



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

- Kurzbericht zum Abschluss der Forschungs- und Entwicklungsphase -

Nachhaltigkeitswirkungen und Umsetzungsperspektiven des CoAct-  
Verfahrens



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



**FONA**  
Ressource Land

BMBF



Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich



Bodensee  
Stiftung

U N I K A S S E L  
V E R S I T Ä T



Institut für Ländliche Strukturforchung  
an der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main



BODENSEEKREIS

FRIEDRICHSHAFEN



DVGW TZW  
Technologiezentrum  
Wasser



Krieg & Fischer Ingenieure

Das Forschungsprojekt CoAct wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Fördermaßnahme „Stadt-Land-Plus“ (Förderkennzeichen 033L206). Projektlaufzeit ist vom 01.07.2018 bis 30.06.2023. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren/Projektmitarbeitenden der Partner. Zusammenfassung durch die Bodensee-Stiftung.

**Am Forschungsprojekt beteiligte Einrichtungen:**

**Universität Kassel (Projektleitung & Gesamtkoordination)**

**Bodensee-Stiftung (Regionale Koordination)**

**Stadt Friedrichshafen**

**Landkreis Bodenseekreis**

**Ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg**

**IfLS - Institut für Ländliche Strukturforschung, Frankfurt**

**Krieg & Fischer Ingenieure GmbH, Göttingen**

**Pyreg GmbH, Dörth**

**TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe**

## Inhalt

1	Einleitung .....	3
2	Restbiomassen in der Projektregion .....	3
2.1	Menge und Charakterisierung der Restbiomasse .....	3
2.2	Rechtliche Aspekte im Umgang mit Restbiomassen .....	3
3	CoAct-Technikkonzept .....	4
3.1	CoAct-Technikkonzept, technologische Grundlagen .....	4
3.1.1	IFBB-Verfahren .....	4
3.1.2	Pyrolyse .....	5
3.2	Abwasserbehandlung.....	6
3.3	Aktivkohle .....	7
3.4	Anlagenplanung .....	9
3.5	Ökobilanz, Energie- und Stoffströme .....	9
4	Betriebswirtschaftliche Analyse, regionale Wertschöpfungsketten und Governance Arrangements .....	11
4.1	Betriebswirtschaftliche Analyse und Wirkungsabschätzung für regionale Wertschöpfungsketten ...	11
4.2	Governance Arrangements .....	13
5	Biomasse-Bewertungen .....	14
5.1	Biomasse-Steckbriefe .....	14
5.2	Biomasse-Entscheidungsmatrix .....	14
6	Zwischenfazit .....	15

*Titelfoto: Exkursion von Projektmitarbeitenden verschiedener Projektpartner auf der Kläranlage Kressbronn-Langenargen, wo Aktivkohle zur Abwasseraufbereitung in der vierten Klärstufe eingesetzt wird. (Foto: Bodensee-Stiftung)*

## 1 Einleitung

Um Abwässer aus Kläranlagen von Mikroschadstoffen, wie Arzneimittel- und Kosmetikrückständen, Pflanzenschutzmitteln oder Schwermetallen zu reinigen, wird immer häufiger eine zusätzliche Aktivkohlefilterung als vierte Klärstufe eingesetzt. Üblicherweise sind Aktivkohlen fossilen Ursprungs, unter ökologisch und sozial fragwürdigen Bedingungen hergestellt und/oder importiert. Nachhaltige Alternativen sind gewünscht. Zudem finden verschiedene regionale Restbiomassen, wie beispielsweise bestimmte Sorten von Landschaftspflegematerial oder Heckschnitt keine oder zumindest keine hochwertige Verwertung. Nicht selten findet man „wilde Deponien“, um die Kosten für unrentable Verwertungswege einzusparen.

Hier setzt das Forschungsprojekt „CoAct - Integriertes Stadt-Land-Konzept zur Erzeugung von Aktivkohle und Energieträgern aus Restbiomassen“ mit der Zielsetzung an, aus Restbiomassen Aktivkohlen und nachhaltige Energieträger zu produzieren. Projektregion ist der Bodenseekreis.

Durch die Nutzung der CoAct Aktivkohlen sind sowohl positive Effekte für die regionale Wertschöpfung und die Umwelt, als auch für den Klimaschutz zu erwarten.

## 2 Restbiomassen in der Projektregion

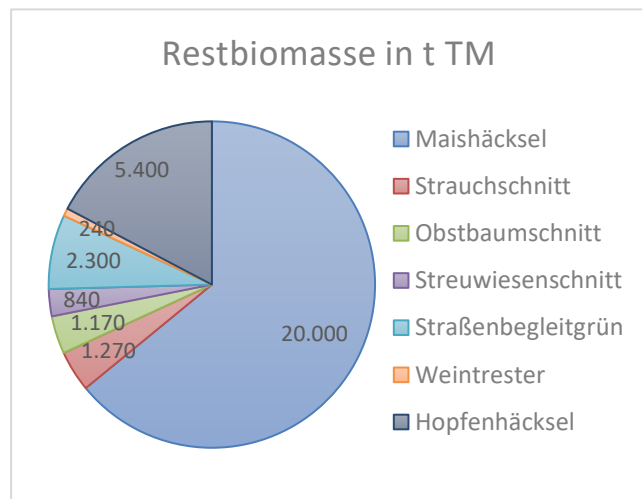
### 2.1 Menge und Charakterisierung der Restbiomasse

*Definition:*

*„In dem Forschungsvorhaben CoAct wird der Begriff „Restbiomassen“ für alle pflanzlichen Rest- und Abfallstoffe verwendet, die bei Produktionsprozessen (z.B. dem Anbau landwirtschaftlicher Produkte) und der Erstellung von Dienstleistungen (z.B. der Flächen- und Landschaftspflege) in der Forschungsregion anfallen.“*

Es wurde eine Auswahl von pflanzlichen Rest- und Abfallstoffen getroffen, die v.a. die im Bodenseekreis vorkommenden Biomassen berücksichtigt, aber auch eine Übertragung der Projektergebnisse auf andere Regionen in Deutschland und Mitteleuropa zulässt. Nach verschiedenen Voruntersuchungen, wurde die Auswahl auf sieben Fokus-Restbiomassen eingegrenzt.

