffordern, diese beiden Grenzwerte zu harmonisieren.

8. Pyrolysetechnik

8.1 Die Biomassepyrolyse muss energieeffizient betrieben werden.

Eine externe Reaktorbeheizung mit fossilen Brennstoffen ist mit Ausnahme der Vorbeheizung des Pyrolysereaktors untersagt. Die Nutzung von Abwärme anderer industrieller Prozesse wie z.B. Biogasherstellung oder Zementherstellung oder die Nutzung von Solarthermie ist gestattet. Bei elektrischer Beheizung des Pyrolyse-Reaktors sollte für die Nutzung von erneuerbaren Energien oder Überschussstrom gesorgt werden.

8.2 Die bei der Pyrolyse entstehenden Synthesegase müssen abgefangen werden und dürfen nicht in die Atmosphäre entweichen.

Ein erheblicher Teil der weltweit produzierten Holz- und Pflanzenkohle wird nach wie vor mit veralteter Technik hergestellt [35], bei welcher der größte Teil des Kohlenstoffs der ursprünglichen Biomasse als giftige Emissionen in die Atmosphäre entweicht. Selbst wenn die Qualität der so hergestellten Pflanzenkohle die EBC Kriterien erfüllen könnte, so sind die Umweltauswirkungen dieser Produktionsform stark negativ.

Werden die Pyrolysegase hingegen direkt zur Wärmenutzung sauber abgebrannt oder zur weiteren Verwertung als Treibstoffe oder chemische Rohstoffe abgeschieden, ist die Umweltbelastung gering und sogar deutlich besser als bei der Biomasseverbrennung oder Kompostierung. Nach den EBC Richtlinien ist die Pflanzenkohleherstellung nur dann gestattet, wenn keine unverbrannten Pyrolysegase in die Atmosphäre entweichen.

8.3 Bei der Verbrennung von Pyrolysegasen müssen die national geltenden Emissionsgrenzwerte für entsprechende Feuerungsanlagen eingehalten werden.

Die Emissionsgrenzwerte und -vorschriften sind in den verschiedenen Ländern jeweils unterschiedlich geregelt. Eine darüberhinausgehende Festlegung von Emissionsgrenzwerten für Pyrolyseanlagen würde die Zweck- und Verhältnismässigkeit der vorliegenden Richtlinien überschreiten. Die Hersteller müssen garantieren, dass ihre Anlagen die jeweiligen nationalen Emissionsvorschriften einhalten. Eine jährliche, staatlich akkreditierte Emissionsmessung der Produktionsanlage ist erwünscht.

Zur Zertifizierung des C-Senken-Wertes von Pflanzenkohle muss die Produktionsanlage eine EBC-Typenzertifizierung vorweisen (siehe Richtlinien für die Zertifizierung des C-Senken Potentials) oder mindestens drei unabhängige, akkreditierte Emissionsmessungen inklusive der Methan- oder Kohlenwasserstoffgehalte im Abgasstrom vorliegen.

8.4 Die Pflanzenkohleproduktion muss energie- und kohlenstoffeffizient arbeiten

Etwa 35 – 60% der in der Biomasse enthaltenen Energie findet sich nach dem Pyrolyseprozess im Pyrolysegas wieder. Ein Teil der Verbrennungsenergie des Pyrolysegases wird in der Regel zur Erwärmung der Biomasse verwendet, die darüber hinaus entstehende Abwärme muss zu mindestens 70% zum Trocknen von Biomasse, Heizzwecken, zur Stromherstellung oder auf ähnliche Weise genutzt werden. Für eine Übergangszeit von maximal 3 Jahren nach Installation der Pyrolyseanlage kann eine Ausnahmegenehmigung für eine fehlende Abwärmenutzung beantragt werden, um in dieser Zeit eine Lösung für eine effiziente Abwärmenutzung zu entwickeln. Alternativ können Pyrolyseöl und Pyrolysegase auch gespeichert und einer anderweitigen energetischen oder stofflichen Nutzung zugeführt werden.

Alternativ kann das Pyrolyseöl und/oder -gas auch aufgefangen und zur Energiespeicherung verwendet werden, z.B. zur Deckung von Spitzenlasten in der Fernwärmeversorgung durch zeitversetzte Verbrennung von Pyrolyseöl, das im Sommer aufgefangen wurde. Die stoffliche Nutzung des Pyrolyseöls und/oder die Veredelung des Pyrolysegases zu Grundchemikalien wie Methanol sind ebenfalls denkbare Optionen, um schließlich eine Kohlenstoffeffizienz von mindestens 70% zu erreichen.

9. Arbeitsschutz

9.1 Lokale und nationale Brand- und Staubschutzvorschriften müssen in der gesamten Herstellungs-, Transport- und Anwenderkette eingehalten werden.

9.2 Alle ArbeiterInnen müssen schriftlich über mögliche Risiken und Gefahren des Produktionsprozesses aufgeklärt werden und dies entsprechend signieren. Im Besonderen betrifft dies die Selbstentzündlichkeit von Kohlestaub, Atemschutz, Kontakt mit Bioöl und Teeren sowie möglicher Gasaustritt.

9.3 Bei Transport und Schüttgutumladung muss auf ausreichende Feuchtigkeit der Pflanzkohle zur Verhinderung von Staubentwicklung geachtet werden (siehe Kap. 7.7).

9.4 Mitarbeitende sind auf der Anlage mit geeigneter Schutzkleidung und Atemschutzmasken auszustatten.

10. Pflanzenkohle für den Einsatz in der Tierfütterung (EBC-Futter)

Pflanzenkohle ist ein traditioneller Futterzusatzstoff, der häufig bei Verdauungsstörungen von Nutztieren eingesetzt wurde. Erst seit einigen Jahren wird Pflanzenkohle vermehrt auch im täglichen Mischfutter eingesetzt. Der Einsatz von Pflanzenkohle als Futtermittel ist nach der EU-Futtermittelverordnung L 159 / 25 Nr. 575 / 2011 [2] zugelassen. Entsprechend der Richtlinie 2002/32/EG vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung [2] sowie der Verordnung (EG) Nr. 396/2005 über Pestizide-Rückstände [36] gelten für den Einsatz von Pflanzenkohle als Futtermittel gegenüber dem Einsatz als Bodenzusatz andere bzw. zusätzliche Grenzwerte. Daher erfordert die Zertifizierung von EBC-Futtermitteln die Analyse und Kontrolle zusätzlicher Parameter im Vergleich zu den in Kapitel 7 und Anhang 1 der EBC-Leitlinien aufgeführten. Einige Analysemethoden und Berechnungen müssen angepasst werden. Die zulässigen Testmethoden sowie die Analysemethoden für die einzelnen Parameter sind in Anhang 2 aufgeführt.

10.1 Zulassung als Futtermittelhersteller

Die Hersteller von EBC-Futter zertifizierter Pflanzenkohle müssen sich gemäß den geltenden regionalen, nationalen und/oder EU-Vorschriften bei den zuständigen Behörden als Futtermittelhersteller registrieren lassen und der EBC einen entsprechenden Nachweis vorlegen.

Das Ziel von EBC-Futter ist es, zu garantieren, dass die Qualität der Pflanzenkohle für die Tierfütterung geeignet ist und dass ihre Produktion nachhaltig ist. Die ebenso wichtigen Aspekte der Futtermittelsicherheit und -hygiene während der Produktion und vor allem der Lagerung und des Transports können von der EBC nur in begrenztem Umfang kontrolliert und daher nicht vollständig garantiert werden.

10.2 Biomasse – nur rein pflanzliche und naturbelassene Biomassen sind zulässig

Bei der Einführung des EBC-Futter Zertifikats war zunächst nur naturbelassenes Stammholz als Ausgangsmaterial für Futterkohle zugelassen. Mittlerweile sind allerdings hinreichend viele wissenschaftliche Studien veröffentlicht worden [37], welche zeigen, dass Pflanzenkohlen, die aus anderen rein pflanzlichen Ausgangsmaterialien hergestellt wurden, ebenso positive Auswirkungen auf die Futtereffizienz und Tiergesundheit erzielten wie Holzkohlen. Aus diesem Grund sind nunmehr sämtliche rein pflanzliche Biomassen entsprechend der EBC-

Positivliste für die Herstellung von EBC-Futterkohle zugelassen. Mineralische Additive sind nicht gestattet. Einsatzstoffe mit chemischen Zusätzen, Verunreinigungen oder dem Risiko von Verunreinigungen aufgrund nicht kontrollierbarer Quellen sind ausgeschlossen (z. B. chemisch behandeltes Holz, Papierschlamm, Grünabfälle aus der kommunalen Sammlung usw.).

10.3 Abscheidung von Fremdstoffen

Eine wesentliche Gefahr für die Futtermittelsicherheit geht von möglichen Fremdstoffen aus, die über die Biomasse, die Produktionsanlage oder während der Lagerung in die Pflanzenkohle gelangen können. Hierbei handelt es sich vor allem um Metallstücke, Plastik, Glas und Steine. Um dies zu verhindern, ist eine rigorose Kontrolle der Ausgangsstoffe vor dem Eintrag in die Pyrolyse nötig. Um zu verhindern, dass Metall- oder sonstige Maschinenteile aus der Pyrolyseanlage als Fremdstoff in die Pflanzenkohle gelangen, ist eine regelmäßige Kontrolle der Anlage erforderlich (Kontrolle, dass keine Schrauben fehlen, Teile abgebrochen sind oder Abrieb vorliegt etc.). Um auszuschließen, dass nach der Produktion Fremdstoffe in die Futterkohle gelangen, muss die Pflanzenkohle verpackt und dicht verschlossen gelagert werden.

Es wird empfohlen, sowohl die Biomasse vor dem Eintrag in die Pyrolyse als auch die Pflanzenkohle zwischen Austrag und Verpackung durch einen magnetischen Metallabscheider zu leiten. Steine und Glasscherben stellen für die Tiere vor allem wegen möglicher scharfer Kanten und Ecken ein Verletzungsrisiko beim Schlucken dar. Um diese Gefahr zumindest zu minimieren, wird das Mahlen der Pflanzenkohle auf < 3 mm empfohlen; Silikat (Glas) und Stein an sich sind nicht giftig oder schädlich und können nach der Zerkleinerung kaum noch Verletzungen verursachen.

Futtermittelhersteller müssen garantieren können, dass die vermarkteten Futtermittel frei von etwaigen Fremdstoffen sind. Gemäß der Verordnung (EG) 183/2005 ist ein Futtermittelhersteller für die Futtermittelsicherheit verantwortlich. Die EBC-Kontrollprozesse (technisches Voraudit, jährliche EBC-Inspektion, visuelle Inspektion von Stichproben, Laboranalyse einer repräsentativen Probe aus jeder Charge, Rückstellmuster, Dokumentation) helfen dabei, können aber die Herstellergarantie nicht ersetzen. Im Falle von Beschwerden von Verbrauchern oder anderen Beschwerden und Streitigkeiten bietet die Zertifizierung als EBC-Futter nur begrenzte Sicherheit. Um der Verantwortung für die Futtermittelsicherheit gerecht zu werden, empfiehlt die EU-Verordnung 183/2005 den Futtermittelherstellern nachdrücklich, ein HACCP-System (Hazard Analysis and Critical Control Point) einzuführen ("Die Futtermittelunternehmer [...] müssen ein schriftlich festgelegtes Verfahren oder Verfahren auf der Grundlage der HACCP-Grundsätze einführen, anwenden und aufrechterhalten"). Wir empfehlen daher eine zusätzliche externe

Qualitätssicherung durch eine auf Futtermittel spezialisierte Zertifizierungsstelle, wie z.B. GMP+ (<https://www.gmpplus.org>). Deren Zertifizierungsprozess schließt HACCP ein.

10.4 Pyrolysetemperatur und -intensität

Auch wenn kontaminierte Ausgangsstoffe für die Herstellung von Pflanzenkohle für die Fütterung nicht erlaubt sind, können Spurenverunreinigungen, z.B. mit Arzneimitteln oder Mykotoxinen, nie ganz ausgeschlossen werden. Um den pyrogenen Abbau dieser organischen Mikroverunreinigungen zu gewährleisten, muss die Pyrolysetemperatur für mindestens 10 Minuten mindestens 500 °C erreichen [38].

10.5 Schwermetalle

Nach der EU-Futtermittelverordnung müssen die Gehalte der Schwermetalle Arsen, Blei, Cadmium und Quecksilber angegeben werden. Für den Einsatz von Pflanzenkohle als Futtermittel gelten folgende Grenzwerte auf einer Basis von 88% des Gehalts an Trockensubstanz (88% TS) der Pflanzenkohle: Arsen: 2 mg kg⁻¹, Blei: 10 mg kg⁻¹, Cadmium 0,8 mg kg⁻¹ und Quecksilber: 0,1 mg kg⁻¹.

10.6 Σ 8 EFSA PAKs müssen unter 1 mg kg⁻¹ liegen

Der Grenzwert für die Σ 8 EFSA PAKs ist auf 1 mg kg⁻¹ festgelegt (siehe Kapitel 7.12). Um die EU-REACH-Verordnungen einzuhalten, müssen zudem die Konzentrationen von Benzo[e]pyren und Benzo[j]fluoranthen jeweils kleiner als 1 mg kg⁻¹ sein.

10.7 Dioxine, Furane, Dioxin ähnliche PCB (WHO-PCB) und nicht Dioxin ähnliche PCB (DIN-PCB).

Die EU-Futtermittelverordnung schreibt strenge Grenzwerte für polychlorierte-Dioxine, -Furane und PCB vor, die deutlich unterhalb der Grenzwerte der Bodenschutzverordnung liegen. Aus diesem Grund muss (1) jede Charge von Pflanzenkohlen für Futtermittel auf diese Stoffe analysiert werden, und (2) muss das zulässige Prüfverfahren eine niedrigere Nachweisgrenze aufweisen. Es gelten hier folglich spezielle Prüfverfahren und Grenzwerte für Pflanzenkohle zum Einsatz als Futtermittel.

Für PCDD/PCDF gilt ein Auslösewert von 0,5 ng TE kg⁻¹ bei 88% TS und ein Grenzwert von 0,75 ng TE kg⁻¹ bei 88% TS. Für dl-PCB gilt ein Auslösewert von 0,35 ng TE kg⁻¹ bei 88% TS. Für PCDD/PCDF + dl-PCB gilt der Grenzwert 1,25 ng TE kg⁻¹ bei 88% TS. Für die Summe 6 der DIN PCB gilt ein Grenzwert von 10 µg TE kg⁻¹ bei 88% TS.

10.8 Fluor < 150 mg kg⁻¹ (88% TS)

Der Fluorgehalt muss kleiner als 150 mg kg⁻¹ (88% TS) sein. Fluorsalze sind jedoch normalerweise unter Pyrolysebedingungen flüchtig und werden in der Pflanzenkohle selten in signifikanten Konzentrationen auftreten.

10.9 Trockensubstanz, Rohasche, Salzsäureunlösliche Asche

Die Angabe von Trockensubstanz, Rohaschegehalt und HCl-unlöslicher Asche sind vorgeschriebene Standardwerte der EU-Futtermittelverordnung und müssen auf dem Lieferschein angegeben werden. Der Gehalt der Aschen muss durch Verbrennung bei 550°C ermittelt und auf einer Basis von 88% Trockensubstanzgehalt angegeben werden.

10.10 Rohprotein, Rohfasern, Rohfett

Die Angabe der Rohprotein-, Rohfaser- und Rohfettgehalte sind vorgeschriebene Standardwerte der Futtermittelverordnung. Rohprotein, Rohfaser und Rohfett werden im Verlauf der vollständigen Pyrolyse komplett zersetzt und sind folglich in Pflanzenkohle nicht mehr vorhanden. Eine Pflanzenkohle gilt als vollständig pyrolysiert, sofern das $H/C_{org} < 0.7$ ist, was die Grundvoraussetzung für jede EBC Zertifizierung ist. Damit erübrigt sich die Analyse von Rohprotein, Rohfaser und Rohfett und ihre Gehalte werden per Definition mit 0 g kg⁻¹ angegeben. Diese Angaben sind verpflichtend und müssen dem Lieferschein beigelegt werden.

11. Zertifizierung von Pflanzenkohle verarbeitenden Betrieben

In der Landwirtschaft und Tierhaltung wird Pflanzenkohle nur in seltenen Fällen in Reinform, sondern meist als verarbeitetes Produkt wie beispielsweise als Pflanzsubstrat, Kompost, Dünger, Einstreu, Silierhilfe oder Futtermittel eingesetzt. Neben den Industriebetrieben, die sich auf die Herstellung von Pflanzenkohle spezialisiert haben, hat sich ein wachsender Wirtschaftszweig entwickelt, der Pflanzenkohle als Ausgangsmaterial zur Herstellung von Pflanzenkohle basierten Produkten erwirbt und weiterverarbeitet.

Um zu garantieren und ordnungsgemäß zu kennzeichnen, dass diese Produkte unter Verwendung von EBC zertifizierter Pflanzenkohle hergestellt wurden, genügt es nicht, nur die Pflanzenkohle an sich zu zertifizieren, sondern es müssen auch die Verarbeitung, die Verpackung und die Kennzeichnung der Produkte nach EBC Richtlinien kontrolliert und zertifiziert werden.

Produkte, die Pflanzenkohle enthalten, dürfen nur dann das EBC Logo sowie die Aufschrift „Hergestellt mit EBC zertifizierter Pflanzenkohle“ verwenden, wenn die verarbeitenden Betriebe und deren Produkte nach den folgenden Richtlinien zertifiziert wurden.

11.1 Ausschließliche Verwendung EBC zertifizierter Pflanzenkohle

Die Risiken des Einsatzes nicht zertifizierter Pflanzenkohlen in der Landwirtschaft, in der Tierhaltung und in Produkten, die wie Kompost oder Biogasgülle letztlich für den landwirtschaftlichen Einsatz bestimmt sind, werden als sehr hoch eingestuft, da in diesem Fall Schadstoffe wie insbesondere PAK, aber auch Dioxine und Schwermetalle in die menschliche Nahrungskette gelangen und sich dauerhaft in Böden akkumulieren könnten.

Aus diesem Grund dürfen Produkte, die unter Verwendung von Pflanzenkohle hergestellt wurden, nur dann EBC zertifiziert werden, wenn der gesamte Betrieb, welcher Pflanzenkohle verarbeitet, ausschließlich EBC zertifizierte Pflanzenkohle für die Herstellung von Produkten für den Einsatz in der Landwirtschaft oder Tierhaltung verwendet.

Ohne EBC-Ausnahmebewilligung darf auf dem Betrieb keine nicht EBC zertifizierte Pflanzenkohle verwendet, gelagert und gehandelt werden.

11.2 Wareneingangskontrolle

Sämtliche Wareneingänge von Pflanzenkohle oder Pflanzenkohle basierten Produkten müssen auf den entsprechenden Lieferscheinen und Etiketten das jeweilige EBC-Zertifikat (EBC-Futter, EBC-AgroBio, EBC-Agro, EBC-Urban, EBC-Gebrauchsmaterial oder EBC-Rohstoff) ausweisen. Die Wareneingangskontrolle ist zu dokumentieren. Nicht gekennzeichnete Pflanzenkohle und Pflanzenkohle basierte Produkte dürfen ohne Ausnahmebewilligung (vgl. 10.1) nicht angenommen werden.

11.3 Lagerung

Pflanzenkohle und Pflanzenkohle basierte Produkte müssen so gelagert werden, dass es zu keinen Verunreinigungen mit Fremdstoffen kommen kann. Hierbei ist insbesondere auch auf gasförmige Schadstoffe (z.B. Motorenabgase) zu achten, da diese von der Pflanzenkohle absorbiert werden können. Es ist sicher zu stellen, dass weder unterschiedliche EBC-Zertifizierungsclassen noch unterschiedliche Chargen verschiedener oder gleicher Hersteller vermischt werden können. Die Qualität und Herkunft gelagerter Pflanzenkohle muss gut sichtbar mit einer eindeutigen und nachvollziehbaren Identifikationsnummer und Bezeichnung ausgewiesen werden.

11.4 Verarbeitungsjournal

Jeder Verarbeitungsschritt von Pflanzenkohle und Pflanzenkohle basierten Produkten muss nachvollziehbar in einem Verarbeitungsprotokoll dokumentiert werden. Hierbei sind die Menge und Qualität der jeweils verwendeten Pflanzenkohle sowie die Menge an Pflanzenkohle im Endprodukt aufzuführen.

Werden die Pflanzenkohlen oder Pflanzenkohle basierten Produkte lediglich unverpackt oder umetikettiert muss ein ebensolches Verarbeitungsjournal über Menge und Qualität der Ausgangsstoffe sowie der Endprodukte geführt werden.

Eine Warenflusskontrolle (Abgleich von Wareneingang, Verarbeitung und Warenausgang) muss jederzeit möglich sein.

12. Kennzeichnungspflichten und Werbung mit EBC-Zertifizierung

12.1 Markenschutz

12.1.1 Eingetragene Marken

Die Carbon Standards International ist Inhaber der folgenden Markenrechte:

(1) Unionsgewährleistungsmarke Nr. 018071838 «EBC» (**Wortmarke**) und

(2) Unionsgewährleistungsmarke Nr. 018071835 «Certified Biochar EBC European Biochar Certificate (EBC)» (**Bildmarke**), Wiedergabe:



(im Folgenden "Unionsmarken" genannt).

Die Unionsmarken sind jeweils für folgendes Verzeichnis eingetragen:

Klasse 01: Chemische Substanzen, chemische Materialien und chemische Präparate sowie natürliche Elemente, nämlich Pflanzenkohle (Biokohle), aus Aktivkohle bestehende Adsorptionsmittel, Aktivkohlefilter zur Reinigung von Gasen sowie Aktivkohlefilter zur Reinigung von Flüssigkeiten; Wachstums- und Düngemittel sowie chemische Erzeugnisse für die Land- und Forstwirtschaft sowie für den Gartenbau, nämlich Düngemittel (teilweise) bestehend aus Pflanzenkohle (Biokohle); Kitte, Füllstoffe und Leime für industrielle Zwecke, nämlich Kohle für Filter zur Beseitigung von organischen Verunreinigungen aus dem Wasser; Filtermaterialien [chemische, mineralische, pflanzliche und andere Materialien im Rohzustand], nämlich Aktivkohle.

Klasse 04: Brennstoffe, nämlich solche aus Pflanzenkohle (Biokohle, Holzkohle).

Klasse 05: Medizinische Futtermittelzusätze aus Pflanzenkohle (Biokohle).

Klasse 19: Baumaterialien und Bauelemente, nicht aus Metall, (teilweise) bestehend aus Pflanzenkohle.

Klasse 31: Futtermittel und Tiernahrung (teilweise) bestehend aus Pflanzenkohle (Biokohle); Streu- und Einstreumaterialien für Tiere (teilweise) bestehend aus Pflanzenkohle (Biokohle).

Klasse 40: *Herstellung von Kohle durch Biomasse-Pyrolyse; Verarbeitung von Pflanzenkohle (Biokohle) als Rohstoff zur Herstellung verschiedenster Produkte.*

(im Folgenden "beanspruchte Waren und Dienstleistungen" genannt).

12.1.2 Recht zur Markennutzung

Die Carbon Standard International gewährt

- (1) Herstellern von EBC zertifizierter Pflanzenkohle, sowie von Produkten, die EBC zertifizierte Pflanzenkohle enthalten,
- (2) Verarbeitern und Händlern von EBC zertifizierter Pflanzenkohle sowie von Produkten, die EBC zertifizierte Pflanzenkohle enthalten und
- (3) Anwendern von EBC zertifizierter Pflanzenkohle (bspw. Landwirte, Betreiber von Kompostwerken, Betreiber von Biogasanlagen) sowie von Produkten, die EBC zertifizierte Pflanzenkohle enthalten (bspw. Landwirte, Gärtner, Tierhalter).

das Recht zur Nutzung der Unionsmarken für die beanspruchten Waren und Dienstleistungen unter folgenden Bedingungen:

Die Unionsgewährleistungsmarke Nr. 018071838 «EBC» (**Wortmarke**) darf nur in Alleinstellung oder mit folgenden Zusätzen benutzt werden:

- (1) "Zertifikat" / "Certificate", oder "Zertifizierung" / "Certification" oder "zertifiziert" / "certified"
- (2) "Agro", "AgroBio", "Futter", "Urban", "Gebrauchsmaterial" oder "Rohstoff"

Die Unionsgewährleistungsmarke Nr. 018071835 «Certified Biochar EBC European Biochar Certificate (EBC)» (**Bildmarke**) darf nur so wie eingetragen benutzt werden. Zusätze oder Abwandlungen sind nicht erlaubt.

12.1.3 Werbung mit Laboranalyse nach EBC-Standard

Wenn eine Untersuchung der Pflanzenkohle durch ein akkreditiertes Labor (siehe Auflistung unter <https://www.european-biochar.org/de/ct/10>) nach EBC-Standard durchgeführt wurde, jedoch keine EBC-Zertifizierung vorliegt, ist bei der Werbung mit dem Analyseergebnis in geeigneter Form auf die fehlende Zertifizierung hinzuweisen. Eine diesbezügliche Irreführung ist auf jeden Fall zu vermeiden. Zulässig sind beispielsweise Formulierungen wie "Laboranalyse nach EBC-Standard*", Fußnote: "keine Zertifizierung".

12.1.4 Vertragsstrafe

Verstößt der Nutzer der Gewährleistungsmarken schuldhaft gegen die Satzungen dieser Richtlinien, so ist er zur Zahlung einer Geldstrafe von 500,- EUR bis 10.000,- EUR an die Carbon Standard International verpflichtet. Die Höhe der zu zahlenden Geldstrafe ist von

der Carbon Standards International nach billigem Ermessen festzusetzen und im Streitfall von einem Gericht auf deren Angemessenheit hin zu überprüfen. Entsprechend entzieht Carbon Standard International das Recht zur Nutzung der Gewährleistungsmarken.

12.2 Pflichtangaben bei Pflanzenkohle

Auf dem Lieferschein oder dem Etikett von Pflanzenkohlen müssen mindestens folgende Angaben über die Pflanzenkohle vermerkt sein:

- Zertifizierungsklasse der Pflanzenkohle (Agro, Agro-Bio, Futter, Gebrauchsmaterial, Rohstoff)
- Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org})
- H / C_{org} – Verhältnis
- Nährstoffgehalte (N, P, K, Ca, Mg, Fe)
- Die höchste im Prozess erreichte Pyrolysetemperatur
- pH-Wert
- WHC
- Elektrische Leitfähigkeit des pyrogenen Feststoffs
- Wassergehalt
- Schüttdichte bezogen auf die Trockensubstanz und gemahlen < 3mm

Es muss des Weiteren der bei der Anmeldung der Produktionscharge zugewiesene QR-Code der zertifizierten Charge auf der Verpackung und dem Lieferschein abgedruckt sein. Über diesen QR-Code können die Analysewerte der verwendeten Pflanzenkohle anonymisiert eingesehen werden.

12.3 Produktionsdatum und QR-Code

Neben dem QR-Code der Pflanzenkohle-Charge, muss auf jeder Verpackungseinheit das Produktionsdatum vermerkt werden. Bei großen Verpackungseinheiten oder der Abfüllung aus größeren Vorlagebehältern oder Silos, deren Inhalt über mehrere Tage produziert wird, ist der Produktionszeitraum zu markieren.

12.4 Pflichtangaben bei Pflanzenkohle-Produkten

Beim Verkauf an Endkunden müssen auf dem Etikett von Pflanzenkohle-Produkten die folgenden Angaben vermerkt sein:

- Zertifizierungsklasse der Pflanzenkohle (Agro, Agro-Bio, Futter, Urban, Gebrausmaterial, Rohstoff)
- Organischer Kohlenstoffgehalt der im Produkt enthaltenen Pflanzenkohle
- Pflanzenkohle-Anteil in der Verpackungseinheit bezogen auf das Trockengewicht

Kommen in einem Produkt verschiedene EBC Zertifizierungsclassen zur Verwendung, so darf das Endprodukt nur diejenige EBC-Zertifizierungsclassen tragen, welche der am niedrigsten zertifizierten Pflanzenkohle im Produkt entspricht. Hierbei gilt EBC-Rohstoff als niedrigste, worauf EBC-Urban, EBC-Agro, EBC-AgroBio als höhere Qualitätsstufe folgen.

Für Futtermittel dürfen nur Pflanzenkohlen mit EBC-Futter Zertifizierung verwendet werden.

Wenn mehrere EBC-zertifizierte Pflanzenkohlen im Produkt gemischt werden, muss ein entsprechender Durchschnittswert für den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Nährstoffen auf der Grundlage der Masse (TS) der gemischten Pflanzenkohle-Anteile angegeben werden. Das H / C_{org} - Verhältnis, die höchste im Pyrolyseprozess erreichte Temperatur, die elektrische Leitfähigkeit, die WHC und der pH-Wert müssen als Bereich des niedrigsten und höchsten Wertes der einzelnen verwendeten Pflanzenkohlen angegeben werden.

Zertifizierte Händler und Verarbeiter sind nicht verpflichtet, den Herstellernamen und Produktionsstandort der verarbeiteten Pflanzenkohle auf Etiketten und Lieferscheinen zu kennzeichnen.

13. Kontrolle, Qualitätsmanagement und Zertifizierung

13.1 Grundsätzliches zur Zertifizierung

Die Kontrolle des Europäischen Pflanzenkohle-Zertifikats wird von der unabhängigen, staatlich akkreditierten Kontrollstelle bio.inspecta AG / q.inspecta GmbH weltweit koordiniert und auf den Produktionsbetrieben in den verschiedenen Länder abgenommen. Die Kontrolle findet einmal pro Jahr statt. Die Hersteller sind verpflichtet, die Produktionsprotokolle gemäß ihres online Betriebshandbuchs (vgl. 12.6) jeweils auf aktuellem Stand zu halten.

Jeder Pflanzenkohle-Hersteller muss gesamtheitlich als EBC-Produzent zertifiziert werden, und zwar unabhängig davon, ob sich nur eine Produktionscharge, mehrere oder alle Chargen für eines der EBC-Zertifikate qualifizieren.

Sollte ein EBC-zertifizierter Hersteller eine Charge produzieren, die aufgrund der Nichteinhaltung von Grenzwerten nicht nach EBC-Rohstoff zertifiziert werden kann, muss der Hersteller die ordnungsgemäße Entsorgung dieses Abfalls gemäß den lokalen oder nationalen Vorschriften nachweisen. Andernfalls kann die Zertifizierung der Anlage dauerhaft entzogen werden.

Zur Wahrung der Verhältnismässigkeit können Pflanzenkohle verarbeitende Betriebe vom jährlichen Kontrollbesuch auf der Betriebsstätte entbunden werden, sofern sie nachweislich weniger als 10 t Pflanzenkohle pro Jahr verarbeiten. Die Einhaltung der Produktions- und Qualitätsrichtlinien kann in solchen Fällen durch die staatlich akkreditierte Kontrollstelle mithilfe von Selbstdeklarierung und Verarbeitungsprotokollen evaluiert werden.

13.2 EBC zertifizierte Betriebe

Für die EBC-Zertifizierung werden vier grundsätzliche Betriebsarten unterschieden:

a) Herstellende Betriebe (Inspektion vor Ort)

Herstellende Betriebe betreiben Pyrolyse-Anlagen und stellen EBC zertifizierte Pflanzenkohle aus Biomasse her. Sie dürfen diese Pflanzenkohle mahlen, sieben und in der gewünschten Gebindegröße verpacken. Nur selbst hergestellte Pflanzenkohle darf auf dem Betriebsgelände gelagert werden, ansonsten ist eine zusätzliche Zertifizierung als Verarbeitungsbetrieb und Händler erforderlich.

Wird die Pflanzenkohle durch weitere, nicht pyrolytische Verfahrensschritte weiterverarbeitet (z.B. durch Aufladung mit Nährstoffen, Einmischung in Kompost, durch Fermentation,

Aktivierung oder sonstige Mischung mit anderen Produkten) muss zusätzlich eine EBC-Zertifizierung als verarbeitender Betrieb und Händler erfolgen.

Ein technisches Erstaudit durch Carbon Standards International und ein jährlicher Kontrollbesuche durch die akkreditierte Kontrollstelle sind zwingend. Die repräsentative Probenahme muss durch einen akkreditierten Probenehmer erfolgen.

b) Verarbeitende Betriebe und Händler (Inspektion vor Ort, wenn > 10 t pro Jahr)

Verarbeitende Betriebe kaufen oder produzieren EBC-zertifizierte Pflanzenkohle und verwenden diese zur Herstellung neuer, pflanzenkohlebasierter Produkte. Übliche Verfahren sind hierbei das Mischen der Pflanzenkohle mit Zusatzstoffen, das Aktivieren durch thermische Verfahren (Herstellung von Aktivkohle), die Veredlung durch biologische und/oder chemische Behandlung oder die mechanische Bearbeitung. Ferner fällt auch das Vermischen unterschiedlicher EBC-zertifizierter Produktionschargen, die auch von unterschiedlichen EBC-zertifizierten Herstellern erworben sein können, unter die Kategorie der Verarbeitung (siehe Kap. 11).

Auch der Handel von unverpackter, loser Ware (z.B. Container) oder Umverpackung zugekaufter Pflanzenkohle unterliegen der Kontroll- und Zertifizierungspflicht für Pflanzenkohle verarbeitende Betriebe.

