



Integriertes Stadt-Land-Konzept zur Erzeugung von Aktivkohle und Energieträgern aus Restbiomassen

Biomasse-Steckbriefe der Fokusbiomassen im Bodenseekreis

April 2020



Regionalkoordination:



GEFÖRDERT VOM



Projektlaufzeit: 01.07.2018 – 30.06.2023

Am Forschungsprojekt beteiligte Einrichtungen:

Bodensee-Stiftung (Regionale Koordination)

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg

IfLS - Institut für Ländliche Strukturforchung, Frankfurt

Krieg & Fischer Ingenieure GmbH, Göttingen

Landkreis Bodenseekreis

Pyreg GmbH, Dörth

Stadt Friedrichshafen

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe

Universität Kassel (Projektleitung & Gesamtkoordination)

- Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe (Projektleitung)
- Kompetenzzentrum für Klimaschutz und Klimaanpassung (Gesamtkoordination)
- Fachgebiet Öffentliches Recht mit Schwerpunkt Recht der Technik und des Umweltschutzes

Weitere Informationen zum Forschungsprojekt sowie zur Fördermaßnahme:

<https://www.uni-kassel.de/forschung/coact/coact>

<https://www.bodensee-stiftung.org/coact/>

<https://www.zukunftsstadt-stadtlandplus.de/>

<https://www.zukunftsstadt-stadtlandplus.de/coact.html>

STADT
LAND
PLUS+



Das Forschungsprojekt CoAct wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Fördermaßnahme „Stadt-Land-Plus“ (Förderkennzeichen 033L206). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Autoren: Andreas Ziermann, Bodensee-Stiftung; Dr. Marius Eisele, Landratsamt Bodenseekreis, Stadt Friedrichshafen; Joachim Reinhardt, ifeu; Dr. Marcel Riegel, TZW; Steffen Benz, Universität Kassel; Bettina Spengler, IfLS; Dr. Korbinian Kaetzl, Universität Kassel;

Die Biomasse-Steckbriefe dürfen geteilt und bearbeitet werden unter den folgenden Bedingungen:



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

Technische Beschreibung Biomasse-Steckbriefe

Diese Technische Beschreibung dient dazu, die Angaben in den Biomasse-Steckbriefen, die zugrundeliegenden Annahmen sowie das Vorgehen bei der Erstellung der Daten auf allgemeinverständliche Weise für den projektinternen wie auch für den projektexternen Gebrauch zu dokumentieren. In der Struktur findet sich die Grundstruktur der Biomasse-Steckbriefe wieder.

1. Definition der Biomassen, Aufkommen und Mengenabschätzung

Definition der Biomassen

Die zu untersuchenden Biomassen wurden anhand einer Liste von im Bodenseekreis vorkommenden pflanzlichen Rest- und Abfallstoffen individuell unterscheidbar definiert.

Für eine Bewertung im Rahmen der ersten Projektphase (Forschungs- und Entwicklungsphase) wurden die acht markierten Biomassen priorisiert.

Aufkommen und Mengenabschätzung

Die Abschätzung des Gesamtaufkommens Frischmasse (FM) bzw. Trockenmasse (TM) im Bodenseekreis sowie der potenziellen Verfügbarkeit basiert auf Datenerhebungen (Herbst/Winter 2018 und Frühjahr/Sommer 2019), die schon im internen *Bericht zur Potential- und Statusanalyse sowie dem Logistik- und Verwertungsstatus (AB 1) des CoAct-Projekts* (Meilenstein 3) zusammengetragen wurden sowie auf zwischenzeitlichen Rückmeldungen. Trockensubstanz (TS)-Gehalt bzw. Wassergehalt beim Eingang ins CoAct-Verfahren wurden diesen Werten gleichgesetzt. Zu leichten Abweichungen des Trockensubstanzgehaltes kommt es vereinzelt, da mit gerundeten Werten gerechnet wurde.

Aus jeweils 1 t Frischbiomasse (1 t FM) werden die angegebenen Mengen getrocknete Presskuchen mit einem TS-Gehalt von 90 %, die pelletiert in die Pyrolyse-Anlage gehen. In eckigen Klammern dahinter ist jeweils angegeben, welche Menge von der jeweiligen Biomasse alleine in der Pyrolyse-Anlage verarbeitet werden könnte. Diese Menge ist durch den Heizwert limitiert.

2. Technische Aspekte:

Gesamtverfahren

Strombedarf: Bilanz über die gesamte Anlage hinweg (Bedarf für ggf. Vorbehandlung und IFBB-Anlage und Vergärung/Faulung, Trocknung, Pyrolyse, Pulverisierung Aktivkohle abzüglich ggf. gewonnener Strom durch Vergärung des Presssaftes); positive Werte = Bedarf, negative Werte = Überschuss

Wärmebedarf: Bilanz über die gesamte Anlage hinweg (Bedarf für Trocknung und ggf. Vergärung/Faulung abzüglich Wärmeüberschuss aus Pyrolyse und ggf. gewonnene Wärme aus Vergärung des Presssaftes); positive Werte = Bedarf, negative Werte = Überschuss

Trocknungsanspruch: Wärmbedarf für die Trocknung des Presskuchens aus den IFBB-Biomassen bzw. direkt der Biomasse der Nicht-IFBB-Biomassen auf 90 % TS-Gehalt vor Pelletierung.

Der unter Technische Aspekte angegebene TS-Gehalt bezieht sich auf den Presskuchen nach Abpressung im IFBB-Verfahren. Bei Biomassen, die nicht über das IFBB-Verfahren verarbeitet werden (v.a. holzige), wird der TS-Gehalt der Frischbiomasse angegeben.

3. Verfahrensprodukte

Wärmebilanz Pyrolyse und Aktivierung (1 t FM): beinhaltet nur Wärmeüberschuss aus der Pyrolyse; eine über externe Wärme zu generierende Dampfzugabe für die Aktivierung wurde nicht angenommen.

Abwärme (Pyro/BHKW): Aus der Pyrolyse entspricht die Abwärme der Wärmebilanz Pyrolyse und Aktivierung von oben, weil für die Wärmebilanz von keiner von extern zuzuführenden Energie ausgegangen wird. Aus dem Blockheizkraftwerk (BHKW) kommt ggf. Wärme über die Nutzung des Biogases aus der Vergärung des Presssaftes entsprechend des Wärmewirkungsgrades des BHKW (mehr Biogas aus Faulturn + anderer Wirkungsgrade des BHKW auf der Kläranlage im Vergleich zur Stand-alone-Vergärung).

Biogas: Aus dem BHKW kommt ggf. Strom über die Nutzung des Biogases aus der Vergärung des Presssaftes entsprechend des Stromwirkungsgrades des BHKW (mehr Biogas aus Faulturn + anderer Wirkungsgrade des BHKW auf der Kläranlage im Vergleich zur Stand-alone-Vergärung).

4. Aktivkohle-Qualität

Aus den betrachteten Biomassen wurden Aktivkohlen bei verschiedenen Produktionsbedingungen hergestellt. Hierbei wurde diverse Parameter wie die Temperatur bei der Pyrolyse bzw. der Aktivierung, der Aktivierungsgrad durch die Variation der Wasserdampfzugabe und die Herstellung in einem ein- oder zweistufigen Verfahren verändert. Für die Biomassesteckbriefe wurden diejenigen Aktivkohlen bewertet, die die besten Adsorptionseigenschaften für organische Substanzen aufweisen. Die jeweiligen Herstellungsparameter sind in den Steckbriefen aufgeführt.

Die Entfernung einzelner Spurenstoffe und auch die Verringerung des spektralen Absorptionskoeffizienten (SAK) bei 254 nm wurde experimentell mit gereinigtem Abwasser aus der Kläranlage Kressbronn in Friedrichshafen ermittelt. Da die Wassermatrix einen Einfluss auf die Adsorption der organischen Mikroverunreinigungen haben kann, können bei anderen Abwässern auch veränderten Entfernungsraten auftreten. Für die Bewertung der Aktivkohlen wird diese exemplarische Reinigungsleistung jedoch als sehr aussagekräftig angesehen.

Die Abkürzungen der Einzelspurenstoffe stehen für:

BT: Benzotriazol

CBT: Carbamazepin

DF: Diclofenac

IS: Irbesartan

MP: Metoprolol

HCT: Hydrochlorothiazid

Die durchschnittliche Reinigungsleistung bezüglich der bewerteten Einzelspurenstoffe wurde anhand des einfachen Mittelwerts berechnet.

5. Ökologische Aspekte und Ökobilanz-Indikatoren

Ökologische Aspekte

Substitutionseffekte: Durch die Verwendung der Biomassen im CoAct-Prozess ersetzte bisherige Produkte (ggfs. mit Angabe des mittleren Brennwertes).

Flächenwirkung: Bei durch das CoAct-Verfahren zum Status-Quo abweichendem Management der Ursprungsfläche der Biomasse zu erwartende positive oder negative ökologische Effekte.