Durch Interviews mit Akteuren in der Region und ergänzende Recherchen und Berechnungen konnte allein mit den Fokus-Restbiomassetypen der jährliche theoretische Anfall im Bodenseekreis auf etwa 31.200 t Trockenmasse (TM) beziffert werden (Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Jährlicher Anfall an Restbiomassen in t TM

Da es sich um natürlich nachwachsende Rohstoffe handelt, sind die jährlichen Mengen mitunter starken Schwankungen aufgrund unterschiedlicher Witterung unterworfen. Die daraus resultierenden Schwankungen in den qualitativen Eigenschaften wie Trockensubstanzgehalt und Nährstoffzusammensetzung werden sich vor allem in den nicht holzigen Biomassen zeigen.

### 2.2 Rechtliche Aspekte im Umgang mit Restbiomassen

Rechtliche Fragestellungen ergeben sich grundsätzlich entlang des gesamten Verfahrenskonzeptes. Von der Herkunft der Biomassen und ob diese als Abfall im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes

(KrWG) einzuordnen sind, über die Bergung von Landschaftspflegematerial oder Straßenbegleitgrün. Hier müssen beispielsweise naturschutzrechtliche Fragen beziehungsweise Fragen zur Straßenbaulast geklärt werden. Selbst bei der abschließenden thermischen Verwertung des Klärschlammes samt beladener Aktivkohle, müssen zum Beispiel die Klärschlammverordnung und immissionsschutzrechtliche Vorgaben berücksichtigt werden.

Es wurde untersucht, inwiefern gegenwärtige Verwertungs- und Entsorgungswege verschiedener Restbiomassen rechtlich einzuordnen sind – wo eine Anwendung bestehenden Rechts ausgesetzt ist – und inwiefern eine Verwertung über das CoAct-Verfahren rechtlich einzuordnen ist.

### 3 CoAct-Technikkonzept

#### 3.1 CoAct-Technikkonzept, technologische Grundlagen

Der Fokus des CoAct-Verfahrens liegt auf der Erzeugung von hochwertigen Aktivkohlen zur weitergehenden Behandlung von kommunalem Abwasser und der Entfernung von organischen Spurenstoffen. Für die beladene Aktivkohle steht am Ende des CoAct-Verfahrens die thermische Verwertung und die energetische Nutzung der in der Kohle enthaltenen Energie (Abbildung 2).

Die bei der Biomasseaufbereitung anfallenden Nebenprodukte in Form von Presssaft und Presskuchen können einer energetischen Nutzung in Biogasanlagen bzw. als Festbrennstoff zugeführt und deren Endprodukte (Gärrest und Asche) in der Landwirtschaft verwertet werden.

Holzige Biomassen können über das Pyrolyse-Verfahren zu Aktivkohlen verwertet werden. Krautige und grasartige Biomassen bedürfen einer Vorbehandlung durch das IFBB-Technikkonzept.

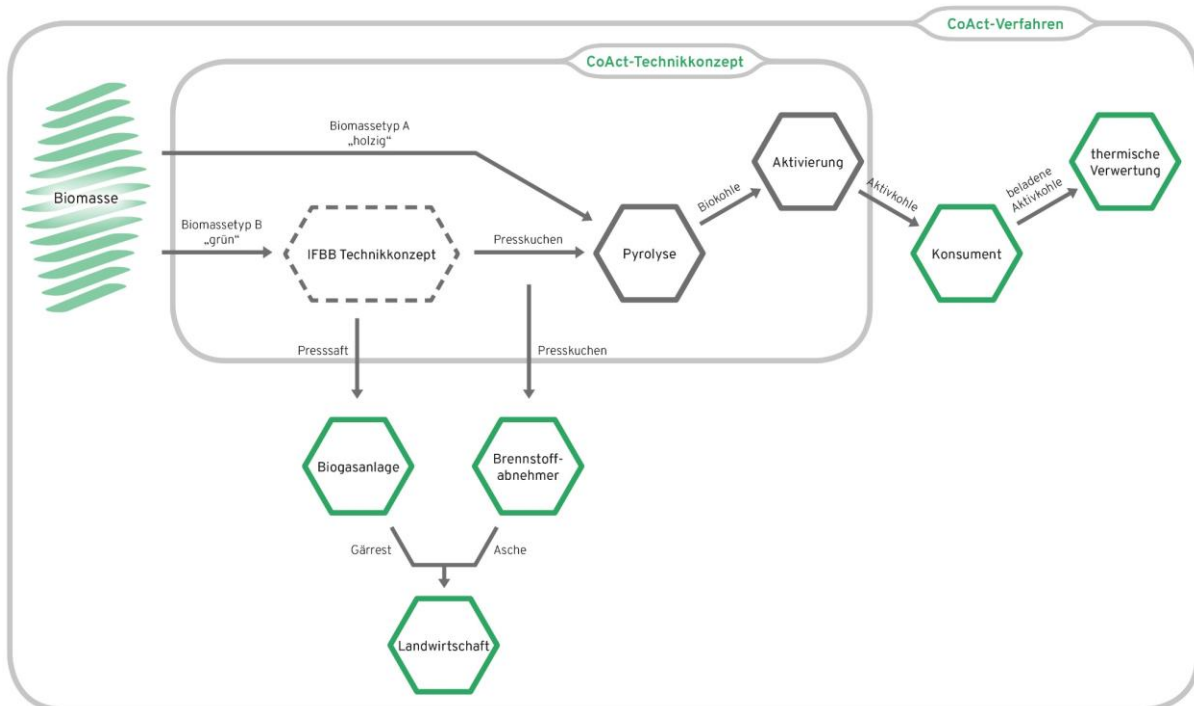


Abbildung 2: CoAct-Verfahren

#### 3.1.1 IFBB-Verfahren

Das Konzept zur Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB-Verfahren) zielt darauf ab, den Aschegehalt grasartiger Biomassen zu reduzieren. Für das IFBB-Technikkonzept werden die geernteten Biomassen bei Bedarf grob zerkleinert und anschließend siliert. Zur weiteren Verarbeitung werden die silierten Biomassen zerkleinert und mittels hydrothormaler Konditionierung

weiterverarbeitet (Abbildung 3). Hierzu wird die Biomasse für mindestens 15 Minuten mit ca. 40 °C warmen Wasser konditioniert, wodurch die Biomassen Wasser aufnehmen und aufquellen. Im Anschluss an die Konditionierung erfolgt eine mechanische Entwässerung des Biomasse-Wasser-Gemisches mittels einer Schneckenpresse wodurch sowohl mineralische Bestandteile der Pflanzen, als auch leicht abbaubare organische Verbindungen, wie Zucker und organische Säuren in den entstehenden Presssaft überführt werden (Abbildung 4).