Das Erstaudit erfolgt durch die akkreditierte Kontrollstelle, welches auch die Verarbeitungsprotokolle und die Protokolle zur Dokumentation des Warenflusses mit den verarbeitenden Betrieben festlegt.

c) Händler von verpackter Ware (keine Zertifizierung nötig)

Der reine Handel von fertig verpackten und vom zertifizierten Hersteller nach EBC-Vorschrift gekennzeichneten Pflanzenkohlen und Pflanzenkohle basierten Produkten durch Dritte unterliegt keiner weiteren Kontroll- und Zertifizierungspflicht, sofern der zertifizierte Hersteller als solcher auf der Verpackung genannt ist.

Verkauft also ein nicht zertifiziertes Unternehmen oder eine Person EBC-zertifizierte Pflanzenkohle oder Pflanzenkohle basierte Produkte, so muss in diesem Fall sowohl der zertifizierte Hersteller als auch die ID-Nummer und der QR-Code der Pflanzenkohle-Charge eindeutig rückverfolgbar sein. Der zertifizierte Hersteller muss somit auf Etikett und Lieferschein genannt werden. Das von einem EBC zertifizierten Betrieb angebrachte Etikett darf folglich nicht verändert, überklebt oder entfernt werden darf. Wird das ursprüngliche Etikett entfernt oder überdeckt, gilt die Ware nicht mehr als EBC zertifiziert. Zusätzliche Etiketten dürfen angebracht werden.

Wenn der ursprüngliche Hersteller auf der Verpackung oder dem Lieferschein nicht genannt wird und die Ware somit umetikettiert wird, muss das Unternehmen, das die Ware in

Verkehr bringt, EBC-zertifiziert sein, sonst darf es die Ware nicht als EBC-zertifiziert kennzeichnen.

Die Umetikettierung geschlossener Verpackungen von zertifizierter Pflanzenkohle und Produkten auf Pflanzenkohlebasis oder der Verkauf unter eigenem Handelsnamen ohne Nennung des eigentlichen Herstellers unterliegt der Zertifizierungspflicht als Eigenmarkenhändler.

d) Händler von verpackten Waren unter Eigenmarken (Fern-Inspektion)

Wird die Ware vom Hersteller von Pflanzenkohle oder Pflanzenkohle-Produkten für ein anderes Unternehmen hergestellt, verpackt und etikettiert, und erscheinen der Name und die Kontaktdaten des herstellenden Unternehmens nicht auf der Verpackung, so muss das Handelsunternehmen, welches die Ware unter seinem Namen in Verkehr bringt, als Eigenmarken-Händler EBC zertifiziert werden. Ansonsten darf der Eigenmarken-Händler die Ware nicht als EBC-zertifiziert kennzeichnen.

Dies trifft ebenfalls zu, wenn geschlossen verpackte Pflanzenkohle-Waren von anderen Herstellern oder Händlern erworben und dann so umetikettiert werden, dass der herstellende Betrieb nicht mehr als solcher erkennbar und mit seinen Kontaktdaten genannt ist, muss der in Verkehr bringende Betrieb zwangsläufig EBC-zertifiziert werden. Ansonsten darf er die Ware nicht als EBC-zertifiziert kennzeichnen.

Sofern keine Umverpackung (Kap. 13.2b) der Ware erfolgt, bedarf es für die EBC-Zertifizierung von Eigenmarken-Händlern keine Vor-Ort-Kontrolle und diese kann über Online-Deklaration und Fernbewertung erfolgen.

13.3 Anmeldung zur Zertifizierung

Um sich für die Zertifizierung anzumelden, registrieren Sie Ihr Unternehmen bitte auf der EBC-Website (www.european-biochar.org) und geben Sie alle notwendigen Informationen über Ihr Unternehmen und Ihre Produktion an. Das Team von Carbon Standards International (www.carbon-standards.com) wird sich dann mit Ihnen in Verbindung setzen und Sie während des gesamten Zertifizierungsprozesses unterstützen.

Es wird dringend empfohlen, dass sich neue Produzenten von Pflanzenkohle vor der Aufnahme ihrer Tätigkeit mit Carbon Standards International in Verbindung setzen, um sicherzustellen, dass alle erforderlichen Aufzeichnungsverfahren eingeleitet und in die Produktionsprozesse integriert werden.

Carbon Standards International AG

Ackerstrasse 117

5070 Frick

Schweiz

+41 (0) 62 552 10 90

info@carbon-standards.com

13.4 Technisches Voraudit bei Pflanzenkohle-Produzenten

Das technische Voraudit bei Pflanzenkohle-Produzenten findet durch Carbon Standard International statt. Das Ziel des technischen Vaudits besteht insbesondere darin, die Vorgaben des EBC hinsichtlich der akkreditierten Probenahme und Gütesicherung auf die Besonderheiten des jeweiligen Betriebs anzupassen. Während des technischen Vaudits können die Standardmethode und die Häufigkeit der akkreditierten Probenahme, die Art der Rückstellproben, die Bestimmung des Trockengewichts und das werkseigene Qualitätskontrollprogramm angepasst werden. Alle Anpassungen und Abweichungen von den üblichen Zertifizierungs- und Qualitätsmanagementverfahren werden im online Betriebshandbuch dokumentiert.

Das technische Voraudit von Pflanzenkohle-Produzenten umfasst folgende Schritte:

- 1) Das Unternehmen lädt die detaillierte technische Beschreibung und die Flussdiagramme des Produktionsprozesses auf die EBC-Website hoch.
- 2) In einer Videokonferenz zwischen dem zu zertifizierenden Unternehmen und dem Ithaka-Institut werden offene Fragen geklärt, die technischen Details der Produktion besprochen und der Umfang der Vor-Ort-Inspektion geklärt.

Alle detaillierten technischen Informationen, die zwischen der Produktionsfirma, dem Ithaka Institute, Carbon Standards International und BioInspecta ausgetauscht werden, unterliegen strenger Vertraulichkeit und sind datenschutzrechtlich geschützt.

Grundlegende Veränderungen der betrieblichen Abläufe oder personelle Wechsel müssen der Carbon Standards International gemeldet werden und führen gegebenenfalls zu einer Wiederholung des technischen Vaudits sowie einer Anpassung des online Betriebshandbuchs. Auch die akkreditierte Kontrollstelle kann ein erneutes technisches Audit anordnen, wenn der im online Betriebshandbuch festgelegte Ablauf des Kontrollbesuchs aufgrund betrieblicher Veränderungen in der bisherigen Form nicht mehr sinnvoll abgearbeitet werden kann.

Bei Verarbeitern und Händlern von Pflanzenkohle findet eine Erstkontrolle durch die Kontrollstelle bio.inspecta AG, aber in der Regel kein gesondertes Voraudit durch Carbon Standards International statt.

13.5 Online Betriebshandbuch

Die vorliegenden EBC-Richtlinien beschreiben die grundsätzlichen Vorgaben zur EBC Zertifizierung. Für Pflanzenkohle-Produzenten kann, wo nötig, das darauf aufbauende online Betriebshandbuch die genaue Umsetzung dieser Regeln definieren. Dies umfasst vor allem:

- Organisation der Betriebsdokumentation,
- Ablauf der jährlichen Kontrollbesuche
- Verantwortungsbereiche des EBC Qualitätsmanagers
- Anforderungen für den Arbeitsschutz
- Ablaufpläne für die repräsentative Probenahme
- Ablaufplan und Dokumentation für die Entnahme und Lagerung der Rückstellproben
- Zusätzliche Analysen kritischer oder stark variierender Parameter (z.B. PAK, Schwermetalle, Fremdstoffe in den Biomassen etc.).
- Bestimmung des Trockensubstanzgehalts für jede einzelne Verpackungseinheit, sofern das C Senken Potential für die einzelnen Chargen bestimmt werden soll.

Das EBC-Betriebshandbuch ist ein Vertrag zwischen dem EBC-zertifizierten Betrieb und Carbon Standards International. Das Betriebshandbuch wird von der Kontrollstelle, Carbon Standards International und vom Ithaka Institut vertraulich behandelt.

Für verarbeitende Betriebe und Händler gibt es kein gesondertes Betriebshandbuch.

13.6 EBC Qualitätsmanager

Das Management des zertifizierten Unternehmens muss eine/n QualitätsmanagerIn benennen, der sich mit den Auswirkungen der verschiedenen Produktionsprozesse auf die Qualität der Pflanzenkohle auskennt. Der Qualitätsmanager muss innerhalb des Betriebs dazu ermächtigt sein, Maßnahmen zur Sicherung und Lenkung der Pflanzenkohle-Qualität sowie deren Dokumentation umzusetzen.

Der Qualitätsmanager ist der Ansprechpartner für die akkreditierte Kontrollstelle (q.inspecta) und Carbon Standards International als EBC-Labelignier. Kommt es zu einem personellen Wechsel auf der Position des Qualitätsmanagers, ist dies unverzüglich der Kontrollstelle und Carbon Standards International mitzuteilen. Die Übergabe des online Betriebshandbuchs

und der damit verbundenen Verantwortung ist zu dokumentieren. Kann keine geordnete Übergabe durchgeführt werden, ist ein erneutes Erstaudit durch Carbon Standards International durchzuführen.

Der Qualitätsmanager ist verpflichtet, im ersten Jahr und später mindestens einmal pro Zertifizierungsperiode an externen Schulungen des EBC zur Herstellung, Qualitätssicherung und Anwendung von Pflanzenkohle teilzunehmen. Das Training muss vom zuständigen Management genehmigt werden.

Der Qualitätsmanager muss die ordnungsgemäße Dokumentation und Evaluierung der Betriebsprozesse sicherstellen, die die Qualität der Pflanzenkohle beeinflussen. Die Dokumentation muss laufend aktualisiert werden und sollte regelmäßig dem Management des Unternehmens vorgelegt werden. Informationen über entdeckte Mängel müssen unverzüglich an die verantwortlichen Angestellten weitergeleitet und die Mängel behoben werden.

Der Qualitätsmanager ist Ansprechpartner für seine Kollegen im Fall von Störungen des Produktionsprozesses. Er kann einzelne Kontroll- und Dokumentationsaufgaben auf andere Angestellte übertragen. In diesem Fall muss er die verantwortlichen Angestellten anleiten und die ordnungsgemäße Erledigung der übertragenen Aufgaben überwachen.

13. Referenzen

1. REACH COMMISSION REGULATION (EU) No 1272/2013 of 6 December 2013 amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards pol. *EU-Regulation* **2013**, 1272/2013.
2. EU-Parliament *Commission regulation (EU) No 575/2011 of 16 June 2011*; Brussels, 2011;
3. EU-Commission *Regulation (EU) 2019/1009 - EU fertilising products and amending regulations*; Brussels, 2019; p. 2019/1009;
4. EU-Commission *Commission implementing regulation (EU) 2019/2164 on organic production and labelling of organic products*; Brussels, 2019;
5. Gy, P. Sampling of discrete materials—a new introduction to the theory of sampling. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* **2004**, 74, 7–24, doi:10.1016/j.chemolab.2004.05.012.
6. Schimmelpfennig, S.; Glaser, B. One Step Forward toward Characterization: Some Important Material Properties to Distinguish Biochars. *J. Environ. Qual.* **2012**, 41, 1001, doi:10.2134/jeq2011.0146.
7. Yang, H.; Kudo, S.; Hazeyama, S.; Norinaga, K.; Mašek, O.; Hayashi, J. Detailed Analysis of Residual Volatiles in Chars from the Pyrolysis of Biomass and Lignite. *Energy & Fuels* **2013**, 130531120623003, doi:10.1021/ef4001192.
8. Spokas, K.A.; Novak, J.M.; Stewart, C.E.; Cantrell, K.B.; Uchimiya, M.; DuSaire, M.G.; Ro, K.S. Qualitative analysis of volatile organic compounds on biochar. *Chemosphere* **2011**, 85, 869–882.
9. Camps-Arbestain, M.; Amonette, J.E.; Singh, B.; Wang, T.; Schmidt, H.-P. A biochar classification system and associated test methods. In *Biochar for environmental management*; Lehmann, J., Joseph, S., Eds.; Routledge: London, 2015; pp. 165–194.
10. EU-Parliament *EU fertilizer regulation 2019/1009*; Brussels, 2019;
11. BBodSchV *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung*; Deutsches Bundesamt für Umwelt: Berlin, 1999;
12. Bucheli, T.D.; Hilber, I.; Schmidt, H.-P. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated aromatic compounds in biochar. In *Biochar for Environmental Management*; Lehmann, J., Joseph, S., Eds.; Routledge: London, 2015; pp. 595–624.
13. ChemRRV *Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen*; Bern, 2020;
14. Fagernäs, L.; Kuoppala, E.; Tiilikkala, K.; Oasmaa, A. Chemical Composition of Birch Wood Slow Pyrolysis Products. *Energy & Fuels* **2012**, 26, 1275–1283, doi:10.1021/ef2018836.
15. Buss, W.; Graham, M.C.; MacKinnon, G.; Mašek, O. Strategies for producing biochars with minimum PAH contamination. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **2016**, 119, 24–30, doi:10.1016/j.jaap.2016.04.001.
16. Bucheli, T.D.; Hilber, I.; Schmidt, H. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated aromatic compounds in biochar. **2014**, 593–622.
17. Bucheli, T.D.; Hilber, I.; Schmidt, H.P. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated aromatic compounds in biochar. In *Biochar for environmental management: Science and technology*; earthscan, London, U., Ed.; 2015.
18. Cornelissen, G.; Pandit, N.R.; Taylor, P.; Pandit, B.H.; Sparrevik, M.; Schmidt, H.P. Emissions and char quality of flame-curtain “Kon Tiki” kilns for farmer-scale charcoal/biochar production. *PLoS One* **2016**, 11, doi:10.1371/journal.pone.0154617.
19. Hilber, I.; Blum, F.; Leifeld, J.; Schmidt, H.-P.; Bucheli, T.D. Quantitative Determination of PAHs in Biochar: A Prerequisite To Ensure Its Quality and Safe Application. *J. Agric. Food Chem.* **2012**, 60, 3042–50, doi:10.1021/jf205278v.
20. WHO Evaluation of certain food additives and contaminants: eightieth report of the Joint

- FAO/WHO Expert Committee on Food Additives Available online: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/204410> (accessed on Nov 27, 2021).
21. Hilber, I.; Mayer, P.; Gouliarmou, V.; Hale, S.E.; Cornelissen, G.; Schmidt, H.-P.; Bucheli, T.D. Bioavailability and bioaccessibility of polycyclic aromatic hydrocarbons from (post-pyrolytically treated) biochars. *Chemosphere* **2017**, *174*, doi:10.1016/j.chemosphere.2017.02.014.
 22. Hilber, I.; Bastos, A.C.; Loureiro, S.; Soja, G.; Marz, A.; Cornelissen, G.; Bucheli, T.D. The different faces of biochar: Contamination risk versus remediation tool. *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.* **2017**, *25*, 86–104, doi:10.3846/16486897.2016.1254089.
 23. Li, H.; Qu, R.; Li, C.; Guo, W.; Han, X.; He, F.; Ma, Y.; Xing, B. Bioresource Technology Selective removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from soil washing effluents using biochars produced at different pyrolytic temperatures. *Bioresour. Technol.* **2014**, *163*, 193–198, doi:10.1016/j.biortech.2014.04.042.
 24. Costera, A.; Feidt, C.; Dziurla, M.A.; Monteau, F.; Le Bizec, B.; Rychen, G. Bioavailability of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from Soil and Hay Matrices in Lactating Goats. *J. Agric. Food Chem.* **2009**, *57*, 5352–5357, doi:10.1021/JF9003797.
 25. Berset, J.D.; Holzer, R. Organic Micropollutants in Swiss Agriculture: Distribution of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAH) and Polychlorinated Biphenyls (PCB) in Soil, Liquid Manure, Sewage Sludge and Compost Samples; a Comparative Study. <http://dx.doi.org/10.1080/03067319508041324> **2006**, *59*, 145–165, doi:10.1080/03067319508041324.
 26. Honda, M.; Suzuki, N. Toxicities of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Aquatic Animals. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, doi:10.3390/IJERPH17041363.
 27. Patel, A.B.; Shaikh, S.; Jain, K.R.; Desai, C.; Madamwar, D. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources, Toxicity, and Remediation Approaches. *Front. Microbiol.* **2020**, *11*, 2675, doi:10.3389/FMICB.2020.562813/BIBTEX.
 28. Wu, H.; Sun, B.; Li, J. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments/Soils of the Rapidly Urbanized Lower Reaches of the River Chaohu, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, doi:10.3390/IJERPH16132302.
 29. Sigmund, G.; Huber, D.; Bucheli, T.D.; Baumann, M.; Borth, N.; Guebitz, G.M.; Hofmann, T. Cytotoxicity of Biochar: A Workplace Safety Concern? *Environ. Sci. Technol. Lett.* **2017**, *4*, 362–366, doi:10.1021/ACS.ESTLETT.7B00267.
 30. Hilber, I.; Arrigo, Y.; Zuber, M.; Bucheli, T.D. Desorption Resistance of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Biochars Incubated in Cow Ruminal Liquid in Vitro and in Vivo. *Environ. Sci. Technol.* **2019**, *53*, 13695–13703, doi:10.1021/acs.est.9b04340.
 31. EU-Commission EXPLANATORY MEMORANDUM Available online: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=PI_COM:Ares\(2021\)44211&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=PI_COM:Ares(2021)44211&from=EN).
 32. Achten, C.; Andersson, J.T. Overview of Polycyclic Aromatic Compounds (PAC). *Polycycl. Aromat. Compd.* **2015**, *35*, 177–186, doi:10.1080/10406638.2014.994071.
 33. Andersson, J.T.; Achten, C. Time to Say Goodbye to the 16 EPA PAHs? Toward an Up-to-Date Use of PACs for Environmental Purposes. *Polycycl. Aromat. Compd.* **2015**, *35*, 330–354, doi:10.1080/10406638.2014.991042.
 34. EFSA Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food - Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *EFSA J.* **2008**, *6*, doi:10.2903/J.EFSA.2008.724.
 35. Brown, R.; Campo, B. del; Boateng, A.A.; Garcia-Perez, M.; Masek, O. Fundamentals of biochar production. In *Biochar for environmental management*; Lehmann, J., Joseph, S., Eds.; Routledge: London, 2015; pp. 39–62.
 36. EU-Parliament Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed - Council statement; 2002; p. Official Journal L 140, 30/05/2002 P. 0010-0022;
 37. Schmidt, H.-P.; Hagemann, N.; Draper, K.; Kammann, C. The use of biochar in animal feeding.

- PeerJ* **2019**, 7, e7373, doi:10.7717/peerj.7373.
38. Ross, J.J.; Zitomer, D.H.; Miller, T.R.; Weirich, C.A.; McNamara, P.J. Emerging investigators series: Pyrolysis removes common microconstituents triclocarban, triclosan, and nonylphenol from biosolids. *Environ. Sci. Water Res. Technol.* **2016**, 2, 282–289, doi:10.1039/c5ew00229j.
39. Bucheli, T.D.; Bachmann, H.J.; Blum, F.; Bürge, D.; Giger, R.; Hilber, I.; Keita, J.; Leifeld, J.; Schmidt, H.-P. On the heterogeneity of biochar and consequences for its representative sampling. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **2014**, 1–6, doi:10.1016/j.jaap.2014.01.020.

Anhang 1

Analysemethoden für EBC-Pflanzenkohle

Basis-Paket

Probenvorbereitung (DIN 51701-3):

Zuerst wird nach einer Homogenisierung die Probe in repräsentative Teilmengen aufgeteilt.

Dieses Aufteilen der Probe geschieht durch Vierteln und Teilen der homogenisierten und aufgehäuften Probe.

Ca. 100 g der Originalprobe werden für die Bestimmung der Leitfähigkeit, des Salzgehaltes und des pH-Wertes abgefüllt.

Ein Teil der Probe wird bei 40 °C getrocknet und nach der Trocknung weiter aufgeteilt.

Ca. 250 g der 40 °C getrockneten Probe werden unzerkleinert zur Bestimmung der Reindichte verwendet und ein Teil davon zur Bestimmung der BET-Oberfläche auf < 3.15 mm gemahlen.

Ca. 50 g der 40 °C getrockneten Probe werden in einer Schwingmühle analysenfein gemahlen und zur weiteren Analytik (PAK, TGA, Asche; CHN, S, Spuren- und Hauptelemente) weiter verteilt. Sofern nicht anders spezifiziert, sind die Korngrößen der Analyseproben von den jeweiligen Normen vorgegeben.

Schüttdichte (in Anlehnung an VDLUFA-Methode A 13.2.1):

Die wasserfrei getrocknete Probe (mindestens 300 ml) wird in einem Messzylinder aus Kunststoff (1 l) eingefüllt und die Probe im Gefäß gewogen. Nach 10maligem Verdichten mittels Fallvorrichtung wird das Volumen am Messzylinder abgelesen. Aus der Masse und dem Volumen der Probe wird die auf die Trockensubstanz bezogene Schüttdichte in kg/m³ errechnet.

Salzgehalt nach BGK, Kap. III. C2 / analog DIN ISO 11265:

20 g der Originalprobe werden mit 200 ml vollentsalztem Wasser in einer PE-Flasche für eine Stunde geschüttelt. Anschließend wird filtriert und im Filtrat die Leitfähigkeit gemessen. Die Temperaturkorrektur der Leitfähigkeit erfolgt automatisch im Gerät. Die ausgegebene Leitfähigkeit bezieht sich auf 25 °C. Die Umrechnung der Leitfähigkeit auf den Salzgehalt erfolgt mit dem Faktor von 52,8 [mg KCl/l]/[10⁻⁴/cm]

und wird in mg KCl/l angegeben. Berechnungsgrundlage ist hier die Leitfähigkeit ($14,12 \cdot 10^{-4} \text{ S/cm}$) einer 0,01 molaren Kaliumchloridlösung. Der Salzgehalt kann dann auf das Volumen der Frischsubstanz bezogen werden.

pH-Wert nach DIN ISO 10390 (CaCl₂):

Mindestens 5 ml luftgetrocknete Probe wird in ein Glasgefäß gegeben. Die das fünffache Volumen (25 ml) einer 0,01 M CaCl₂-Lösung wird hinzugegeben. Die Suspension wird 1 h geschüttelt (über Kopf). Die hergestellte Suspension wird direkt mit einem pH-Messgerät bestimmt.

Wassergehalt nach DIN 51718:

Verfahren A / Zwei-Stufen-Verfahren (Referenz-Verfahren für Steinkohle)

-Grobe Feuchtigkeit

Die Probe (100 - 1000 g) wird in einer Trocknungsschale gleichmäßig verteilt, auf 0,1 g gewogen und in einem Wärmeschrank bei $(40 \pm 2) \text{ °C}$ bis zur Massenkonstanz getrocknet. Falls erforderlich, wird die Probe insgesamt auf mehrere Bleche verteilt.

Auswertung: Grobe Feuchtigkeit (FG) in %

$$FG = \frac{m_E - m_R}{m_E} * 100$$

FG = Grobe Feuchtigkeit in %

m_E = Einwaage an Probengut in g

m_R = Rückwaage an Probengut in g

-Hygroskopische Feuchtigkeit

Eine Teilmenge der luftgetrockneten und unter 1 mm Korngröße zerkleinerten Probe wird unmittelbar nach dem Teilen auf 0,1 mg in einen TGA-Tiegel eingewogen und bei $(106 \pm 2) \text{ °C}$ unter Stickstoffatmosphäre bis zur Massenkonstanz getrocknet.

Auswertung: Hygroskopische Feuchtigkeit (FH) in %

$$FH = \frac{m_E - m_R}{m_E} * 100$$

FH = Hygroskopische Feuchtigkeit in %

m_E = Einwaage an Probengut in g

m_R = Rückwaage an Probengut in g

- Gesamtwassergehalt

Auswertung: Gesamtwassergehalt (W_t) in %

$$W_t = FG + FH * \frac{100 - FG}{100}$$

W_t = Gesamtwassergehalt in %

FG = Grobe Feuchtigkeit in %

FH = Hygroskopische Feuchtigkeit in %

Aschegehalt (550 °C) analog DIN 51719:

Das entsprechende Programm auswählen (30 oder 60 min). Die Leergewichtsermittlung der Tiegel erfolgt automatisch. Die Probennummer für entsprechende Tiegelposition eingeben. 1 g der Analysenprobe in Keramiktiegel geben und gleichmäßig verteilen. Die Wägung erfolgt Tiegel-Positions-bezogen automatisch.

Automat durchläuft folgendes Heizprogramm:

Erwärmung um 5 K/min auf 106 °C unter Stickstoffatmosphäre bis zur Massenkonstanz Δm . Erhöhung der Temperatur um 5 K/min auf 550 °C unter Sauerstoffatmosphäre, diese Temperatur für 30 bzw. 60 min halten bis zur Massenkonstanz ($\Delta m < 0,05\%$).

Der Aschegehalt wird automatisch bestimmt und in Bezug auf die Analysenfeuchte berechnet.

Umrechnung auf andere Bezugszustände erfolgte extern!

Carbonat CO₂ analog DIN 51726:

1 g der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe wird auf 0,2 mg eingewogen und in den Zersetzungskolben gegeben. Das Gerät besteht aus einem Absorptionsturm, der die Luft von Kohlendioxid befreit, dem Zersetzungskolben mit einem Aufsatz um die Säure zuzugeben und drei daran angeschlossene Waschflaschen. Durch die Anlage wird von Kohlendioxid befreite Luft gesaugt. Nachdem die Anlage mit Inertgas gespült und die Waschflaschen mit einer Absorptionslösung aus BaCl₂ und NaOH Lösung befüllt wurden, werden 30 ml Zersetzungssäure (Salzsäure mit HgCl₂ als Katalysator und einem Netzmittel) in den Zersetzungskolben gegeben. Der Inhalt des Zersetzungskolbens wird ca. 10 min bis zum Sieden erhitzt. Der Inertgasstrom befördert das entstehende Kohlendioxid durch eine saure Lösung in der ersten Waschflasche in die beiden anderen Waschflaschen. In der zweiten Waschflasche

löst sich das Kohlendioxid unter Verbrauch der Base und fällt als Bariumcarbonat aus. Tritt in der dritten Waschflasche ein Niederschlag auf, muss die Messung mit geringerer Einwaage wiederholt werden. Der Verbrauch an Base in der zweiten Waschflasche wird über eine pH-Titration mit Salzsäure ermittelt. Der Carbonatgehalt der Probe wird aus dem Basenverbrauch als CO_2 errechnet.

CHN nach DIN 51732:

Die Probe (80-100 mg der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe) wird auf 0,1 % (relativ) direkt in eine Zinn-Kapsel eingewogen und diese verschlossen. Analyse der Messprobe im Gerät (z.B. LECO TruSpec). Angabe des Kohlenstoffgehaltes, des Wasserstoffgehalt und des Stickstoffgehaltes in Massenprozent.

Schwefel nach DIN 51724-3:

Die vorgetrocknete und zerkleinerte Probe wird in einem Keramik-Tiegel (unter Zuhilfenahme von V_2O_5) bei hoher Temperatur ($> 1300\text{ °C}$) im Sauerstoffstrom oxidiert. Das entstehende SO_2 wird in einer IR-Zelle analysiert und einwaagebezogen als Gesamtschwefel angegeben.

Sauerstoffgehalt nach DIN 51733:

Der Sauerstoffanteil wird berechnet. Es wird angenommen, dass die Probe im Wesentlichen aus Asche, Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel und Sauerstoff besteht. Wird von 100 % der Asche-, Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Stickstoff- und Schwefelgehalt in Prozent abgezogen, ergibt sich der Sauerstoffgehalt in Prozent.

C_{org} , H/C und O/C (berechnet):

Aus den Ermittelten Gehalten können andere Größen und Verhältnisse berechnet werden.

C_{org} ergibt sich aus dem Gesamtkohlenstoffgehalt abzüglich des als Karbonat vorliegenden Kohlenstoffanteils.

PAK analog DIN EN 15527: 2009-09 (Extraktion mit Toluol); DIN EN 16181: 2019-08 Extraktionsverfahren 2

2,5 g der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe wird eingewogen und mit 50 ml Toluol zwei Stunden am Rückfluss extrahiert. Der Extrakt wird auf weniger als 10 ml eingeeengt. Ein Aliquot der Phase wird zur Analyse in ein Rollrandfläschchen überführt und mittels Gaschromatographie auf die 16 EPA PAK analysiert.

Gas chromatograph:	Network GC System 7890N and 5975C MSD and inertXL AS 7693 Fa: Agilent Techn
Capillary column:	HP 5MS (30 mx 0.25 mm x 0.25 microns)
Temperature program:	90 °C (0.5 min), 20 °C / min to 250 °C, 5 °C / min to 275 °C, 20 °C / min to 320 °C for 5 min
Transfer line:	280 ° C
MSD temperature:	150 ° C
Injection volume:	1 µl
Injectortemperature:	250°C
Carrier gas:	helium (1.5 ml / min)

Spurenmehalle nach Mikrowellenaufschluss nach DIN 22022-1, DIN 22022-7, DIN EN ISO 17294-2 / DIN EN 12846, DIN 22022-4: (Pb, Cd, Cu, Ni, Hg, Zn, Cr, B, Mn, As, Hg, Ag)

Die vorgetrocknete und zerkleinerte Probe wird in das Reaktionsgefäß der Mikrowelle eingewogen. Dazu werden 6 ml Salpetersäure, 2,0 ml Wasserstoffperoxid und 0,4 ml Flussäure gegeben. Anschließend wird das Reaktionsgefäß entsprechend verschlossen und in die Mikrowelle eingebaut.

Programmablauf des Mikrowellendruckaufschlusses:

Aufheizphase (Raumtemperatur bis 190 °C) in 15 min

Haltezeit bei 190 °C 20 min

freies Abkühlen

zusätzlich nur notwendig bei Messung mittels ICP-OES:

Programmablauf der Flussäuremaskierung (mit Borsäure, Zugabe 5 ml gesättigte Lösung):

Aufheizphase (Raumtemperatur bis 160 °C) in 8 min

Haltezeit bei 160 °C 7 min

freies Abkühlen

Nach vollständiger Abkühlung werden die Reaktionsgefäße geöffnet und die Aufschluss-Lösung in 50 ml Kunststoff-Maßkolben überführt und mit entionisiertem Wasser aufgefüllt.

Die Verdünnten Aufschlusslösungen werden mittels ICP-MS vermessen (DIN EN ISO 17294-2).

Zur Bestimmung der Quecksilbergehalte können DIN EN ISO 12846
DIN 22022-4; DIN EN ISO 17294-2 und DIN 22022-7 angewandt werden.

**Hauptelemente nach Schmelzaufschluss nach DIN 51729, DIN EN ISO 11885 /
DIN EN ISO 17294-2:** (P, Mg, Ca, K, Na, Fe, Si, S)

Der Schmelzaufschluss wird an der Asche der Pflanzenkohle durchgeführt. 200 mg der analysenfeinen Asche werden in einen Platintiegel eingewogen und mit 2 g Lithiummetaborat intensiv vermischt.

Der Platintiegel wird in einen Aufschlussöfen gestellt. Der Aufschluss verbleibt mindestens 15 Minuten bei 1050 °C im Ofen. Die Schmelze wird in Salzsäure aufgelöst und auf 500 ml aufgefüllt.

Die Proben werden am ICP-OES (DIN EN ISO 11885) oder ICP-MS (DIN EN ISO 17294-2) vermessen.

Wasserhaltekapazität (WHC) nach DIN EN ISO 14238, Anhang A:

Die 2 mm Fraktion der Biochar-Probe wird im Wasserbad für einen Zeitraum von 24 Stunden gesättigt. Im Anschluss wird die Probe für 2 Stunden auf ein trockenes Sandbett aufgesetzt, um ungebundenes Wasser abzuziehen. Das gesättigte Material wird gewogen und in einem Trockenschrank bei max. 105 °C getrocknet. Nach dem Trocknen wird die Probe erneut gewogen und die Wasserhaltekapazität bestimmt.

Elektrische Leitfähigkeit des pyrogenen Feststoffs

Für die Bestimmung der Leitfähigkeit im Feststoff ist es zunächst erforderlich die fein gemahlene Pflanzenkohle unter standardisiertem Druck zu komprimieren. Im Laufe dieses Kompressionsprozesses ist sodann der elektrische Widerstand vertikal durch den Prüfkörper zu messen. Aufgrund des gemessenen Widerstandes der Kohle und der Geometrie des Presslings lässt sich mithilfe der folgenden Formeln die spezifische Leitfähigkeit ermitteln:

$$\Omega_{\text{spezifisch}} = \Omega_{\text{elektrisch}} * \frac{A}{h}$$

$$LF = \frac{1}{\Omega_{\text{spezifisch}} * 1000}$$

$\Omega_{\text{spezifisch}}$ = spezifischer Widerstand in Ohm * cm

$\Omega_{\text{elektrisch}}$ = elektrischer Widerstand in Ohm

A = Fläche des Presslings = Auflagefläche der Elektrode in cm²

H = Höhe des Presslings in cm

LF = Leitfähigkeit in mS/cm

Für die Bestimmung der Leitfähigkeit braucht es eine Gerätschaft zum Verpressen der Pflanzenkohle, ein Multimeter mit der Fähigkeit zur 4-Leitermessung sowie eine Messkonstruktion, in welcher die Pflanzenkohle komprimiert und zugleich der elektrische Widerstand gemessen werden kann. Die Messkonstruktion besteht aus einem Druckkolben dessen Boden und Deckel jeweils aus entsprechenden Kupfer-Elektroden besteht. Die verwendeten Elektroden sind mit einem externen Multimeter zu verbinden. Die Position der Elektroden zueinander erfolgt nicht entlang der Ebene eines Prüfkörpers, sondern an gegenüberliegenden Seiten.