Transportemissionen Biomasse: Das Verhältnis vorher/nachher setzt die Transportemissionen vorher (also Status Quo) in Verhältnis zu denjenigen nachher (also Belieferung einer CoAct-Anlage). Wenn bislang kein Transport erfolgt, ist der Zähler 0. Die jetzigen Transportemissionen betragen daher 0 % der Emissionen später.

Ökobilanz-Indikatoren

Betrachtet werden die klassischen Wirkungskategorien (Tabelle 1). Terrestrisches Eutrophierungs- und Versauerungspotenzial wird sowohl durch Verbrennungsprozesse als auch landwirtschaftliche Prozesse verursacht. Das Feinstaubpotenzial reflektiert einen Bereich der Humantoxizität und damit eine eher lokal bedeutende Wirkungskategorie. Der primäre Energieaufwand ist keine Wirkungskategorie, aber ein Indikator für die Einsparung von Energieressourcen, wobei durch die weitere Unterteilung in erneuerbar und fossil auch der Aspekt der Endlichkeit mit einfließt.

Der Flächenverbrauch wird nicht quantitativ bewertet, weil er in den untersuchten Systemen in dieser Form keine Rolle spielt. Die Restbiomassen sind mit keiner anzulastenden Flächenbelegung verbunden. Eine mögliche Veränderung der Flächenqualität durch Entfernen von Biomasse, die vermehrt ohnehin schon passiert, wird qualitativ adressiert. Dies lässt sich nur schwer über eine Flächenbelegung nach dem Hemerobiekonzept abbilden, nach welchem die Flächen in eine Naturferneklasse eingeteilt und entsprechend mit Faktoren belegt werden. Die Naturferneklasse von Flächen, auf denen bspw. Straßenbegleitgrün wächst, ändert sich durch das Abfahren der Biomasse von der Fläche nicht.

Tabelle1: Übersicht über die betrachteten Indikatoren/Wirkungskategorien

Wirkungskategorie	Datenkategorie der Sachbilanz
Ressourcenbeanspruchung	Summenindikator fossiler kumulierter Energieaufwand (MJ Heizwert) (KEA fossil): Erdöl, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle Summenindikator kumulierter Energieaufwand (MJ Heizwert) (KEA): alle Energieträger
Treibhauseffekt	fossiles Kohlendioxid (CO ₂), Methan (CH ₄), Lachgas (N ₂ O)
Versauerung	Schwefeldioxid (SO ₂), Stickstoffoxide, Ammoniak (NH ₃), Chlorwasserstoff (HCl), Fluorwasserstoff (HF), Schwefelwasserstoff (H ₂ S)
Eutrophierung	terrestrisch: Stickstoffoxide, Ammoniak
Humantoxizität	Feinstaub (PM _{2,5}): Primärpartikel, Sekundärpartikel aus SO ₂ , NO _x , NH ₃ , NM VOC

6. Rechtliche Aspekte

Die Erkenntnisse zu den rechtlichen Aspekten resultieren aus der Auswertung von Literatur, Rechtsprechung und (Verwaltungs-)Dokumenten.

7. Gesellschaftliche und politische Aspekte

Betrachtet wurden die Akzeptanz externer Stakeholder sowie die Akzeptanz intern, wobei intern die Sicht der im CoAct-Verfahren involvierten Stakeholder wiedergibt, während unter externe Stakeholder die Sicht assoziierter Akteure im Zusammenhang mit der jeweiligen Biomasse dargestellt wird. Grundlage für die Aussagen sind Gespräche mit den verschiedenen Akteuren.

8. Gesamtbewertung

Die Erkenntnisse zu den Biomassen werden zusammengefasst.

Biomasse-Steckbrief CoAct	Strohartige Biomassen
----------------------------------	------------------------------

Biomasse	Maisstroh
-----------------	------------------

Ursprung	Ernterest beim Anbau von Körnermais oder Corn-Cob-Mix (CCM)
----------	---

Aufkommen insgesamt	63.300 t FM p.a. 20.000 t TM p.a. (bei 31,6 % TS-Gehalt)
---------------------	---

Davon potenziell für CoAct nutzbar/benötigt	bis zu 37,8 % (theoretisch, bei ausgeglichener Humusbilanz) 1 t Maisstroh (31,60 % TS) --> 351 kg (90 % TS) [886 kg] -> ca. 1,4% (des Gesamtanfalls, theoretisch bei 100%iger Auslastung)
---	--



Fotos 1: Häckseln und Schwaden mit dem Schwadhäcksler BioChipper (Quelle: Lfl Bayern)
Foto 2: Aufnahme mit dem Kurzschnittladewagen (Quelle: Lfl Bayern)

Besitzer/Verwalter	Landwirtschaft
--------------------	----------------

Mengenabschätzung	Die Gesamtanfallsmenge wurde aus den Angaben des Landwirtschaftsamtes im Bodenseekreis zum jährlichen Anfall pro ha übernommen.
-------------------	---

Technische Aspekte	Materialeigenschaften Rohstoff	
	Wassergehalt:	68,4 % (Literatur)
	Verarbeitungszustand des Rohstoffs und Güte:	Häckselgut ; findet aktuell kaum Verwendung; silierfähig
	Lageranspruch:	Trockenlager belüftet ; Vortrocknung auf dem Feld kann Trocknungsbedarf reduzieren
	Pelletierung:	ja
	Stör- und Schadstoffe	üblicherweise ohne Bedeutung
	Gesamtverfahren (Angaben je t FM)	
	Wasserbedarf IFBB-Vorbehandlung:	Nicht erforderlich
	Strombedarf:	80,5 kWhel
	Wärmebedarf:	852 kWhtherm
	Trocknungsanspruch kWh:	1298 kWhtherm
	TM-Gehalt Biomasse:	31,6 %TM → Pellets 90 %TM
	Energiegehalt Pellets:	15,2 MJ/kg

Verfahrens-Produkte	Konversionsrate Biomasse:	
	1t (FM) zu Aktivkohle:	35 kg
Temperatur:	1t (TM) zu Aktivkohle:	110 kg
	Wärmebilanz Pyrolyse und Aktivierung (1t FM):	446 kWh

Verweilzeit:	Wärmebilanz (1t FM, 900°C / 2-stufig):	- kWh														
Dampfzugabe %:	Nebenprodukte (je t FM): Abwärme (Pyro/BHKW): Biogas: Festbrennstoff (Alternativprodukt):	446 kWh_{therm}/ - kWh_{therm}														
Aktivkohle-Qualität [Versuchsergebnisse einer Aktivkohle aus Maisstrohhäcksel] [Pyrolyse und Aktivierung bei 900 °C, 50 – 100 % Dampfzugabe und 1-stufige Aktivierung]	Sammelindikator SAK: Reinigungsleistung bei 10 mg/L [% des Referenzwerts von SAE-Super] Reinigungsleistung bei 15 mg/L [% des Referenzwerts von SAE-Super] Einzelspurenstoffe: [% Leistung im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, 10 mg/L]	141 % 163 % <table border="1"> <tr> <td>BT</td> <td>CBZ</td> <td>DF</td> <td rowspan="3">Ø 111%</td> </tr> <tr> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>123%</td> </tr> <tr> <td>IS</td> <td>MP</td> <td>HCT</td> </tr> <tr> <td>164%</td> <td>100%</td> <td>108%</td> <td></td> </tr> </table>	BT	CBZ	DF	Ø 111%	100%	100%	123%	IS	MP	HCT	164%	100%	108%	
BT	CBZ	DF	Ø 111%													
100%	100%	123%														
IS	MP	HCT														
164%	100%	108%														
	Faktor Aufwandmenge: [Im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, bei 10 mg/L]	75 % (berechnet zum Referenzaufwand von SAE-Super)														
Ökologische Aspekte	Substitutionseffekte: Auf dem Feld verbleibendes Stroh substituiert Grüngutkompost Flächenwirkung Status-Quo: Humusreproduktion Transportemissionen Biomasse (vorher/nachher/%): 0 % Transport km Biomasse (vorher/nachher/%): Distanz 0 km / 20 km (LKW)															
Ökobilanz-Indikatoren (Angaben je t FM)	Versauerungspotenzial: -0,97 kg SO ₂ -Äq. Feinstaub PM 2,5: -0,86 kg PM _{2,5} Terrestr. Eutrophierungspotenzial: +0,01 kg PO ₄ -Äq. THG-Bilanz: -152 kg CO ₂ -Äq. Kumulierter Energieaufwand: -0,23 GJ															
Ökonomische Aspekte	Wertschöpfungsentwicklung (Differenzbetrachtung): <ul style="list-style-type: none"> • Status Quo: 0,00 EUR • CoAct – Anlage (Basisvariante): -149,78 EUR • CoAct – Anlage (Kressbronn): -149,78 EUR 															
Rechtliche Aspekte	In der Landwirtschaft anfallendes Maisstroh ist grundsätzlich als Abfall im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu qualifizieren. Sofern das Maisstroh in der Landwirtschaft oder zur Energieerzeugung verwendet wird, sind die Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes gemäß § 2 Abs. 2 Nr. 4 KrWG in der Regel gleichwohl nicht anwendbar. Sofern das Maisstroh zur Herstellung von Aktivkohle verwendet wird, sind die Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes folglich anzuwenden. Sollte das Maisstroh hingegen als Festbrennstoff genutzt werden, so ist das Maisstroh vom Anwendungsbereich des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ausgenommen.															