**Abbildung 3 & 4:** Hydrothermale Konditionierung (links) und mechanische Entwässerung (rechts) von Restbiomassen im IFBB-Technikkonzept im Labormaßstab

Als Produkte des IFBB-Technikkonzeptes fallen nach der mechanischen Separierung einerseits ein entwässerter Presskuchen und andererseits ein energiereicher Presssaft an. Während der Presssaft durch anaerobe Co-Vergärung in Biogasanlagen in Biogas und anschließend in Strom und Wärme gewandelt wird, kann der Presskuchen nach einer Trocknung wahlweise als lagerfähiger Festbrennstoff genutzt werden, oder als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Pflanzen- und Aktivkohle.

Für das Forschungsprojekt CoAct wurde der getrocknete Presskuchen für die weitere Verarbeitung zu Aktivkohle erst homogenisiert und anschließend pelletiert.

### 3.1.2 Pyrolyse

Für die Herstellung von Pflanzenkohle aus unterschiedlichen Biomassen mittels Pyrolyse unter sauerstofffreien oder sauerstoffarmen Bedingungen, reichen schon Temperaturen von 400°C bis 500°C aus. Bereits Pflanzenkohlen haben poröse Strukturen mit einer spezifischen Oberfläche von bis zu 300m<sup>2</sup>/g. Für Aktivkohlen können höhere Oberflächen durch eine Partialoxidation an der Kohlenoberfläche bei hohen Temperaturen (800°C bis 1000°C) erzielt werden. Diese Partialoxidation kann mit unterschiedlichsten Oxidationsmitteln durchgeführt werden, wie z.B. reinem Sauerstoff, Luft, CO<sub>2</sub> oder auch Wasserdampf.

Um im Rahmen des Forschungsvorhabens CoAct die Eignung verschiedener Restbiomassen zur Herstellung von hochwertiger Aktivkohle zu untersuchen, wurde ein Laborreaktor (Abbildung 5) geplant, konstruiert und realisiert, welcher die Prozesse der großtechnischen Pyreg Pilotanlage A500 im Labormaßstab abbildet. Hierdurch wird eine hohe Übertragbarkeit der Ergebnisse auf großtechnische Anlagen gewährleistet.



**Abbildung 5:** Pyrolyse und Aktivierung mittels Laboranlage „Pyreka“ (Bild: Jens Heberling, Pyreg)

Das Rohmaterial für die Laboranlage darf einen Wassergehalt von 50 % nicht überschreiten. Die Partikelgröße darf nicht mehr als 15-20 mm betragen, da die Zellenradschleuse sonst verblockt und die Anlage verstopfen kann. Das Material sollte zudem rieselfähig sowie leicht zu brechen sein für einen reibungslosen Prozess. Entsprechend wurden alle untersuchten Biomassen zuerst zerkleinert und anschließend pelletiert. Für die Pellets wurde eine 6 mm Matrize verwendet und die Pelletlänge auf 15 mm eingestellt (Abbildung 6 & 7).

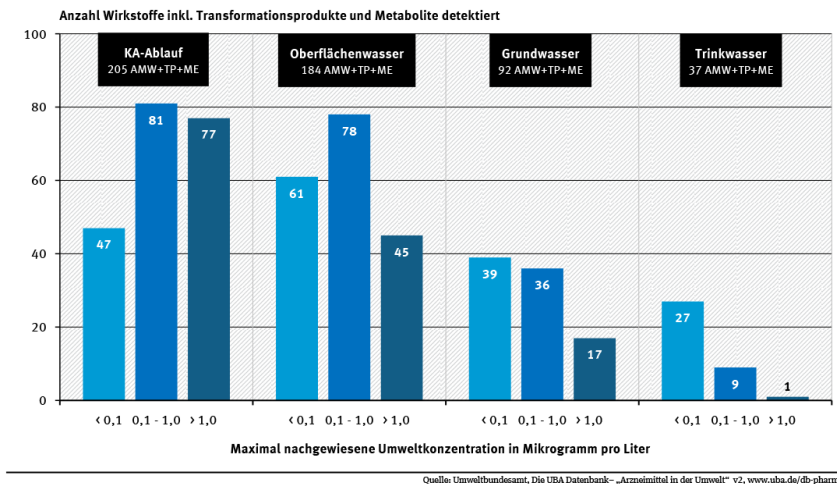


**Abbildung 6 & 7:** Grasartiges Material muss zur Weiterverarbeitung erst zerkleinert und pelletiert werden

### 3.2 Abwasserbehandlung

Abwässer werden in Deutschland überwiegend mit den drei Klärstufen (mechanisch, biologisch, chemisch) aufbereitet. Das so geklärte Wasser enthält häufig jedoch noch Spurenstoffe wie Arzneimittel, Kosmetika, Reinigungsmittel und andere Chemikalien. Rückstände verschiedener Wirkstoffe in der Humanmedizin können nahezu flächendeckend und ganzjährig im Bereich von Kläranlagenabläufen sowie in Bächen, Flüssen und Seen, aber auch im Grund- und vereinzelt im Trinkwasser nachgewiesen werden (siehe Abbildung 8).

Anzahl der gemessenen Arzneimittelwirkstoffe (AMW) inkl. Transformationsprodukte (TP) und Metabolite (ME) mit Positivbefund in Kläranlagenabläufen (KA), Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser  
 Dargestellt nach Konzentrationsklassen der höchsten gemessenen Konzentration



**Abbildung 8:** Rückstände von Arzneimittelwirkstoffen und deren Abbauprodukte

Die Reinigungsleistung der Kläranlagen für diese Stoffe kann durch eine vierte Reinigungsstufe verbessert werden. Dabei wird im Wesentlichen auf zwei Verfahrenstechniken zurückgegriffen:

- Ozonung/Ozonierung: Das hochreaktive Ozon tötet Keime ab und zerlegt Spurenstoffe in kleinere Bestandteile, die in einer nachgeschalteten biologisch aktiven Stufe abgebaut werden können
- Aktivkohleadsorption: Spurenstoffe können an Aktivkohle anhaften und mit der Kohle entsorgt werden. Aktivkohle gibt es in pulverform (PAK) oder in gekörnter Form (GAK)

In Baden-Württemberg sind zum Stand Mai 2021 gemäß Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 19 Kläranlagen mit einer Aktivkohle basierten vierten Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffelimination in Betrieb und 19 weitere in Planung bzw. in Bau. Die Ozonung wird in Baden-Württemberg aktuell von zwei Kläranlagen eingesetzt, zwei weitere sind in Bau und zwei in Planung.