In einem exemplarischen Aufbau ergibt sich zum Beispiel bei einem Probekammervolumen von 10 cm³ ein relevanter Einwaagebereich von 1-2 g einer bei 40 °C getrockneter sowie analysenfein gemahlener Probe. Auf diesen Messaufbau muss unter Verwendung einer Hydraulikpresse (z.B. Kniehebelpresse) ein Druck realisiert werden, welcher im Bereich von 10 – 50 kN ist. Wenn der vorgegebene Zieldruck erreicht ist, wird sofort der Widerstand auf dem Multimeter abgelesen und mittels obiger Formeln umgerechnet. Die mittlere Leitfähigkeit ergibt sich aus dem Mittelwert der Feststoff-Leitfähigkeiten unter 10, 20, 30, 40 und 50 kN Druck.

Diese Methode wurde vom Ithaka Institute und Eurofins entwickelt. Das dazu nötige Messgerät kann über Eurofins bezogen werden. Die Festlegung einer ISO-Norm für dieses Messverfahren wird derzeit angestrebt.

Anhang 2

Analytische Parameter für EBC-Futter

Spurenmetalle

nach VDLUFA III oder DIN EN ISO17294-2

As, Pb, Cd, Hg: DIN EN 15763:2010-04

0,1 g bis 1 g des getrockneten, gemahlene und homogenisierten Materials werden in einen Kunststoffbecher (PTFE, PFA) oder Quarzbecher für die Mikrowelle eingewogen. Nach Zugabe von 65%iger Salpetersäure im Verhältnis 1+5 (Einwaage+Säure) und nach Zugabe von 30%igem Wasserstoffperoxid im Verhältnis 1+2,5 bis 1+10

(Einwaage+Wasserstoffperoxid) wird bei der für das System maximal zulässigen Temperatur aufgeschlossen (in der Regel 190°C). Aufheizphase: 15 min; Haltezeit: 30 min.

Nach dem Abkühlen wird quantitativ in ein Polypropylengefäß mit Volumenmarkierung überführt und mit 0,1 M Salpetersäure bis zur Marke aufgefüllt. Die Messung erfolgt mit ICP-MS oder ICP-OES. Beim Quecksilber werden Kaltdampf-AAS oder Atomfluoreszenzspektrometrie eingesetzt.

PCB

nach DIN EN 16167, DIN EN 16215, VDLUFA VII 3.3.2.2

Das Material wird zu Pulver (<1 mm) zerkleinert und bei maximal 35°C im Trockenschrank getrocknet. Alternativ kann chemisch oder durch Gefriertrocknung getrocknet werden. 5-10 g Probe werden mittels Soxhletextraktion 6 h mit Toluol unter Zugabe von geeigneten internen Standards extrahiert. Alternativ kann eine ASE Extraktion verwendet werden. Der Extrakt wird aufkonzentriert und entsprechend VDLUFA VII 3.3.2.2 mit Kieselgel-Säulenchromatographie gereinigt. Die Messung und Quantifizierung des gereinigten Extraktes erfolgt mit GC-MS oder GC-ECD.

PCDD/PCDF/coplanare PCB

nach DIN EN 16190:2019-10, DIN EN 16215, Verordnung (EG) Nr. 152/2009 (geändert durch Nr. 2017/771), HRGC/HRMS Bestätigungsverfahren

Das Material wird zu Pulver (<1 mm) zerkleinert und bei maximal 35°C im Trockenschrank getrocknet. Alternativ kann gefriergetrocknet werden. 2 g Probenmaterial werden nach Zugabe isotoopenmarkierter Standards 20 h mit Toluol im Soxhlet extrahiert. Alternativ können spezielle Heißeextraktoren wie die ASE eingesetzt werden. Nach Aufkonzentrierung

wird der Extrakt nach VDLUFA Methode VII 3.3.2.4 durch mehrfache Säulenchromatographie gereinigt und kann in verschiedene Fraktionen unterteilt werden. An dieser Stelle ist auch eine Gewinnung der DIN-PCB Fraktion möglich. Zuletzt erfolgt die Messung der Komponenten mit GC-HRMS.

Kohlenstoff

Testmethode: DIN 51732

Verwendung von TruSpec CHN (Hersteller: Leco)

Die Probe (80-100 mg der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe) wird auf 0,1 % (relativ) direkt in eine Zinn-Kapsel eingewogen und diese verschlossen. Analyse der Messprobe im Gerät. Angabe des Kohlenstoffgehaltes, des Wasserstoffgehalt und des Stickstoffgehaltes in Massenprozent.

Fluor

Testmethode: VDLUFA III 17.3.2, VDLUFA VII 2.2.2.1, DIN EN 16279:2012-09, BAFU F-7 2017 (DIN 38405-4:1985-07)

Das getrocknete und gemahlene Material wird verascht und mit Natriumhydroxid aufgeschlossen. Der erkaltete Aufschluss wird in Salzsäure unter Zugabe eines Komplexbildners (TISAB) gelöst. Anschließend wird ein pH-Wert von 5,5 eingestellt und der Fluoridgehalt mittels einer ionensensitiven Elektrode ermittelt.

Trockensubstanz

Testmethode: DIN 51718; VDLUFA III 3.1;

Mindestens 50 g der Probe werden entnommen und soweit erforderlich, unter Vermeidung von Feuchtigkeitsänderungen zerkleinert. 5 g Kohle werden auf 1 mg genau eingewogen und bei 103°C 4 h getrocknet. Nach dem Beladen des Ofens beginnt die Trocknungszeit erst nach genauem Erreichen der 103°C. Nach dem Abkühlen im Exsikkator wird auf 1 mg genau zurückgewogen.

Rohasche

analog zu DIN 51719, VDLUFA III 8.1; HCl-insoluble ash: VDLUFA III 8.2

Etwa 5 g Probe werden auf 1 mg genau in eine geglühte und tarierte Veraschungsschale eingewogen. Die Schale wird in einen Muffelofen gebracht und bei 550°C±5°C so lange belassen, bis keine Kohlepartikel mehr zu erkennen sind. Nach Abkühlung im Exsikkator

wird auf 1 mg zurückgewogen. Bei schwierigen Proben erfolgt eine Ammoniumnitratbehandlung entsprechend Methode VDLUFA 8.1.

Anhang 3

Analytische Zusatzparameter

Brennwert / Heizwert nach DIN 51900:

Zur Bestimmung des Brenn- und Heizwertes wird ein Bombenkalorimeter benutzt, welches die Anforderungen gemäß genannter Norm erfüllt. 0,3 bis 0,8 g der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe wird in einen Verbrennungsbeutel, Kapsel oder Tiegel eingewogen. Die Probe wird in die Verbrennungsbombe mit dem Zünddraht, Zündfaden und 10-20 ml Eluent im Bombenunterteil eingebaut. Bombe wird in das Kalorimeter eingehängt. Die Befüllung mit Sauerstoff, die Zündung und die Messung geschehen automatisch. Nach der Verbrennung muss die Bombe auf Spuren einer unvollständigen Verbrennung überprüft werden. Mit den Kalibrierungs- und Messdaten kann der Brennwert und nach weiteren Korrekturen der Heizwert errechnet werden.

Aschegehalt (815 °C) DIN 51719:

Der Aschegehalt 815 °C wird nach dem Aschegehalt 550 °C bestimmt, die Temperatur wird vom Haltepunkt 550 °C mit 5 K/min weiter auf 815 °C aufgeheizt und bis zur Gewichtskonstanz (Massenunterschied $\pm 0,05$ %) geglüht.

Flüchtige Bestandteile nach DIN 51720:

1 g der der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe wird in einen Tiegel (mit Deckel) eingewogen. Die Probe muss eine gleichmäßig dicke Schicht auf dem Tiegelboden bilden. Der Tiegel wird in den 900 ± 5 °C vorgeheizten Ofen gebracht. Nach 7 min (± 5 s) wird der Tiegel aus dem Ofen genommen und nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur zurückgewogen. Aus dem Masseverlust der Probe wird der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen berechnet.

Spezifische Oberfläche nach DIN ISO 9277 (BET) und DIN 66137 (Dichte)

Die Probe wird bei 40 °C getrocknet und auf eine Partikelgröße < 3.15 mm gemahlen. Die Ausgasung findet unter Vakuum statt. Die Ausgasungstemperatur ist auf 150° C und die Ausgasungsdauer auf 2 Stunden festgelegt. Es wird das Multipoint BET-Modell angewandt. Als Adsorptionsgas wird Stickstoff verwendet.

Thermogravimetrische Analyse:

Die TGA-Kurve wird analog zu den Bestimmungen der hygroskopischen Feuchte und des Aschegehaltes in der TGA ermittelt. Dazu wird 1 g der vorgetrockneten und gemahlene Probe in den TGA-Tiegel eingewogen. Während der Temperaturerhöhung von 30 °C auf 950 °C mit 10 K/min wird der Tiegel in kurzen Abständen im TGA-Ofen gewogen. Das Ergebnis wird grafisch dargestellt.

PCB

nach VDLUFA VII 3.3.2.2 (DIN-PCB; Heißextraktion, GC-MS) DIN EN 16167:2019-06 (Abweichend zur Norm Extraktionsverfahren 2 statt mit Petrolether mit Toluol als Extraktionsmittel), DIN 38414-20 und DIN EN 16215

Das Material wird zu Pulver (<1 mm) zerkleinert und bei maximal 35°C im Trockenschrank getrocknet. Alternativ kann chemisch oder durch Gefriertrocknung getrocknet werden. 5-10 g Probe werden mittels Soxhletextraktion 6 h mit Toluol unter Zugabe von geeigneten internen Standards extrahiert. Alternativ kann eine ASE Extraktion verwendet werden. Der Extrakt wird aufkonzentriert und entsprechend VDLUFA VII 3.3.2.2 mit Kieselgel-Säulenchromatographie gereinigt. Die Messung und Quantifizierung des gereinigten Extraktes erfolgt mit GC-MS oder GC-ECD.

PCDD/PCDF/coplanare PCB

DIN EN 16190:2019-10, DIN EN 16215, Verordnung (EG) Nr. 152/2009 (geändert durch Nr. 2017/771) HRGC/HRMS Bestätigungsverfahren, VDLUFA VII 3.3.2.4

Das Material wird zu Pulver (<1 mm) zerkleinert und bei maximal 35°C im Trockenschrank getrocknet. Alternativ kann gefriergetrocknet werden. 2 g Probenmaterial werden nach Zugabe isotoopenmarkierter Standards 20 h mit Toluol im Soxhlet extrahiert. Alternativ können spezielle Heißextraktoren wie die ASE eingesetzt werden. Nach Aufkonzentration wird der Extrakt durch mehrfache Säulenchromatographie gereinigt und kann in verschiedene Fraktionen unterteilt werden. An dieser Stelle ist auch eine Gewinnung der DIN-PCB Fraktion möglich. Zuletzt erfolgt die Messung der Komponenten mit GC-HRMS.

Chrom(VI)

DIN EN 16318: 2016-07

Chrom kann während der Pyrolyse nicht oxidiert werden und wird stattdessen während der Pyrolyse reduziert, d.h. Cr(VI) wird in weniger mobiles und dramatisch weniger toxisches Cr(III) umgewandelt, das bereits als Gesamt-Cr-Gehalt der Pflanzenkohle geregelt ist.

Nichtsdestotrotz wird diese Methode angeboten, um bei Bedarf einen analytischen Nachweis für die Einhaltung der Anforderungen der EU-Düngemittelverordnung zu erbringen.

Anhang 4

Repräsentative Probenahme

Um eine möglichst repräsentative Probe einer größeren Produktionsmenge zu erhalten, muss eine Charge innerhalb der ersten sieben Produktionstage wie folgt nach exakter Methodik beprobt werden. Querstromproben garantieren dabei am sichersten eine repräsentative Probenahme des Produktes.

A) Anlagen mit kontinuierlichen Produktionsprozessen

1. An drei aufeinanderfolgenden Tagen werden täglich je 8 Proben à 3 Liter im Abstand von jeweils mindestens einer Stunde direkt am Austrag vom frisch produzierten Material entnommen und beschriftet. Diese Entnahme kann auch durch eine entsprechend eingestellte automatisierte Querstromprobe erfolgen.
2. Die 24 Teilproben werden zu einer Mischprobe vereinigt.
3. Die Entnahme jeder einzelnen der 24 Proben (= 3 x 8 Tagesproben) muss mit den jeweils genauen Entnahmezeitpunkten im Probenahmeprotokoll dokumentiert werden.

B) Anlagen mit nicht-kontinuierlichen Produktionsprozessen

1. Die Menge an Pflanzkohle, von der eine repräsentative Probe genommen werden soll, muss mindestens die Produktionsmenge eines Tages umfassen.
2. Der zu beprobende Haufen muss zunächst gründlich gemischt werden, indem er dreimal mit einem Frontlader oder einer Schaufel von einem Haufen auf einen anderen umgesetzt wird.
3. An 24 verschiedenen Stellen des gemischten Haufens wird jeweils eine Teilprobe von 3 Litern entnommen.
4. Die 24 Teilproben werden zu einer Mischprobe vereinigt.
5. Die Probenahme wird im Probenahmeprotokoll dokumentiert.

C) Homogenisierung und Probenteilung

Die Mischprobe von $(24 \times 3 \text{ l}) = 72$ Litern kann entweder direkt an das akkreditierte Labor geschickt werden, wo es homogenisiert und zu einer repräsentativen Analyseprobe verkleinert wird, oder die Produzenten stellen selbst nach folgendem Vorgehen eine verkleinerte repräsentative Analyseprobe her:

1. Sollte die Partikelgröße der Mischprobe größer als 3 mm sein, muss diese auf < 3 mm gemahlen werden, da sonst keine repräsentative Probenteilung möglich ist.
2. Die gemahlene Mischprobe wird entweder mit einem maschinellen Probenteiler auf 2 bis 2,5 Liter reduziert oder nach folgender Vorschrift homogenisiert und geteilt.
3. Die gemahlene Mischprobe (insgesamt 72 Liter) wird auf eine saubere Unterlage geschüttet und sodann dreimal mittels einer Schaufel von einem Haufen auf einen anderen umgesetzt.
4. An 15 Stellen des gemischten Haufens werden dann je eine Teilprobe von jeweils 1,5 Litern entnommen.
5. Die 15 Teilproben werden wiederum zusammengeschüttet.
6. Die neue Teilprobe von 22,5 l wird nun gründlich gemischt, indem sie dreimal von einem Haufen auf einen anderen Haufen geschaufelt wird.
7. Von dem gemischten Haufen der 22,5 l großen Teilprobe werden nun 15 Teilproben von jeweils 150 ml an 15 verschiedenen Stellen des Haufens entnommen und vereinigt.

Die Probe, die an das akkreditierte Labor gesendet werden, müssen versiegelt und mit dem auf der EBC-Webseite generierten QR-Code beschriftet werden.

Die zu erwartenden Unsicherheiten (Richtigkeit und Präzision) wurden von Bucheli et al. [39] im Detail beschrieben und werden von der EBC bei der Evaluation der Resultate entsprechend berücksichtigt. Das Ziel der vorgeschriebenen Probenahmemethode besteht darin, eine gut charakterisierende Querschnittsprobe zu erreichen.

A5. Länderanhang: Schweden

Der schwedische Anhang berücksichtigt spezifische gesetzliche Anforderungen Schwedens und relevante schwedische Zertifikate bezüglich der Grenzwerte für potenzielle Schadstoffe. Der schwedische Anhang ersetzt die jeweiligen EBC-Grenzwerte entsprechend den folgenden Tabellen.

EBC-zertifizierte Pflanzenkohle, die auf dem schwedischen Markt verkauft wird, muss alle Anforderungen der jeweiligen Zertifizierungsklasse des Europäischen Pflanzenkohle Zertifikats und des schwedischen Anhangs erfüllen. Der schwedische Anhang gilt zusammen mit dem Europäischen Pflanzenkohle Zertifikat, ist eine Ergänzung zum EBC und ist daher nicht als eigenständiges Dokument anzusehen.

A5.1 EBC-Anforderungsliste des Schwedischen Anhangs

Die im vorliegenden schwedischen Anhang vorgenommenen Abweichungen und Ergänzungen zum Europäischen Pflanzenkohle Zertifikat betreffen nur die Zertifizierungsklassen EBC-Agro und EBC-AgroBio.

A5.2 EBC-Agro

Die vom EBC festgelegten Grenzwerte für Blei (Pb) und Cadmium (Cd) werden für EBC-zertifizierte Pflanzenkohle, die auf dem schwedischen Markt gehandelt wird, durch die folgenden Grenzwerte ersetzt:

EBC-Referenz	Analyse-Parameter	Grenzwert	Kommentar & Quellen
Kapitel 6.6	Blei (Pb)	100 mg kg ⁻¹ (TM)	Grenzwert übernommen von SNF1998:944 und dem Industriestandard SPCR152.
Kapitel 6.6	Cadmium (Cd)	1 mg kg ⁻¹ (TM)	Grenzwert übernommen vom EU-Ecolabel, Industriestandard SPCR 120 und SPCR 152

A5.3 EBC-AgroBio

Um Pflanzenkohle für den Einsatz in der biologischen Landwirtschaft in Schweden zu verkaufen, muss der Silbergehalt (Ag) zwingend angegeben werden.

EBC-Referent	Analyse-Parameter	Grenzwert	Kommentar & Quellen
Chapter 6.6	Silver (Ag)	k. A. mg kg ⁻¹ (DM)	Der Wert muss deklariert werden. Nach den KRAV-Regularien gibt es allerdings keinen Grenzwert.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

B-2 Informationsmaterial Karbonisierungs- und Verstromungsanlagen

B-2.1 Broschüre Carbo-FORCE



Verwandeln Sie Reststoffe in Wertstoffe:

Setzen Sie auf die Zukunft
der Carbo-CAP-TEC
Made by Carbo-FORCE.

Innovative Thermolyse mit partieller Oxidation

**Hohe Wirtschaftlichkeit,
maximaler Wertstoff-Output**

Anlagenbau Made in Germany

Carbo-FORCE GmbH

Industriestraße 5
24211 Preetz, Germany
info@carbo-force.de
+49 (0) 4342 - 78 93 25

Kai Alberding

Mobil: +49 (0) 178 / 52 99 000
k.alberding@carbo-force.de

Malte Graf

Mobil: +49 (0) 160 / 96 64 20 80
m.graf@carbo-force.de

Inhalt

Carbo-FORCE: Wandel, der Werte schafft.	05
Warum sollten wir organische Reststoffe in Wertstoffe verwandeln? Weil es höchste Zeit ist.	07
Was macht die Carbo-CAP-TEC so effizient und wirtschaftlich?	09
Technik-Vorteil Carbo-FORCE: Nutzen Sie die vielseitige Wandlung unterschiedlichster organischer Reststoffe.	11
Effizienz-Vorteil Carbo-FORCE: Profitieren Sie von hoher Wirtschaftlichkeit von Anfang an!	13
Carbo-FORCE ganz handfest: Wertvolle Biochar als Teil einer ganzheitlichen Reststoffwandlung.	15
Wärmeleistung, Stromerzeugung und Produktgas: Wandeln Sie mit Carbo-FORCE Reststoffe in energietragende Wertstoffe.	17
CO₂ reduzieren – von CO₂-Assets profitieren: Carbo-CAP-TEC ist eine negative Emissionstechnologie, die Kohlendioxid bindet.	19
Aufstellen, starten, Reststoffe wandeln: Praxisstarke Anlagenkonstruktion für lange Laufzeiten und wartungsarmen Betrieb.	21



Eine Welt, ein Ziel: Unsere Zukunft.

„Die Dringlichkeit des Klimawandels und die harte Arithmetik der Emissionen erfordern den Einsatz von Carbon-Abscheidung und -Speicherung ohne Verzögerung. Eine Politik, die für eine saubere und dauerhafte Ausrichtung der Märkte sorgt und kontinuierliche Innovationen unterstützt, insbesondere die Ausweitung auf neue Anwendungen wie Schwerindustrie, Wasserstoff und CO₂-Entfernung, wird über unsere Zukunft entscheiden.“

Dr. Julio Friedmann, Senior Research Scholar am Center for Global Energy Policy der Columbia University

Carbo-FORCE

Wandel, der Werte schafft.

Die Grundidee unseres Handelns ist es, mit modernster, innovativer Technik regionale, organische Reststoffe zu wandeln. Die Natur mit ihrem Prinzip eines funktionierenden Kreislaufs dient dabei als Vorbild unserer zukunftsweisenden und nachhaltigen Anlagentechnik.

Tagtäglich sehen wir die Auswirkungen menschlichen Handelns auf die Umwelt. Wir glauben fest daran, dass wir diese voranschreitende Katastrophe, statt mit zunehmenden Restriktionen, nur mit Innovation, Fortschritt und aktivem Handeln bewältigen können.

Die Herausforderung war es, eine Anlagentechnik zu entwickeln, die es uns ermöglicht, Reststoffe in Wertstoffe zu wandeln und gleichzeitig einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz leistet. Wir wollten uns die in organischen Reststoffen vorhandene Energie zunutze machen, um CO₂ dauerhaft in hochwertiger Biochar zu binden und so einen lukrativen und mehrdimensionalen Wertstoff zu generieren.

Im Prinzip finden sich weltweit unterschiedlichste Carbonisierungstechniken in der praktischen Anwendung. Allerdings wurde die bis dato angewendete Technik unseren Leistungsansprüchen nicht gerecht, da sie weiterhin auf externe Energie und zu spezifische Inputstoffe angewiesen war. Aufgrund dieser Ausgangslage entwickelten wir ein neues, zukunftsweisendes Verfahren, welches die Vorteile von verschiedenen Carbonisierungstechniken wie Pyrolyse und Thermolyse in sich vereint:

Carbo-CAB-TEC Verfahren – Made by Carbo-FORCE

Carbo-FORCE will Sie in ihrer Vision bestärken: Dafür eröffnen wir Ihnen ein internationales Netzwerk und umfassende Unterstützung, damit Sie sich weiter auf Ihr Kerngeschäft konzentrieren können. Gehen Sie mit uns diesen neuen Weg mit einer umweltbewussten, technisch innovativen und wirtschaftlich attraktiven Investition in die Zukunft.

Wir sind davon überzeugt: Aktiver Klimaschutz, Reststoff-Wertstoff-Wandlung und Wirtschaftlichkeit schließen einander nicht aus – sie profitieren voneinander!



Kai M. Alberding



Malte Graf

Zündende Idee:

Reststoffe wandeln,
Wertstoffe produzieren.



„Wie auch immer wir die Daten hin und her wenden, wir haben nur ein Jahrzehnt, um die CO₂-Wende zu schaffen und die Menschen noch vor den größten Risiken des Klimawandels zu schützen.“

Johan Rockström, Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK)

Warum sollten wir organische Reststoffe in Wertstoffe verwandeln? Weil es höchste Zeit ist.

Werden organische Reststoffe einfach verbrannt, was häufig noch der Fall ist, entsteht durch die Verbindung mit dem Sauerstoff aus der Luft insbesondere CO₂. Dieser Prozess ist klimaschädlich und vernachlässigt völlig, dass auch diese Reststoffe tatsächlich wirtschaftlich gewinnbringend in Wertstoffe verwandelt werden können – zum Beispiel in Biochar und Energie.

Eine Tonne Biochar bindet den Kohlenstoff aus bis zu 3,6 Tonnen CO₂!

Damit hat die Umwandlung von organischen Substanzen mehrere entscheidende Vorteile:

- Die Freisetzung von CO₂ im Vergleich zur Verbrennung von Reststoffen wird vermieden.
 - Der Kohlenstoff wird im Gegenteil langfristig in Form von Biochar gebunden: 1 t Biochar bindet Kohlenstoff aus bis zu 3,6 t CO₂!
 - Durch die Umwandlung wird die Reststoffmasse insgesamt reduziert – und Biochar als Wertstoff produziert.
 - Im Umwandlungsprozess wird Energie freigesetzt, die ebenfalls als Wertstoff genutzt werden kann.
- Insbesondere die Umwandlung von organischen Substanzen zu Biochar hat also durchaus das Potenzial zum „Klimaretter“. – Also, worauf warten wir noch?



Geringe Effizienz: Herkömmliche Carbonisierungsverfahren haben Grenzen.

Im verfahrenstechnischen Prozess der Verkohlung organischer Substanzen erfolgt die Umwandlung klassischerweise durch Pyrolyse unter Luftabschluss. Die erforderliche Wärmezufuhr für die Umwandlungsprozesse erfolgt dabei indirekt, also von außen über große Wärmetauscherflächen.

Dieses Verfahren produziert zwar wie gewünscht Biochar, hat aber entscheidende Nachteile – insbesondere den umfangreichen technischen Aufwand, die hohe Energiezufuhr für den Betrieb, eine durch die Wärmetauscher begrenzte Leistungsdichte sowie vergleichsweise hohe Investitionskosten.

Die neue Carbo-CAP-TEC: breitere Anwendung, effektiver, kostengünstiger!

Mit der neu entwickelten Carbo-CAP-TEC haben wir die Verfahrenstechnik der Pyrolyse zur Thermolyse mit partieller Oxidation verfeinert, optimiert und entscheidend weiterentwickelt.

Dies vereinfacht die Verfahrenstechnik, steigert Leistung, Effizienz und Anwendungsbreite und ist auch noch kostengünstiger!

Carbonisierungstechnik für die Zukunft: Carbo-CAP-TEC.



„Pyrolyse ist gut. Carbo-CAP-TEC von Carbo-FORCE ist besser, einfacher, effizienter, flexibler, leistungsstärker und sogar kostengünstiger. Wir erzeugen hier nicht nur Biochar. Carbo-FORCE Anlagen sind ein integriertes und verfahrenstechnisch optimiertes System zur Reststoff-Wertstoff-Wandlung.“

Björn Kuntze

Was macht die Carbo-CAP-TEC so effizient und wirtschaftlich?

Die Verkohlung von organischen Substanzen zu Biochar in herkömmlichen Pyrolyse-Anlagen geschieht üblicherweise durch indirekte Erwärmung bei Temperaturen um die 400 bis 500 °C. Diese Anlagen erreichen jedoch noch nicht die Leistungs- und Qualitätskriterien, wie sie mit der Carbo-CAP-TEC in einer Carbo-FORCE-Anlage möglich sind. Zwar sind auch hier Verarbeitungsprozesse bei 400 °C möglich – doch durch Carbo-CAP-TEC sind deutlich höherer Prozesstemperaturen von bis zu 900 °C umsetzbar. Durch dieses Hochtemperaturverfahren erzielen wir Biocharqualitäten, die bei niedrigeren Temperaturen nicht erreicht werden.

Nutzung der Schwelgase und Einblasung von Luft machen den Unterschied!

Im Carbo-CAP-TEC -Verfahren wird dem Prozess keine zusätzliche Wärme zugeführt. Die erforderliche Wärmeenergie wird durch die partielle Oxidation von Schwelgasen innerhalb des Carbo-FORCE-Reaktors direkt erzeugt – unterstützt durch prozessinterne Wärmerückgewinnung mittels Eindüsung von energetisch angereicherter Primärluft in das System. Diese optimierte autotherme Verfahrenstechnik des Carbo-CAP-TEC Verfahrens hat wesentliche Vorteile:

- Kontrollierte und optimale Umwandlung in Energie und Biochar durch partielle Oxidation im Thermolysereaktor.
- Partielle Oxidation mit hohen Temperaturen garantiert eine bestmögliche Leistungsdichte im Prozess.
- Durch die Veränderbarkeit der Temperatur im Prozess kann der Durchsatz und die Produktqualität variiert werden.
- Trotz höherer Temperaturen ist der apparative Aufwand und die Komplexität des Verfahrens deutlich geringer.
- Die Einfachheit des Verfahrens ermöglicht eine breite Anwendung auch für schwierige Einsatzstoff.

Halten wir fest: Die Zukunft der Carbonisierung in der Carbo-FORCE-Anlage ist kostengünstiger und effektiver als die herkömmliche Pyrolyse-Technik!

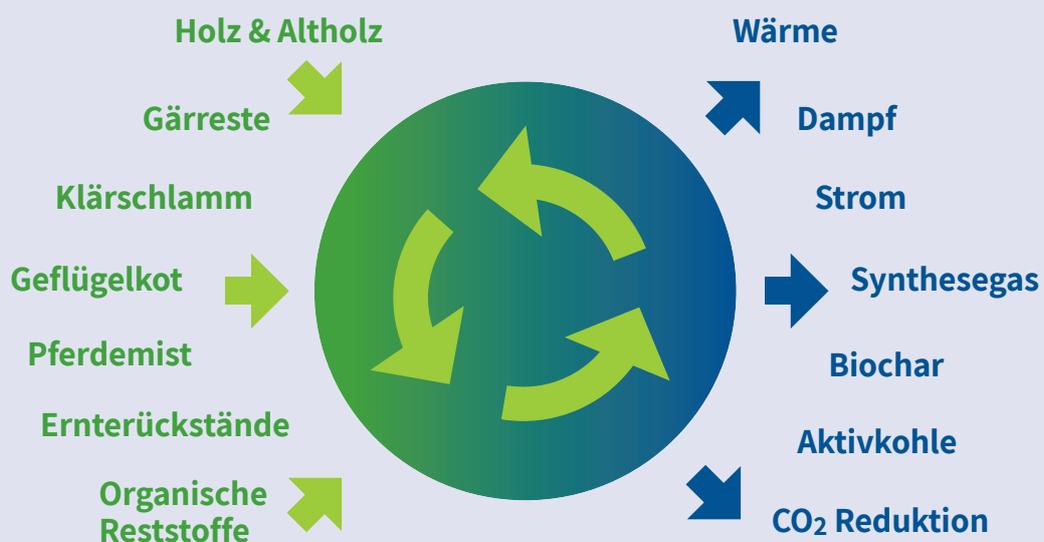
Übrigens: Hochofenkoks für die Stahlindustrie wird ebenfalls bei sehr hohen Temperaturen autotherm durch partielle Oxidation erzeugt. Die Technologie der partiellen Oxidation in der Verkohlung ist also in anderen Anwendungen bereits bewährt – jetzt wurde sie mit Carbo-FORCE für die Reststoffwandlung spezialisiert!

Mehr Input, mehr Output:

Effizienter Betrieb mit mehr Möglich- keiten.

„Die reine Herstellung von Biochar ist für die Zukunft zu eindimensional gedacht. Mit der Carbo-CAP-TEC decken wir ein breitestmögliches Spektrum an verwertbaren Reststoffen ab und maximieren den Wertstoffertrag.“

Javier Lubian



Technik-Vorteil Carbo-FORCE: Nutzen Sie die vielseitige Wandlung unterschiedlichster organischer Reststoffe.

Herkömmliche Pyrolyse-Anlagen sind in erster Linie nur für die Produktion von Biochar ausgelegt. Spätestens bei der Carbonisierung von Einsatzstoffen mit korrosiven Inhaltsstoffen (Schwefel, Chlor) sind diese Verfahren limitiert.

Die Carbo-CAP-TEC der Carbo-FORCE-Anlage ist dagegen ganzheitlich auf die vielseitige Wandlung unterschiedlichster organischer Inputstoffe ausgerichtet. Sie wurde speziell im Hinblick auf schwierige Inputmaterialien wie zum Beispiel Klärschlämme, Gärreste oder Hühnertrockenkot entwickelt – und gleichzeitig für den einfachen, praxistauglichen Betrieb konstruiert.

Carbo-FORCE Input: organische Reststoffe aller Art.

- Carbo-FORCE ist nicht nur auf Biomasse wie Holz ausgelegt, sondern auch für komplexere organische Reststoffe geeignet:
- Altholz, Restholz, Datteln, Kerne
- Hühnertrockenkot, Pferdemist
- Klärschlämme
- organische Krankenhausabfälle
- Gärreste und weitere organische Reststoffe



Carbo-FORCE-Prozess: verfahrenstechnisch optimiert.

- Benutzerfreundliche und schnelle Anpassung an unterschiedliche Inputs.
- Verarbeitung von Biomasse mit hohem Wassergehalt möglich, optional über integrierte Vortrocknung.
- Robuster, großvolumiger Thermolysereaktor.
- Reduzierte Staubbelastung durch eine Beruhigungskammer vor der Brennkammer und optimalen Abbrand.
- Verschlackung in der Brennkammer wird durch Begrenzung der Verbrennungstemperaturen durch Abgasrezirkulierung verhindert.
- Mechanischer Reinigungseffekt der Luftsauerstoffeindüsung durch Umwälzung im Wirbelschichtverfahren.

Carbo-FORCE Output: Wertstoffe und CO₂-Kompensation.

Der Output an Wertstoffen lässt sich auf drei wesentliche Gruppen zusammenfassen:

- Biochar in allen Qualitäten, von Pflanzenkohle bis zu Aktivkohle.
- Weiter verwendbare und umwandelbare Energieträger wie Wärme, Dampf, Strom und Synthesegas.
- CO₂-Reduzierung, die sich zur Kompensation und für CO₂-Assets nutzen lässt.