Gesellschaftliche und politische Aspekte

Akzeptanz externe Stakeholder: Die Nutzung von Maisstroh führt zu mehr Verkehr um die Körnermais- und CCM-Anbauflächen. Da der Verkehr im Außenbereich stattfindet, sind wenige Externe betroffen. Maisstroh erfährt keine aktiven Nutzen im Status Quo. Bei Verwertung entsteht keine Konkurrenzsituation mit externen Stakeholdern.

Akzeptanz intern: Die Abfuhr von Maisstroh ist mit zusätzlichem Aufwand verbunden. Zugleich reduziert der Landwirt das Potential zur Humusbildung auf der Anbaufläche. Bei einer insgesamt ausgeglichenen Humusbilanz der Fruchtfolge ist eine Teilabfuhr unproblematisch. Der zusätzliche Aufwand und der entgangene (Humus-)Nutzen müssten dem Landwirt ersetzt werden.

Gesamtbewertung

Die aus Maisstroh erzeugte Aktivkohle erzielt eine gute Reinigungsleistung. Gegenüber fossiler Aktivkohle ergeben sich ökologische Vorteile durch die Nutzung von Aktivkohle aus Maisstroh. Bei einer Teilabfuhr des Maisstroh kann die Humusbilanz ausgeglichen sein und es besteht keine Nutzungskonkurrenz. Ökonomisch ist die Verwertung von Maisstroh zu Aktivkohle negativ gegenüber fossiler AK zu bewerten. Hier wurde allerdings sehr konservativ gerechnet. Zudem bieten sich Energie-Einsparpotentiale bei Trocknung des Maisstrohs durch Trocknung auf dem Feld.

Biomasse-Steckbrief CoAct	Holzartige Biomassen
----------------------------------	-----------------------------

Biomasse	Hochstammschnitt aus Streuobstwiesenpflege
<i>Ursprung</i>	Pflegeschnitte auf Streuobstwiesen
<i>Aufkommen insgesamt</i>	1.500 t FM p.a. 1.000 t TM p.a. (bei 66,7 % TS-Gehalt)
<i>Davon potenziell für CoAct nutzbar/benötigt</i>	bis zu 100% (theoretisch, zu aktuellem Marktpreis bzw. gegen Aufwandsentschädigung) 1 t Hochstammschnitt (66,7 % TS) --> 741 kg (90 % TS) [878 kg] -> 58,5% (des Gesamtanfalls, theoretisch bei 100%iger Auslastung)

Abbildung der Biomasse



Foto links: Typische mit Hochstämmen bestandene Streuobstwiese nach dem Schnitt. (Ziermann, Bodensee-Stiftung), Foto rechts: Abfuhr von Schnittmaterial von der städtischen Pflegefläche „Pfatt-haagäcker“ mit Rückewagen (im Januar 2020)

<i>Besitzer/Verwalter</i>	Voll- und Nebenerwerbslandwirte, Privatpersonen, Verwalter kommunaler Streuobstflächen
<i>Mengenabschätzung</i>	Die Gesamtanfallsmenge wurde hochgerechnet über die in den Streuobstförderprogrammen des Landkreises Bodenseekreis und der Stadt Friedrichshafen geförderte Streuobstfläche (ca. 950 ha), sowie Schätzungen der mit der Durchführung der Programme beauftragten Personen zum mittleren Baumbestand (30 – 68 Bäume/ha), zum mittlerem Mengenanfall/ha (3,5t – 6t/ha) und der mittleren Schnitthäufigkeit (ca. 3 Jahre).

Technische Aspekte	Materialeigenschaften Rohstoff
	Wassergehalt: 33,3 %
	Verarbeitungszustand des Rohstoffs und Güte: Hackschnitzel unterer bis mittlerer Qualität (verhältnismäßig hoher Blatt- und Rindenanteil, nicht vorgetrocknet)
	Lageranspruch: Trockenlager belüftet
	Pelletierung: ja , für optimale Ergebnisse
	Stör- und Schadstoffe: üblicherweise ohne Bedeutung
	Gesamtverfahren (Angaben je t FM)
	Wasserbedarf IFBB-Vorbehandlung: -
	Strombedarf: 166 kWhel
	Wärmebedarf: -432 kWhtherm

	Trocknungsanspruch kWh:	518 kWh _{therm}													
	TM-Gehalt Biomasse:	66,7 %TM → Pellets 90 %TM													
	Energiegehalt Pellets:	15,4 MJ/kg													
Verfahrens-Produkte	Konversionsrate Biomasse:														
	1t (FM) zu Aktivkohle:	73 kg													
Temperatur: 900 °C	1t (TM) zu Aktivkohle:	110 kg													
	Wärmebilanz Pyrolyse und														
Verweilzeit: 25 min	Aktivierung (1t FM):	949 kWh _{therm}													
	Wärmebilanz														
Dampfzugabe 100 %:	(1t FM, 900°C / 1-stufig):	- kWh													
	Nebenprodukte (je t FM):														
	Abwärme (Pyro/BHKW):	949 kWh _{therm}													
	Biogas:	-													
	Festbrennstoff														
	(Alternativprodukt):	15,4 MJ/kg													
Aktivkohle-Qualität	Sammelindikator SAK:														
[Versuchsergebnisse einer Aktivkohle aus Holzpellets]	Reinigungsleistung bei 10 mg [% des Referenzwerts von SAE-Super]	155 %													
[Pyrolyse und Aktivierung bei 900 °C, 100 % Dampfzugabe und 1-stufige Aktivierung]	Reinigungsleistung bei 15 mg [% des Referenzwerts von SAE-Super]	168 %													
	Einzelspurenstoffe:														
	[% Leistung im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, 10 mg/l]														
		<table border="1"> <tr> <td>BT</td> <td>CBZ</td> <td>DF</td> <td rowspan="4">Ø 104%</td> </tr> <tr> <td>102%</td> <td>97%</td> <td>101%</td> </tr> <tr> <td>IS</td> <td>MP</td> <td>HCT</td> </tr> <tr> <td>156%</td> <td>103%</td> <td>87%</td> </tr> </table>	BT	CBZ	DF	Ø 104%	102%	97%	101%	IS	MP	HCT	156%	103%	87%
BT	CBZ	DF	Ø 104%												
102%	97%	101%													
IS	MP	HCT													
156%	103%	87%													
	Faktor Aufwandmenge:														
	[Im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, bei 10 mg/l]	65 % (berechnet zum Referenzaufwand von SAE-Super)													
Ökologische Aspekte	Substitutionseffekte Status-Quo: Wärme durch Nutzung von 50 % als Brennholz zum Eigenverbrauch (Heizwert 10,8 MJ/kg) (50%), Rest Abbrand auf dem Feld ohne Nutzen														
	Flächenwirkung: Durch eine Verwendung des Materials im CoAct-Prozess ist keine Veränderung des derzeitigen Flächenmanagements anzunehmen.														
	Transportemissionen Biomasse (vorher/nachher/%): 12,5 % vorher/nachher														
	Transport km Biomasse (vorher/nachher): Distanz 0,93 km (Traktor+PKW) / 20 km (Traktor)														
Ökobilanz-Indikatoren (Angaben je t FM)	Versauerungspotenzial: -4,19 kg SO ₂ -Äq.														
	Feinstaub PM 2,5: -3,79 kg PM _{2,5}														
	Terrestr. Eutrophierungspotenzial: -0,20 kg PO ₄ -Äq.														
	THG-Bilanz: -880 kg CO ₂ -Äq.														
	Kumulierter Energieaufwand: -8,10 GJ														
Ökonomische Aspekte	Wertschöpfungsentwicklung (Differenzbetrachtung):														
	• Status Quo: -22,90 EUR														

-
- **CoAct – Anlage (Basisvariante):** -178,23 EUR
 - **CoAct – Anlage (Kressbronn):** -178,23 EUR
-

Rechtliche Aspekte

Hochstammschnitt aus Streuobstwiesenpflege ist grundsätzlich als Abfall im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu qualifizieren. Die Beseitigung des Hochstammschnitts durch Verbrennen vor Ort ist grundsätzlich verboten und wenn überhaupt, nur in Ausnahmefällen gemäß der Verordnung der Landesregierung über die Beseitigung pflanzlicher Abfälle außerhalb von Abfallbeseitigungsanlagen erlaubt.

Gesellschaftliche und politische Aspekte



Akzeptanz externe Stakeholder: Ein neuer Akteur am Markt für Hackholzprodukte minderer Qualität würde derzeit vermutlich wenig problematisch gesehen, da regional derzeit ein Überangebot an Hackholz, v.a. aufgrund hoher Verfügbarkeit von Forstrestholz, besteht. Die Anlieferung bzw. eine zur Verfügung gestellte Sammello-gistik müsste bei den Besitzern der Biomassen Akzeptanz finden, ebenso die Abgabe von bisher zur Eigenproduktion (von meist geringwertigem) Brennholz verwendeten Materials.