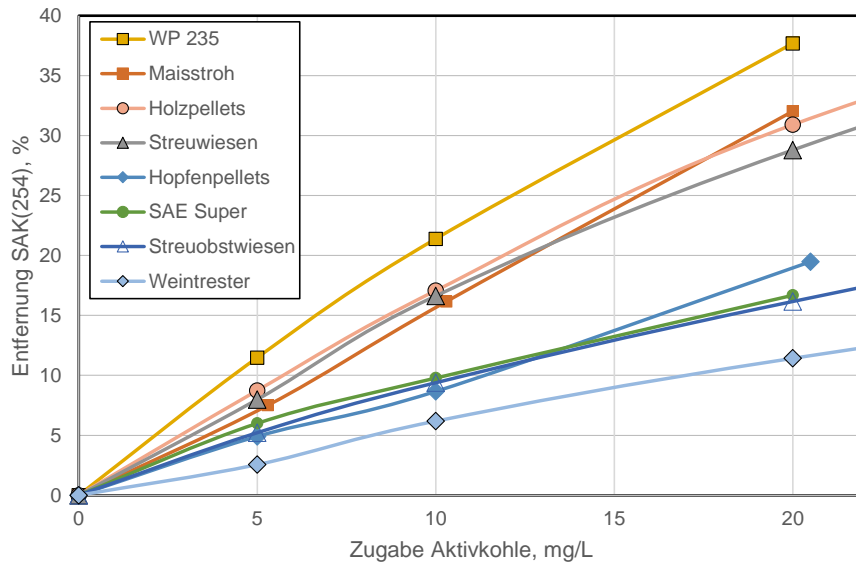
### 3.3 Aktivkohle

Im Rahmen des CoAct-Forschungsprojektes wurde die Eignung verschiedener Restbiomassen zur Herstellung von Aktivkohle zur Entfernung von Spurenstoffen aus biologisch gereinigtem Abwasser untersucht. Hierzu wurden ausgewählte Restbiomassen in einem Laborreaktor zu Aktivkohle verarbeitet.

Durch die Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass der Herstellungsprozess einen wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Kohle hat. So ist eine ausreichende hohe Aktivierungstemperatur erforderlich, um Aktivkohle mit konkurrenzfähigen Adsorptionseigenschaften zu produzieren. Bei den weiteren untersuchten Prozessparametern wie „Aktivierungsgrad“ und „kombinierte/getrennte Pyrolyse und Aktivierung“ konnte im Rahmen der Projektuntersuchungen kein generelles Optimum abgeleitet werden. Eine Optimierung der Aktivkohleherstellung sollte bezüglich dieser Parameter im großtechnischen Betrieb erfolgen.

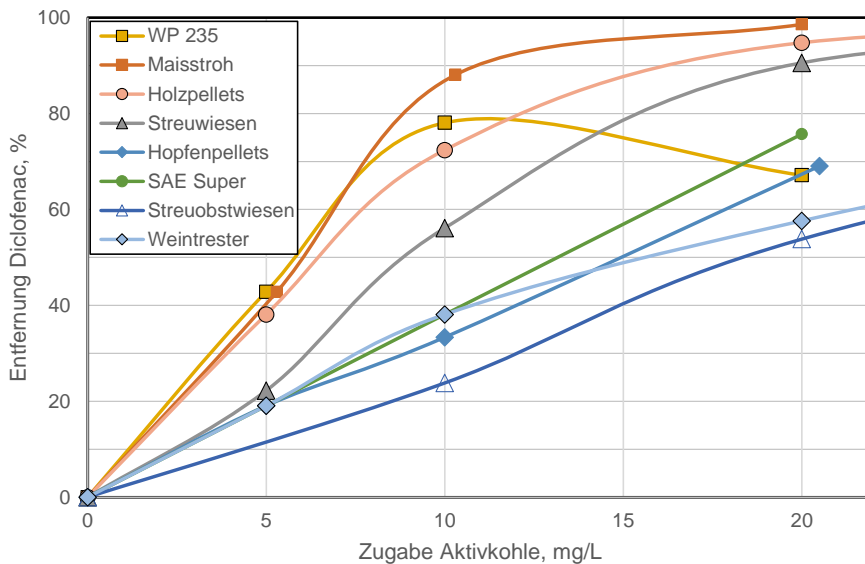
Die Aktivkohlen aus holzigen Fokus-Biomassen Hochstammschnitt sowie Strauch- und Heckenschnitt wurden durch Aktivkohle simuliert, die aus Holzpellets hergestellt wurden. Zur Bewertung der Aktivkohlen aus den grasartigen Biomassen Landschaftspflegematerial von Streuwiesen und Straßenbegleitgrün wurde Aktivkohle aus Streuwiesen und aus Streuobstwiesen verwendet. Die

Aktivkohlen aus grasartigem Rohstoff sowie auf Hopfen- und Weintresterbasis wurden mittels IFBB-Verfahren aufbereitet. Die anderen Biomassen konnten direkt pyrolysiert und aktiviert werden. Um die Reaktionsfreudigkeit der Aktivkohlen zu beurteilen, wurde die Verringerung des spektralen Absorptionskoeffizienten (SAK(254)) aus der konkreten Wassermatrix der Kläranlage Kressbronn mit einer Kontaktzeit von 24 Stunden untersucht. Wie auch bei den beiden Handelsprodukten WP 235 und SAE Super zeigen die Aktivkohlen sehr unterschiedliche Entfernungsraten (Abbildung 9).



**Abbildung 9:** Entfernungsleistung verschiedener CoAct-Kohlen bezüglich SAK(254)

Bezüglich der Entfernung von Einzelsubstanzen konnten (hier am Beispiel Diclofenac) Entfernungsleistungen festgestellt werden, die teils über der konventioneller Kohlen liegen (Abbildung 10)



**Abbildung 10:** Entfernungsleistung verschiedener CoAct-Kohlen für Diclofenac



### 3.4 Anlagenplanung

Ein zentraler Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungs(FuE)-Phase des CoAct-Vorhabens ist eine integrative Anlagenplanung, welche das IFBB-Technikkonzept und die Pyrolyse zu dem CoAct-Verfahren kombiniert (vgl. 3.1 CoAct-Technikkonzept). Dabei wurden die folgenden Verfahrensschritte unterschieden: Aufbereitung (von der Ernte bis zur Lagerung), Erzeugung der Maische und Abpressen, Vergärung, Lagerung Gärrest, Nutzung Biogas, Trocknung, Pelletierung und Pyrolyse.