Carbo-FORCE Output:

Das andere Wort für Wandel.

„Immer wieder wird gesagt, Klimaschutz birgt hohe Kosten. Aber letztendlich führt kein Weg daran vorbei – unsere Erde ist einzigartig. Doch wir können auf clevere technische Lösungen hinarbeiten, die sich rechnen – wie unsere Carbo-CAP-TEC“

Ferdinand Berger

Effizienz-Vorteil Carbo-FORCE: Profitieren Sie von hoher Wirtschaftlichkeit von Anfang an!

Als Anlagenbauer denken wir immer auch betriebswirtschaftlich. Wer würde sonst in ein System investieren, das sich nicht amortisiert und langfristig Gewinne abwirft? Die Carbo-FORCE-Technik wurde daher schon in der Entwicklung unter strikter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit konzipiert. Für diese Wirtschaftlichkeit sind in der Praxis zwei Bereiche ganz zentral:

- Effizienter und flexibler Einsatz mit langen, zuverlässigen Laufzeiten und geringen Betriebskosten.
- Werthaltigkeit und langfristige Marktfähigkeit der Output-Produkte.

Carbo-FORCE erfüllt diese beiden wesentlichen Voraussetzungen und bietet Ihnen daher für Ihre Investition von Anfang an eine hohe Wirtschaftlichkeit.

Wie ermöglicht Carbo-FORCE den effizienten, flexiblen und kostengünstigen Betrieb?

- Energieeinsatz ist nur zum Start des Prozesses notwendig. Anschließend arbeiten Carbo-FORCE-Anlagen hocheffizient, autark, autotherm und produzieren Energie.
- Das breite Spektrum an verwertbaren Reststoffen ohne lange Umrüst- und Stillstandzeiten bietet höchste Flexibilität.
- Die robuste, wartungsarme Technik ohne empfindliche Hochtemperatur-Wärmetauscher bietet eine Laufzeitnutzung von ca. 90 % und Jahreslaufzeiten bis ca. 7.500 h

Wie trägt der Output zur Profitabilität der Carbo-FORCE-Anlage bei?

Biochar

Einer der drei wesentlichen Outputs der Carbo-FORCE ist Biochar. Abhängig vom Reststoff sind hier verschiedenste marktrelevante Qualitäten zu erzielen, bis hin zu Bio-Aktivkohle. Bei aschearmen Einsatzstoffen werden 25 bis 30% der eingesetzten Trockensubstanz als Kohle produziert. Bei aschereichen Einsatzstoffen ist die Ausbringungsmenge entsprechend dem Aschegehalt größer.

Energie

Der zweite wichtige Output der Carbo-FORCE ist Energie in verschiedenen Formen. Im Prozess wird Wärmeenergie erzeugt, die als Fernwärme genutzt oder als Wasserdampf über ein Blockheizkraftwerk in Strom umgewandelt werden kann – zum eigenen Verbrauch oder zur Einspeisung ins Netz.

Gleichzeitig wird im Prozess Schwelgas freigesetzt, das nur zum Teil für die partielle Oxidation und Direktbefeuerung benötigt wird. Überschüssiges Gas wird abgeführt und kann als Produktgas für Energieerzeugung und andere Zwecke genutzt werden.

CO₂-Emissionszertifikate

Die Carbo-FORCE-Anlage reduziert den CO₂-Ausstoß, indem das Treibhausgas in der Biochar dauerhaft gebunden wird. Damit produziert die Anlage aktiv CO₂-Assets, die Sie am Markt anbieten können.



Biochar.

Der profitable Wertstoff für eine nachhaltige Zukunft.

Seit Jahrhunderten ist bekannt, dass Biochar ein wertvoller Rohstoff für die Landwirtschaft ist. Schon die Hochkultur der Inkas wusste sie einzusetzen, um die Fruchtbarkeit der Böden zu steigern.

Heute rückt Biochar zudem als Ausweg aus der Klimakrise in den Fokus, da das CO₂ der Atmosphäre entzogen und dauerhaft gespeichert wird.



Carbo-FORCE ganz handfest: Wertvolle Biochar als Teil einer ganzheitlichen Reststoffwandlung.

Die Erzeugung wertvoller Biochar ist der Kern des Prozesses der Reststoffwandlung und wird weltweit in verschiedensten technischen Formen bereits praktiziert. Die neue Carbo-CAP-TEC mit der gezielten partiellen Oxidation weist dabei heute schon den Weg in die Zukunft der Carbonisierungstechnik.

Wie wandelt Carbo-FORCE Reststoffe in Biochar um?

- Die Carbo-CAP-TEC arbeitet mit direkter Beheizung, indem Schwelgase im Reaktor partiell oxidiert werden. Die zu verkohlenden Reststoffe sind damit im direkten Kontakt mit großer Hitze, was eine hohe Leistungsdichte ermöglicht.
- Für die Verkohlung können im Carbo-FORCE-Prozess skalierbare Temperaturen von bis zu 900 °C eingestellt werden, während herkömmliche Verfahren nur bei etwa 500 °C ablaufen.
- Vom Lager wird das organische Material über ein Fördersystem in die Carbo-FORCE-Anlage transportiert und dann in einem Thermolyse-Reaktor in Biochar und Synthesegas aufgespalten.
- In der in den Drehrohrofen integrierten Nachbehandlungszone wird die Qualität der pyrolysierten Biomasse durch thermische Nachbehandlung über die Zuführung von Verbrennungsluft weiter verbessert.
- Die im Carbo-FORCE-Verfahren erzeugte Biochar kann je nach Beschaffenheit der Reststoffe die EBC-Qualität „Premium“ erreichen. Dies ermöglicht den vielfältigen Einsatz, zum Beispiel als Futterkohle, Bodenverbesserer oder in der Pharmaindustrie.

Wie kann Biochar das Klima schützen?

Kohlenstoff ist die Basis aller organischer Substanzen. Werden diese einfach verbrannt oder lässt man sie verrotten, wird der Kohlenstoff wieder in CO₂ umgewandelt und in die Atmosphäre abgegeben. Verwandelt man organische Reststoffe dagegen in Biochar, bleibt der Kohlenstoff in fester Form dauerhaft gebunden und wird im Boden gespeichert.





Wärme. Strom. Gas. Energie gewinnen!

„Die bisher eingesetzten Pyrolyse-Verfahren verbrauchen durch die indirekte Erwärmung über Wärmetauscher enorme Energie. Das ist wirklich Verschwendung! Mit der Carbo-FORCE-Technologie ist es dagegen möglich, aus den Reststoffen zusätzlich Energie zu produzieren!“

Malte Graf

Wärmeleistung, Stromerzeugung und Produktgas:

Wandeln Sie mit Carbo-FORCE Reststoffe in energietragende Wertstoffe.

Die aus organischen Reststoffen produzierte Biochar ist nur ein Teil des Outputs der Carbo-FORCE-Anlage, denn es können im Umwandlungsprozess zusätzlich Energieträger gewonnen werden. Unterm Strich produziert die Carbo-FORCE-Technik also mehr Energie, als sie für den eigenen Betrieb benötigt. Wie ist das möglich?

Direkte Beheizung nutzt Energie aus den Reststoffen.

Die Carbo-FORCE-Anlage ist natürlich kein „Perpetuum mobile“. Aber: Es kommt darauf an, wie die in den organischen Reststoffen noch enthaltene Energie für den Prozess effizient genutzt und gewandelt wird!

- Herkömmliche Pyrolyse-Anlagen arbeiten energieintensiv durch die permanente indirekte Erwärmung der Inputstoffe über Wärmetauscher.
- Carbo-CAP-TEC benötigt dagegen Energie nur für den Start des Prozesses. Danach wird die Energie der Inputstoffe für eine direkte Erwärmung verwendet. Diese Energie steht in Form der Schwelgase zur Verfügung, die bei der Erwärmung entstehen.
- Durch die partielle Oxidation der Schwelgase innerhalb des Carbo-FORCE Reaktors wird die notwendige Hitze erzeugt, um den Prozess autark zu betreiben.

Intelligente Steuerung: Nicht alle Schwelgase werden im Prozess benötigt!

Die besondere Effizienz der Carbo-FORCE-Anlage wird auch durch die optimale Schwelgas-Nutzung erreicht: Das Gas wird nicht vollständig eingesetzt, sondern nur teiloxidiert, da immer nur eine geringe Menge Luft kontrolliert eingeblasen wird. Das Brennstoff-Luft-Verhältnis liegt etwa bei λ 0,3 (= „Luftmangel“). Es wird also nur so viel Luft zugeführt, um die gewünschte Prozesstemperatur zu halten.

Ihr Energiegewinn: überschüssige Wärme und Produktgas.

Aus dem gesamten Prozess kann also neben der Biochar auch Energie gewonnen werden. Die für die Carbonisierung nicht benötigte Wärme und das überschüssige Gas können entsprechend „abgezweigt“ werden.

- Bei einer Brennstoffwärmeleistung von 1 MW können mit der Carbo-FORCE etwa 250-480 kW Wärme erzeugt werden.
- Überschüssige Schwelgase können abgeführt und als Produktgas genutzt werden.

Energienutzung: Stromerzeugung über Dampfkraft oder BHKW.

Die erzeugte Energie kann jetzt direkt weiter genutzt werden, zum Beispiel in Form von Fernwärme für die Beheizung von Gebäuden und Betrieben. Weiterhin kann optional mittels Dampfmotor oder BHKW Strom erzeugt werden.

Der erzeugte Strom kann entweder ins Netz eingespeist oder direkt für den Eigenbedarf genutzt werden, zum Beispiel als Teil für den Eigenstrom für den Betrieb der Carbo-FORCE. Damit schließt sich der Kreis: Nach dem Prozessstart arbeitet die Carbo-FORCE weitgehend autark und autotherm mit Energiegewinn!

A photograph of two women walking away from the camera down a dirt path in a lush, green forest. The trees are tall and dense, with sunlight filtering through the leaves, creating a dappled light effect on the ground. The women are wearing blue jackets and light-colored skirts. The overall mood is peaceful and natural.

Carbon NET.

Ihr Beitrag für die nächste Generation.

Kohlendioxid ist ein natürlicher Bestandteil unserer Luft. Doch der vermehrte zusätzliche Ausstoß durch uns Menschen hat den Anteil des CO₂ erhöht und trägt zum Treibhauseffekt bei. Carbo-FORCE stoppt diesen Kreislauf: Wird der Reststoff in Biochar verwandelt, wird der Kohlenstoff der Atmosphäre langfristig entzogen und in fester Form gebunden. Im Klartext: Der CO₂-Anteil der Luft wird reduziert!

CO₂ reduzieren – von CO₂-Assets profitieren:

Carbo-CAP-TEC ist eine negative Emissionstechnologie, die Kohlendioxid bindet.

Wertvolle, klimapositive Biochar produzieren, Energie erzeugen – und gleichzeitig CO₂ reduzieren und von Emissionszertifikaten profitieren: Mit Carbo-FORCE-Technik ist das möglich! Schauen wir auf die Fakten:

- Organische Reststoffe entstehen nicht einfach so, sondern basieren auf Pflanzen, die während ihres Wachstums große Mengen CO₂ aus der Atmosphäre aufnehmen. In der Photosynthese der Pflanzen wird das CO₂ umgewandelt, so dass die Pflanze den Kohlenstoff als „Baustoff“ nutzen kann, während sie das O₂, den Sauerstoff, wieder in die Atmosphäre abgibt – es ist die Grundlage unserer Existenz, unsere Luft zum Atmen!
- Wenn die Pflanze stirbt oder als Kot von Tieren ausgeschieden wird und dann verrottet oder von uns als Reststoff einfach verbrannt wird, wird der gespeicherte Kohlenstoff wieder vollständig an die Atmosphäre abgegeben. Carbo-FORCE kann diesen Kreislauf stoppen!

Profitable Perspektive: CO₂-Reduktion wird durch CO₂-Assets zu einer wertvollen Ware!

Mit der Carbo-CAP-TEC wird der in den zugeführten Reststoffen enthaltene Kohlenstoff in eine stabile und feste Form umgewandelt und es wird kein CO₂ emittiert.

- Durch diese Kohlenstoffabscheidung und -speicherung ist der Carbo-FORCE-Prozess somit eine Negativ-CO₂-Emissions-Technologie (NET).
- Negative CO₂-Emissionen der Carbo-FORCE-Anlage können genau berechnet und in gültige CO₂-Assets (Emissionszertifikate) umgewandelt werden.
- Die CO₂-Assets sind im Rahmen des Emissionshandels wertvolle Emissionsrechte und können gehandelt und an Unternehmen weitergegeben werden, die ihre zu hohen Emissionen durch Assets ausgleichen müssen.

Die Carbo-CAP-TEC ist anerkanntes CCS-Verfahren zur CO₂-Abscheidung- und Speicherung.

CCS-Verfahren (Carbon dioxide Capture and Storage) dienen der dauerhaften und stabilen Reduzierung der CO₂-Emissionen sowie der technischen Abspaltung und Einlagerung (CO₂-Sequestrierung). Das von uns entwickelte Carbo-FORCE-Verfahren mit Biochar-Produktion gehört damit zu den sechs vom Weltklimarat anerkannten CCS-Verfahren und überzeugt sowohl ökologisch als auch ökonomisch.

Effizienz in der Praxis:

400 kg Durchlauf pro Stunde.

90 % Laufzeit im Jahr.

1 Wartung im Quartal.

„Alle Theorie ist grau – entscheidend ist die Praxis! Wir haben über 15 Jahre Erfahrung in der Entwicklung innovativer Carbonisierungsverfahren. Ausgehend von der herkömmlichen Pyrolyse haben wir die neue Carbo-CAP-TEC mit partieller Oxidation entwickelt und für den Einsatz in der Praxis immer weiter optimiert.“

Kai Alberding



Aufstellen, starten, Reststoffe wandeln:

Praxisstarke Anlagenkonstruktion für lange Laufzeiten und wartungsarmen Betrieb.

Die Carbo-FORCE-Anlage wurde so konstruiert, dass sie in allen Bereichen eine einfache und problemlose Handhabung in der Praxis gewährleistet. Das beginnt bei der Aufstellung und Inbetriebnahme und setzt sich im täglichen Einsatz fort:

- Die kompakte und robuste Bauweise im Containerformat erlaubt einen sicheren Transport und eine schnelle Aufstellung und Inbetriebnahme der Carbo-FORCE.
- Befüllung mit Reststoffen, Carbonisierung und Ausgabe der Wertstoffe bilden einen durchgängigen Prozess, der durch speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) und volle Automatisierung gewährleistet wird.
- Die automatisierten Prozesse sowie geringer Wartungs- und Reinigungsaufwand ermöglichen lange Laufzeiten bis 90 % und kaum Ausfallzeiten.
- Mit bis zu 400 kg Reststoff pro Stunde leistet die Carbo-FORCE 250 im Preis-Leistungsverhältnis deutlich mehr als vergleichbare Pyrolyse-Anlagen.
- Nach dem Start des Verarbeitungsprozesses arbeitet die Carbo-FORCE autark, autotherm und mit minimalem Energiebedarf.
- Die Carbo-FORCE-Anlagen erfüllen alle genehmigungsrechtlichen Umweltstandards.

Entscheiden Sie sich für die Leistungsvariante, die zu Ihren Anforderungen passt:

Carbo-FORCE 250

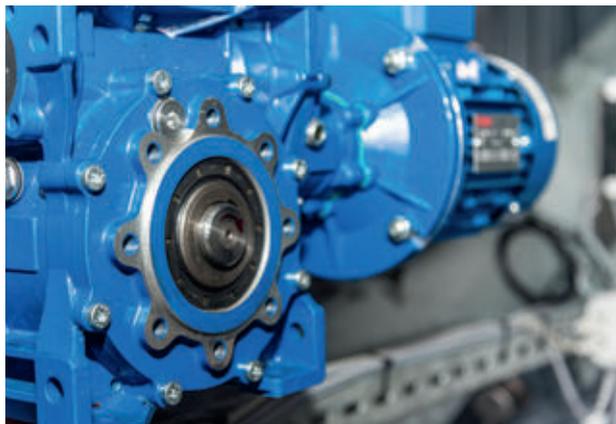
- Brennstoffleistung 1.500 kW
- Jahresdurchsatz bis zu 2.750 t/a Trockensubstanz*
- Heizwert des Reststoffes mindestens 10 MJ/kg (= 2,8 kWh/kg)
- Jährliche Produktion von Biokohle bis zu 850 t/a*
- Nutzbare thermische Energie 5.000 MWh/a
- CO₂-Reduktion (CCS-Verfahren): ca. 2.000 t CO₂-Reduktion/a
- Betriebsstunden bis zu 8.000 h/a

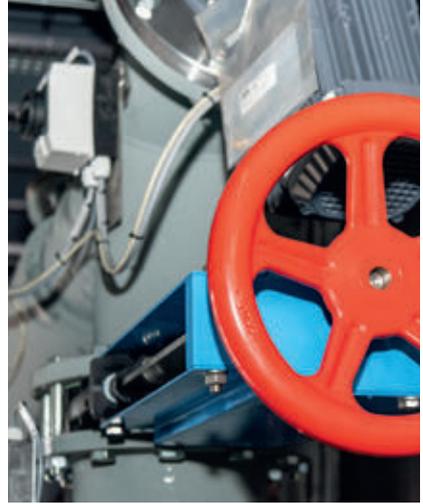
Carbo-FORCE 1.000

- Brennstoffleistung 6.000 kW
- Jahresdurchsatz bis zu 11.000 t/a Trockensubstanz*
- Heizwert des Reststoffes mindestens 10 MJ/kg (= 2,8 kWh/kg)
- Jährliche Produktion von Biokohle bis zu 3.400 t/a*
- Nutzbare thermische Energie 20.000 MWh/a
- CO₂-Reduktion (CCS-Verfahren): ca. 8.200 t CO₂-Reduktion/a
- Betriebsstunden bis zu 8.000 h/a

*abhängig vom Inputmaterial

Aufbau.





Starke Technik, klare Vorteile:

10 Fakten, die Sie über
Carbo-FORCE unbedingt
wissen sollten.

- Umweltfreundliche Carbonisierungstechnik der Zukunft mit partieller Oxidation
- Ganzheitliche, nachhaltige Optimierung des Wandels von organischen Reststoffen zu Wertstoffen
- Verarbeitung auch komplexer organischer Reststoffe wie Geflügelkot oder Klärschlamm
- Hocheffiziente Prozesstechnik durch partielle Oxidation von Schwelgasen
- Weitgehend autarker, autothermer und energiesparender Betrieb
- Hohe Profitabilität durch Produktion von hochwertiger Biochar und Energieträgern
- Erzeugung von CO₂-Assets durch Negativ-CO₂-Emissions-Technologie (NET)
- Kompakte, robuste Konstruktion für praxistauglichen Einsatz
- Hervorragende Laufzeit bis 90 %, kaum Wartungs- und Ausfallzeiten
- Innovative Anlagentechnologie made in Germany



Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

B-2.2 Datenblatt B+K ClinX



ClinX

STROM UND WÄRME AUS HOLZIGEN RESTSTOFFEN

Klassisches Verbrennungssystem mit innovativer Mikrogasturbine

„Wir wandeln Strom und Wärme
aus Ihren Holzresten.“



ES GIBT VERSTECKTE ENERGIERESERVEN

Kraft-Wärme-Kopplung aus durchmischten Holzresten

Die Umsetzung der Energiewende ist zentral für eine umweltverträgliche und wirtschaftlich erfolgreiche Zukunft. Seit der Gründung im Jahr 2012 haben wir es uns zur Aufgabe gemacht, eine umweltneutrale Verwertung vorhandener Energiereserven zu ermöglichen und somit zum Gelingen der Energiewende beizutragen.

Wir sind überzeugt, dass durchmischte Holzreste mit hohem Ast- und Rindenanteil wesentlich effizienter genutzt werden müssen, als das bisher oftmals der Fall ist. Dazu entwickeln wir dezentrale KWK-Systeme, die einen klassischen Verbrennungsprozess mit einer extern befeuerten Mikrogasturbine kombinieren.

Die Technologie überzeugt, sowohl durch innovative Komponenten, als auch durch die robuste und langlebige Bauweise. Mit unseren Anlagen werden Sie selbst zum Energieversorger und steigern Ihre Unabhängigkeit.

Wir bieten sowohl schlüsselfertige Systeme, als auch maßgeschneiderte Gesamtlösungen. Mit unserem Know-How in der Mikrogasturbinenentwicklung und im Anlagenbau stehen wir Ihnen gern zur Seite. Gestalten Sie mit uns Ihre persönliche Energiewende.



Sebastian Kießling, Geschäftsführer



POTENZIALE NUTZEN MIT ClinX

Dezentral Strom und Wärme aus Restholz wandeln

ClinX ist das Kraft-Wärme-Kopplungssystem der B+K. Die dezentrale Anlage wandelt Strom und Wärme aus durchmischten, Holzigen Reststoffen. Grundlegend dafür ist die Kombination eines Brennraums und einer extern befeuerten Mikrogasturbine.

Das Besondere an ClinX ist, dass das System selbst Holzreste mit hohem Ast- und Rindenanteil und hohem Feuchtigkeitsgehalt im dezentralen Leistungsbereich in erneuerbare Energie wandelt.

Die Anlage ist in zwei Leistungsgrößen erhältlich, entweder als 50 kW_{el} Variante mit bis zu ≈ 150 kW_{th}, oder als Variante mit 150 kW_{el} und bis zu ≈ 400 kW_{th}. ClinX ist vielseitig einsetzbar, insbesondere dort, wo Holzreste anfallen oder günstige Energie benötigt wird.



KWK-System mit Brennkammer und extern befeuerter Mikrogasturbine



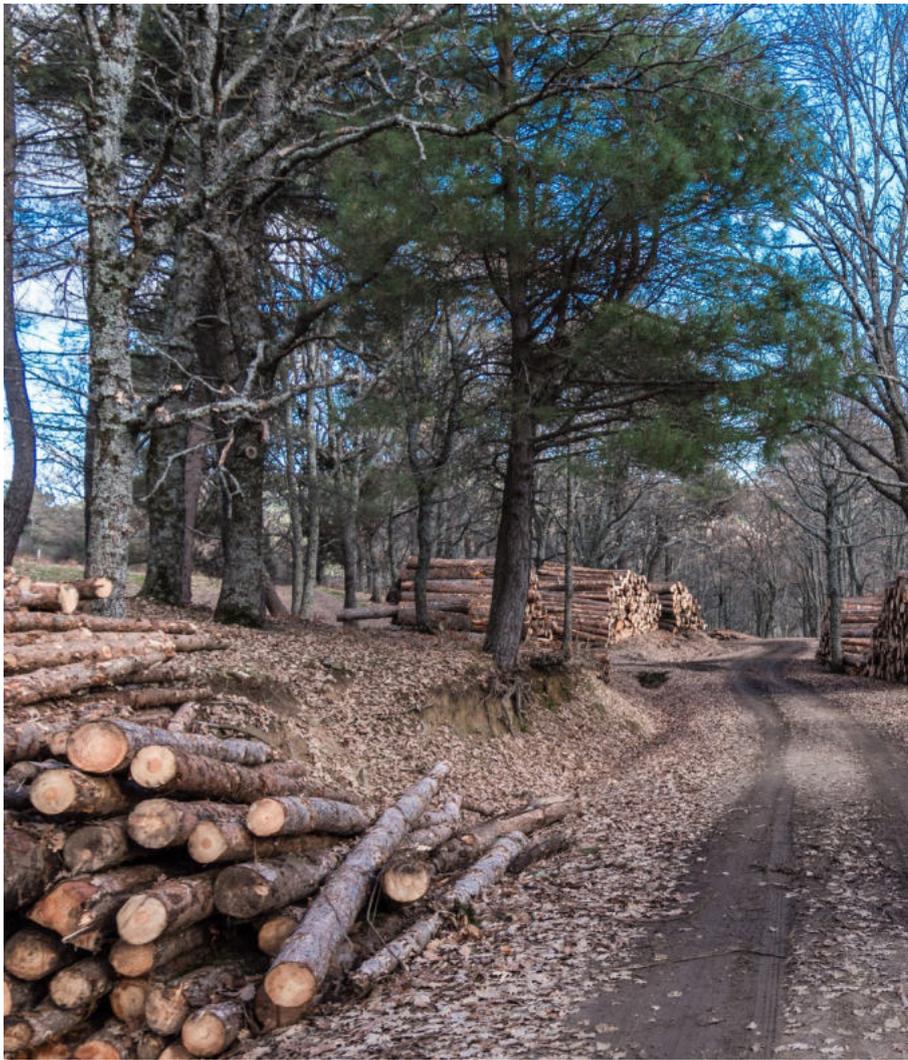
Umweltfreundliche Energie aus erneuerbaren Ressourcen



Erhältlich in zwei Leistungsgrößen

ClinX 50
ClinX 150





Waldrestholz

Kronenholz, Wurzelholz,
Derbholz, Schwachholz,
Waldpflegeholz



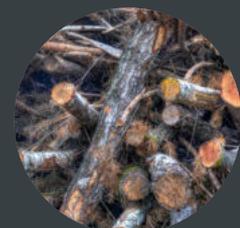
Landschaftspflegeholz

Straßenbegleitholz,
Holz aus der Pflege von Parks
und Biotopen



Industrierestholz

Sägespäne, Sägemehl,
Holzverschnitt, Hackschnitzel,
Schwarten, Holzstäube



Schadholz

Schnee- oder Sturmbruchholz,
Holz mit Schädlingsbefall, z. B.
durch Borkenkäfer

Nutzen Sie Reststoffe als kostengünstige Brennstoffe

ClinX ist für die Verwertung von Reststoffen konzipiert, insbesondere naturbelassene Holzreste. Verwertet werden jene Reststoffe, die sehr durchmischt und für die meisten marktüblichen KWK-Systeme nicht nutzbar sind.

Störstoffe stellen für die Anlage kein Problem dar. Es stehen Brennräume für ein breites Anwendungsspektrum zur Verfügung. Diese werden je nach Anforderung, z. B. für Verschnittholz mit einem hohen Ast- und Rindenanteil und hohem Feuchtigkeitsgehalt, kombiniert. ClinX erschließt somit kostengünstige Brennstoffe.

Der Brennstoffverbrauch von ClinX ist abhängig von der Anlagengröße und der Holzart, sowie dem Wassergehalt und dem Heizwert des Holzes. Konkrete Angaben sind in den technischen Datenblättern enthalten.

Wassergehalt:
bis zu 50 Prozent

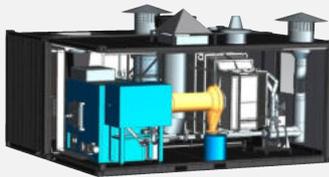
Körnung:
P16-P45

Aschegehalt:
bis zu 2 Prozent



Brennraum

Speziell auf jeweiligen Brennstoff ausgelegt, mit Vorschubrost und automatischer Ascheaustragung



Partikelabscheider

Minimiert Ascheablagerungen und somit den Verschleiß in den nachfolgenden Modulen



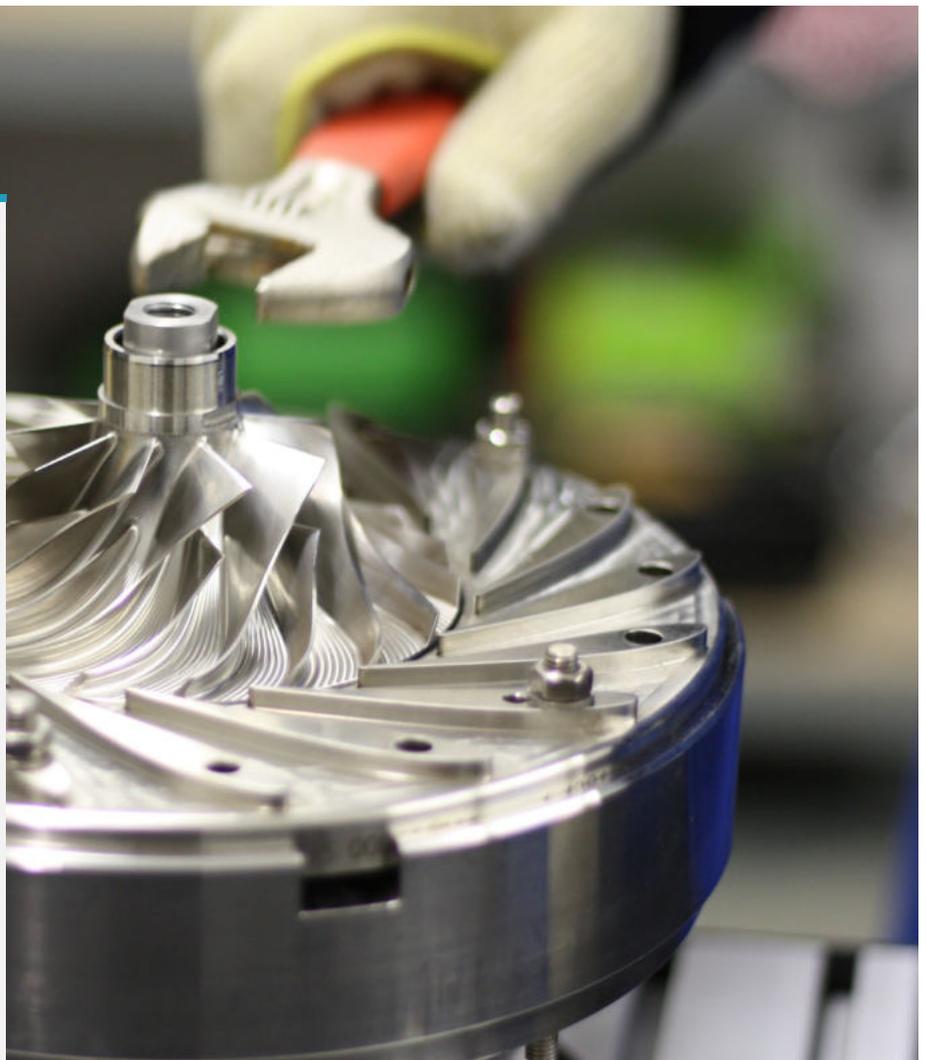
Wärmetauscher

Gegenstromprinzip mit strömungsoptimiertem Design und hoher Temperaturbeständigkeit



Mikrogasturbine

mit innovativen Luftlagern für einen wartungsarmen Betrieb ohne Schmier- oder Kühlmittel



Bewährte Bauweise trifft auf Spitzentechnologie

ClinX vereint innovative Technologie, langlebige Materialien und deutsche Ingenieurskunst in einem System. Die Anlage zeichnet sich durch robuste Einzelkomponenten und eine lange Produktlebensdauer aus.

Die extern befeuerte Mikrogasturbine verfügt über innovative Luftlager, sodass keine Schmier- oder Kühlmittel notwendig sind. Die zwei Gasströme (heißes Rauchgas aus dem Verbrennungssystem und die verdichtete Umgebungsluft) sind voneinander abgegrenzt, sodass keine Rauchgaspartikel in den Luftstrom der Mikrogasturbine gelangen.

Dies ermöglicht in Kombination mit der Luftlager-Technologie einen wartungsarmen Betrieb, hohe Wirkungsgrade und eine lange Lebenszeit der Turbine.

DOPPELTE ENERGIEGEWINNUNG NEU GEDACHT

Innovative Kombination aus Kleinkraftwerkstechnik und extern befeuerter Mikrogasturbine

Das Grundprinzip der Kraft-Wärme-Kopplung ist schnell erklärt: Bei der Verbrennung eines Brennstoffes wird zunächst Wärme gewandelt. Diese treibt eine Turbine an und ein Generator erzeugt Strom, indem er die mechanische in elektrische Energie wandelt. Die Effizienz der Energieerzeugung ist besonders hoch, da durch dieselbe Primärenergie sowohl nutzbare Wärme, als auch Strom gewandelt wird.

In ClinX wird dieses Prinzip durch die Kombination aus Brennraum und extern befeuerter Mikrogasturbine realisiert. In dem Brennraum verbrennen die Reststoffe bei Gastemperaturen von bis zu 1200 °C. Das heiße Rauchgas wird in einem Hochtemperatur-Partikelabscheider geleitet. Aschepartikel werden dort abgesondert, bevor das Rauchgas in den Wärmetauscher gelangt.