Akzeptanz intern: Aufbau und Akzeptanz einer Sammello-gistik hat sich in der Vergangenheit als schwierig erwiesen. Eine Voraussetzung dafür wäre, dass sich die Umsetzung für beauftragte Dienstleister wirtschaftlich darstellen lässt oder für öffentlich-rechtlichen Entsorger bzw. einen anderen Betreiber mit geringen Kosten verbunden ist.

Gesamtbewertung

Mengenmäßig derzeit und zumindest mittelfristig verfügbarer Reststoff. Regionale Wertschöpfung bilanziell deutlich im negativen Bereich. Die technische Eignung und die ökobilanzielle Betrachtung sind überwiegend positiv zu bewerten. Die Aktivkohle liefert gute Adsorptionseigenschaften

Biomasse-Steckbrief CoAct	Holzige Biomassen
----------------------------------	--------------------------

Biomasse	Hecken und Strauchschnitt
<i>Ursprung</i>	Pflege und Rodungsmaßnahmen von Kommunen, Unternehmen und Privatpersonen
<i>Aufkommen insgesamt</i>	9.500 – 14.000 t FM p.a. (Annahme: AWA 8.000 - 12.000 t p.a., gewerbl. Abfallverwertung 1.500 – 2.000 t p.a.) ø 7.837 t TM p.a. (bei 66,7 % TS-Gehalt)
<i>Davon potenziell für CoAct nutzbar/benötigt</i>	bis zu 100% (theoretisch, zu aktuellem Marktpreis) 1 t Heckenschnitt (66,7 % TS) --> 741 kg (90 % TS) [878 kg] -> 11,2 % (des Gesamtanfalls, theoretisch bei 100%iger Auslastung)
<i>Abbildung der Biomasse</i>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">Foto links – Typischer Hecken- und Grünschnitt von städtischen Grün- und Freiflächen (am Grünschnittlager der Stadt Friedrichshafen, aufgenommen im Okt. 2020)</p> <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">Foto rechts – Ausgesondertes „Energieresisig“ aus Hecken- und Grünschnitt von städtischen Grün- und Freiflächen (Grünschnittlager Stadt Friedrichshafen, Okt. 2020)</p>
<i>Besitzer/Verwalter</i>	Abfallwirtschaftsamt Bodenseekreis und beauftragte Dienstleister sowie von Unternehmen und Kommunen für die Verwertung gewerblicher Abfälle beauftragte Dienstleister.
<i>Mengenabschätzung</i>	Die Gesamtanfallsmenge wurde aus den Angaben des Abfallwirtschaftsamts Bodenseekreis zum jährlich gesammelten Grünschnitt (Annahme: Anteil Strauch- und Heckenschnitt 50-75%), sowie der Einschätzung von Kommunen zum Anteil am jährlich anfallenden Grünschnitt geschätzt. Beprobt wurde typischer Heckenschnitt. Dicke der Ästchen: 0,5-2,5 cm. Entsprechend war auch der Rindenanteil sehr hoch. Da Schnitt im Frühjahr ohne Blätter
Technische Aspekte	<p>Materialeigenschaften Rohstoff</p> <p>Wassergehalt: 33,3 % (Literatur – abweichend aus Tabelle)</p> <p>Verarbeitungszustand des Rohstoffs und Güte: Hackschnitzel unterer Qualität mit relativ hohem Blatt- und/oder Rindenanteil</p> <p>Lageranspruch: Trockenlager belüftet</p> <p>Pelletierung: Ja, für optimale Ergebnisse</p> <p>Stör- und Schadstoffe: z.T. geringfügige Verunreinigungen mit Erde vorhanden</p> <p>Gesamtverfahren (Angaben je t FM)</p> <p>Wasserbedarf IFBB-Vorbehandlung: -</p> <p>Strombedarf: 166 kWhel</p> <p>Wärmebedarf: -432 kWhtherm</p>

	Trocknungsanspruch kWh:	518 kWh_{therm}														
	TM-Gehalt Presskuchen:	66,7 %TM → Pellets 90 % TM														
	Energiegehalt Pellets:	15,4 MJ/kg														
Verfahrens-Produkte	Konversionsrate Biomasse:															
	1t (FM) zu Aktivkohle:	73 kg														
Temperatur: 900 °C	1t (TM) zu Aktivkohle:	110 kg														
	Wärmebilanz Pyrolyse und															
Verweilzeit: 25 min	Aktivierung (1t FM):	949 kWh_{therm}														
	Wärmebilanz															
Dampfzugabe 100 %:	(1t FM, 900°C / 1-stufig):	-														
	Nebenprodukte (je t FM):															
	Abwärme (Pyro/BHKW):	949 kWh_{therm}														
	Biogas:	-														
	Festbrennstoff															
	(Alternativprodukt):	15,4 MJ/kg														
Aktivkohle-Qualität	Sammelindikator SAK:															
[Versuchsergebnisse einer Aktivkohle aus Holzpellets]	Reinigungsleistung bei 10 mg [% des Referenzwerts von SAE-Super]	155 %														
	Reinigungsleistung bei 15 mg [% des Referenzwerts von SAE-Super]	168 %														
[Pyrolyse und Aktivierung bei 900 °C, 100 % Dampfzugabe und 1-stufige Aktivierung]	Einzelsubstanzen:															
	[% Leistung im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, 10 mg/l]															
		<table border="1"> <tr> <td>BT</td> <td>CBZ</td> <td>DF</td> <td rowspan="3">Ø 104%</td> </tr> <tr> <td>102%</td> <td>97%</td> <td>101%</td> </tr> <tr> <td>IS</td> <td>MP</td> <td>HCT</td> </tr> <tr> <td>156%</td> <td>103%</td> <td>87%</td> <td></td> </tr> </table>	BT	CBZ	DF	Ø 104%	102%	97%	101%	IS	MP	HCT	156%	103%	87%	
BT	CBZ	DF	Ø 104%													
102%	97%	101%														
IS	MP	HCT														
156%	103%	87%														
	Faktor Aufwandmenge:															
	[Im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, bei 10 mg/l]	65 % (berechnet zum Referenzaufwand von SAE-Super)														
Ökologische Aspekte (für holzigen Anteil AWA-BSK)	Substitutionseffekte Status-Quo: Strom und Wärme durch Verbrennung im Biomasse-HKW (Heizwert 10,8 MJ/kg)															
	Flächenwirkung: Durch eine Verwendung des Materials im CoAct-Prozess ist keine Veränderung des derzeitigen Flächenmanagements anzunehmen.															
	Transportemissionen Biomasse (vorher/nachher/%): 605 % vorher/nachher															
	Transport km Biomasse (vorher/nachher): Distanz 162 km (LKW) / 20 km (LKW)															
Ökobilanz-Indikatoren für holzigen Anteil AWA-BSK (Angaben je t FM)	Versauerungspotenzial: -2,43 kg SO₂-Äq.															
	Feinstaub PM 2,5: -2,41 kg PM_{2,5}															
	Terrestr. Eutrophierungspotenzial: -0,15 kg PO₄-Äq.															
	THG-Bilanz: -270 kg CO₂-Äq.															
	Kumulierter Energieaufwand: +1,49 GJ															
Ökonomische Aspekte	Wertschöpfungsentwicklung (Differenzbetrachtung):															
	<ul style="list-style-type: none"> • Status Quo: 48,02 EUR • CoAct – Anlage (Basisvariante): -128,47 EUR 															

-
- **CoAct – Anlage (Kressbronn):** -128,47 EUR
-

Rechtliche Aspekte	Grünabfälle, die von Privathaushalten, Gewerbe und Kommunen den kreiseigenen Entsorgungszentren überlassen werden, sind als Abfall zu qualifizieren. Soweit der Heckschnitt nicht selbst verwertet wird, besteht gemäß § 17 KrWG eine Überlassungspflicht gegenüber dem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger.
Gesellschaftliche und politische Aspekte	<p>Akzeptanz externe Stakeholder: Ein neuer Akteur am Markt für Hackholzprodukte minderer Qualität würde derzeit vermutlich wenig problematisch gesehen, da regional derzeit ein Überangebot an Hackholz, v.a. aufgrund hoher Verfügbarkeit von Forstrestholz besteht.</p> <p>Akzeptanz intern: Bestehende Verwertungsverträge müssten geändert werden, zumindest für den Teil des durch das Abfallwirtschaftssystem im Bodenseekreis abgedeckten Strauch- und Heckenschnitts. Eine Voraussetzung dafür wäre, dass sich die Verwertung für beauftragte Dienstleister wirtschaftlich darstellen lässt und für die Öffentlich-rechtlichen Entsorger mit ähnlich geringen Kosten verbunden ist wie bisherige Verfahren.</p>
Gesamtbewertung	Mengenmäßig und logistisch derzeit und auf kurz- bzw. mittelfristige Sicht leicht verfügbarer Rohstoff. Regionale Wertschöpfung bilanziell deutlich unter der bisherigen Verwertungsvariante. In der Fläche sind keine zusätzlichen positiven Effekte (wie zusätzliche Heckenpflanzungen) zu erwarten. Die technische Eignung und die ökobilanzielle Betrachtung sind positiv zu bewerten. Die produzierte Aktivkohle erzielt eine gute Adsorptionsleistung.