In der ersten Projektphase wurden vier Anlagenvarianten untersucht. Dabei wurden zwei Verdünnungsstufen (Substrat zu Wasser (1 zu 2 und 1 zu 10)) und zwei Mengenstufen (1.000 t TM/Jahr bzw. 4.000 t TM/Jahr) berücksichtigt. Nach erster Prüfung der Umsetzbarkeit wurde eine fünfte, optimierte Variante erstellt, die dann detaillierter auf technische Machbarkeit und Investitions- sowie Betriebskosten untersucht wurde.

- ➔ Variante 5: IFBB-Anlage für Auslastung eines Pyrolysemoduls der Fa. Pyreg (A500 mit Durchsatz von 1.000 t TM/Jahr), reduzierte Wassermenge: 1 Teil Substrat zu 2 Teile Wasser

Der Substratmix besteht aus verschiedenen Fokus-Biomassen. Durch diesen Mix kann z.B. die Aufbereitungstechnik für mehrere Substrate genutzt und eine höhere Auslastung gewährleistet werden. Durch die Mischung entsteht ein gemischtes Prozesswasser, das auch im Nährstoffgehalt vielseitiger ist und im Fermenter vergoren werden kann.

Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage und zur Nutzung vorhandener Strukturen ist es sinnvoll die CoAct-Anlage an eine bestehende Anlage zu koppeln. Dabei eignet sich verfahrenstechnisch die Kombination mit einer Kläranlage oder einer Biogasanlage. Hier können diverse Synergieeffekte genutzt werden, wie die Verwendung von Prozesswasser, Presssaft oder Biogas an bestehenden Anlagenkomponenten. An Standorten ohne eine solche Anbindung eignet sich ein Szenario ohne Nassaufbereitung. Die Annahme von Substraten ist dadurch auf trockene, holzige Substrate reduziert, die nicht durch das IFBB-Verfahren aufbereitet werden müssen.

Potenzielle Standorte für eine CoAct-Anlage wurden im Rahmen einer Exkursion und Standortbesichtigung im Juni 2020 identifiziert, um Daten und Rahmenbedingungen für eine angepasste Anlagenplanung zu erheben. Bei der Auswahl der potenziellen Standorte in der Region wurde auf eine hohe Übertragbarkeit auf Standorte mit einer vergleichbaren Infrastruktur in anderen Regionen wertgelegt. Als beispielhafte Anlagenstandorte wurden ausgewählt:

1. Kläranlage Kressbronn-Langenargen
2. Biogasanlage Amtzell
3. Städtischer Bauhof Stadt Friedrichshafen
4. Entsorgungszentrum Weiherberg

Alle Erkenntnisse zu den potentiellen Anlagenvarianten wurden in Variantensteckbriefen zusammengefasst. In einem Szenarienworkshop im Juni 2021 mit Akteuren in der Region wurden die Ergebnisse diskutiert und Rückmeldungen für die zweite Projektphase aufgenommen.

### 3.5 Ökobilanz, Energie- und Stoffströme

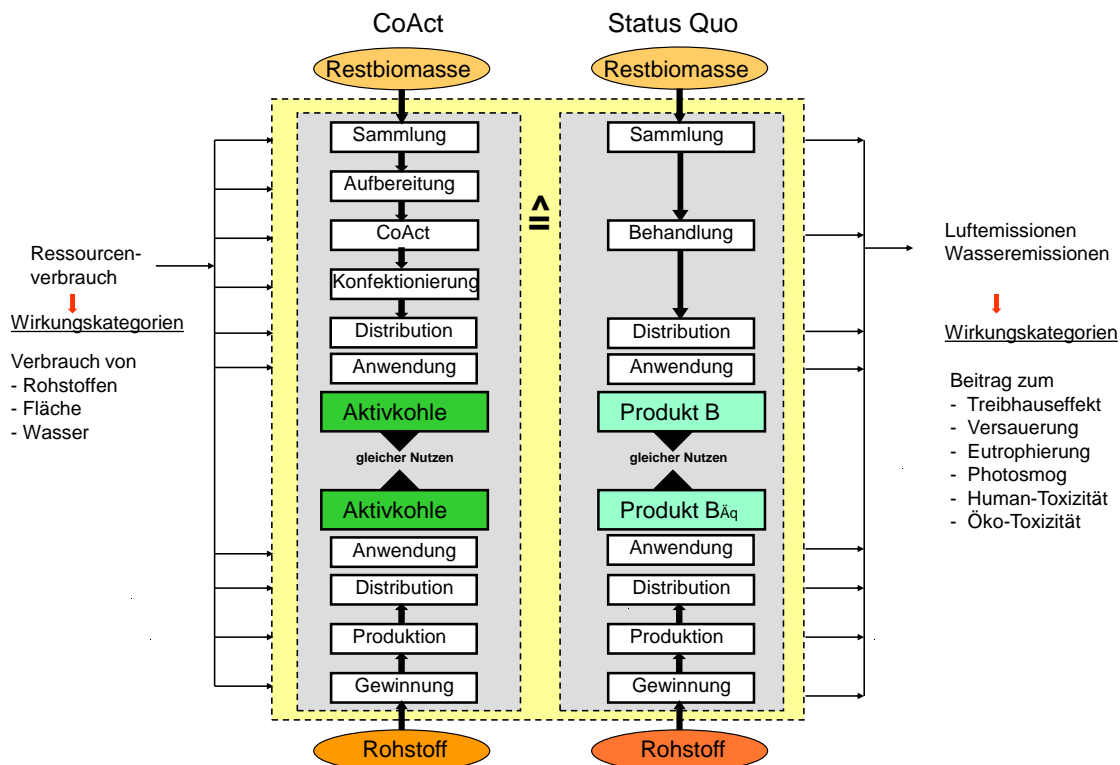
Zum Vergleich der komplexen Systeme wird für die ökologische Bewertung das Instrument der Ökobilanzierung herangezogen. Dafür werden Emissionen und Ressourcenverbräuche aus den Prozessen aufsummiert und auf Basis wissenschaftlicher Charakterisierungsfaktoren als Wirkungskategorien ausgewiesen.

Bei den meisten betrachteten Biomassen findet auch im Status Quo schon eine Verwendung statt, wodurch ein Nutzen generiert wird, der mitbilanziert werden muss, um eine Nutzengleichheit zwischen den zu vergleichenden Systemen im Status Quo und dem CoAct-Szenario zu erreichen (Abbildung 11). Ohne Behandlung trägt bspw. auf dem Feld belassenes Maisstroh im Status-Quo zur Humusreproduktion bei. Bei der kompletten Nutzung des Maisstrohs im CoAct-Verfahren müsste auf der Fläche die Humusreproduktion durch die Erzeugung von Grüngutkompost ausgeglichen werden.