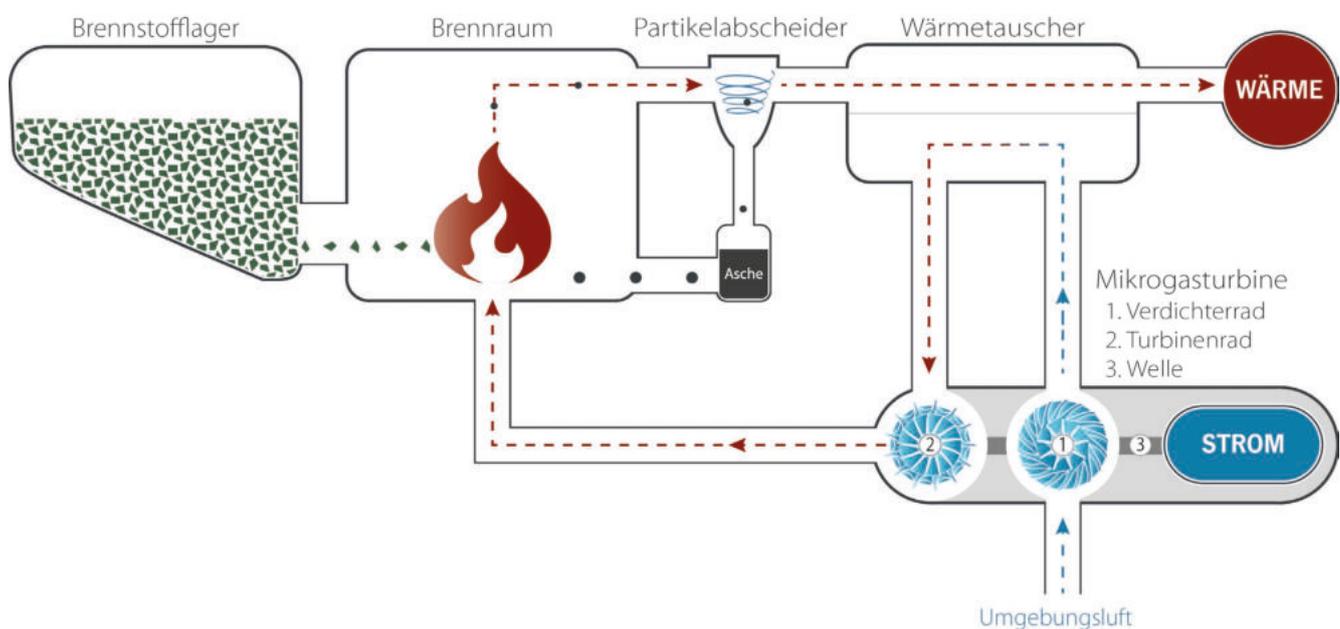
Für den Verbrennungsprozess wird saubere Umgebungsluft über die Turbine angesaugt. Diese wird zunächst verdichtet und in den Wärmetauscher geleitet.

Im Wärmetauscher wird die Wärme vom Rauchgas auf diese verdichtete Umgebungsluft übertragen und anschließend zum Turbinenrad geleitet.

Über die Entspannung der heißen, verdichteten Luft wird das Turbinenrad angetrieben, welches über eine Welle mit dem Generator gekoppelt ist. Dieser wandelt die Drehbewegung in elektrische Energie um.

Die Turbinenabluft wird mit rund 550 °C zurück in den Brennraum geführt. Im Verhältnis zu einem konventionellen Heizkessel generiert ClinX bei gleicher Heizleistung zusätzlich Strom, spart aktiv Brennstoff ein und ermöglicht eine besonders effiziente Primärenergienutzung.

Nutzbare Abwärme wird mit einem Temperaturniveau von bis zu 300 °C ausgekoppelt und für nachgeschaltete Wärme-, Trocknungs-, oder Warmwasser- oder Kühlprozesse genutzt.





VIELFÄLTIG EINSETZBAR und auf Ihre Anforderungen abgestimmt

ClinX ist als Kombination einer Mikrogasturbine mit Anlagentechnik aus dem Kleinkraftwerksbereich ein vielseitig einsetzbares Produkt. Die Anlage eignet sich überall da, wo Holzreste anfallen oder günstige Energie benötigt wird.

Das schlüsselfertige System ist unkompliziert in bestehende Produktionsprozesse integrierbar. Die Technologie bietet ein breites Anwendungsspektrum, das von den jeweils verfügbaren Stoffströmen abhängig ist.

Das System ist modular und kann je nach Anforderung erweitert werden. Die zentrale Verbrennungseinheit mit anschließendem Energiewandlungsmodul lässt sich je nach Bedarf um ein Kälteerzeugungs- oder Wasseraufbereitungsmodul ergänzen.



**Holzverarbeitende
Unternehmen**



**Forst- und
Landwirtschaft**



**Hotel &
Wellness**



**Öffentliche
Einrichtungen**



Industrie



Nahwärmenetze

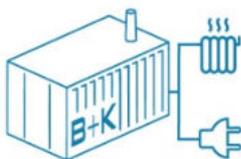
SO RECHNET SICH ClinX

ClinX wandelt anfallende Reststoffe direkt am Ort der Entstehung, sodass sich Transport- und Logistikkosten minimieren.

Nutzen Sie günstige Brennstoffe und profitieren Sie von niedrigen Energiegestehungskosten und gegebenenfalls von vermiedenen Reststoffentsorgungskosten.

Außerdem ergibt sich mit ClinX eine Diversifizierung von Geschäftsmodellen: überschüssiger Strom und Wärme lassen sich gewinnbringend ins Netz einspeisen.

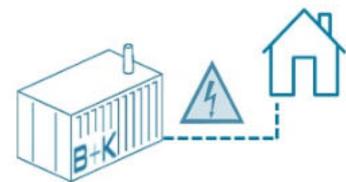
IHR BEITRAG ZUR ENERGIEWENDE: dezentrale und umweltfreundliche Energie



Aufgrund der KWK-Technologie verwertet ClinX selbst durchmischte Brennstoffe besonders effizient. Für hohe Ressourceneffizienz sorgt zudem die robuste Bauweise der Anlage, die eine lange Produktlebensdauer garantiert. ClinX lässt sich sowohl mit Netzanschluss als auch netzunabhängig betreiben.



ClinX wandelt Energie aus erneuerbaren Ressourcen, substituiert fossile Energiequellen und trägt somit zur Vermeidung zusätzlicher CO₂-Emissionen und zum Klimaschutz bei. Hohe deutsche Luftreinhaltungsstandards werden von ClinX eingehalten.



Dezentrale KWK-Anlagen leisten mit ihrer kontinuierlichen Leistungsabgabe einen wichtigen Beitrag zur Sicherung der Grundlast. ClinX-Anlagen tragen zur Netzstabilität bei und machen die Betriebe ein Stück weit unabhängig von zentraler Stromversorgung und steigenden Energiepreisen.

HERZSTÜCK DER ANLAGE

Auch als Einzelkomponente erhältlich

Geringer Wartungsaufwand, eine kompakte Bauform und hohe Drehzahlen - all das macht die Mikrogasturbine zu einem wertvollen Herzstück unserer dezentralen Energiesysteme.

Mikrogasturbinen mit innovativen Luftlagern haben den Vorteil, dass im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen keine Schmier- und Kühlmittel benötigt werden. Da im Betrieb kaum Reibung in den Lagern vorhanden ist, wird der Energieverlust reduziert und die Lebensdauer erhöht sowie die Wartungsintervalle vergrößert.



Turbinenrad



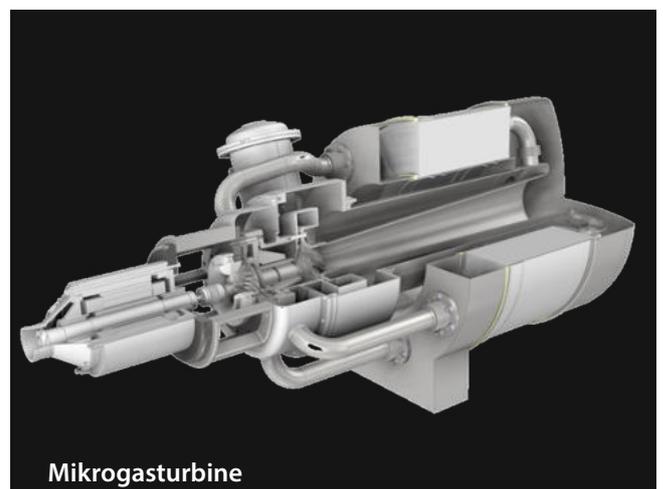
Verdichterrad



Luftlager

Zentrales Element der Mikrogasturbine ist die Turbogruppe, bestehend aus Turbinenrad, Verdichterrad und Verbindungswelle. Die Turbogruppe ist die einzige bewegte Baugruppe der Mikrogasturbine.

Zusätzlich zu der Turbogruppe zählen Generator, Leistungselektronik und Steuerung zu den Modulen der Mikrogasturbine.





UNSER MULTITALENT

Neben der Anwendung in Energieerzeugungsanlagen können die Turbinen auch in anderen Bereichen zum Einsatz kommen, z. B. als Reichweitenverlängerer in der Elektromobilität.

Haben Sie Fragen dazu? Wir beraten Sie gern.

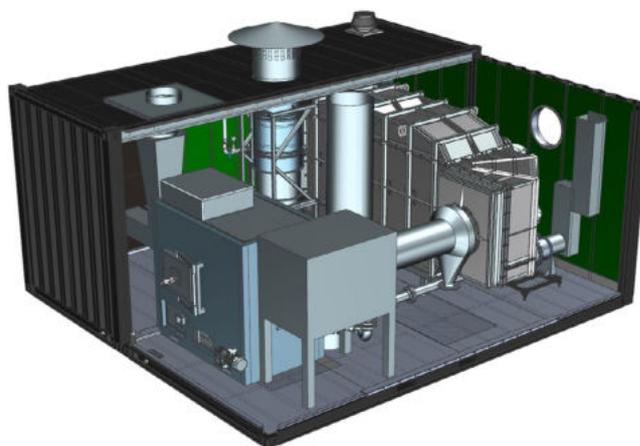
ClinX 50

Technische Daten *

Elektrische Bruttoleistung [kW]	50
Elektrische Nettoleistung [kW]	40
Elektrischer Eigenbedarf [kW]	< 10
Feuerungswärmeleistung [kW]	350
Vorlauf-/ Rücklauftemperaturen [°C]	90/70 oder 80/60 **
Bezugstemperatur Rauchgas [°C]	150

Abmessungen und Anschlüsse

Dimensionen	2 Stk. 20' Container **
Fundamentlast	≤ 20 t
Schnittstelle Heizungssystem	min. DN40
Spannung / Frequenz	400 VAC / 50 Hz
Kommunikation	2 Mbit/s Internetverbindung



Leistungsdaten in Abhängigkeit des Wassergehalts *

	Wassergehalt [%]	10	20	35	50
Heizwert [kWh/kg]		4,5	4	3	2,2
Brennstoffverbrauch [kg/h]		51	59	83	131
Brennstoffleistung [kW]		230	236	249	282
Thermisch nutzbare Leistung [kW]		110	114	126	149
Elektrischer Bruttowirkungsgrad [%]		21,8	21,2	20,1	17,8
Elektrischer Nettowirkungsgrad [%]		17,4	16,9	16,1	14,2
Thermischer Wirkungsgrad [%]		47,9	48,3	50,6	52,9
Gesamtwirkungsgrad [%]		69,7	69,5	70,7	70,7

Brennstoff

Naturbelassene, holzartige Biomasse
 Körnung: P16 - P45** (nach DIN EN 17225-4)
 Maximaler Wassergehalt: 50 %
 Maximaler Aschegehalt: 2 %

Eingehaltene Emissionsgrenzwerte ***

Gesamtstaub	< 20 mg/m ³
Kohlenstoffmonoxid	< 400 mg/m ³
Schall	65 dB(A) in 10 m

* Bei folgenden Rahmenbedingungen:

Umgebungstemperatur: 15 °C.

Luftfeuchtigkeit: 80%.

Höhe über dem Meeresspiegel: Normalhöhenull.

** Kundenspezifisch anpassbar.

*** Gemäß 1. BImSchV., TA-Luft und TA-Lärm.

Bezugssauerstoffgehalt 13%.

Technische Änderungen vorbehalten.

ClinX 150

Technische Daten *

Elektrische Bruttoleistung [kW]	150
Elektrische Nettoleistung [kW]	130
Elektrischer Eigenbedarf [kW]	< 20
Feuerungswärmeleistung [kW]	850
Vorlauf-/ Rücklauftemperaturen [°C]	90/70 oder 80/60 **
Bezugstemperatur Rauchgas [°C]	150

Abmessungen und Anschlüsse

Dimensionen	2 Stk. 40' Container **
Fundamentlast	≤ 40 t
Schnittstelle Heizungssystem	min. DN65
Spannung / Frequenz	400 VAC / 50 Hz
Kommunikation	2 Mbit/s Internetverbindung



Leistungsdaten in Abhängigkeit des Wassergehalts *

	Wassergehalt [%]	10	20	35	50
Heizwert [kWh/kg]		4,5	4	3	2,2
Brennstoffverbrauch [kg/h]		136	158	223	350
Brennstoffleistung [kW]		612	632	669	753
Thermisch nutzbare Leistung [kW]		287	298	328	392
Elektrischer Bruttowirkungsgrad [%]		24,5	23,7	22,4	19,9
Elektrischer Nettowirkungsgrad [%]		21,2	20,6	19,4	17,3
Thermischer Wirkungsgrad [%]		46,9	47,2	49,0	52,1
Gesamtwirkungsgrad [%]		71,4	70,9	71,4	72,0

Brennstoff

Naturbelassene, holzartige Biomasse
 Körnung: P16 - P45** (nach DIN EN 17225-4)
 Maximaler Wassergehalt: 50 %
 Maximaler Aschegehalt: 2 %

Eingehaltene Emissionsgrenzwerte ***

Gesamtstaub	< 20 mg/m ³
Kohlenstoffmonoxid	< 400 mg/m ³
Schall	65 dB(A) in 10 m

* Bei folgenden Rahmenbedingungen:

Umgebungstemperatur: 15 °C.

Luftfeuchtigkeit: 80%.

Höhe über dem Meeresspiegel: Normalhöhennull.

** Kundenspezifisch anpassbar.

*** Gemäß 1.BImSchV., TA-Luft und TA-Lärm.

Bezugssauerstoffgehalt 13%.

Technische Änderungen vorbehalten.



LÖSUNGEN AUS EINER HAND

Bei Projektentwicklungen agieren wir auf der gesamten Wertschöpfungskette – vom leeren Blatt Papier bis hin zur Anlageninbetriebnahme.

Wir unterstützen Sie gern, auch bei Projekten, die eine individuelle Lösung erfordern.



Herausgeber

Professor Dr. Berg & Kießling GmbH

Burger Chaussee 25

D- 03044 Cottbus

Tel.: 030 346 556 499

service@bergundkiessling.com

www.bergundkiessling.com

Änderungen vorbehalten. © Professor Dr. Berg & Kießling GmbH 2020

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

B-2.3 Datenblatt CTS 20

A black and white photograph of an industrial facility, showing a complex network of metal beams, pipes, and structural supports. The perspective is looking upwards, creating a sense of height and scale. The image is overlaid with a semi-transparent green filter.

TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN

CTS 20

LEISTUNG

Brennstoffleistung	1300 kW
Pflanzkohleproduktion*	800 t/a
Feuerungswärmeleistung	750 kW
Elektrische Leistung	130 kW
Realisierbare thermische Systeme	Warmwasser, Heißwasser, Dampf, Thermalöl
Elektrische Nennspannung	200 V / 400 V bei 50 Hz 400 V bei 60 Hz
Betriebstunden	7500 h/a

* bei 80% TS-Gehalt + Brennstoffspezifikation

VERBRENNUNG & EMISSIONEN

Verbrennungsart	E-FLOX
Abgas*	Einhaltung der TA Luft 1. BlmschV 4. BlmschV 17. BlmschV 44. BlmschV
Schall	< 75 dB (A)

* je nach Art des Brennstoffs und der Anlagengröße

ROHSTOFFE & BETRIEBSMITTEL

Brennstoff	Hackschnitzel
Brennstoffverbrauch*	2438 t/a
Abgasfilter	nach Bedarf

* bei 80% TS-Gehalt

PRODUKTGAS

Pyrolysegas	Holzgas
Heizwert der Holzgase	3,5 kWh/kg

VERSTROMUNGSTECHNIK

Art der Stromerzeugung	Gasturbine
Anzahl der Verstromungsmodule	1
Nenn Drehzahl	97.000 1/min
Fluid	Luft
Generator	Synchrongenerator
Betriebsart	Netzparallelbetrieb
Nennleistung	80 kVA
Cos Phi	1
Stromfrequenz	50 / 60 Hz

ELEKTRISCHE AUSSTATTUNG

Nennspannung	400 V
Netzanschluss	Stern
Elektrische Absicherung	314 A
Fernüberwachung	Cloudbasiert oder PLS

SONSTIGES

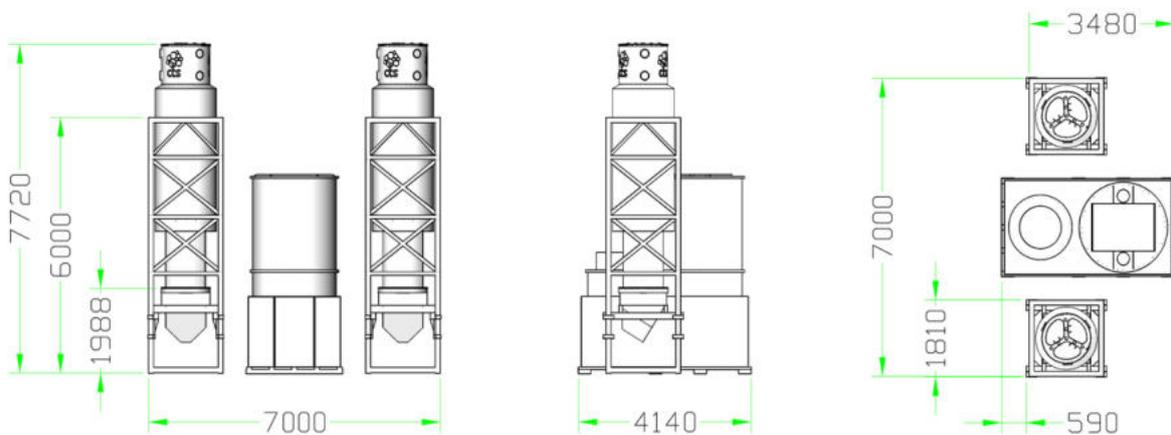
Kamindurchmesser	400 mm
-------------------------	--------

SERVICE & BETRIEB

Dauer der Inbetriebnahme	10 d
Wartungsvertrag	Ja
Zwischenpuffer Kohlebunker & Abfüllstation	56 h

DIMENSIONEN

Grundfläche (Meiler & Brennkammer)	40 m ²
Gewicht Brennkammer	11,5 to
Gewicht Stahlbau	8,4 to



BAUSEITIGE LEISTUNGEN

Für einen reibungslosen Aufbau und Inbetriebnahme der Anlage am Kundenstandort, müssen folgende bauseitige Leistungen erbracht werden:

- Halle & Fundament muss fertig gestellt sein.
- Versorgungsleitungen (Strom, Gas, Wasser, Abwasser, Druckluft, Internet) müssen fertig gestellt sein.
- Ein Wärmenetz bzw. eine Wärmesenke muss vorbereitet und betriebsbereit gemeldet sein.
- Innerhalb der Projektierung wird Ihnen eine auf die jeweilige Brennstoff, und Anlagenspezifikation zugeschnittenen Peripherieempfehlung gegeben.
- Eine betriebsbereite Peripherie für den reibungslosen Betrieb der Anlage ist zwingend notwendig.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

B-2.4 Datenblatt CTS 40



TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN

CTS 40

LEISTUNG

Brennstoffleistung	4000 kW
Pflanzkohleproduktion*	1600 t/a
Feuerungswärmeleistung	2200 kW
Elektrische Leistung	390 kW
Realisierbare thermische Systeme	Warmwasser, Heißwasser, Dampf, Thermalöl
Elektrische Nennspannung	200 V / 400 V bei 50 Hz 400 V bei 60 Hz
Betriebstunden	7500 h/a

* bei 80% TS-Gehalt + Brennstoffspezifikation

VERBRENNUNG & EMISSIONEN

Verbrennungsart	E-FLOX
Abgas*	Einhaltung der TA Luft 1. BlmschV 4. BlmschV 17. BlmschV 44. BlmschV
Schall	< 75 dB (A)

* je nach Art des Brennstoffs und der Anlagengröße

ROHSTOFFE & BETRIEBSMITTEL

Brennstoff	Hackschnitzel
Brennstoffverbrauch*	7500 t/a
Abgasfilter	nach Bedarf

* bei 80% TS-Gehalt

PRODUKTGAS

Pyrolysegas	Holzgas
Heizwert der Holzgase	3,5 kWh/kg

VERSTROMUNGSTECHNIK

Art der Stromerzeugung	Gasturbine
Anzahl der Verstromungsmodule	3
Nenn Drehzahl	97.000 1/min
Fluid	Luft
Generator	Synchrongenerator
Betriebsart	Netzparallelbetrieb
Nennleistung	240 kVA
Cos Phi	1
Stromfrequenz	50 / 60 Hz

ELEKTRISCHE AUSSTATTUNG

Nennspannung	400 V
Netzanschluss	Stern
Elektrische Absicherung	314 A
Fernüberwachung	Cloudbasiert oder PLS

SONSTIGES

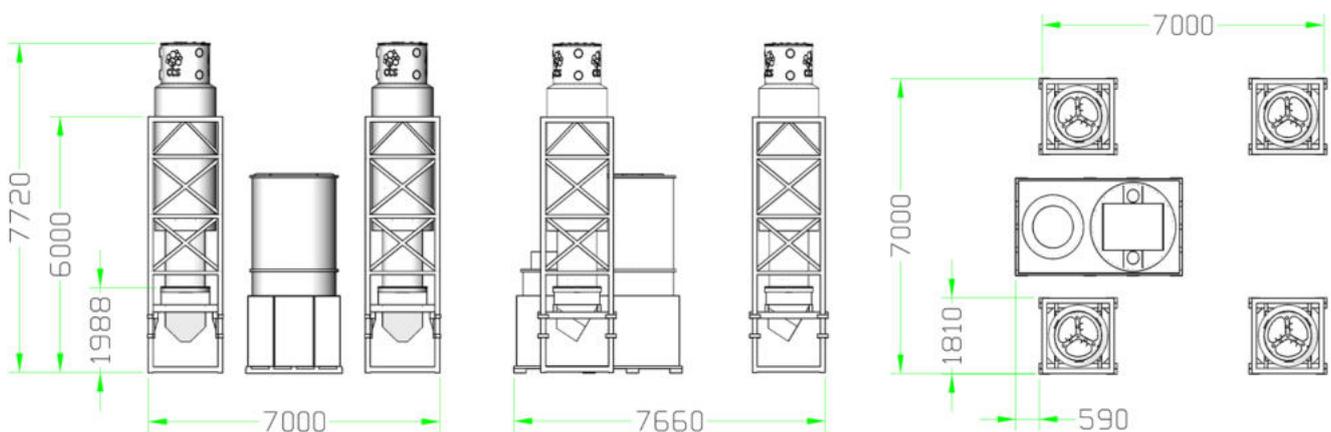
Kamindurchmesser	600 mm
-------------------------	--------

SERVICE & BETRIEB

Dauer der Inbetriebnahme	10 d
Wartungsvertrag	Ja
Zwischenpuffer Kohlebunker & Abfüllstation	56 h

DIMENSIONEN

Grundfläche (Meiler & Brennkammer)	60 m ²
Gewicht Brennkammer	14 to
Gewicht Stahlbau	16,8 to



BAUSEITIGE LEISTUNGEN

Für einen reibungslosen Aufbau und Inbetriebnahme der Anlage am Kundenstandort, müssen folgende bauseitige Leistungen erbracht werden:

- Halle & Fundament muss fertig gestellt sein.
- Versorgungsleitungen (Strom, Gas, Wasser, Abwasser, Druckluft, Internet) müssen fertig gestellt sein.
- Ein Wärmenetz bzw. eine Wärmesenke muss vorbereitet und betriebsbereit gemeldet sein.
- Innerhalb der Projektierung wird Ihnen eine auf die jeweilige Brennstoff, und Anlagenspezifikation zugeschnittenen Peripherieempfehlung gegeben.
- Eine betriebsbereite Peripherie für den reibungslosen Betrieb der Anlage ist zwingend notwendig.

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

B-2.5 Broschüre DÜRR

Nachhaltige Energielösungen mit Cyplan® ORC- Technologie

Organic Rankine Cycle

Die wirtschaftliche Methode
zur Stromerzeugung



Umwandlung von Abwärme in Kapital: sauberer Strom und Nutzwärme

Nutzen Sie das volle Potential Ihrer Wärmeenergie



FINANZIELLE VORTEILE



CO₂ EINSPARUNG



STROM-ERZEUGUNG



NUTZWÄRME

Eine der größten Herausforderungen unserer Zeit ist die Reduktion von Treibhausgasemissionen. Viele Unternehmen streben kontinuierlich nach Möglichkeiten, die Energieeffizienz und die Betriebskosten ihrer Produktionsstätten zu optimieren.

Dürr bietet Ihnen hierfür hochmoderne Lösungen, die auf der **Cyplan**® ORC-Technologie basieren. Der Organic Rankine Cycle (ORC) ist eine Schlüsseltechnologie für die dezentrale Energieerzeugung aus Wärmequellen mit mittleren bis niedrigen Temperaturen.

In Kombination mit erneuerbaren Wärmequellen oder der Verwendung von überschüssiger Wärme erzeugen **Cyplan**® ORC-Lösungen CO₂-freien Strom. Dadurch können Unternehmen ihre Stromkosten senken, die CO₂-Bilanz verbessern und ihre Wettbewerbsfähigkeit stärken.

WARUM ORC?

Die Organic Rankine Cycle-Technologie ...

- wandelt Wärme in Strom um, ohne CO₂-Emissionen zu verursachen
- macht kleine Wärmemengen und Wärme in niedrigen Temperaturbereichen nutzbar (was für konventionelle Methoden zur Energieumwandlung nicht möglich ist)
- kann Förderzuschüsse initiieren

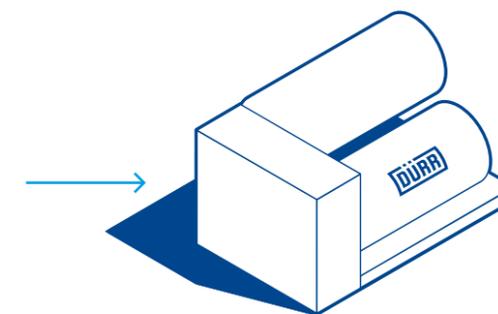
WARUM CYPLAN® ORC?

Cyplan® ORC-Systeme stehen für ...

- finanziell attraktive Konzepte
- höchste Effizienz in ihrer Klasse
- mehr Flexibilität für verschiedene Wärmequellen
- Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
- über 10 Jahre Erfahrung
- mehr als 1 Millionen Betriebsstunden

WÄRMEQUELLE

Industrielle Abwärme
Motoren / BHKW
Feuerungen
Gasturbinen
Geothermie
Solarthermie



ORC-MODUL

ELEKTRIZITÄT

Eigenversorgung mit Strom
Einspeisung in öffentliches Netz

RESTWÄRME

Nah- und Fernwärmenetze
Trocknungsprozesse
Fermentationswärme
Gewächshäuser

Cyplan® ORC: Funktionsprinzip

②

Verdampfer

Wärmeübertrag von der Wärmequelle auf das ausgewählte Arbeitsmedium

③

Turbogenerator

Thermische Energie wird teilweise in Strom umgewandelt

④

Stromerzeugung

Einspeisung in das Stromnetz

⑤

Kondensator

Kondensation des Arbeitsmitteldampfes

⑥

Wärmeabfuhr

Kondensationswärme, die für Folgeprozesse verwendet werden kann

⑦

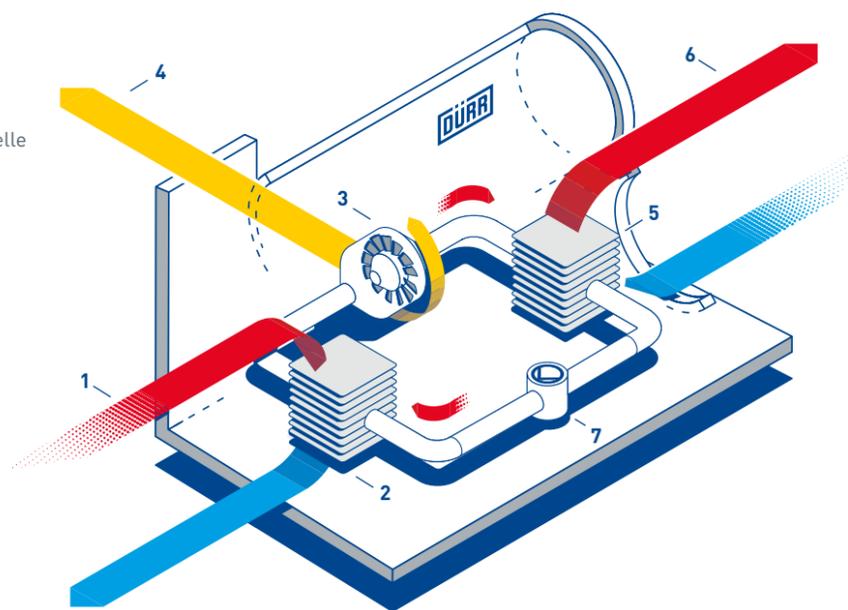
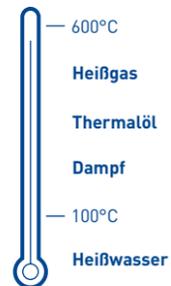
Pumpe

Zirkulation des Arbeitsmediums

①

Wärmezufuhr

Ein Wärmeträgermedium strömt von der Wärmequelle zum ORC-Modul



Der ORC-Kreislauf ist ein thermodynamischer Prozess, der dem bekannten Wasser-Dampf-Kreislauf ähnelt, welcher in konventionellen Kraftwerken zur Stromerzeugung genutzt wird. Der Hauptunterschied besteht darin, dass beim ORC-Kreislauf eine organische Flüssigkeit mit einem niedrigen Siedepunkt verwendet wird. Deshalb funktionieren ORC-Systeme im Vergleich zu konventionellen Wasser-Dampf-Kreisläufen schon bei niedrigeren Temperaturen.

Dürr hat auf der Grundlage von kontinuierlicher Forschung und Entwicklung im Bereich ORC-Technologien ein verbessertes Design patentieren lassen. Die **Cyplan®** ORC-Systeme von Dürr bieten deutlich mehr Effizienz und Flexibilität.

BESONDERE FUNKTIONEN

- Hermetisch geschlossener Arbeitsmittelkreislauf
- Hocheffiziente einstufige Expansionsturbine
- Hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplungsbetrieb mit Wirkungsgraden über 95 %
- Sekundärwärmeauskopplung bis zu 95°C bei Hochtemperaturprozessen
- Verschiedene Wärmeübertragungsmedien als Prozessschnittstelle
- Auswahl verschiedener Arbeitsmedien zur optimalen Nutzung der vorhandenen Wärmequelle

Anlagen für jede Anwendung

Dürr bietet **Cyplan®** ORC-Module als vorgefertigte und TÜV-zertifizierte Einheiten im Bereich von 50 kW bis 500 kW elektrischer Leistung an. Die Leistung entspricht der Größe des Turbogenerators. Alle Anlagenkomponenten werden auf einem Grundrahmen aufgebaut.

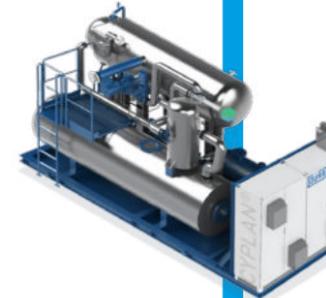
Zudem entwickelt Dürr bei größeren Anlagen bzw. bei industriellen Anwendungen angepasste ORC-Lösungen, bei denen Standardelemente mit Komponenten kombiniert werden, die für den speziellen Fall ausgelegt sind.

PRODUKTFUNKTIONEN

- Kompakte Einheiten als Skid montiert
- Einfacher Transport und einfache Integration
- Voll automatisierter Betrieb mit Fernüberwachungsfunktion
- Gemäß industriellen Standards gefertigt



Cyplan® ORC 50



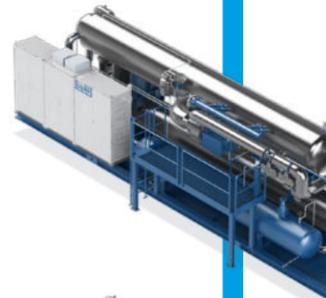
Cyplan® ORC 70



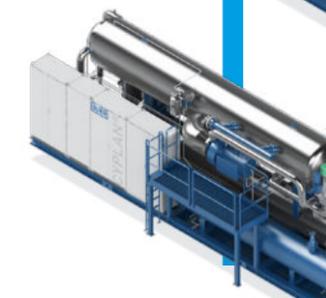
Cyplan® ORC 120



Cyplan® ORC 250



Cyplan® ORC 350



Cyplan® ORC 500

Die vielfältige Cyplan® ORC-Produktpalette bietet Lösungen für unterschiedlichste Anwendungen

Die Cyplan® ORC-Lösungen von Dürr für Ihr Unternehmen



FEUERUNGEN

Cyplan® ORC-Module können in Kombination mit Feuerungsanlagen für unterschiedliche Brennstoffe eingesetzt werden, z.B. holzbasierte Einsatzstoffe, Abfallprodukte aus der Holzverarbeitung, Klärschlamm und Siedlungsabfälle. Darüber hinaus kann die **Cyplan®** ORC-Technologie in innovative thermische Prozesse wie Pyrolyse und Pflanzenkohle integriert werden.