Biomasse-Steckbrief CoAct	Grasartige Biomassen
----------------------------------	-----------------------------

Biomasse	Grüngut aus Landschaftspflegemaßnahmen
-----------------	---

<i>Ursprung</i>	Nebenprodukt von Landschaftspflegemaßnahmen
-----------------	---

<i>Aufkommen insgesamt</i>	2.830 t FM p.a. (bezogen auf Landschaftspflegematerial-Mix; prioritär wurde Material von Streuwiesen betrachtet) 920 t TM p.a. (bei durchschnittlich 32,5% TS-Gehalt)
----------------------------	--

<i>Davon potenziell für CoAct nutzbar/benötigt</i>	30 - 50% (theoretisch, je nach Abnahmepreis) 1 t Landschaftspflegematerial (mix) (32,51 % TS) --> 294 kg (90 % TS) [879 kg] -> 95,5% (des Gesamtanfalls, theoretisch bei 100%iger Auslastung)
--	--



Fotos 1 und 2: Landschaftspflegeschnitt mit Traktor und Mähraupe (Quelle: Bodensee-Stiftung)

<i>Besitzer/Verwalter</i>	Besitzverhältnisse sind nicht immer klar, aber auch nicht relevant. Verwalter ist der Landschaftserhaltungsverbandes Bodenseekreis (LEV BSK), der Aufträge an Landwirte bzw. Lohnunternehmer zur Landschaftspflege vergibt.
---------------------------	---

<i>Mengenabschätzung</i>	Die Gesamtanfallsmenge wurde aus den Angaben des Landschaftserhaltungsverbandes Bodenseekreis berechnet. Insgesamt stehen 262 ha Streuwiesen (von 305 ha Landschaftspflegeflächen – Stand 2019) unterschiedlicher Zusammensetzung unter Pflgeverträgen mit dem LEV. Dabei fallen je nach Wiese (und Wachstumsbedingungen pro Jahr) unterschiedliche Mengen an Biomasse pro Hektar an. Die Biomassen werden zur Förderung der Biodiversität abgefahren. Nicht immer bestehen Verwertungswege.
--------------------------	--

Technische Aspekte	Materialeigenschaften Rohstoff
Wassergehalt:	67,49 % (bezogen auf grasartiges Landschaftspflegematerial verschiedener Wiesen-nutzungen)
Verarbeitungszustand des Rohstoffs und Güte:	Grünschnitt mit verhältnismäßig geringem Futterwert und hohem Mineralstoffgehalt
Lageranspruch:	Fahrsilo oder Silageballen
Pelletierung:	ja
Stör- und Schadstoffe	Relativ gering, Reste von Erde, Sand, etc.
	Gesamtverfahren (Angaben je t FM)
Wasserbedarf IFBB-Vorbehandlung:	2.000 l
Strombedarf:	117 kWhel bzw. 87 (Kressbronn)

	Wärmebedarf:	17 kWh _{therm} bzw. -55 (Kressbronn)													
	Trocknungsanspruch kWh:	348 kWh _{therm}													
	TM-Gehalt Presskuchen:	56,6 %TM → Pellets 90 %TM													
	Energiegehalt Pellets:	15,4 MJ/kg													
Verfahrens-Produkte	Konversionsrate Biomasse:														
	1t (FM) zu Aktivkohle:	32 kg													
Temperatur:900 °C	1t (TM) zu Aktivkohle:	98 kg													
Verweilzeit: 25 min	Wärmebilanz Pyrolyse und Aktivierung (1t FM):	377 kWh													
Dampfzugabe 100 %:	Wärmebilanz (1t FM, 900°C / 1-stufig):	- kWh													
	Nebenprodukte (je t FM):														
	Abwärme (Pyro/BHKW):	377 kWh _{therm} /35,0 kWh _{therm} bzw. 25,5 (Kressbronn)													
	Biogas:	15,9 kWh _{el} bzw. 21,6 (Kressbronn)													
	Festbrennstoff (Alternativprodukt):	15,4 MJ/kg													
Aktivkohle-Qualität [Versuchsergebnisse einer Aktivkohle aus Streuwiese]	Sammelindikator SAK:														
	Reinigungsleistung bei 10 mg/L [% des Referenzwerts von SAE-Super]	84 %													
[Pyrolyse bei 500 °C, Aktivierung bei 900 °C, 100 % Dampfzugabe und 2-stufige Aktivierung]	Reinigungsleistung bei 15 mg/L [% des Referenzwerts von SAE-Super]	85 %													
	Einzelspurenstoffe: [% Leistung im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, 10 mg/L]	<table border="1"> <tr> <td>BT</td> <td>CBZ</td> <td>DF</td> <td rowspan="4">Ø 75%</td> </tr> <tr> <td>98%</td> <td>69%</td> <td>47%</td> </tr> <tr> <td>IS</td> <td>MP</td> <td>HCT</td> </tr> <tr> <td>53%</td> <td>98%</td> <td>64%</td> </tr> </table>	BT	CBZ	DF	Ø 75%	98%	69%	47%	IS	MP	HCT	53%	98%	64%
BT	CBZ	DF	Ø 75%												
98%	69%	47%													
IS	MP	HCT													
53%	98%	64%													
	Faktor Aufwandmenge: [Im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, bei 10 mg/L]	125 % (berechnet zum Referenzaufwand von SAE-Super)													
Ökologische Aspekte	Substitutionseffekte Status-Quo: Kompost (89 %) substituiert Grüngutkompost, Einstreu (11 %)														
	Flächenwirkung Status-Quo: Humusproduktion														
	Transportemissionen Biomasse (vorher/nachher/%): 82 % vorher/nachher														
	Transport km Biomasse (vorher/nachher): Distanz 4,69 km (v.a. Traktor) / 22 km (Traktor+ v.a. LKW)														
Ökobilanz-Indikatoren (Angaben je t FM)	Basisvariante:														
	Versauerungspotenzial: -0,62 kg SO ₂ -Äq. Feinstaub PM 2,5: -0,42 kg PM _{2,5}														
	Terrestr. Eutrophierungspotenzial: -0,01 kg PO ₄ -Äq. THG-Bilanz: -174 kg CO ₂ -Äq.														
	Kumulierter Energieaufwand: -1,80 GJ														
	Kressbronn:														
	Versauerungspotenzial: -0,63 kg SO ₂ -Äq. Feinstaub PM 2,5: -0,45 kg PM _{2,5}														

Terrestr. Eutrophierungspotenzial: 0,00 kg PO₄-Äq. THG-Bilanz: -211 kg CO₂-Äq.
Kumulierter Energieaufwand: -2,49 GJ

Ökonomische Aspekte

Wertschöpfungsentwicklung (Differenzbetrachtung):

- **Status Quo:** 8,55 EUR
 - **CoAct – Anlage (Basisvariante):** -194,43 EUR
 - **CoAct – Anlage (Kressbronn):** -135,98EUR
-

Rechtliche Aspekte

Die Einordnung von halmartigem Landschaftspflegematerial als Abfall im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes hängt entscheidend von den konkreten Umständen, also der Herkunft, der Beschaffenheit, der Marktfähigkeit und der konkret geplanten Verwendung des halmartigen Landschaftspflegematerials ab. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass halmgutartiges Landschaftspflegematerial das abgeräumt und einem Betreiber zu Verwendung in einer Kompostierungsanlage oder einer CoAct-Anlage überlassen wird, Abfall im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist und zudem nicht gemäß § 2 Abs. 1 Nr. 4 KrWG vom Anwendungsbereich des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ausgenommen ist.

Gesellschaftliche und politische Aspekte

Akzeptanz externe Stakeholder: Gegenwärtig findet ein Teil des Landschaftspflegeschnitts Verwendung als Einstreu. Je nach Witterung zum Zeitpunkt der Mahdtermine kommt dieser Verwertungsweg nicht in Frage. Dann wird das Material kompostiert, da es aktuell keinen besseren Verwertungsweg gibt. Für dieses sowie für Material von Flächen mit invasiven und giftigen Pflanzen gibt es eine hohe Abgabebereitschaft.

Akzeptanz intern: Ein großer Teil, für den es keine festen Abnahmevereinbarungen gibt, könnte in Verwertung zu Aktivkohle fließen. Die Akzeptanz sollte bei organisierter Governance Arrangements gegeben sein, da Landschaftspflegematerial von Dienstleistern geborgen wird, die selber oftmals kein Bedarf haben.