Bei der CoAct-Variante findet eine weitergehende Behandlung mit entsprechenden Lasten statt. Dadurch wird als höchste Veredelungsstufe Pulveraktivkohle produziert, die die Produktion einer bestimmten Menge konventioneller Aktivkohle auf Basis fossiler Kohle mit entsprechenden Lasten substituieren kann (Abbildung 11). Nach der Nutzung in der Abwasserreinigung wird die Pulveraktivkohle über die Klärschlammbehandlungskette ausgetragen und schlussendlich über die Monoverbrennung mit beseitigt.

Die Emissionen aus der Monoverbrennung der biogenen CoAct-Aktivkohle und derjenigen auf fossiler Basis unterscheiden sich. Daher wird die Monoverbrennung im Bilanzrahmen mit abgebildet.

Behandlungsschritte, in denen sich Status-Quo und CoAct-Variante bei den jeweils betrachteten Biomassen nicht unterscheiden, können aus dem Bilanzrahmen gekürzt werden, weil nur der Unterschied zwischen Status-Quo und CoAct-Variante ökologisch bewertet werden soll. Dies ist oft der Fall für Erntevorgänge.

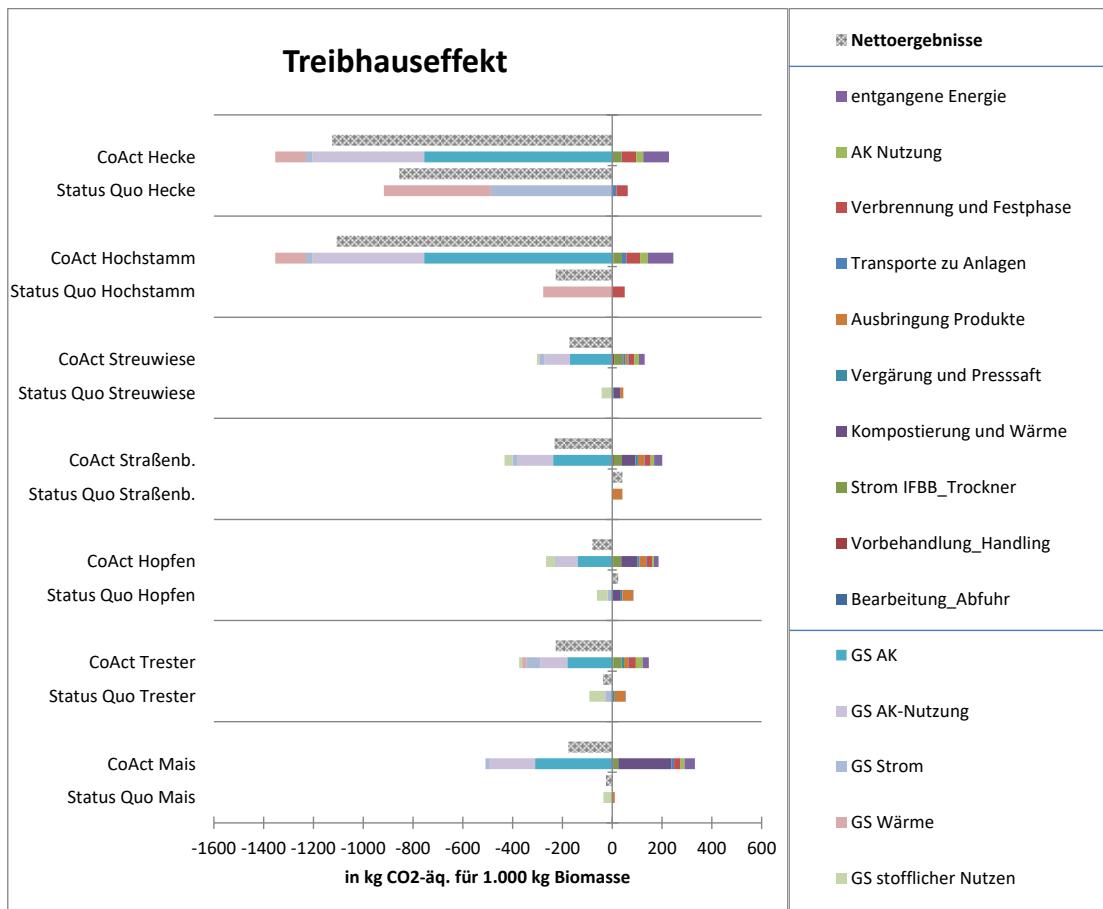


**Abbildung 11:** Bilanzrahmen für die Ökobilanz des CoAct-Szenarios (links) und des Status-Quo (rechts)

Für eine Vergleichbarkeit der Verwertungswege und der Biomassen untereinander wird die funktionelle Einheit auf jeweils 1 t Biomasse festgelegt. Betrachtet werden die klassischen Wirkungskategorien (Ressourcenbeanspruchung, Treibhauseffekt, Versauerung, Eutrophierung sowie Humantoxizität (Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>)).

Hierbei werden für die Verwertungswege Status Quo und mögliches CoAct-Verfahren für jede Biomasse die Nutzen und Lasten der jeweiligen Verwertungswege gegenübergestellt. In Abbildung 12

wird der Treibhauseffekt für die Behandlung jeder Biomasse wie im Status Quo (unten) und CoAct (oben) dargestellt: jeweils unterer Balken: Lasten positiv nach rechts, Nutzen negativ nach links, jeweils oberer Balken: Verrechnung von Lasten und Nutzen zu einem Nettowert.