- Energetische Nutzung von organischen Reststoffen
- Für alle Arten von Feuerungen geeignet
- Nutzung der Sekundärwärme aus dem ORC-Kreislauf

GEOTHERMIE

Die **Cyplan®** ORC-Anlagen von Dürr können als modulare Kraftwerke, Wellhead-Generatoren, Upgrades für bereits bestehende Flash-Kraftwerke mit einem zusätzlichen Sekundärkreislauf oder als Anlagen für den saisonalen Betrieb eingesetzt werden.

- Modulare und flexible Gestaltung
- Optimierter Betrieb durch Kaskadenschaltung
- Geeignet für den Betrieb unter schwierigen Umgebungsbedingungen



SOLAROTHERMIE

Die **Cyplan®** ORC-Technologie kann in verschiedenen Arten von Solarkraftwerken eingesetzt werden: als Hochtemperaturanlage, die von einem Wärmeübertragungsmedium gespeist wird, oder als Niedertemperaturanlage nach einem Wärmespeicher.

- Hervorragendes Teillastverhalten
- Kein Wasserverbrauch
- Wichtiger Bestandteil von Hybridkraftwerken

MOTOREN / BLOCKHEIZKRAFTWERK-EINHEITEN

Die **Cyplan®** ORC-Technologie kann mit sämtlichen stationären Gas- und Dieselmotoren (z. B. Biogas-, Klärgas- und Deponiegasmotoren) kombiniert werden und kann die elektrische Leistung um bis zu 10% erhöhen. Aufgrund der Direktverdampfungstechnologie wird das Modul im Abgasweg zwischen dem Motor und dem Kamin angebracht.

- KWK-Funktion
- Spart 3–5% an Brennstoff
- Strom erzeugender Wärmetauscher mit mehr als 95% Nutzungsgrad



INDUSTRIELLE ABWÄRMENUTZUNG

Dürr kann jede Art von Wärme mit einer Temperatur von über 90°C unabhängig vom Wärmeträger (Wasser, Dampf, Thermalöl oder Heißgas) verwerten und in Elektrizität umwandeln.

- Keine Rückwirkung auf den Fertigungsprozess
- Verbessert die CO₂-Bilanz
- Kein zusätzliches Personal benötigt

GASTURBINEN

Cyplan® ORC-Module eignen sich hervorragend als Zusatz für kleine bis mittelgroße Gasturbinen, die ohne Abgaswärmenutzung eingesetzt werden. Damit kann die Leistung ohne zusätzlichen Brennstoff um bis zu 25% erhöht werden.

- Flexibilität beim Brennstoff
- Direktverdampfung
- Funktioniert ohne Wasser



Ihr Partner von der Idee bis zum erfolgreichen Betrieb



1 GRUNDLAGEN DEFINIEREN

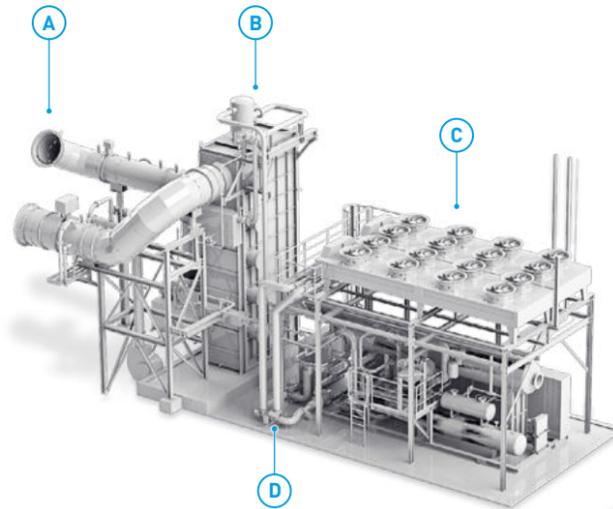
Unser Expertenteam nutzt seine Expertise und Erfahrung in der Industrie, um die Voraussetzungen für die Implementierung von **Cyplan**® ORC-Modulen sorgfältig zu prüfen. Wir berücksichtigen die Quelle, die Qualität und die Menge der verfügbaren thermischen Energie, die Besonderheiten des Fertigungsvorgangs sowie bereits vorhandene oder potenzielle Konzepte für die Nutzung von Elektrizität und Wärme. Anhand dieser Grundlage erhalten Sie von Dürr erste Angaben zur Realisierbarkeit.

2 ERFOLG PLANEN

Das Hauptziel der Planung besteht darin, mit der **Cyplan**® ORC-Anlage die höchstmögliche Stromerzeugung und Wirtschaftlichkeit aus der verfügbaren Wärme zu erzielen. Dies umfasst die Auswahl des passenden Moduls aus unserem Standardportfolio. Hierbei werden die Wärmequelle, der Wärmeträger und andere Faktoren berücksichtigt. Für bestimmte Zwecke ist es sinnvoll, individualisierte **Cyplan**® ORC-Lösungen zu entwickeln, für welche Standardelemente mit angepassten Komponenten kombiniert werden.

Wir bieten unseren Kunden nicht nur verlässliche Produkte für die Erzeugung von sauberem Strom, sondern auch einen umfassenden Support in allen Projektphasen. Von Turnkey-Projekten über die kompetente Projektbegleitung bis hin zur Organisation von Schulungen für die Mitarbeiter – Dürr hat das passende Angebot für Sie. Unsere erfahrenen Projektmanagementteams garantieren Transparenz und eine nahtlose Kommunikation. So sorgen wir für die Fertigstellung des vereinbarten Lieferumfangs innerhalb der definierten Zeitschiene und Budget.

CYPLAN® ORC 500 HT-KWK-MODUL MIT ANGEPAßTER PROZESSSCHNITTSTELLE FÜR DIE NUTZUNG VON ABGASWÄRME



- A Vollständige Integration in die bestehende Abgasleitung, einschließlich Saugzuggebläse
- B Externer Verdampfer mit geringerem Druckverlust
- C Rückkühleinheit zur Notkühlung
- D Übergabewärmetauscher zum Fernwärmenetz

3 INTELLIGENT EINBINDEN

Die Planung ist auch hier der Schlüssel zu einer erfolgreichen Auftragsabwicklung. Dürr behält den Überblick über die Prozessumgebung, um eine reibungslose Abwicklung sicherzustellen. Dies umfasst die Erstellung von Lageplänen in 3D und von R&I-Diagrammen, die Berechnung der thermischen Belastung und Druckverluste sowie statische und dynamische Analysen der Rohrleitungssysteme.

4 QUALITÄT LIEFERN

Bei der Herstellung von **Cyplan**® ORC-Modulen und Nebenaggregaten baut Dürr einerseits auf Eigenfertigungen und andererseits auf die Zusammenarbeit mit externen Partnern. Durch strenges Qualitätsmanagement, beständige Verbesserungen der Fertigungsvorgänge und hohe Standards für Lieferanten wird die Qualität unserer direkt einsatzbereiten Module sichergestellt.



Der von Dürr patentierte Turbogenerator stellt die Kernkomponente der **Cyplan**® ORC-Module dar und wird in den Produktionsstätten von Dürr hergestellt und montiert.

HERMETISCHER TURBOGENERATOR



- Kein separater Schmierkreislauf
- Kompakte Ausführung
- Hoher Wirkungsgrad
- Wartungsarm
- Integriertes Kühlsystem
- Auf einer Turbinenwelle montiert

Dürr bietet individuelle Lösungen, abgestimmt auf Ihre konkreten Bedürfnisse

5 ERFOLGREICH BETREIBEN

Wir liefern die auf dem Skid montierten und vorab getesteten **Cyplan**® ORC-Module direkt zu Ihnen. So können sie schnell und kosteneffizient installiert werden. Experten von Dürr wickeln die Inbetriebnahme fachmännisch und schnell ab. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme werden kundenseitige Mitarbeiter sachgerecht geschult und mit der Bedienung der Anlage vertraut gemacht.

Investieren Sie in eine nachhaltige Zukunft

... indem Sie sich für eine nachhaltige Lösung entscheiden, die sich für Sie auszahlt und Gewinne erwirtschaftet

STROMERZEUGUNG

Mit selbst erzeugtem Strom profitieren Sie von einer Reihe attraktiver finanzieller Möglichkeiten:

- Reduzieren Sie Ihre Stromkosten und Ihre Abhängigkeit vom öffentlichen Netz
- Nutzen Sie attraktive Vergütungsangebote für die Einspeisung von Ökostrom
- Sichern Sie sich Subventionen oder Steuervorteile durch die Implementierung von nachhaltigen Technologien

SEKUNDÄRWÄRME

Durch die Bereitstellung von Sekundärwärme bieten **Cyplan**® ORC-Module viele Vorteile:

- Setzen Sie die Wärme in Folgeprozessen ein
- Verkaufen Sie die Wärme an ein Wärmenetz

CO₂ EINSPARUNG

Sie profitieren von der deutlichen Verbesserung der CO₂-Bilanz Ihres Unternehmens.

AUSGEWÄHLTE VORTEILE VON CYPLAN® ORC-STANDARDMODULEN ANHAND ZWEIER BEISPIELE

CYPLAN® ORC 120	↗ Produktion	↘ Einsparung
	 13.000 MWh Energie ¹	 -11.000 Tonnen Kohlendioxid ³
	 entspricht 350 Haushalten ²	 entspricht 55.000.000 km ⁴
CYPLAN® ORC 500	↗ Produktion	↘ Einsparung
	 54.000 MWh Energie ¹	 -45.000 Tonnen Kohlendioxid ³
	 entspricht 1.500 Haushalten ²	 entspricht 225.000.000 km ⁴

¹ – Betrachtungszeitraum 15 Jahre, 8.000 Stunden pro Jahr | ² – Etwa 2.500 kWh Verbrauch pro Haushalt und Jahr | ³ – Basierend auf 830 g/kWh an durch Kohlekraftwerke verursachte CO₂-Emissionen | ⁴ – Basierend auf 200 g/km an CO₂-Emissionen

Ihr Partner für den Produktionserfolg



Über den Kundenservice von Dürr erhalten Sie überall auf der Welt Support von Experten. Dürr ist immer vor Ort, um Sie dabei zu unterstützen, Ihre Produktionskosten zu senken und die Anlagenverfügbarkeit zu erhöhen, und stellt schnellen technischen Support zur Verfügung.

Wir bieten ein umfassendes Servicepaket an, das Ihren Anforderungen entsprechend angepasst werden kann. Unsere Services umfassen zeitnahe Reparaturen, vorbeugende Instandhaltung, Beratung und Upgrades für Ihre Anlage.

UNSER SERVICE FÜR SIE



- [Anlaufmanagement](#)
- [Modifikationen und Upgrades](#)
- [Engineering mit Erfahrung](#)
- [Ersatzteilservice](#)
- [Engineering durch Experten](#)
- [Inspektion und Wartung](#)
- [Weltweite Service-Standorte](#)

LEADING IN PRODUCTION EFFICIENCY



Dürr Systems AG

Carl-Benz-Strasse 34
74321 Bietigheim-Bissingen
Deutschland

Telefon: +49 7142 78-2914
E-mail: info@durr-cyplan.com



Änderungen vorbehalten. Die Informationen in dieser Broschüre enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall abweichen können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsschluss ausdrücklich vereinbart werden. © Dürr 2021

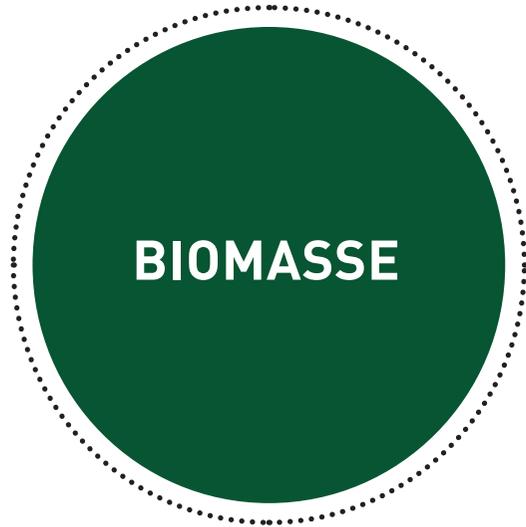
Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

B-2.6 Broschüre PYREG

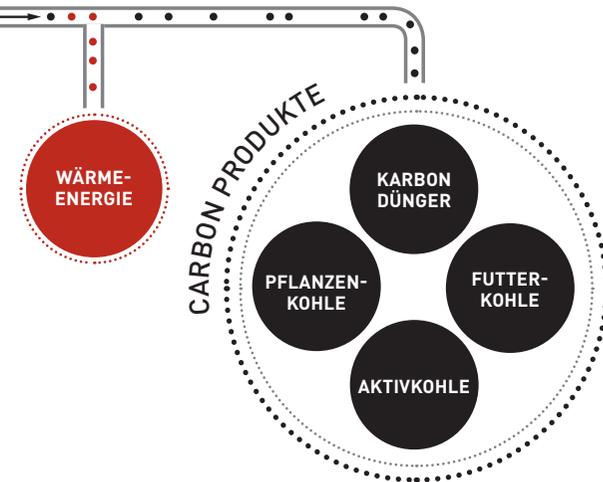
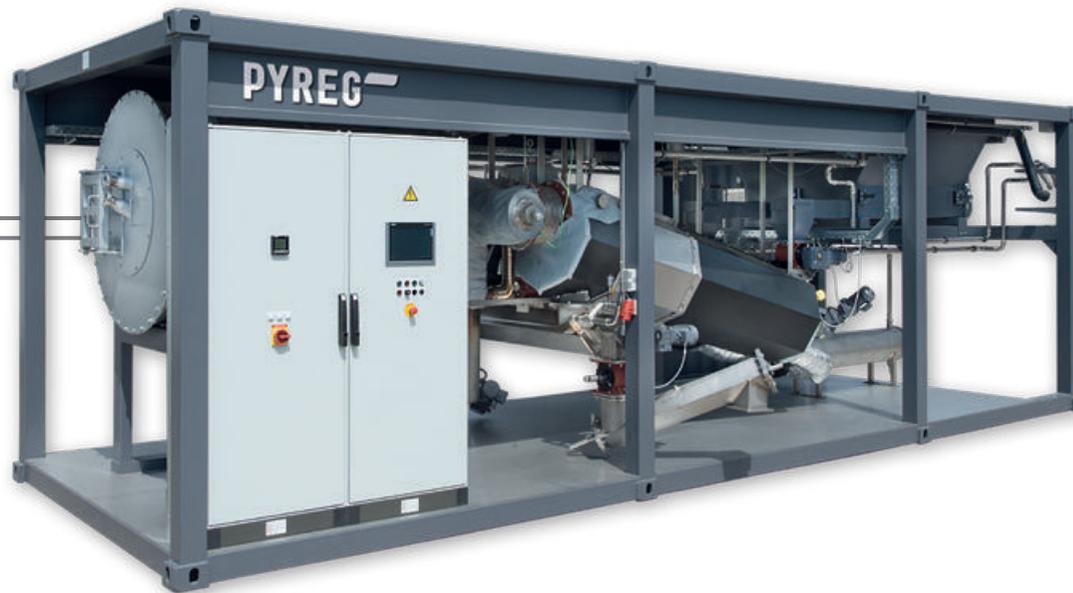
BIOMASSE

PYREG™



**RESSOURCEN
SCHONEN
UMWELT
SCHÜTZEN**





Eine saubere Sache	4
Die Vermarktung	6
PYREG schließt den Kreislauf	8
Ihr Nutzen	10
im Boden (Nature)	12
fürs Klima (Climate)	14
im Stall (Animals)	16

Das Verfahren	18
Die Systeme	20
Input/Output-Material	22
Referenzen	24
Der Weg zu Ihrer Anlage	28
Service	31

Ihr Mehrwert	32
Über PYREG	34

EINE SAUBERE SACHE

PYREG CARBON PRODUKTE ...

4

...werden in definierten
Qualitätsstufen gewonnen:
Pflanzkohle,
Futterkohle,
Aktivkohle...

...entstehen durch die
schonende Verkohlung
verschiedener Biomassen.
Vielfach aus regional
nachwachsenden
Rohstoffen...

...sind durch die
thermische Behandlung frei von
pathogenen organischen
Schadstoffen wie
Antibiotika, Erregern
und Mikroplastik...

...sind die konsequente
Veredelung bevorzugt
naturbelassener
Biomasse...

VIELSEITIG EINSETZBAR

PYREG CARBON PRODUKTE WERDEN AUS NATÜRLICHEN ROHSTOFFEN GEWONNEN UND JE NACH QUALITÄTSGRAD IN VERSCHIEDENEN BEREICHEN EINGESETZT

**VERBESSERUNG DES
TIERWOHLS (FUTTERMITTEL,
EINSTREU)**

**UNTERSTÜTZUNG
FÜR DIE KOMPOSTIERUNG**

**ADDITIV IN DER
BIOGAS-PRODUKTION**

**LUFTFILTER FÜR
INDUSTRIE-EMISSIONEN**

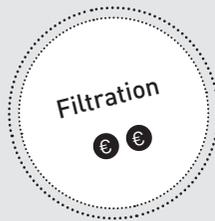
**BODENVERBESSERER
UND DÜNGER (LANDWIRT-
SCHAFT UND GARTENBAU)**

WASSERAUFBEREITUNG

**FÜLL-, BAU- UND DÄMMSTOFF
FÜR INDUSTRIE-ANWENDUNGEN**

PFLANZENKOHLE VERMARKTEN

6



Marktpreis €

SEHR SAUBERE BIOMASSEN

HACKSCHNITZEL

NUSSCHALEN + OBSTSTEINE



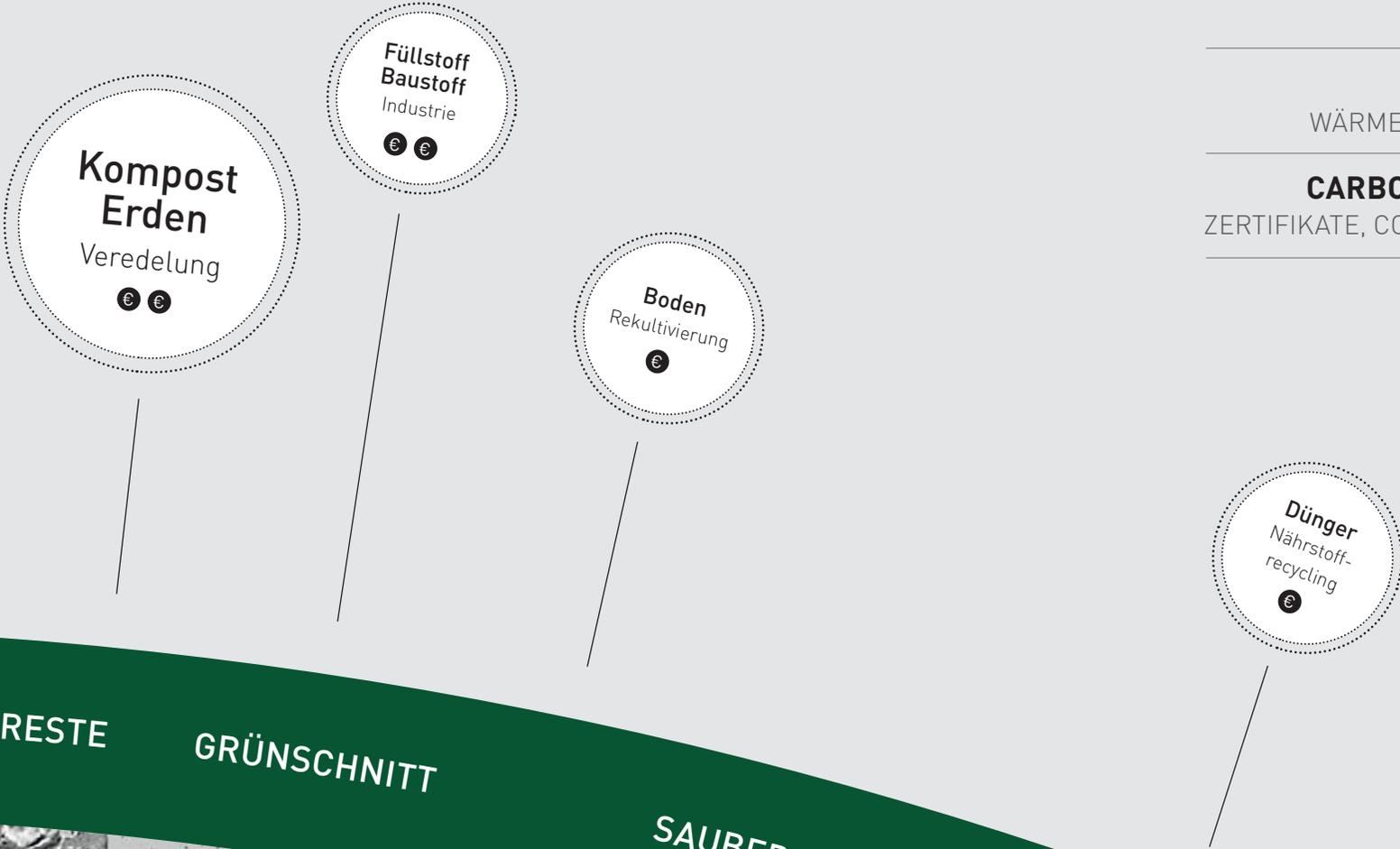


ENERGIE

WÄRMEGEWINNUNG

CARBON MARKET

ZERTIFIKATE, CO₂ FOOTPRINT



HOLZRESTE

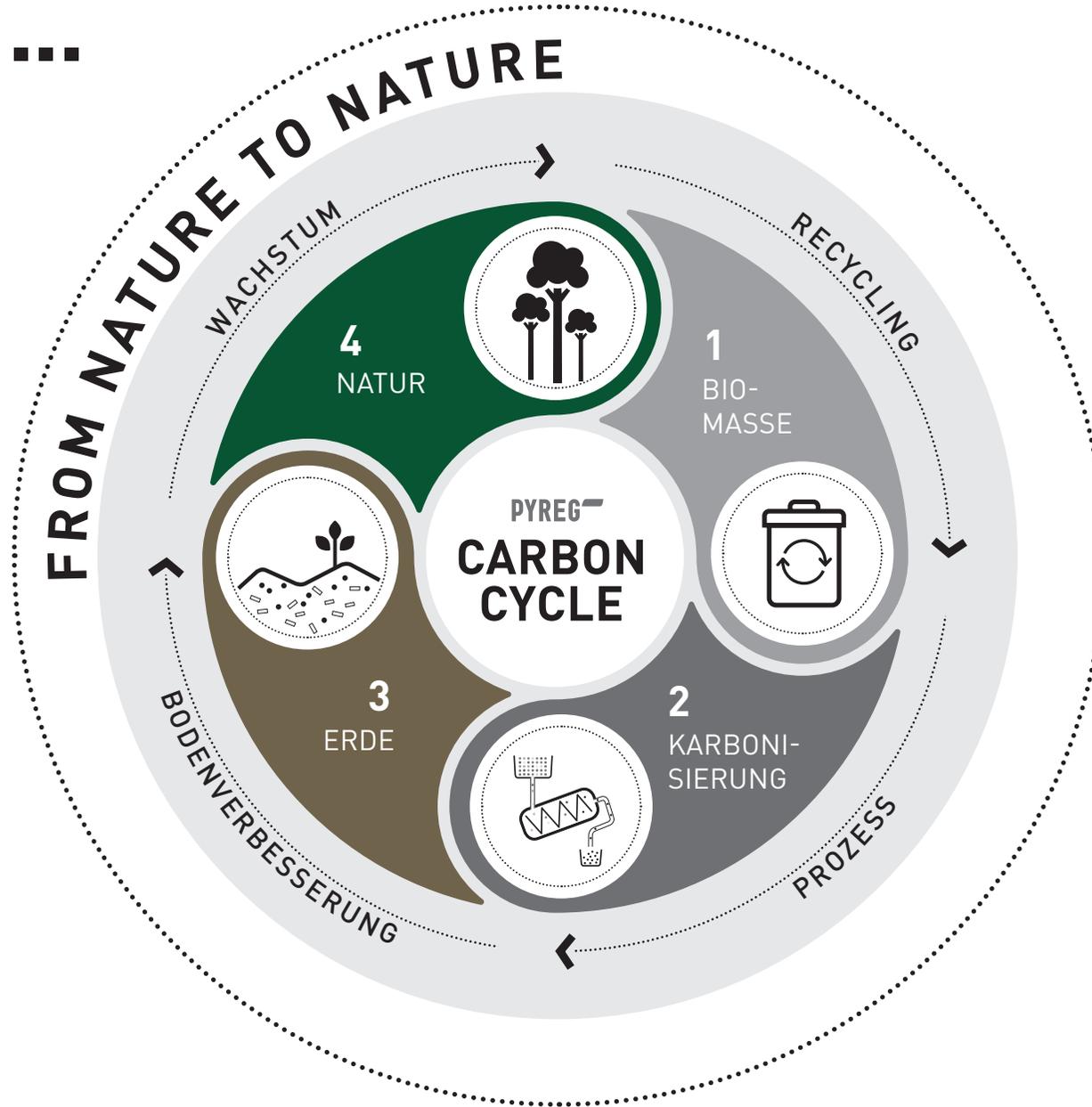
GRÜNSCHNITT

SAUBERE BIOMASSE

GÜLLE, MIST, GÄRRESTE



PYREG ...



...schließt den Kreislauf

UPCYCLING

VERMARKTUNG VON
PREMIUMPRODUKTEN
WIE Z.B. FUTTERKOHLE AUS
REST-BIOMASSEN

VIelfÄLTIGER NUTZEN

WEITERVERWENDUNG ALS
INPUTSTOFF (DROP IN) IN
EIGENER PRODUKTION/
ANWENDUNG

VOLLSTÄNDIGE VERWERTUNG

ES BLEIBEN KEINE ZU
ENTSORGENDEN RESTSTOFFE
ÜBRIG

DEZENTRALES SYSTEM

REDUKTION VON
TRANSPORTAUFWAND
UND -KOSTEN

EINE SAUBERE SACHE

LÖSUNG IHRES
ABFALLPROBLEMS DURCH
KREISLAUFWIRTSCHAFT

ENERGIEEFFIZIENT

AUTOTHERMES VERFAHREN.
NUTZT DIE IM INPUT
ENTHALTENE ENERGIE
VOLLSTÄNDIG.

NUTZBARE ABWÄRME

NUTZUNG ALS ZUSÄTZLICHE
ENERGIEQUELLE

KLIMAPOSITIVER PROZESS

VERBESSERUNG IHRES CO₂
FUSSABDRUCKS UND IHRER
REPUTATION



IHR NUTZEN



Nature

Stabilisiert das Pflanzenwachstum und reduziert Ernteauffälle

Verbessert die Bodenqualität

Reduziert Verbrauch von Mineraldünger



Climate

Hilft Nachhaltigkeitsziele zu erreichen

Bindet CO₂

Reduziert Lachgasemissionen und Nitratauswaschungen



Animals

Verbessert die Milchqualität und den Ertrag

Reduziert medizinische Kosten

Futtermittelzusatz: Verbessert Tiergesundheit

Einstreu: Verbessert Stallhygiene



Nature

PFLANZENKOHLE ALS BODENVERBESSERER

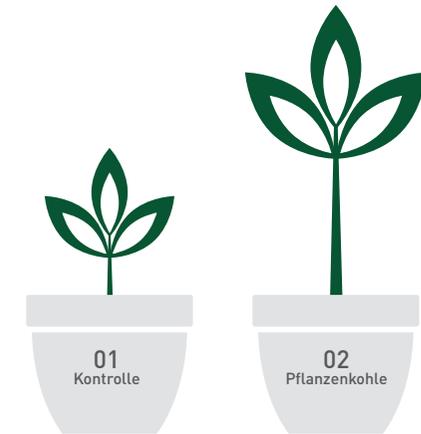
12

Pflanzenkohle ist äußerst porös und besitzt eine riesige Oberfläche von bis zu 300 Quadratmetern pro Gramm. Deshalb kann sie bis zur fünffachen Menge ihres Eigengewichtes an Wasser und darin gelöste Nährstoffe aufnehmen (vgl. Scheub et. al. 2015: Terra Preta).

Unbehandelte Pflanzenkohle entfaltet zunächst noch keine bodenverbessernde Wirkung. Sie muss erst mit Nährstoffen aufgeladen und mit Mikroorganismen besiedelt werden. Die „Aufladung“ der Pflanzenkohle kann mit verschiedenen Verfahren wie beispielsweise der Kompostierung erreicht werden.

300 m²
pro Gramm

WIE SIE WIRKT: POSITIVE EFFEKTE VON PFLANZENKOHLE IM BODEN



VERBESSERTE **SPEICHERFÄHIGKEIT** FÜR
WASSER UND NÄHRSTOFFE

STABILES **PFLANZENWACHSTUM** MIT
GERINGEREN ERNTEAUSFÄLLEN

GERINGERE NITRAT-AUSWASCHUNGEN INS
GRUNDWASSER

AKTIVIERUNG DES BODENLEBENS.
MIKROORGANISMEN FINDEN IDEALEN
LEBENSRAUM.

WENIGER KLIMASCHÄDLICHE EMISSIONEN
WIE ZUM BEISPIEL LACHGAS

AKTIVER **KLIMASCHUTZ**: KOHLENSTOFF WIRD
ÜBER JAHRHUNDERTE IM BODEN
GESPEICHERT



Climate

PYREG PRODUKTE MACHEN DEN UNTERSCHIED. SIE...

14

...SIND IM GEGENSATZ ZU BRAUN- UND STEINKOHLE
AKTIVER UMWELTSCHUTZ.

...WERDEN IN INDUSTRIELLEM MASSSTAB NACH
EUROPÄISCHEN **UMWELTSTANDARDS** HERGESTELLT.

...BASIEREN VIELFACH AUF REGIONAL **NACHWACHSENDEN**
ROHSTOFFEN.

...**SIND KLIMAPOSITIV.** BEI DER SCHONENDEN VERKOHLUNG WIRD
EIN GROSSER TEIL DES KOHLENSTOFFS IM PRODUKT STABIL
GEBUNDEN UND NICHT ALS KLIMASCHÄDLICHES CO₂ FREIGESETZT.



REDUZIERT
CO₂
FOOTPRINT



Animals

IM STALL MEHRFACH PROFITIEREN

16

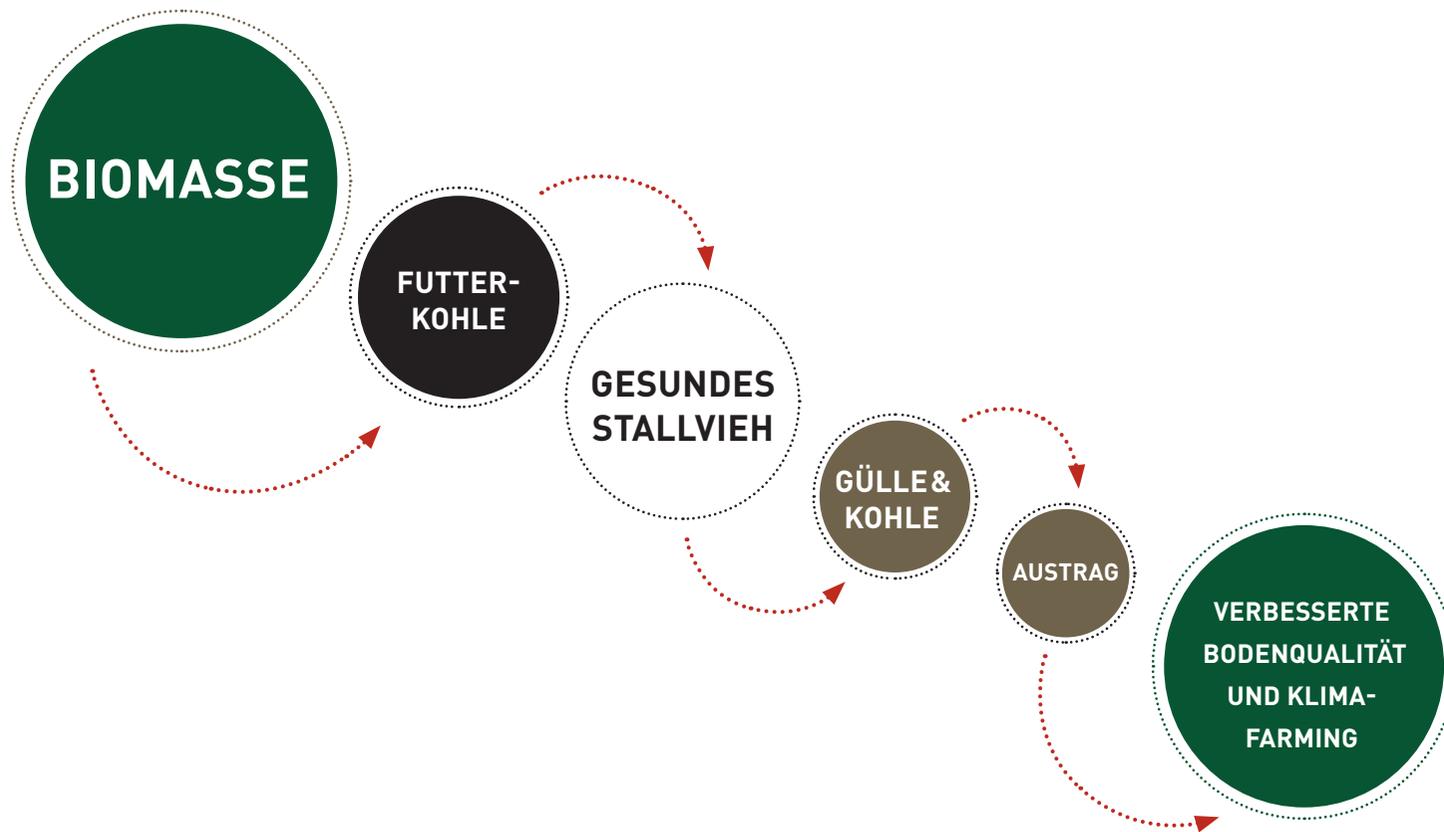
Als besonders geeignet erweist sich Pflanzenkohle immer dann, wenn sie mehrfachen Nutzen hat, wie beispielsweise als Futterkohle. Hier hat sie als Premiumkohle nicht nur eine positive Wirkung auf die Tiergesundheit. Ausgeschieden sorgt sie auch für eine geringere Geruchsbelästigung durch die Gülle. Wird sie anschließend als Düngerezusatz auf dem Acker ausgebracht, verbessert sie zusätzlich die Bodenqualität, verhindert Nährstoff-Auswaschungen und schützt das Klima.