Gesamtbewertung

Mengenmäßig und logistisch derzeit und auf kurz- bzw. mittelfristige Sicht leicht verfügbarer Rohstoff. Die aus Landschaftspflegematerial hergestellte Aktivkohle hat eine leicht geringere Reinigungsleistung, als die marktübliche Referenzkohle. Erste Versuche mit variierenden Aktivierungsgraden offenbaren weiteres Optimierungspotential bezüglich der erreichbaren Reinigungsleistung. Ökobilanziell schneidet die Aktivkohle aus Landschaftspflegematerial insgesamt positiv ab. Die Ökonomie ist bei der entworfenen Pilotanlage noch nicht gegeben.

Biomasse-Steckbrief CoAct	Grasartige Biomassen
----------------------------------	-----------------------------

Biomasse	Grasartiges Straßenbegleitgrün
-----------------	---------------------------------------

<i>Ursprung</i>	Gras- und halmartiger Aufwuchs auf extensiv bewirtschafteten Straßenbegleitflächen
-----------------	--

<i>Aufkommen insgesamt</i>	wenige t FM p.a. bis zu ca. 2.500 t FM p.a. (Abhängig von den technischen, ökonomischen und organisatorischen Eigenschaften des Bergungsverfahrens) bis zu 1.009 t TM (bei 40,35% TS-Gehalt)
----------------------------	---

<i>Davon potenziell für CoAct nutzbar/benötigt</i>	bis zu 100% (theoretisch, zu erhöhten Straßenunterhaltungskosten) 1 t Straßenbegleitgrün (40,35 % TS) --> 329 kg (90 % TS) [908 kg] -> 90% (des Gesamtanfalls, theoretisch bei 100%iger Auslastung)
--	--



Foto links: Böschungsmahd an der B31 (Sommer 2020, Herr Mieze, SBA Bodenseekreis). Foto rechts: Schematische Darstellung der verschiedenen Pflegebereiche (Herr Mieze, SBA Bodenseekreis)

<i>Besitzer/Verwalter</i>	Straßenbauamt des Landkreises Bodenseekreis
---------------------------	---

<i>Mengenabschätzung</i>	Die nutzbare Gesamtanfallsmenge im Bodenseekreis ist noch nicht bekannt. Sie kann berechnet werden, wenn Angaben zum Anteil der Extensivflächen vorliegen, die voraussichtlich mechanisiert gemäht und aufgenommen werden können, ohne dass es dabei zu einem deutlichen Mehraufwand für Pflege und die Verkehrssicherung kommt. Es wird von einem jährlichen Anfall von 8t nutzbarer Biomasse/ha von diesen Flächen ausgegangen (Literaturwerte).
--------------------------	--

Technische Aspekte	<p>Materialeigenschaften Rohstoff</p> <p>Wassergehalt: 59,65 %</p> <p>Verarbeitungszustand des Rohstoffs und Güte: Grünschnitt, sehr heterogene Zusammensetzung, relativ hoher Mineralstoffgehalt</p> <p>Lageranspruch: Fahrsilo oder Silageballen</p> <p>Pelletierung: ja</p> <p>Stör- und Schadstoffe: durch Absaugung mit Erde und Sand verunreinigt. Zusätzlich ist mit Fremdstoffen (u.a. Plastikteile) zu rechnen.</p> <p>Gesamtverfahren (Angaben je t FM)</p> <p>Wasserbedarf IFBB-Vorbehandlung: 2.000 l</p> <p>Strombedarf: 84 kWhel bzw. 25 (Kressbronn Variante)</p> <p>Wärmebedarf: 218 kWhtherm bzw. 154 (Kressbronn Variante)</p> <p>Trocknungsanspruch kWh: 655 kWhtherm</p> <p>TM-Gehalt Presskuchen: 45,1 %TM → Pellets 90 %TM</p>
---------------------------	--

	Energiegehalt Pellets:	14,9 MJ/kg													
Verfahrens-Produkte	Konversionsrate Biomasse:														
	1t (FM) zu Aktivkohle:	44 kg													
Temperatur:	1t (TM) zu Aktivkohle:	110 kg													
Pyrolyse: 500 °C	Wärmebilanz Pyrolyse und														
Aktivierung: 900 °C	Aktivierung (1t FM):	407 kWh_{therm}													
Verweilzeit:	Wärmebilanz														
Pyrolyse: 30 min	(1t FM, 900°C / 2-stufig):	- kWh													
Aktivierung 15 min	Nebenprodukte (je t FM):														
Dampfzugabe 100 %:	Abwärme (Pyro/BHKW):	407 kWh_{therm}/111 kWh_{therm} bzw. 93,4 (Kressbronn)													
	Biogas:	50,5 kWh_{el} bzw. 85,5 (Kressbronn Variante)													
	Festbrennstoff (Alternativprodukt):	14,9 MJ/kg													
Aktivkohle-Qualität	Sammelindikator SAK:														
[Versuchsergebnisse einer Aktivkohle aus Streuwiese]	Reinigungsleistung bei 10 mg/L [% des Referenzwerts von SAE-Super]	84 %													
[Pyrolyse bei 500 °C, Aktivierung bei 900 °C, 100 % Dampfzugabe und 2-stufige Aktivierung]	Reinigungsleistung bei 15 mg/L [% des Referenzwerts von SAE-Super]	85 %													
	Einzelspurenstoffe:														
	[% Leistung im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, 10 mg/L]	<table border="1"> <tr> <td>BT</td> <td>CBZ</td> <td>DF</td> <td rowspan="4" style="background-color: yellow; text-align: center;">Ø 75%</td> </tr> <tr> <td>98%</td> <td>69%</td> <td>47%</td> </tr> <tr> <td>IS</td> <td>MP</td> <td>HCT</td> </tr> <tr> <td>53%</td> <td>98%</td> <td>64%</td> </tr> </table>	BT	CBZ	DF	Ø 75%	98%	69%	47%	IS	MP	HCT	53%	98%	64%
BT	CBZ	DF	Ø 75%												
98%	69%	47%													
IS	MP	HCT													
53%	98%	64%													
	Faktor Aufwandmenge:														
	[Im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, bei 10 mg/L]	125 % (berechnet zum Referenzaufwand von SAE-Super)													
Ökologische Aspekte	Substitutionseffekte Status-Quo: Mulch zur Verrottung am Straßenrand. Kein Nutzen.														
	Flächenwirkung: Verschiedene Tier- und Pflanzenarten profitieren laut Literaturangaben von nach der Mahd nicht durch geschlossene Mulchdecken bedeckten Straßenbegleitflächen und von einer weiteren Aushagerung, insbesondere in Kombination mit einer fortgeführten Extensivierung (weniger Aufwuchs ermöglicht mitunter längere Pflegeintervalle) und einem „mosaikartigen“-Pflegermanagement (Wechsel von gemähten und ungemähten Abschnitten).														
	Transportemissionen Biomasse (vorher/nachher/%): 0 % vorher/nachher														
	Transport km Biomasse (vorher/nachher): Distanz 0 km / 20 km (LKW)														
Ökobilanz-Indikatoren (Angaben je t FM)	Basisvariante:														
	Versauerungspotenzial: -1,25 kg SO₂-Äq. Feinstaub PM 2,5: -0,81 kg PM_{2,5}														
	Terrestr. Eutrophierungspotenzial: -0,12 kg PO₄-Äq. THG-Bilanz: -272 kg CO₂-Äq.														
	Kumulierter Energieaufwand: -2,23 GJ														
	Kressbronn:														
	Versauerungspotenzial: -1,04 kg SO₂-Äq. Feinstaub PM 2,5: -0,72 kg PM_{2,5}														
	Terrestr. Eutrophierungspotenzial: -0,07 kg PO₄-Äq. THG-Bilanz: -309 kg CO₂-Äq.														

Kumulierter Energieaufwand: **-2,90 GJ**

Ökonomische Aspekte

Wertschöpfungsentwicklung (Differenzbetrachtung):

- **Status Quo:** 0,00 EUR
 - **CoAct – Anlage (Basisvariante):** -181,68 EUR
 - **CoAct – Anlage (Kressbronn):** -118,85 EUR
-

Rechtliche Aspekte

Grasartiges Straßenbegleitgrün ist als Abfall im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu qualifizieren. Mit Blick auf die Vergärung von grasartigem Straßenbegleitgrün ist festzustellen, dass die Vorgaben der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen uneingeschränkt Anwendung finden. Zudem bestehen Zweifel, ob der Gärrest als Düngemittel im Sinne der Düngemittelverordnung in den Verkehr gebracht werden darf. Jedenfalls ergeben sich aus der Bioabfallverordnung sowie der Düngemittelverordnung erhebliche Restriktionen für die Verwertung des Gärrestes als Düngemittel. Die rechtlichen Vorgaben für die Erfüllung des Straßenbedienstedienstes in Bezug auf die Grünpflege sind im Wesentlichen funktions- und ergebnisorientiert und lassen den Straßenbaulastträgern – im Rahmen der zur Verfügung stehenden Mittel – ausreichend Spielräume, die ein Abräumen des Schnittgutes zulassen.