**Abbildung 12:** Treibhauseffekt für die Biomassebehandlung im Status Quo (unten) und im CoAct Verfahren (oben)

## 4 Betriebswirtschaftliche Analyse, regionale Wertschöpfungsketten (WSK) und Governance Arrangements

### 4.1 Betriebswirtschaftliche Analyse und Wirkungsabschätzung für regionale Wertschöpfungsketten

Untersucht wurde, wie sich die Wertschöpfungsketten der verschiedenen Restbiomassen zum jetzigen Zeitpunkt darstellen und wie sie sich aufgrund eines Einsatzes der Restbiomassen in einer CoAct-Anlage verändern könnten. Wichtig für das Verständnis der Berechnungen ist, dass bei der Betrachtung regionaler Wertschöpfung die jeweilige Biomasse im Vordergrund steht. Die verschiedenen Stationen, die eine Tonne (t) Biomasse in der Wertschöpfung durchläuft, erzeugen Kosten, Erträge oder sind neutral in Hinsicht auf die regionale Wertschöpfung. Beispielsweise können Transportkosten auf eine Tonne Biomasse umgelegt werden. Ob diese Transportdienstleistung im Status Quo durch ein Unternehmen A durchgeführt wird und in der CoAct-Wertschöpfungskette womöglich durch ein Unternehmen B spielt dabei für die regionale Wertschöpfung keine Rolle, solange die Wertschöpfung innerhalb der definierten Region entsteht. Zahlungen wie Entgelte oder Gebühren, die innerhalb der Wertschöpfungskette von einem Akteur an den Nächsten gezahlt

werden, sind in der vorliegenden Betrachtung wertschöpfungsneutral, da sie innerhalb der Wertschöpfungskette für den einen Akteur eine Aufwendung darstellen, für den anderen aber einen Ertrag. Es zeigt sich, dass sowohl im Status-Quo, als auch in der CoAct-Variante Rest-Biomassen in der Region verbleiben. Die Aktivkohle hingegen wird im Status-Quo importiert und erzeugt so einen Mittelabfluss in Form von Devisen. In der CoAct-Variante würde Rest-Biomasse in der Region zu Aktivkohle verarbeitet, was die Wertschöpfung in der Region steigern würde.

### **Datengrundlage und Berechnungen**

Die Berechnungen zu den Status Quo-Wertschöpfungsketten basieren auf den Angaben von Akteuren aus der Region (Befragung durch die Bodensee-Stiftung und die kommunalen Projektpartner Bodenseekreis und Stadt Friedrichshafen). Dies sind u.a. landwirtschaftliche und weinbauliche Betriebe, Transportunternehmen und Entsorgungsunternehmen. Die Akteure machten teilweise auch Angaben zu möglichen Vorgehensweisen, wenn die entsprechenden Biomassen nicht mehr wie bisher verwertet werden, sondern stattdessen in eine CoAct-Anlage gebracht werden. Diese Angaben wurden mit weiteren Recherchen der Bodensee-Stiftung, der Stadt Friedrichshafen, des IFEU und IfLS ergänzt. Die befragten Akteure wurden durch die regionalen Projektpartner so gewählt, dass alle relevanten, in der Region verbreiteten Verwertungswege im Status Quo abgebildet sind und dass ein repräsentativer Anteil des gesamten Biomassepotenzials mit der Befragung abgedeckt ist. Durch die Gewichtung verschiedener Verwertungswege einer Biomasse wird dargestellt, dass ein für die Region üblicher Nutzungsmix in der Berechnung der Wertschöpfung im Status-Quo der Biomasse-Verwertung widerspiegelt wird.

Grundsätzlich ist für die folgenden Berechnungen ausschlaggebend, ab welchem Punkt in der Wertschöpfungskette eine Änderung zwischen Status Quo- und CoAct-Wertschöpfungskette eintritt. Das bedeutet, so lange eine Wertschöpfungskette sowohl im Status Quo als auch in der CoAct-Wertschöpfungskette die gleichen Arbeitsschritte aufweist, werden diese Arbeitsschritte in der folgenden Darstellung nicht berücksichtigt. Es werden also nur sich ändernde Arbeitsschritte mit den entsprechenden Aufwendungen und Erträgen berechnet.

Alle Aufwendungen und Erträge werden auf eine metrische Tonne (t) Biomasse umgerechnet. Dabei handelt es sich immer um eine Tonne Ausgangsbiomasse, d.h. die Berechnungen beziehen sich auf die Frischmasse (FM) nach der Ernte bzw. dem ersten Sammel-/oder Erfassungsvorgang. Im Verlauf der Wertschöpfungsketten kann sich Gewicht, Volumen und Konsistenz, z.B. durch Anwelken, IFBB-Behandlung oder auch Pyrolyse ändern.

### **Ergebnisse**

Für alle betrachteten Restbiomassen zeigte sich bei den ersten ökonomischen Betrachtungen, dass die Verwertung über das CoAct-Verfahren gegenüber der aktuellen Behandlung (Verwertung oder liegen lassen) ökonomisch negativ abschneidet. Das resultiert zum einen aus den zusätzlichen Arbeitsschritten, die mit der Verwertung über das CoAct-Verfahren verbunden sind. So muss beispielsweise Landschaftspflegeschnitt zur Gewinnung von Aktivkohle zu Pellets aufbereitet werden und dann im Pyrolyseofen umgewandelt und aktiviert werden. Bei der Verwertung als Einstreu wird der sonnengetrocknete Landschaftspflegeschnitt lediglich zu Ballen gepresst und an Landwirte abgegeben, die diese dann händisch oder mittels einer Maschine beispielsweise im Tretmiststall einstreuen. *Einschub: Dieser Vergleich vernachlässigt, dass Landschaftspflegematerial in zu feuchtem Zustand nicht verwendet werden kann. Bei Landschaftspflegemaßnahmen mit giftigen oder invasiven Pflanzen kann das Material auch nicht als Einstreu verwendet werden.*

Ein weiterer Aspekt, der die Verwertung über das CoAct-Verfahren verteuert, sind hohe Abschreibungskosten für die Investition in die Infrastruktur einer CoAct-Anlage. Hierbei handelt es sich teils sehr junge innovative nicht serienmäßige Verfahren, die hohe Anlagekosten generieren. Die Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB-Verfahren) wurde bisher nur einmal in der Praxis realisiert.

Auch bei Berücksichtigung der Einsparung der Kosten für konventionelle Aktivkohle können die Mehrkosten voraussichtlich nicht erwirtschaftet werden – allerdings ist dies Abhängig von der sehr volatilen Preisentwicklung.

Ein wichtiger Aspekt bei den ökonomischen Betrachtungen sind die Abschreibungskosten, die in den zugrundeliegenden Berechnungen sehr hoch sind. Um einen Eindruck von der Anlagenplanung und der daraus resultierenden Kostenstruktur zu bekommen, wurden alle in Frage kommenden Arbeitsschritte mit neuen, eigenständigen Maschinen kalkuliert. Eine solche „auf der grünen Wiese“ geplante Anlage (stand alone) ist höchst unwirtschaftlich. So beinhaltet diese Planungsvariante vom Radlader zur Aufgabe der Restbiomasse über Schredder und Magnetabscheider bis zu Transportbändern viele Infrastrukturelemente, die bei bestehenden Anlagen zur Behandlung von Restbiomassen bereits gegeben sind.