PFLANZENKOHLE ALS SILIERMITTEL VERHINDERT SCHIMMEL UND PILZBILDUNG. TOXINE WERDEN ADSORBIERT, MILCHSÄUREBAKTERIEN ARBEITEN EFFEKTIVER. **DIE STALLHYGIENE VERBESSERT SICH.**

PFLANZENKOHLE VERRINGERT DIE EINSTREU-FEUCHTIGKEIT, **BINDET AMMONIUM** UND ANDERE GIFTSTOFFE UND ERHÖHT DIE FUSSBALLEN-GESUNDHEIT. DIE EINSTREU BLEIBT LÄNGER SCHARRFÄHIG.

PFLANZENKOHLE REGELT DEN NÄHRSTOFFHAUSHALT IM DARMTRAKT. BAKTERIEN SIEDELN SICH VERMEHRT AN, DIE **FUTTER-EFFEKTIVITÄT UND DAS SCHLACHTGEWICHT** ERHÖHEN SICH.

DIE AUFGENOMMENE PFLANZENKOHLE BINDET TOXINE IM VERDAUUNGSSYSTEM. DIE TIERE **BLEIBEN GESUND**, VITAL UND AUSGEGLICHEN. TIERARZT- UND ARZNEIKOSTEN VERRINGERN SICH.



Das PYREG Verfahren

HÖCHSTE QUALITÄT



18

Die PYREG-Technologie ist ein kontinuierliches Verfahren und arbeitet nach dem Prinzip der trockenen Karbonisierung. Dafür wird die Biomasse bei 500 - 700 °C nicht verbrannt, sondern erst schonend entgast und anschließend durch gezielte Luftzugabe verkohlt. Damit ist die Biomasse vollständig hygienisiert.

Gleichzeitig bewirkt der Transport des Materials im Reaktor mittels Förderschnecken eine vollständige Durchkohlung und vermeidet so das Entstehen von Schadstoffen wie PAK's und Dioxinen. Da im PYREG-Verfahren Behandlungsparameter wie die Temperaturführung, die Verweilzeit bei der Karbonisierung und die Primärluftzugabe gezielt gesteuert werden können, lassen sich Pflanzenkohlen von höchster Qualität herstellen.

KEINE PROBLEMSTOFFE



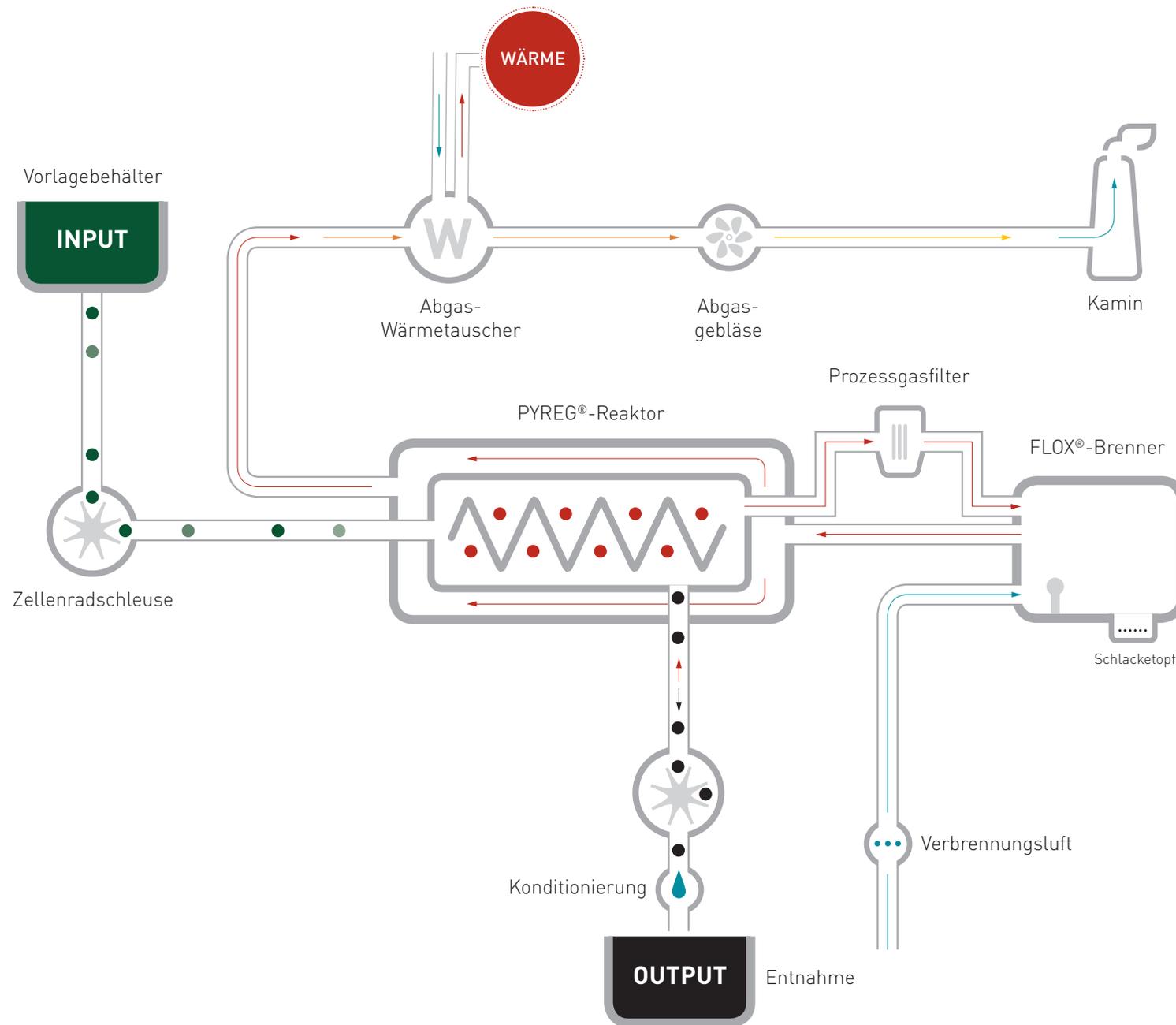
Die in den Reaktoren entstehenden brennbaren Gase werden vom Material entkoppelt, durch einen automatisierten Prozessgasfilter von Staub befreit und in einer nachgeschalteten Brennkammer im FLOX®-Verfahren (flammenlose Oxidation) bei rund 1.000 °C verbrannt. Wesentlich für die PYREG-Lösung ist, dass keine Problemstoffe wie Öle oder Teere entstehen, da das Schwelgas nicht abgekühlt, sondern durch die vollständige Oxidation in der Nachbrennkammer thermisch gereinigt wird.

NUTZBARE ENERGIE



600 kW_{th}

Zudem arbeitet die Anlage autotherm, das heißt sie nutzt für die Aufrechterhaltung des thermischen Prozesses ausschließlich die Energie der eingebrachten Biomasse. Dazu werden die heißen Rauchgase aus der Brennkammer in den Mantel des Reaktors geleitet, was zum Durchtrocknen und Karbonisieren der Biomasse führt. Darüber hinaus entsteht ein Energieüberschuss von bis zu 600 kW_{th}, der beispielsweise für die Trocknung feuchter Biomassen oder zum Heizen genutzt werden kann.



Die PYREG-Systeme

20

KOMPAKT UND DEZENTRAL

In den PYREG-Systemen steckt eine kompakte, dezentrale Recycling Technologie, die sich einfach in eine bestehende Infrastruktur und Stoffkreisläufe integrieren lässt. Der thermische Prozess basiert auf dem Prinzip der trockenen Karbonisierung. Die überschüssige Wärmeenergie von bis zu 4,5 Mio kWh pro Jahr kann für weitere Zwecke genutzt werden (z.B. Nahwärmenetz).

Bitte beachten Sie: Die nebenstehenden Systemdaten sind Modellwerte, um Ihnen einen ersten Anhaltspunkt zu geben. Exakte Anlagendaten lassen sich erst gemeinsam mit Ihnen ermitteln: nach einer ausführlichen Analyse des Standorts und einem Materialtest. Sprechen Sie uns gerne an.

	P500	P1500
Größe	l 9.000 mm b 3.000 mm h 5.800 mm	l 12.000 mm b 3.000 mm h 5.800 mm
Brennstoffleistung	500 kW	1.500 kW
Jahresdurchsatz <small>TS, Trockensubstanz</small>	ca. 750 t pro Jahr	ca. 2.250 t pro Jahr
Jahresproduktion	ca. 190 t	ca. 560 t
Nutzbare Wärmeenergie	ca. 150 kW _{th}	ca. 600 kW _{th}
Betriebsstunden	bis zu 7.500 h/a	bis zu 7.500 h/a
Stromverbrauch	ca. 10 kW _{el}	ca. 20 kW _{el}
Zusätzliches Technik-Modul	l 3.000 mm b 3.000 mm h 2.800 mm	l 6.000 mm b 3.000 mm h 5.800 mm

Basierend auf 92% TS Agropellets

GRÖSSE

[m²]

54

= GARAGE FÜR 3 KFZ



KOHLENSTOFF SPEICHER

[t CO₂]

pro Jahr

1.850

= 142 HEKTAR WALD



NUTZBARE WÄRME

[kWh]

pro Jahr

4.500.000

= 180 HAUSHALTE



Input

VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE SICHERE UND WIRTSCHAFTLICHE BEHANDLUNG IM PYREG VERFAHREN

ANALYSE

Auf Basis Ihres Eintragsmaterials können wir eine erste Bewertung vornehmen und Aussagen darüber machen, ob sich dieses zur Karbonisierung eignet und wie hoch die Qualität Ihres Carbon-Produktes voraussichtlich sein wird.

22



Output

DAFÜR SCHAFFEN WIR DIE GRUNDLAGEN: DAS SIEGEL FÜR PREMIUM QUALITÄT



Die Nachfrage nach Pflanzenkohle wächst. Jedes Jahr streben neue Hersteller von Pflanzenkohle auf den Markt. Doch die einzelnen Karbonisate unterscheiden sich im Hinblick auf ihre Qualität und Umweltverträglichkeit erheblich. Deshalb können Pflanzenkohle-Hersteller ihre Produkte seit 2012 von einer unabhängigen Kontrollstelle zertifizieren lassen: Das European Biochar Certificate (EBC) kontrolliert und zertifiziert als freiwilliger Industriestandard europaweit die Qualität von Pflanzenkohle.

www.european-biochar.org

ZERTIFIZIERTE HERSTELLER DÜRFEN NUR BIOMASSE VERWENDEN, DIE AUF EINER POSITIVLISTE AUFGEFÜHRT IST.

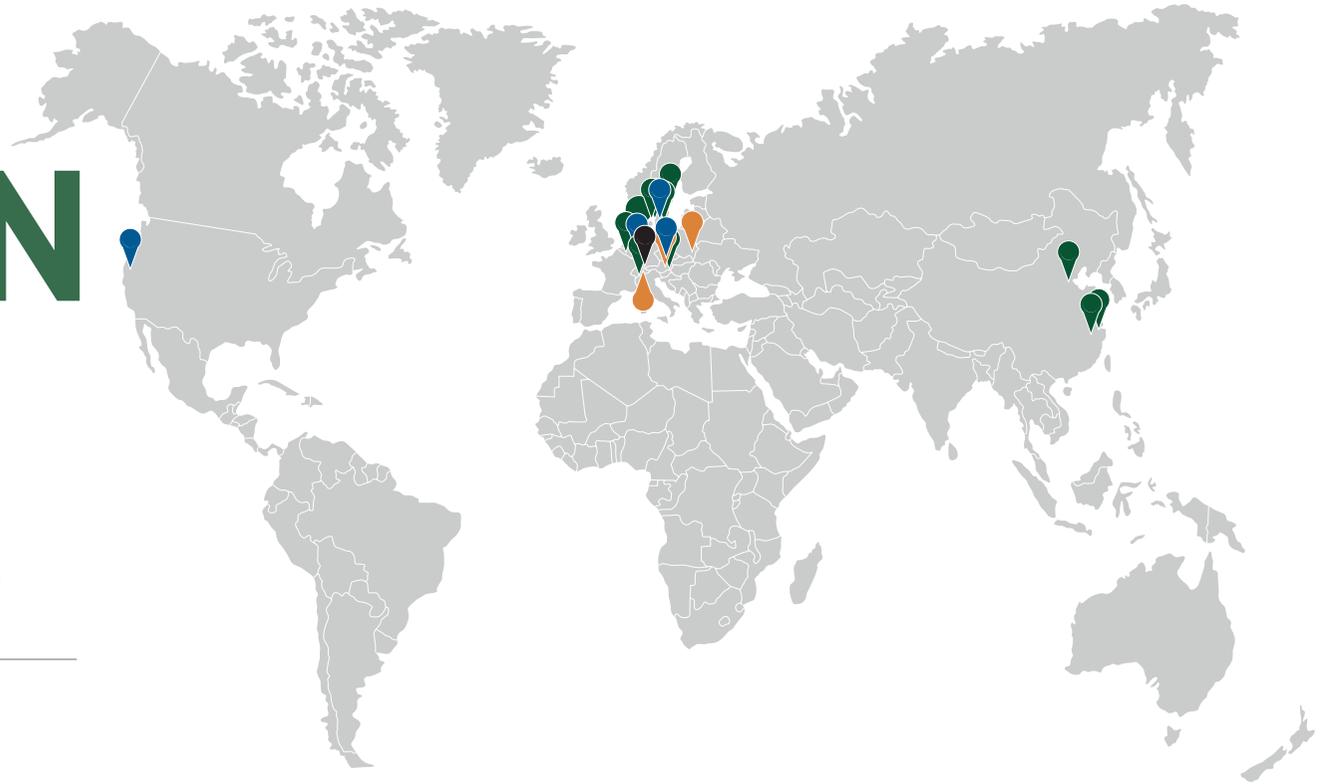
DIE HERSTELLUNG VON PFLANZENKOHLE MUSS IN EINEM ENERGIEAUTONOMEN PROZESS ABLAUFEN.

EBC-ZERTIFIZIERTE PFLANZENKOHLEN MÜSSEN EINEN KOHLENSTOFFGEHALT VON MEHR ALS 50 % DER TROCKENMASSE AUFWEISEN UND EIN MOLARES H/C_{ORG} -VERHÄLTNIS KLEINER 0,7.

DIE EBC-GRENZWERTE FÜR SCHWERMETALLE, PAK ODER DIOXINE ORIENTIEREN SICH AN DEN IN DER SCHWEIZ UND DEUTSCHLAND GELTENDEN BODENSCHUTZVERORDNUNGEN UND MÜSSEN REGELMÄSSIG NACHGEWIESEN WERDEN.

IM FALL VON FUTTERMITTELKOHLEN GARANTIERT DAS EBC-FUTTER-ZERTIFIKAT EINERSEITS DIE EINHALTUNG ALLER VON DER EU-VERORDNUNG VORGESCHRIEBENEN GRENZWERTE UND ZERTIFIZIERT DARÜBER HINAUS DIE NACHHALTIGE HERSTELLUNG UND ANWENDUNG.

PYREG ANLAGEN IN BETRIEB



- 22 Biomasse-Anlagen
- 6 Klärschlamm-Anlagen
- 2 Aktivkohle-Anlagen
- 4 Labor-Anlagen

 Stockholm, Schweden

PYREG ANLAGE P500

RECYCLING VON BIOMASSE,
HERSTELLUNG VON PFLANZENKOHLE

In Betrieb seit: 2016

Brennstoffleistung 500 kW

Jahresdurchsatz ca. 750 t
TS, Trockensubstanz Biomasse pro Jahr

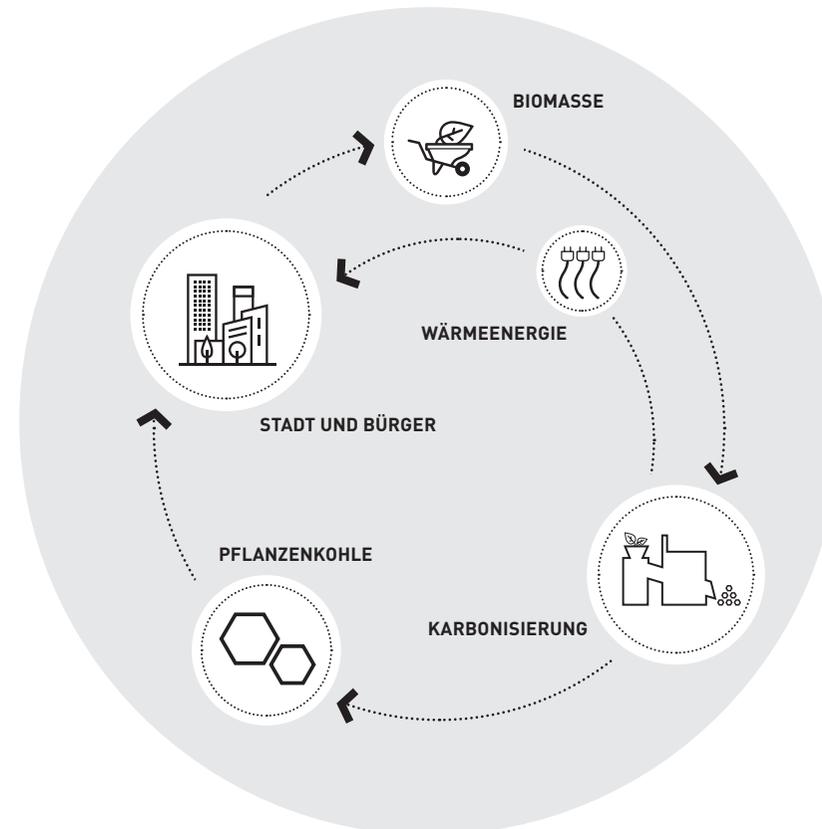
Jahresproduktion ca. 190 t Pflanzenkohle

**Nutzbare
Wärmeenergie** ca. 150 kW_{th}

Betriebsstunden bis zu 7.500 h/a

www.stockholmvattenochavfall.se

STADT UND BÜRGER PRODUZIEREN UND NUTZEN PFLANZENKOHLE SO FUNKTIONIERT'S



Buchen, Deutschland

PYREG ANLAGE P500

RECYCLING VON BIOMASSE UND
HERSTELLUNG VON PFLANZENKOHLE

In Betrieb seit: 2016

Brennstoffleistung 500 kW

Jahresdurchsatz ca. 600 t Biomasse
TS, Trockensubstanz

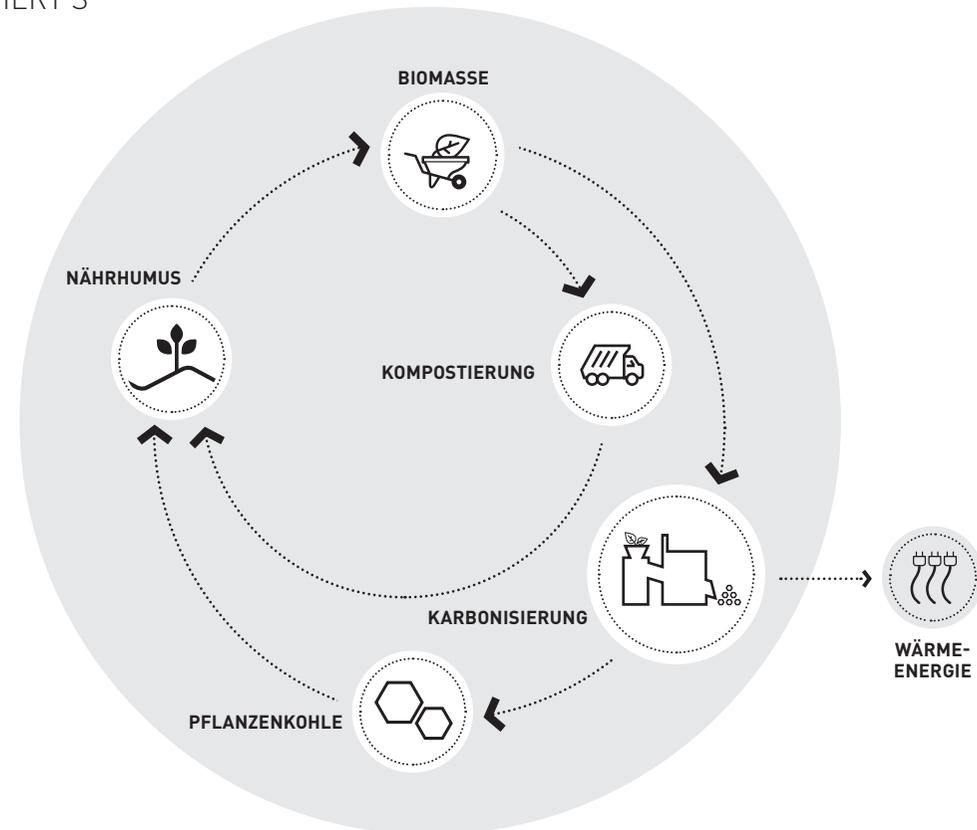
Jahresproduktion ca. 200 t Pflanzenkohle

**Nutzbare
Wärmeenergie** ca. 150 kW_{th}

Betriebsstunden bis zu 7.000 h/a

www.awn-online.de/biomassezentrum

NÄHRHUMUS AUS DER REGION FÜR DIE REGION SO FUNKTIONIERT'S



Hammenhög, Schweden

PYREG ANLAGE P1500

RECYCLING VON BIOMASSE UND
HERSTELLUNG VON PFLANZENKOHLE

In Betrieb seit: 2019

Brennstoffleistung 1.800 kW

Jahresdurchsatz ca. 3.000 t landw.
TS, Trockensubstanz Biomassereste

Jahresproduktion ca. 760 t Pflanzenkohle

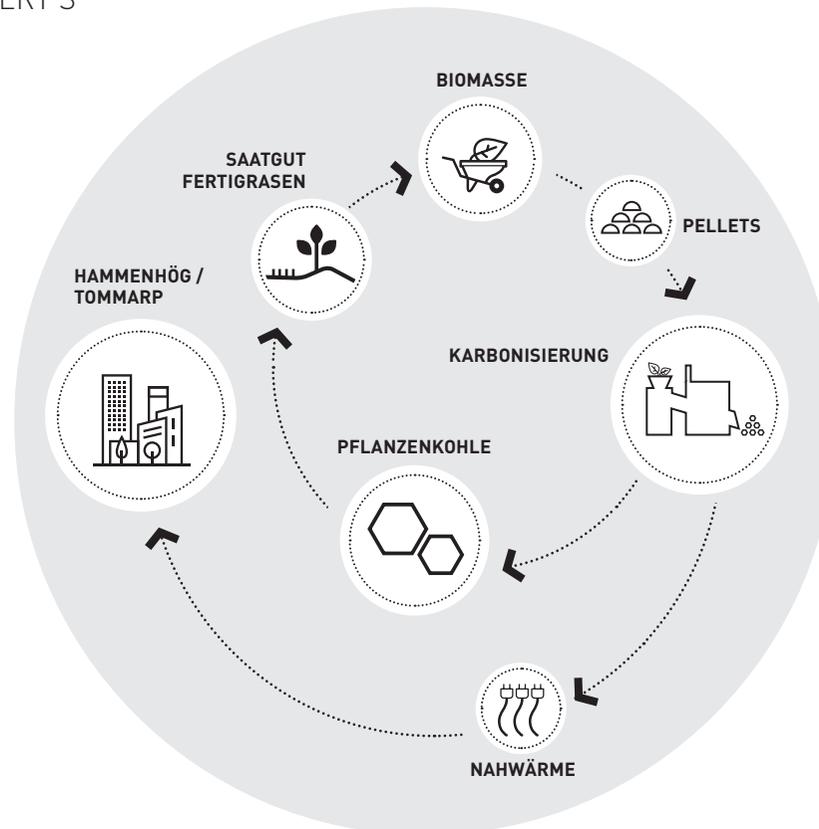
**Nutzbare
Wärmeenergie** ca. 750 kW_{th}

Betriebsstunden bis zu 7.500 h/a

www.skanefro.se

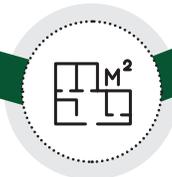
KLIMAFREUNDLICHE PRODUKTPALETTE MIT UPCYCLING VON RESTBIOMASSEN

SO FUNKTIONIERT'S



Der Weg zu Ihrer PYREG-Anlage

28



ANALYSE

Wir analysieren Ihr Verwertungsproblem: Lohnt sich für Sie der Einstieg in die Karbonisierung? Wir helfen Ihnen, eine Antwort auf diese Frage zu finden. Wir bewerten die Menge und die Qualität Ihres Inputmaterials. Anschließend geben wir Ihnen eine realistische Einschätzung, damit Sie sich sicher entscheiden können.

STANDORT

Wir analysieren die baulichen Rahmenbedingungen des Standorts und prüfen schon in diesem frühen Stadium die genehmigungsrechtlichen Rahmenbedingungen vor Ort.

PLANUNG

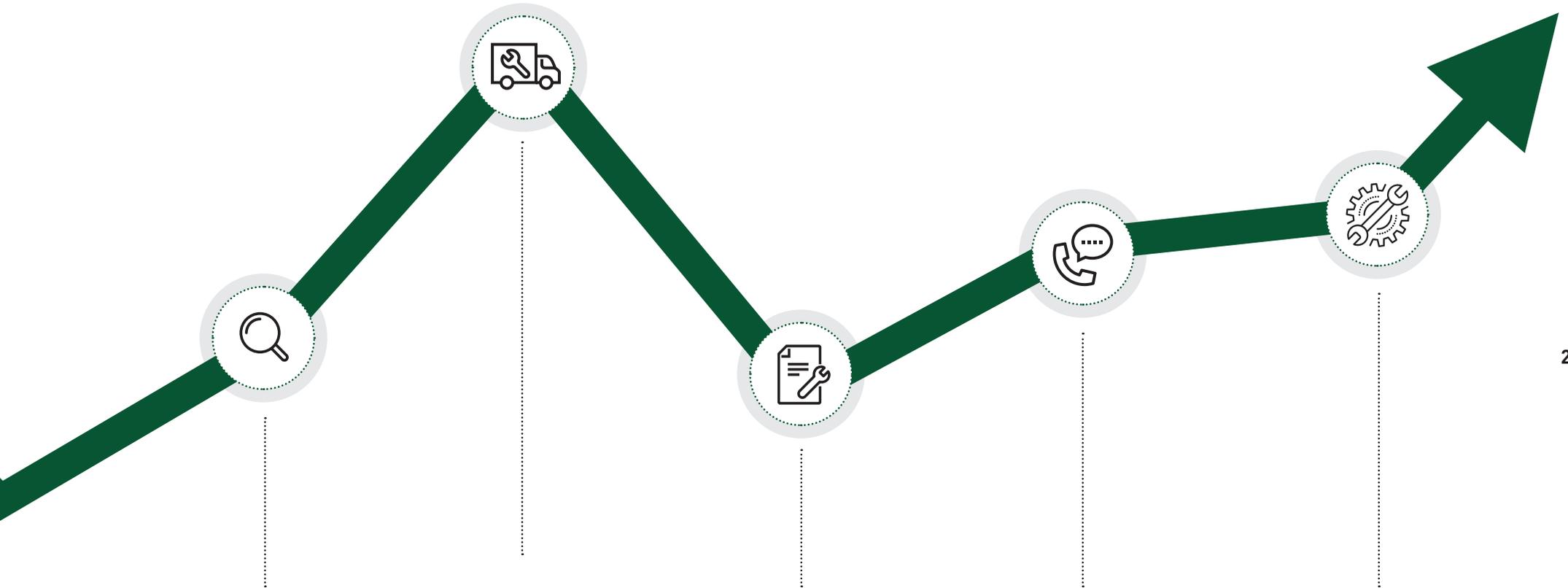
Entwurfsplanung und UVP-Screening: Auf Basis der sorgfältigen Standortanalyse entwerfen wir die für Ihren Betrieb geeignete Anlage. Auf Wunsch konfigurieren wir für Sie auch die passende Zusatztechnologie.

BEHÖRDEN

Abstimmung der Entwurfsplanung mit den zuständigen Behörden: Wir schaffen die Grundlage für die Genehmigung und den Bau der Anlage und stimmen den Entwurf mit den Mitarbeitern der zuständigen Ämter ab.

GENEHMIGUNG

Wir begleiten: Die PYREG-Anlagen entsprechen den Bedingungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Wir führen Sie durch den Genehmigungsprozess.



DETAILS

Die Feinplanung der Anlage beginnt, auf deren Basis die einzelnen Module hergestellt und die Anlage errichtet wird.

HERSTELLUNG UND MONTAGE

Als Anlagenhersteller entwickeln und fertigen wir an unserem Firmenstandort in Dörth seit mehr als 10 Jahren hochwertige Karbonisierungs-Anlagen in geprüfter Qualität und „**Made in Germany**“. Wir halten Sie lückenlos über die einzelnen Fertigungsschritte auf dem Laufenden.

ABNAHME

Abnahme und Inbetriebnahme: Wir organisieren die behördliche Abnahme der fertigen Anlage, nehmen die Anlage in Betrieb und begleiten den Einfahrprozess.

SERVICE

Wir überwachen den Betrieb Ihrer Anlage online.
Rund um die Uhr.

WARTUNG

Anlagenwartungsmanagement: Wir entwickeln für Ihre Anlage ein individuelles Wartungsprogramm und setzen es auf Wunsch auch mit unserem Vor-Ort-Service und eigenem Servicepersonal um.



Service

UNSERE ERFAHRUNG

Als Unternehmen für Maschinenbau und Umwelttechnologie entwickeln und stellen wir seit mehr als 10 Jahren kompakte Karbonisierungs-Anlagen in geprüfter Qualität her. PYREG-Systeme sind weltweit im Einsatz.

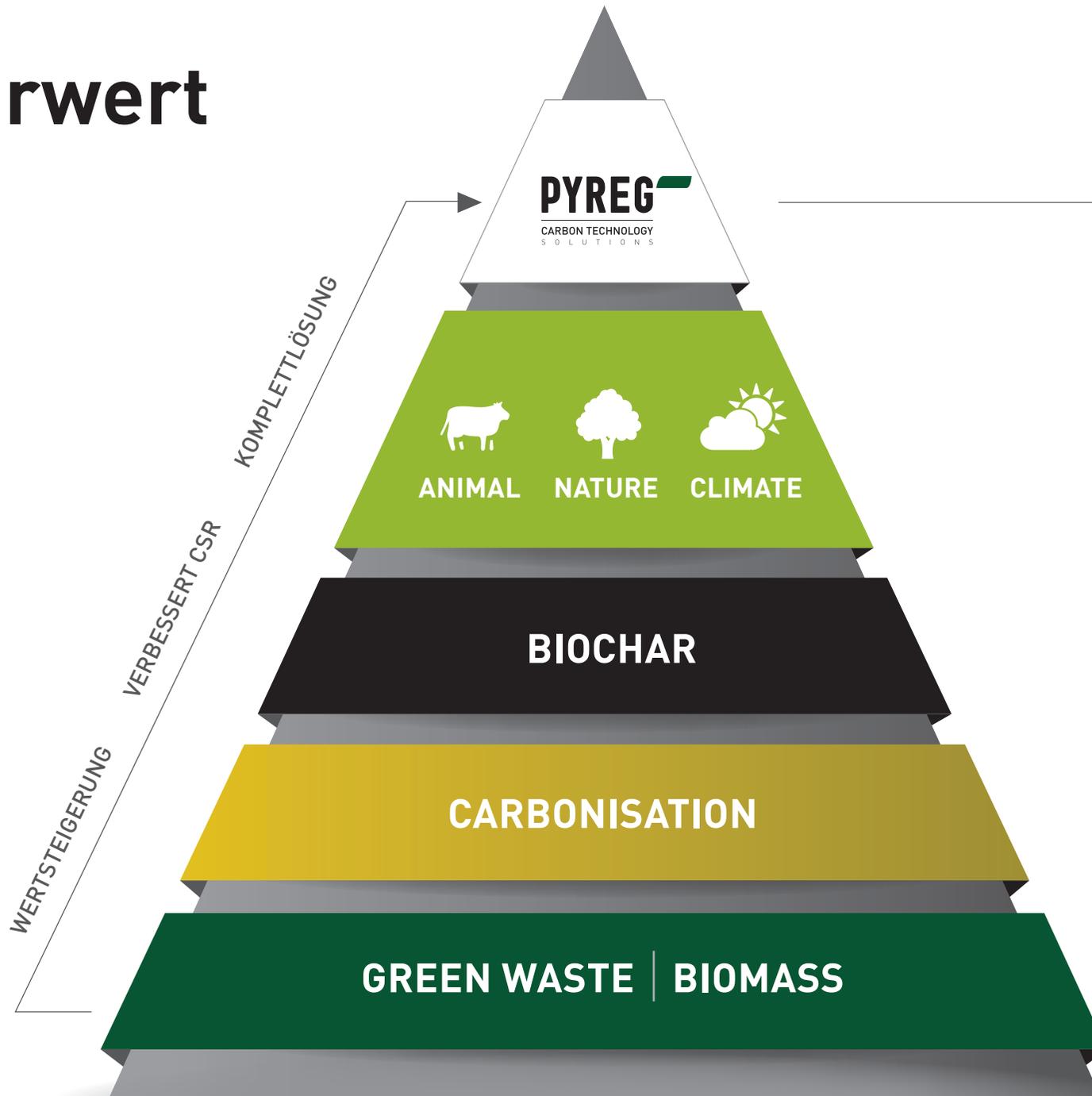
ZUSATZLEISTUNGEN

Damit sich die PYREG-Technologie optimal in Ihre Wertstoffkreisläufe einfügt, bieten wir Ihnen eine große Bandbreite an optionalen Zusatzleistungen. Dazu gehören beispielsweise eine Auswahl unterschiedlicher Fördertechniken, Lagertechniken und die Einbindung in das Wärmekonzept am Standort.