Gesellschaftliche und politische Aspekte

Akzeptanz externe Stakeholder: Generell bestehen wenig Vorbehalte gegenüber einer Nutzung grasartigen Straßenbegleitgrüns, da dies eine Biomasse ist, um die es keine Nutzungskonkurrenzen gibt und die gegenwärtig nicht verwertet wird. Bei Umsetzung der Ernte- und Logistikkette für grasartiges Straßenbegleitgrün ist mit Auswirkungen (u.a. hinsichtlich etwaiger zusätzlicher Auswirkungen auf den Verkehr während der Mäharbeiten) zu rechnen.

Akzeptanz intern: Eine abschließende Beurteilung des Verfahrens hinsichtlich organisatorischer und betriebswirtschaftlicher Anforderungen steht aufgrund fehlender Daten derzeit noch aus. Freie Kapazitäten personeller oder finanzieller Art bestehen in den mit der Straßenpflege beauftragten Einrichtungen der Kreisverwaltung laut übereinstimmender Einschätzung der befragten Experten derzeit jedoch nicht (Straßenbauamt Bodenseekreis). Neben der Alltagstauglichkeit des Verfahrens stellt u.a. eine entsprechende Mittel- und Personalausstattung eine maßgebliche Voraussetzung für die Nutzung der Biomasse dar.

Gesamtbewertung

Im Bodenseekreis konnten bei dem CoAct-Projekt vorausgegangenen Untersuchungen entsprechende Potenzialflächen, die nach Größe, Lage und Erreichbarkeit Entwicklungspotentiale für ein stärker an ökologischen Kriterien orientiertes Schnittmanagement aufweisen, nur in sehr begrenztem Umfang bestimmt werden. Hinzu kommt, dass grundsätzlich geeignete Flächen in der Regel bereits mit Ausgleichsmaßnahmen belegt sind, wobei das anfallende Material eher dem grasartigen Landschaftspflegematerial gleichzusetzen ist, das den mit der Flächenpflege beauftragten Dienstleistern zufällt.

Biomasse-Steckbrief CoAct	Sonstige Biomassen
----------------------------------	---------------------------

Biomasse	Hopfenhäcksel (Hopfen-Rebhäcksel)
-----------------	--

Ursprung	Erntereste beim Hopfenanbau
Aufkommen insgesamt	18.000 t FM p.a. 5.400 t TM p.a. (bei 30% TS-Gehalt)

Davon potenziell für CoAct nutzbar/benötigt	bis zu 100% (theoretisch) 1 t Hopfenhäcksel (30 % TS) --> 270 kg (90 % TS) [840 kg] -> 15,6% (des Gesamtanfalls, theoretisch bei 100%iger Auslastung)
---	---



Foto 1 – In der Pflückmaschine werden die Hopfendolden vom Hopfenstock entfernt. (Quelle: Wikipedia)
Foto 2 – Der Hopfenstock wird mitsamt dem Haltedraht gehäckselt. (Quelle: Wikipedia)

Besitzer/Verwalter	Hopfenbauern
--------------------	--------------

Mengenabschätzung	Die Gesamtanfallsmenge wurde aus den Angaben des Landwirtschaftsamtes im Bodenseekreis und aus Literatur (KTBL) berechnet.
-------------------	--

Technische Aspekte	<p>Materialeigenschaften Rohstoff</p> <p>Wassergehalt: 70% nach Abrebeln der Dolden</p> <p>Verarbeitungszustand des Rohstoffs und Güte: Schüttfähiges, komprimierbares Häcksel-Grüngut; Aufgrund von möglichen Pilzerkrankungen ungern zur Nährstoffrückführung in den Hopfengarten.</p> <p>Lageranspruch: Silo (Ballen oder Fahrsilo)</p> <p>Pelletierung: ja</p> <p>Stör- und Schadstoffe: Reste des Haltedrahtes (unterschiedlicher Länge)</p> <p>Gesamtverfahren (Angaben je t FM)</p> <p>Wasserbedarf IFBB-Vorbehandlung: 2.000 l</p> <p>Strombedarf: 83 kWhel bzw. 35 (Kressbronn)</p> <p>Wärmebedarf: 262 kWhtherm bzw. 190 (Kressbronn)</p> <p>Trocknungsanspruch kWh: 622 kWhtherm</p> <p>TM-Gehalt Presskuchen: 41,8 %TM → Pellets 90 %TM</p> <p>Energiegehalt Pellets: 16,1 MJ/kg</p>
---------------------------	--

Verfahrens-Produkte	Konversionsrate Biomasse: 1t (FM) zu Aktivkohle: 29 kg 1t (TM) zu Aktivkohle: 97 kg Wärmebilanz Pyrolyse und Aktivierung (1t FM): 361 kWh Wärmebilanz (1t FM, 900°C / 1-stufig): - kWh													
Temperatur: 900 °C														
Verweilzeit: 25 min														
Dampfzugabe 100 %:														
	Nebenprodukte (je t FM): Abwärme (Pyro/BHKW): 361 kWh_{therm}/80,8 kWh_{therm} bzw. 71,2 (Kressbronn) Biogas: 36,7 kWh_{el} bzw. 60,1 (Kressbronn) Festbrennstoff (Alternativprodukt): 16,1 MJ/kg													
Aktivkohle-Qualität [Versuchsergebnisse einer Aktivkohle aus Hopfenhäcksel] [Pyrolyse und Aktivierung bei 900 °C, 50 % Dampfzugabe und 1-stufige Aktivierung]	Sammelindikator SAK: Reinigungsleistung bei 10 mg/L [% des Referenzwerts von SAE-Super] 68 % Reinigungsleistung bei 15 mg/L [% des Referenzwerts von SAE-Super] 88 % Einzelsubstanzen: [% Leistung im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, 10 mg/L]													
	<table border="1"> <tr> <td>BT</td> <td>CBZ</td> <td>DF</td> <td rowspan="4">Ø 63%</td> </tr> <tr> <td>87%</td> <td>42%</td> <td>47%</td> </tr> <tr> <td>IS</td> <td>MP</td> <td>HCT</td> </tr> <tr> <td>73%</td> <td>84%</td> <td>44%</td> </tr> </table>	BT	CBZ	DF	Ø 63%	87%	42%	47%	IS	MP	HCT	73%	84%	44%
BT	CBZ	DF	Ø 63%											
87%	42%	47%												
IS	MP	HCT												
73%	84%	44%												
	Faktor Aufwandmenge: [Im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, bei 10 mg/L] 140 % (berechnet zum Referenzaufwand von SAE-Super)													
Ökologische Aspekte	Substitutionseffekte Status-Quo: Kompost (80 %), Gärrest (20 %), substituieren jeweils Grüngutkompost Flächenwirkung Status-Quo: Humusproduktion Transportemissionen Biomasse (vorher/nachher/%): 15 % vorher/nachher Transport km Biomasse (vorher/nachher): Distanz 3 km (LKW) / 20 km (LKW)													
Ökobilanz-Indikatoren (Angaben je t FM)	Basisvariante: Versauerungspotenzial: -1,07 kg SO ₂ -Äq. Feinstaub PM 2,5: -0,42 kg PM _{2,5} Terrestr. Eutrophierungspotenzial: -0,18 kg PO ₄ -Äq. THG-Bilanz: -104 kg CO ₂ -Äq. Kumulierter Energieaufwand: -0,04 GJ Kressbronn: Versauerungspotenzial: -0,85 kg SO ₂ -Äq. Feinstaub PM 2,5: -0,33 kg PM _{2,5} Terrestr. Eutrophierungspotenzial: -0,13 kg PO ₄ -Äq. THG-Bilanz: -142 kg CO ₂ -Äq. Kumulierter Energieaufwand: -0,58 GJ													
Ökonomische Aspekte	Wertschöpfungsentwicklung (Differenzbetrachtung): <ul style="list-style-type: none"> • Status Quo: -1,45 EUR • CoAct – Anlage (Basisvariante): -196,28 EUR 													

- **CoAct – Anlage (Kressbronn):** -137,19

Rechtliche Aspekte

In der Landwirtschaft anfallender Hopfenhäcksel ist grundsätzlich als Abfall im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu qualifizieren. Sofern der Hopfenhäcksel in der Landwirtschaft oder zur Energieerzeugung verwendet wird, sind die Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes gemäß § 2 Abs. 2 Nr. 4 KrWG in der Regel gleichwohl nicht anwendbar. Sofern der Hopfenhäcksel zur Herstellung von Aktivkohle verwendet wird, sind die Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes folglich anzuwenden. Sollte der Hopfenhäcksel hingegen als Festbrennstoff genutzt werden, so ist der Hopfenhäcksel vom Anwendungsbereich des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ausgenommen.

Gesellschaftliche und politische Aspekte

Akzeptanz externe Stakeholder: Hopfenhäcksel werden in erster Linie zurück auf die Anbaufläche verbracht. Andere Stakeholder sind im Wesentlichen nicht tangiert. Hopfenhäcksel fällt in großer Menge an. Aus Sicht der Landwirte ist das nahezu unmittelbare Ausbringungsgebot (Dünge-VO) von noch nicht kompostiertem und nicht hygienisiertem Hopfenhäcksel aus phytosanitären Gründen problematisch. Es besteht eine hohe Abgabebereitschaft.