VOR-ORT-SERVICE

Ist Ihre PYREG-Anlage erst einmal in Betrieb, profitieren Sie ebenfalls von unserem umfassenden Support. Dazu gehören Fernüberwachung und Fern-Diagnose sowie ein Vor-Ort-Service mit unserem Servicepersonal.

Mehrwert



VALUE PROPOSITION. PROFITIEREN SIE VOM MARKTFÜHRER.

KAUF

WIR STELLEN EINE PASSGENAUE ANLAGEN-LÖSUNG FÜR SIE ZUSAMMEN UND HELFEN IHNEN BEI FINANZIERUNGSVERHANDLUNGEN MIT DER BANK.

BETREIBERMODELL*

SIE ZAHLEN NUR FÜR DIE NUTZUNG UNSERER TECHNOLOGIE. DIE BETREIBER-GESELLSCHAFT NOVOCARBO SORGT FÜR DIE EINSATZFÄHIGKEIT. DIE KOSTEN SIND EXAKT KALKULIERBAR.

VERMARKTUNG

MIT UNSERER PARTNERFIRMA NOVOCARBO ERMITTELN WIR DAS VERMARKTUNGSPOTENTIAL IHRER PFLANZENKOHLE UND ÜBERNEHMEN DIESEN PROZESSSCHRITT FÜR SIE.

PRODUKTENTWICKLUNG

WIR ENTWICKELN EINE ANLAGE, DIE AUF KUNDENBEDARF UND CO₂ BINDUNGSKONZEPTEN BASIERT.

PREMIUMPRODUKTE

NUR HOCHWERTIGE PFLANZENKOHLE WIRD LANGFRISTIG VOM MARKT ZU ATTRAKTIVEN PREISEN NACHGEFRAGT (EBC-ZERTIFIZIERT, FUTTERMITTEL-QUALITÄT).

AKTIVE BETEILIGUNG

INTERNATIONALE FORSCHUNGSPROJEKTE IM LANDWIRTSCHAFTLICHEN, KOMMUNALEN UND INDUSTRIELLEN SEKTOR.

PYREG – Ihr Partner

34

MARKTFÜHRER



Unser Können und unsere Leidenschaft sind Maschinenbau und Umwelttechnik. Permanente Neuerungen und Weiterentwicklungen machen uns zum Vorreiter. Speziell für das Phosphor-Recycling aus Klärschlamm sowie der Herstellung hochwertiger Pflanzen-, Futter- und Aktivkohlen gehören wir weltweit zu den Marktführern.

AUSGEZEICHNET



Gewinner der SUCCESS-Technologieprämie, des Innovationspreises Rheinland-Pfalz, Erfinderpreises Rheinland-Pfalz, ...
Nominierung für Dieselmedaille, Start-Green-Award, Energy-Award, ...
Technogielieferant für Gewinner der Bloomberg Philanthropies Majors Challenge (Stadt Stockholm) und für Gewinner des österreichischen Klimaschutzpreises (Gerald Dunst), ...

ERFAHREN



Bewährt: Mehr als 30 PYREG-Anlagen in Betrieb.
Weltweit präsent: DACH-Region, USA, China, Schweden, Belgien, ...
Gefragt: Zu unseren Kunden zählen Kommunalbetriebe, Kompost- und Erdenhersteller, Landwirte, Recycling-Unternehmen, Kläranlagenbetreiber, Lebensmittel- und Arzneimittelhersteller, Abfallwirtschaftsbetriebe, ...

2011 bis heute

Beteiligung weiterer Gesellschafter (Land Rheinland-Pfalz, German Startup Group, ELIQUO WATER GROUP/SKion, Abacus Alpha/KSB, Hevella Capital)

2010

Beteiligung der PYREG Beteiligungsgesellschaft und Ansiedlung der PYREG GmbH in Dörth/Rheinland-Pfalz

2009

Ausgründung der PYREG GmbH aus dem Verbundforschungsprojekt

1999-2009

Dipl.-Ing. Helmut Gerber und Prof. Dr.-Ing. Winfried Sehn entwickeln das PYREG-Verfahren an der TH Bingen

PYREG GmbH
Trinkbornstr. 15-17
56281 Dörth
Deutschland
Telefon +49.6747.9 53 88 0
info@pyreg.de

pyreg.de

CARBON TECHNOLOGY
S O L U T I O N S

Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

B-3 Informationsmaterial CO₂-Zertifikate

B-3.1 Präsentation PuroEarth



*Carbon removal
certificates*

14.03.2022

What is Accend?

Leveraging 20 years' experience and competence in energy markets, certificate trading, and sustainability, we advise and provide services to the emerging market for carbon removals.

Consulting, LCA, Certificate portfolio management
Carbon accounting



Accend

Accend specializes in assisting carbon removal suppliers with CORCs. Our services include LCA calculations for biochar and timber building elements that comply with Puro Marketplace rules and international standards. We deliver our services across Europe.

Partners:



CO2e



€



Carbon removal
certificate

Marketplace establishment

- The first market places were established in 2019, in EU.
- Certificates sold via bilateral agreements for spot or forward delivery.
- Increasing demand from large international corporations.
- New methodologies expected in 2022

puro·earth

 **Carbonfuture**

 **Standards for a Sustainable Future**

**CLIMATE
ACTION
RESERVE**

What are the criteria for biochar:

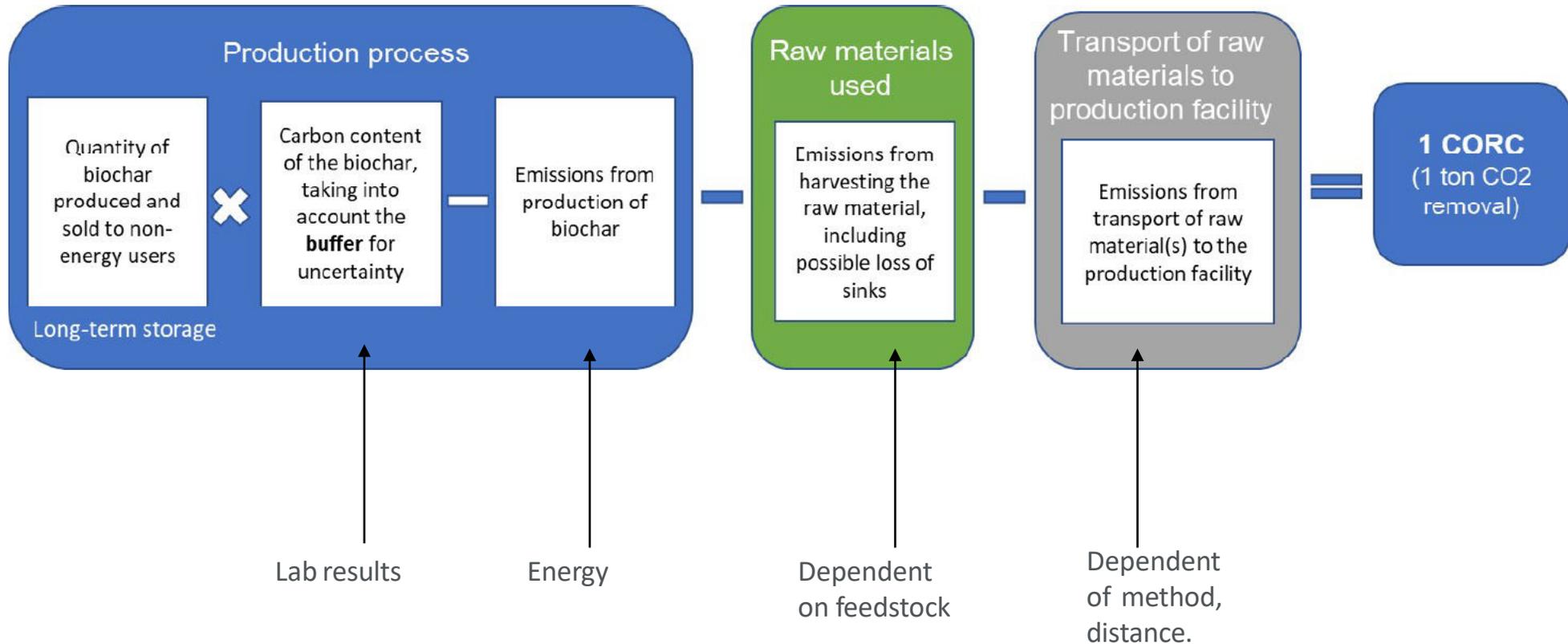
- Renewable energy and sustainable feedstock
- Pyrolysis gas and waste heat capture/re-use
- Carbon stability: Molar H/C_{org} ratio <0.7
- LCA calculation and documentation of sustainable production and application
- Thorough documentation.
- Biochar must be sold for other purpose than fuel e.g. soil remediation, animal feed etc.



Revenue opportunity

	Unit	Value
Carbon content	%	85
Gross CO2 capture	Tonnes CO2/tonne	3.11
Emissions from Forestry	Tonnes CO2/tonne	0.10
Emissions from Transport	Tonnes CO2/tonne	0.05
Emissions from Manufacturing	Tonnes CO2/tonne	0.09
Net CO2 Capture	Tonnes CO2/tonne	2.87
Mass of sold, eligible biochar	Tonne	1000
Dry mass of sold, eligible biochar	Tonne	950
Number CORCs (950*2.87)		2726
Sales Price	€	115
Revenue (before transaction fees)	€	313 490
Revenue /tonne biochar	€	330

Carbon calculation biochar



Process



AGREEMENT



FACILITY
REGISTRATION FORM



LCA ANALYSIS



FACILITY AUDIT



CERTIFICATE
ISSUANCE



1ST SALES



ONGOING OUTPUT
REPORTING AND
SALES

Accend offers an end to end service:

- Eligibility study
 - LCA
 - Audit facilitation and registration
 - Certificate marketing, pre & post-issuance
 - Account management and control
 - Certificates sales transactions
 - Clearing and settlement to bank
-
- 100% transparency and open book policy.
 - Commission fee charge



Stadt Offenburg

Potentialstudie Abfallentsorgung

B-3.2 Standards Carbonfuture

Carbonfuture Sink Certification Standards

What are the basic requirements for third-party certificates and certification standards in order to be eligible as a basis for Carbonfuture C-Sink Credits

Last Updated: 05. March 2021

Carbonfuture GmbH

Author:
Hannes Junginger-Gestrich



Table of Contents

1	Background and Scope	3
2	Eligible Sink Certificates	3
3	Governance and General Requirements	3
3.1	Scientific Basis	3
3.2	The DNSH Condition	4
4	Specific Data Requirements	4
5	Documentation	5
5.1	General Documentation and Disclosure Requirements	5
5.2	Specific Documentation Requirements	6
5.3	Prevention of Double Counting	6
6	Proportionality	6
7	Validity and Review	7
8	Specific Requirements for Biochar-Based Sinks	7
8.1	The Production Certificate	8
8.2	The Carbonfuture Coupon	9
8.3	Calculation of the CO ₂ Equivalent Value of Biochar-Based Sinks	9
8.4	Assessment of Additionality	11
9	Appendix: Example of Carbonfuture Coupon	12

1 Background and Scope

The Carbonfuture platform provides both registry services and a trading platform for carbon sinks. Each individual carbon sink is represented and unalterably documented on the Carbonfuture blockchain.

In general, C-Sink Credits will be based on certificates issued under standards set by independent third parties. This document outlines the basic requirements for such third-party certificates and certification standards in order to be eligible as a C-Sink Credit provider.

2 Eligible Certificates

In general, Carbonfuture may accept certificates from any third-party issuer, provided they fulfil the requirements as described in this document. Before initial acceptance of any new certificate or certification standard, Carbonfuture or a third person appointed by Carbonfuture will assess the respective certificate or standard against these requirements. In addition, Carbonfuture will re-assess adherence to these requirements on a regular basis, and if circumstances make such a re-assessment necessary in the view of Carbonfuture.

3 Governance and General Requirements

Certificates issued under any eligible certification standard cannot be altered in retrospect, even if the respective certification requirements and standards are subject to change at a later point in time. This does not impede the possibility to change certification requirements and standards, however, such changes will only affect certificates issued after the change.

Certificates issued under any eligible certification standard must provide a basis to determine the net amount of CO₂ equivalent sequestered by a sink in each year of the certified duration of the sink (the sequestration curve). This can be achieved directly and explicitly, or by providing data such that Carbonfuture or a third person can calculate these quantities in a straightforward manner (e.g., based on a decay rate specified in the certificate).

3.1 Scientific Basis

The respective certification standards must be based on scientifically robust and sound concepts, methodologies and processes. Typically, the adequacy of the applied concepts, methodologies and processes should be corroborated with

reference to peer reviewed scientific publications and to standards set by renowned public or private institutions in the respective sectors.

The certification standards must determine and show proof of adequate measures to prevent negative effects on the climate outside the perimeter of the certificates, including but not limited to:

- Greenhouse gas emissions which are not accounted for in the quantification represented in the certificates¹,
- Minimizing the amount of carbon sequestered in feedstock sources²

If the certification does not sufficiently consider such environmentally harmful effects outside its system boundary, this may represent a criterion for exclusion. Applying a system thinking perspective is key here.

3.2 The DNSH³ Condition

As relevant for the carbon sink technology under consideration, the certification standards must determine adequate measures to **prevent the cause of significant harm to other environmental objectives**⁴. These other objectives include:

- Climate change adaption
- Recovery of the Ozone Layer
- Sustainable use and protection of water and marine resources
- Transition to a circular economy, waste prevention and recycling
- Pollution prevention and control, and
- Protection of healthy ecosystems

Carbonfuture reserves the right to accept or reject certification standards based on these minimum requirements at its own discretion.

4 Specific Data Requirements

Any certificate must specify:

- A start and an end date determining the duration of its validity

¹ For example, in case of biochar-based sinks, potential methane emissions in the pyrolysis process should be accounted for

² For example, in case of biochar-based sinks, woody feedstock for pyrolysis should be subject to certified sustainable management of forests like PEFC

³ DNSH stands for "Do No Significant Harm"

⁴ These requirements follow the Taxonomy Technical Report of the EU Technical Expert Group on Sustainable Finance issued in June 2019

- The scope of certification, including an explicit disclosure which elements of the sink life cycle are included or excluded, for example the CO₂ balance of feedstock used, or energy consumed for production of the sink
- The amount of net CO₂ equivalent sequestered by the sink (either in absolute or in relative terms)
- The annual decay rate, as applicable
- The localization should be assigned to a sink. However, there might be instances of carbon sinks for which the reference to a location is less unique, for example geological storages, or certain types of applications of the (powdery material) biochar. Therefore, the certification standard should differentiate between localized and diffuse carbon sinks
- The specific type of sink, including an indication of its primary use as applicable (e.g., biochar applied as cow feeding additive)
- Any other data needed to determine the sink in order to identify and prevent potential unintended or fraudulent double counting

5 Documentation

5.1 General Documentation and Disclosure Requirements⁵

The certification standards must be documented in a way such that a knowledgeable third person could independently verify the certificate with respect to the statements made, the calculations performed, and the results obtained.

Such a documentation must be made available to Carbonfuture in written form prior to the first transaction of any certificate based on the respective certification standard on the Carbonfuture platform. Furthermore, such a documentation must be made available to any eligible public authority or audit body appointed by Carbonfuture upon request.

Carbonfuture encourages the unrestricted public disclosure of the respective documentation, to the extent business confidentiality and intellectual property rights are not affected.

⁵ These requirements will enter into force only after a pilot phase which will last until end 2020. This is because the applied certification standards are partially still under development.

5.2 Specific Documentation Requirements

The documentation must disclose in detail the **methodology** applied in the quantification of the sink, in particular with respect to:

- The scientific basis of the applied methodology including references to the respective peer reviewed publications
- The measurement techniques
- Mathematical functions and statistical models
- The calibration of models as well as measurement instruments as applicable
- Methods applied to collect data

The documentation must disclose the **processes** applied in the quantification of the sink, in particular with respect to:

- Frequency of revision and re-certification
- Personnel involved, including their qualification
- Utilization of outsourcing partners and / or sub-contractors including documentation ensuring that also they adhere to the set standard in all relevant aspects

5.3 Prevention of Double Counting

Carbonfuture does not issue C-Sink Credits for carbon sequestration that is claimed elsewhere, be it in the voluntary market or in state regulated markets. Therefore, Carbonfuture requires the specification of adequate measures for the prevention of double counting.

6 Proportionality

To foster and support innovation, the requirements of these standards, Carbonfuture may accept certificates that, by the time of initial acceptance, do not yet fully comply with these standards subject to the following conditions:

- Provision of the relevant data for the calculation of the amount of sequestered carbon per year over the sink's lifetime (the *sequestration curve*, see below), as well as the start and end date of each sink is mandatory in any case.
- Disclosure of the basic principles of the certification in terms of applied methodologies, the scientific basis and the involved processes is mandatory in any case.

- The depth and detail of the respective methodology and process documentation may be reduced as long as per year, the amount of sequestered CO₂ equivalent under the respective certificate does not exceed the significance threshold. This threshold differs between the various CO₂ removal technologies. For biochar the significance threshold amounts to 10,000 metric tons⁶, which is the estimated capacity of a medium to large pyrolysis plant.
- Similarly, Carbonfuture may, based on own discretion, grant a pilot phase for sink providers before a fully documented third-party certification is available for their sinks⁷. Such a pilot phase is limited to 1/10 of the significance threshold for each sink provider per annum⁸.

C-Sink Credits for sinks under these alleviated conditions must not be blended in portfolios with regular C-Sink Credits based on eligible third-party standards and the lower standards must be explicitly made evident to end clients funding the respective climate credits.

7 Validity and Review

These standards are entering into force 1 January 2020. They will be reviewed and updated on a regular basis, at least bi-annually and if scientific, political or other relevant developments warrant.

Certificates issued under these standards as valid at the time of issuance will not be altered in retrospect in case of changes to these standards.

8 Specific Requirements for Biochar-Based Sinks

For biochar-based sinks, the C-Sink Credits are based on the following two elements:

- The biochar producer registers the **Production Certificate** for his or her pyrolysis facility. This certificate assesses the percentage of a mass unit of

⁶ Averaged over 100 years beginning in the year under consideration

⁷ The background to this alleviation is that the Carbonfuture standards are new and access to the respective third-party certifications in due time is not yet available to most sink providers. This challenge is exacerbated severely by the actual Covid-19 crisis. Accordingly, Carbonfuture allows for this alleviation to help the market for high quality certified carbon sinks develop and grow.

⁸ In the case of biochar-based sinks, this threshold is applicable to both sink producer and sink registrar. Accordingly, if a biochar wholesaler trades biochar from several producers in pilot phase, the wholesaler must adhere to the threshold for the total of his or her registered sinks.

biochar which can be considered as carbon sink, net of emissions related to feedstock preparation and pyrolysis. This figure represents the **sink potential** of the biochar at production site. Currently, an eligible production certificate is issued by the EBC⁹ (the “EBC-Sink” certificate)^{10 11}.

- The biochar user, retailer or wholesaler registers the individual sinks. This includes uploading the confirmation of carbon preserving application of the biochar (e.g. by the farmer) on the signed **Carbonfuture Coupon** (see section 8.1), and the documentation of transport and processing emissions.

The two elements are linked on the Carbonfuture platform. After validation, Carbonfuture issues a C-Sink Credit for each individual sink. The owner of the C-Sink Credit may sell it to any entity which acts as Broker on the Carbonfuture platform. Initially, Carbonfuture GmbH will act as the primary Broker and will buy the C-Sink Credits from the sink registrar (e.g., the wholesaler). As the marketplace evolves, we expect and encourage new brokers to join.

8.1 The Production Certificate

There are two aspects to the production certificate:

- **The pyrolysis plant** must be certified. This includes in particular an assessment of the emissions (in particular the methane emissions) and energy consumption of the pyrolysis process.
- **The individual production process** must be certified. This includes an assessment of the feedstock sources with respect to C-neutrality, and of the feedstock preparation and pyrolysis processes and the used energy mix.

Currently, the [EBC](#) is the only issuer of eligible production certificates. The [EBC-Sink certificate](#) may be issued for biochar productions which are certified by the EBC or by the IBI¹². The requirement of EBC or IBI certified biochar as a basis for the EBC-sink certificate ensures that the biochar used in the applications generating the recognized sinks is of good quality and the sinks fulfil the DNSH condition (see *section 3.2*). In particular, appropriate application of high-quality certified biochar is considered to be beneficial for the soil ecosystems.

⁹ EBC stands for “European Biochar Certificate”, issued by the Ithaka institute, see <https://www.european-biochar.org/en/home>

¹⁰ See <https://www.european-biochar.org/en/c-sink>

¹¹ In principle, Carbonfuture is open to alternative production certificates provided they fulfill the required quality standards. However, we strongly encourage alignment and collaboration between the respective national, regional and global standards, the EBC and the IBI in order to ensure comparability and a level playing field.

¹² IBI stands for “International Biochar Initiative”

8.2 The Carbonfuture Coupon¹³

Biochar as a raw material comes in a huge variety of qualities and respective price levels. In addition, biochar has a vast range of potential applications ranging from filtration material, construction additive to agricultural use. Not all of these applications lead necessarily to a stable carbon sequestration and hence to not qualify as a stable carbon sink. Therefore, Carbonfuture requires that wholesalers and producers must follow the EBC C-Sink. Following the EBC C-Sink, the biochar must be taken over at the factory gate by a tracking system that assesses all carbon expenditures and greenhouse gas emissions that occur on its pathway (i.e. transporting, milling, processing). As soon as the biochar is mixed into agricultural substrates such as [fodder](#)¹⁴, compost, liquid manure, and fertilizer or into durable materials such as concrete or resins, the C-sink potential can be converted into tradable C-sink certificates.

Therefore, the key to creating an accurately quantified carbon sink based on biochar lies in confirmation and documentation of the actual carbon preserving application of the material. To ensure that the biochar is used in a manner that does actually sequester the carbon, the biochar wholesaler together with the end user must document the use of the material on the Carbonfuture platform.

This documentation validates the actual sinks in a very granular way. For each shipping of biochar from the wholesaler to the end user, an individual Carbonfuture Coupon, filled out and signed by the end user of the biochar, provides the required evidence. Furthermore, with this document, the end user **warrants to transfer all rights that come with the respective carbon sink creation**. This is key to prevent double counting.

From Q2 2021, a fully digital sink tracking will be available, including a digital Coupon. Physical signatures are still possible and accepted, but a fully digital and streamlined process will be available.

8.3 Calculation of the CO₂ Equivalent Value of Biochar-Based Sinks

In order to calculate the net CO₂ equivalent value of a biochar-based sink, the following calculation steps are performed (see *Figure 1*). The conversion of the gross weight of a unit biochar into dry mass needs to be provided by the sink registrar, either based on individual measurement of humidity or based on volume and bulk

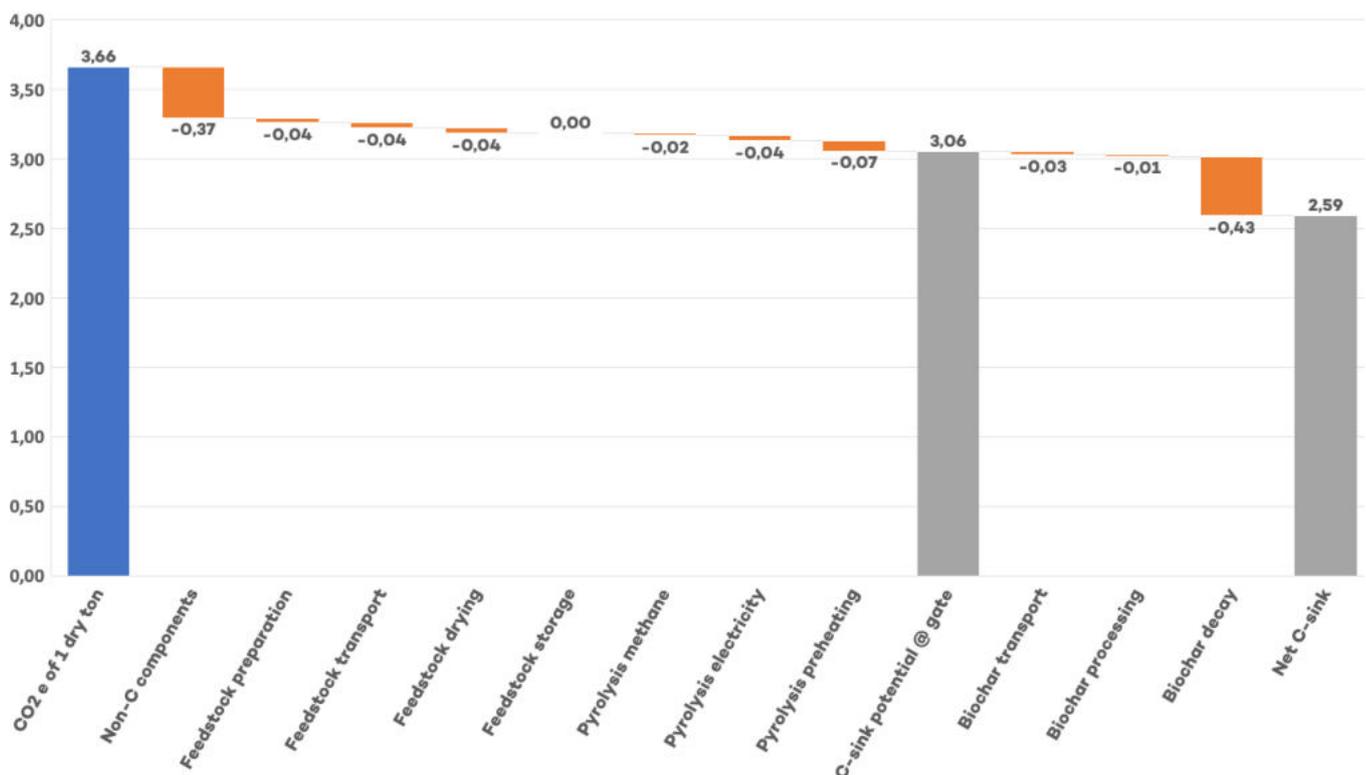
¹³ An example of the Carbonfuture Coupon is provided in the Appendix

¹⁴ Additional parameters and analytical methods for the EBC-certification of biochar as animal feed additive ([EBC FEED](#)) are outlined in the linked document

density measurements (the protocols must be stored and disclosed to Carbonfuture or an appointed auditor upon request). All deductions based on dry mass biochar which are made to come up with the net carbon sink value after pyrolysis (i.e., at production site), are provided by the production certificate (EBC-Sink).

Further deductions for transport and processing are based on data provided by the sink registrar on the Carbonfuture platform. The respective calculations are performed by Carbonfuture. The annual decay is determined to be 0.3% provided the production certificate asserts $H/C_{org} < 0.4$. This decay rate is a conservative estimation based on scientific evidence, see 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Appendix 4.¹⁵

Figure 1: Calculation of the net C-Sink value of the soil application of 1 dry metric ton of biochar



¹⁵ More detailed research supporting this decay rate as a very conservative upper bound is found in:

- Lehmann, Johannes & Abiven, Samuel & Kleber, Markus & Pan, Gen-Xing & Singh, Bhupinder Pal & Sohi, Saran & Zimmerman, Andrew. (2015). Persistence of biochar in soil. *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. 235-282. (see Figure 10.5).
- Budai, A., Zimmerman, A.R., Cowie, A.L., Webber, J.B.W., Singh, B.P., Glaser, B., Masiello, C.A., Andersson, D., Shields, F., Lehmann, J., Camps Arbestain, M., Williams, M., Sohi, S., Joseph, S., 2013. Biochar carbon stability test method: An assessment of methods to determine biochar carbon stability'.
- Camps-Arbestain, M., Amonette, J.E., Singh, B., Wang, T., Schmidt, H.-P., 2015. A biochar classification system and associated test methods, in: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management*. Routledge, London, pp. 165–194.

8.4 Assessment of Additionality

Typically, GHG emission reduction or removal undertakings have to fulfill additionality criteria with respect to a baseline, see e.g. ISO 14064-2 (2019). These standards require that “the GHG project should result in [...] removal enhancements in addition to what would have happened in the absence of the project”. Therefore, additionality requires to quantify both the removal enhancements and the baseline. For C-sinks based on carbon preserving biochar applications, this is particularly straightforward:

- **The baseline is net zero emissions.** This is based on scenarios of alternative usage of the biomass (which is required to be C-neutral by the EBC-sink certificate). Such scenarios could be thermic usage, bioenergy, or degradation on a landfill. Given that these alternative scenarios would cause GHG emissions in production and processing (including potential methane / nitrous oxide emissions), a baseline of zero is a conservative assumption. Since the current market prices for EBC certified biochar lead to a very narrow spectrum of economically viable applications, mainly in specialty agriculture, the respective C-sinks are to be considered additional also from an economic perspective.

- **The removal quantification** includes two building blocks:
 - The EBC-Sink certificate which determines the C-sink potential of the material at the factory gate. This is the C-content net of production and processing emissions, including a C-neutrality assessment of the input biomass. As the sink potential relates to “the outcome of future activities” depending on the way the material is used, the EBC-Sink certificate should be considered as a **validation** of the C-sink in the sense of the ISO 14064-2 (2019), 3.4.3.

 - The documentation of the C-preserving application of the material by the user with the Carbonfuture Coupon. As this relates to data and information about the actual C-sequestration, this step should be considered as a **verification** of the C-sink in the sense of the ISO 14064-2 (2019), 3.4.2. Note that the type of application determines the permanence quantification.

9 Appendix: Example of Carbonfuture Coupon



CO₂-Senken Zertifikat carbonfuture Coupon

To be filled out by the biochar wholesaler / sink registrar		Return coupons to
Name / firm		Email: registrar@carbonfuture.earth
Date	2021-02-22	
Shipping note (external ID)	LS00003	
Batch-No. ¹	21.04.2021	
Quantity ²	Gross weight 3.0 t	Volume n/a m ³
Optional Information	Coupon-No. 1008	Sealing-Nr

¹ Alternatively, the production date may be provided

² Either gross weight or volume must be provided

To be filled out by the end client / biochar user		
Name / firm	Beerwein AG	
Address	Head Office	Address / location of sink if different
	Street	Musterstr. 1
	City, ZIP	12345 Musterstadt
	Country	Germany
Type of application (please tick as appropriate)	<input type="checkbox"/> Direct soil application	<input type="checkbox"/> Silage additive
	<input type="checkbox"/> Compost additive	<input type="checkbox"/> Additive for anaerobic digestion (biogas facility)
	<input type="checkbox"/> Liquid manure treatment	<input type="checkbox"/> Biochar-based organic fertilizer
	<input type="checkbox"/> Bedding for farm animals	
	<input type="checkbox"/> Feeding of farm animals	

By signing this document, the biochar user confirms and agrees:

- The biochar and the manure (in case of biochar application as bedding or feeding) and the digestate (in case of anaerobic digestion) will be brought into soil and will **not be burnt or pyrolyzed**.
- He or she explicitly warrants that **the claim on the carbon sink service provided is transferred** to the wholesaler / sink registrar indicated above. He or she will not claim any rights related to this service. In particular, he or she will not claim any such rights in relation to any private or public subsidy or support program in the context of soil organic carbon or as part of the CO₂ accounting in his or her own sustainability report.
- He or she explicitly agrees that his or her **data** which is registered and stored in relation to the referenced sink may be used by carbonfuture. They will be made public in an anonymized way, e.g. as part of statistics on the carbonfuture platform. In addition, they will be disclosed in complete and not anonymized form for control and audit purposes to persons who are authorized for this by carbonfuture or under the EBC certificate.

Optional:

- I consent to the **publication of the exact sink location** on the carbonfuture platform

Place and date

Signature biochar user