Akzeptanz intern: Eine Sammellogistik entfällt. Die Transportlogistik ist vergleichsweise einfach zu realisieren. Akzeptanzeinbußen bestehen von Seiten der Technik durch den im Anbau verwendeten Haltedraht, an dem die Hopfenreben hochranken.

Gesamtbewertung

Mengenmäßig und logistisch derzeit und auf kurz- bzw. mittelfristige Sicht leicht verfügbarer Rohstoff. Die Aktivkohle hat gegenüber der marktübliche Referenzkohle eine geringere Reinigungsleistung. Ökobilanziell schneidet Aktivkohle aus Hopfenhäcksel insgesamt positiv ab. Die Ökonomie ist bei der entworfenen Pilotanlage noch nicht gegeben und müsste über Optimierungen im Verfahren (z.B. Reduzierung von Trocknungskosten) und Förderungen verbessert werden.

Biomasse-Steckbrief CoAct	Sonstige Biomassen
----------------------------------	---------------------------

Biomasse	Weintrester	
<i>Ursprung</i>	Nebenprodukt bzw. Reststoff bei der Weinproduktion	
<i>Aufkommen insgesamt</i>	680 t FM p.a. 240 t TM p.a. (bei 35% TS-Gehalt)	
<i>Davon potenziell für CoAct nutzbar/benötigt</i>	bis zu 30 – 70 % (theoretisch, je nach Preis und Logistik) 1 t Weintrester (35,29 % TS) --> 330 kg (90 % TS) [749 kg] -> >100% (des Gesamtanfalls, theoretisch bei 100%iger Auslastung)	
<i>Abbildung der Biomasse</i>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">Foto 1 – Abgepresste Trauben = Trester (Quelle: Bodensee-Stiftung) Foto 2 – Sammlung des Traubentresters in 20 cbm Abrollcontainer (Quelle: Bodensee-Stiftung)</p>	
<i>Besitzer/Verwalter</i>	Winzer, Winzergenossenschaften	
<i>Mengenabschätzung</i>	Die Gesamtanfallsmenge wurde aus den Angaben des Statistischen Landesamtes und auf Basis von Aussagen von Winzern und Experten des Weinbauinstitut Freiburg berechnet.	
Technische Aspekte	Materialeigenschaften Rohstoff Wassergehalt: 64,71% (Literatur) Verarbeitungszustand des Rohstoffs und Güte: Schüttfähige, komprimierbare Restbiomasse; Aufgrund relevanter Zuckermengen und mikrobieller Beladung kommt es zur Nachgärung Lageranspruch: Trockenlager belüftet o. ggf. Silo Pelletierung: ja Stör- und Schadstoffe: üblicherweise ohne Bedeutung	
	Gesamtverfahren (Angaben je t FM) Wasserbedarf IFBB-Vorbehandlung: 2.000 l Strombedarf: 73 kWhel bzw. 9 (Kressbronn) Wärmebedarf: -58 kWhtherm bzw. -119 (Kressbronn) Trocknungsanspruch kWh: 502 kWhtherm TM-Gehalt Presskuchen: 51,14 %TM → Pellets 90 %TM Energiegehalt Pellets: 18,0 MJ/kg	
Verfahrens-Produkte	Konversionsrate Biomasse: 1t (FM) zu Aktivkohle: 45 kg 1t (TM) zu Aktivkohle: 126 kg	
Temperatur:900 °C		

Verweilzeit: 25 min	Wärmebilanz Pyrolyse und Aktivierung (1t FM):	496 kWh													
Dampfzugabe 100 %:	Wärmebilanz (1t FM, 900°C / 2-stufig):	- kWh													
	Nebenprodukte (je t FM):														
	Abwärme (Pyro/BHKW):	496 kWh_{therm}/146 kWh_{therm} bzw. 126 (Kressbronn)													
	Biogas:	66,2 kWh_{el} bzw. 106 (Kressbronn)													
	Festbrennstoff (Alternativprodukt):	18,0 MJ/kg													
Aktivkohle-Qualität [Versuchsergebnisse einer Aktivkohle aus Weintrester]	Sammelindikator SAK:														
	Reinigungsleistung bei 10 mg [% des Referenzwerts von SAE-Super]	62 %													
[Pyrolyse und Aktivierung bei 900 °C, 100 % Dampfzugabe und 1-stufige Aktivierung]	Reinigungsleistung bei 15 mg [% des Referenzwerts von SAE-Super]	68 %													
	Einzelpurenstoffe: [% Leistung im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, 10 mg/l]	<table border="1"> <tr> <td>BT</td> <td>CBZ</td> <td>DF</td> <td rowspan="4">Ø 76%</td> </tr> <tr> <td>83%</td> <td>76%</td> <td>60%</td> </tr> <tr> <td>IS</td> <td>MP</td> <td>HCT</td> </tr> <tr> <td>42%</td> <td>98%</td> <td>78%</td> </tr> </table>	BT	CBZ	DF	Ø 76%	83%	76%	60%	IS	MP	HCT	42%	98%	78%
BT	CBZ	DF	Ø 76%												
83%	76%	60%													
IS	MP	HCT													
42%	98%	78%													
	Faktor Aufwandmenge: [Im Vergleich zur Referenzkohle SAE-Super, bei 10 mg/l]	165 % (berechnet zum Referenzaufwand von SAE-Super)													
Ökologische Aspekte	Substitutionseffekte Status-Quo: Mineraldünger durch Ausbringen auf Weinberg (57 %), Gärrest (43 %) substituiert Grüngutkompost														
	Flächenwirkung Status-Quo: Einbringen Nährstoffe (Trester auf Weinberg) bzw. Humusreproduktion (Gärrest)														
	Transportemissionen Biomasse (vorher/nachher/%): 79 % vorher/nachher														
	Transport km Biomasse (vorher/nachher): Distanz 17,3 km (LKW) / 20 km (LKW)														
Ökobilanz-Indikatoren (Angaben je t FM)	Basisvariante: Versauerungspotenzial: -0,20 kg SO ₂ -Äq. Feinstaub PM 2,5: -0,21 kg PM _{2,5} Terrestr. Eutrophierungspotenzial: +0,07 kg PO ₄ -Äq. THG-Bilanz: -191 kg CO ₂ -Äq. Kumulierter Energieaufwand: -2,30 GJ Kressbronn: Versauerungspotenzial: -0,20 kg SO ₂ -Äq. Feinstaub PM 2,5: -0,25 kg PM _{2,5} Terrestr. Eutrophierungspotenzial: +0,08 kg PO ₄ -Äq. THG-Bilanz: -253 kg CO ₂ -Äq. Kumulierter Energieaufwand: -3,03 GJ														
Ökonomische Aspekte	Wertschöpfungsentwicklung (Differenzbetrachtung):														
	<ul style="list-style-type: none"> • Status Quo: -9,79 EUR • CoAct – Anlage (Basisvariante): -181,32 EUR • CoAct – Anlage (Kressbronn): -119,17 EUR 														

Rechtliche Aspekte	Weintrester ist trotz seiner vielseitigen Verwendbarkeit zum Beispiel als Futtermittel, zur Tresterbrandherstellung oder als Düngemittel in der Regel als Abfall im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes einzuordnen. Unter bestimmten Umständen kann Weintrester auch als Nebenprodukt im Sinne des § 4 KrWG angesehen werden. Dies erfordert grundsätzlich eine Einzelfallprüfung und kann beispielsweise der Fall sein, sofern Weintrester zur Herstellung von Tresterbränden oder Tresteressig verwendet wird.
Gesellschaftliche und politische Aspekte	<p>Akzeptanz externe Stakeholder: Die Ausbringung des Tresters ist mit Aufwand und potentielltem Nutzen (Humusaufbau, Nährstoffrückführung) aber auch Risiken (KEF, Wühlmäuse) verbunden. Die befragten Akteure gaben eine hohe Abgabebereitschaft für zumindest einen Teil der Trestermenge an. Bereits in der Vergangenheit wurde Trester in andere Verwertungswege gebracht. Es ist mit keinen Akzeptanzeinbußen zu rechnen.</p> <p>Akzeptanz intern: Sammellogistik entfällt. Ein Teil des Tresters wurde und wird transportiert</p>
Gesamtbewertung	Weintrester fällt saisonal und regional sehr eingeschränkt an und ist bedingt lagerfähig. Da keine großen Mengen anfallen, könnten diese in der Zeit der Verfügbarkeit verwertet werden. Jedoch hat die aus Weintrester hergestellte Aktivkohle eine geringere Reinigungsleistung, als die marktübliche Referenzkohle. Ökobilanziell schneidet Aktivkohle aus Weintrester insgesamt positiv ab. Die Ökonomie ist bei der entworfenen Pilotanlage noch nicht gegeben.