#### **Anbindung der CoAct-Anlage**

Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage sollten vorhandene Strukturen bestehender Anlagen genutzt werden, an die die CoAct-Anlage gekoppelt werden kann (vgl. Kapitel 3.4 Anlagenplanung). Durch die verfahrenstechnische Kombination mit einer existierenden Anlage können neben der gemeinsamen Nutzung der Infrastruktur diverse Synergieeffekte genutzt werden. Hier zeigen sich deutliche Einsparpotentiale. Zudem zeigt sich vor allem bei der Kombination mit der Kläranlage Kressbronn-Langenargen eine sinnvolle verfahrenstechnische Ergänzung. In der zweiten Projektphase wird daher vor allem diese Standort-Variante eingehender betrachtet.

Dabei sollen auch die Preisgestaltung nachhaltig produzierter Aktivkohle sowie mögliche Innovationsförderungen eingehende Betrachtung finden.

## **4.2 Governance Arrangements**

In dem Aufgabenbereich Governance-Arrangements geht es darum, institutionelle Rahmenbedingungen (Gesetze, Verträge...) sowie Governance (verwalten, leiten, lenken)- Strukturen und Prozesse zu identifizieren und weiterzuentwickeln. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf den Stadt-Land-Beziehungen.

Auf Basis einer Literatur- und Dokumentenauswertung und unter Einbeziehung von Materialien aus dem CoAct-Vorhaben wurde der konzeptionelle Rahmen weiterentwickelt und in einem Papier inklusive Glossar festgehalten.

Es wurden Status-quo-Übersichten zur regionalen Stakeholder-Landschaft im Bereich Restbiomassen insgesamt sowie auf Ebene der Fokus-Wertschöpfungsketten zu bestimmten Biomassetypen erstellt. Datenbasis waren Interviews mit den Akteuren der Region ergänzt durch Einordnungen der regionalen Projektpartner. Im Ergebnis werden sowohl die unterschiedlichen involvierten Stakeholder mit ihren Rollen und Interessen dargestellt als auch – soweit möglich – die vorhandenen Strukturen (marktlich, hierarchisch, netzwerkbasierend) und Prozesse (Steuerung/Regelung der Beziehungen).

## 5 Biomasse-Bewertungen

### 5.1 Biomasse-Steckbriefe

Die gesammelten Erkenntnisse aus den einzelnen Forschungsdisziplinen zu den verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekten wurden in Biomasse-Steckbriefen zusammengestellt und erläutert. Die Biomasse-Steckbriefe sind verfügbar unter [www.bodensee-stiftung.org/coact](http://www.bodensee-stiftung.org/coact).

### 5.2 Biomasse-Entscheidungsmatrix

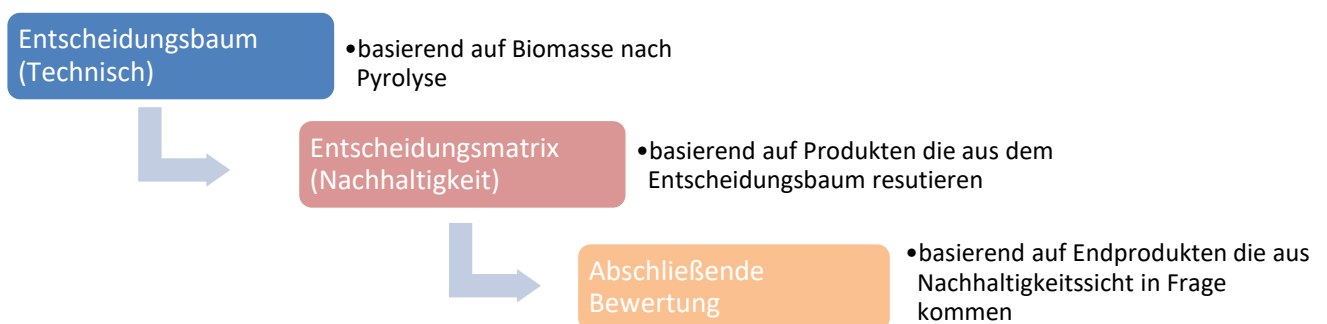
Die Entscheidung für oder gegen die Verarbeitung bestimmter Biomassen in einer zukünftigen CoAct-Anlage im Bodenseekreis hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Eine systematische Bewertung der einzelnen Biomassen soll sowohl aus technischer Sicht, aber auch insbesondere von nachvollziehbaren Nachhaltigkeitskriterien abhängig gemacht werden. Zuletzt spielen auch gesellschaftliche Akzeptanz sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen für die genaue Ausgestaltung eine Rolle.

Um allen Aspekten gerecht zu werden, wurde ein mehrstufiger Entscheidungsweg entwickelt.

Es hat sich gezeigt, dass technische Kriterien ggf. nicht gleichwertig in einer Entscheidungsmatrix zu den Nachhaltigkeitskriterien zu sehen sind. Technische Kriterien bestimmen, in welche Richtung die Verwertung überhaupt gehen kann – IFBB-Brennstoff, Pflanzenkohle, Aktivkohle – und müssen daher vorangestellt werden. Gesellschaftliche Akzeptanz und rechtliche Aspekte sind überwiegend als relevante Rahmenbedingungen zu betrachten und sind der Entscheidungsmatrix nachgeschaltet.

Der Aufbau besteht somit aus (vgl. Abbildung 13 Entscheidungsbaum):

- Entscheidungsbaum zur Definition des Verwertungsweges, basierend auf den „technischen Kriterien“
- Entscheidungsmatrix für die Abwägung der Nachhaltigkeits-Kriterien (ökologisch, ökonomisch, sozial)
- Abschlussbewertung unter Berücksichtigung weiterer Rahmenbedingungen („gesellschaftliche Akzeptanz“, „rechtliche Bedingungen“)



**Abbildung 13:** Entscheidungsbaum

Die gesammelten Erkenntnisse aus den einzelnen Forschungsdisziplinen zu den verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekten werden in den Biomasse-Steckbriefen zusammengestellt und erläutert. Aus diesen Biomasse-Steckbriefen lassen sich die für die Matrix benötigten Bewertungen ableiten. Eine einheitliche Bewertung von -1 bis +1 in 0,5er Schritten ermöglicht eine aussagekräftige Nachhaltigkeitsbewertung über die Bereiche hinweg und verhindert den übermäßigen Einfluss eines einzelnen Bereichs. Die Entscheidungsmatrix erlaubt eine Einordnung der verschiedenen Biomassen im Vergleich untereinander (Abbildung 14).

				Ökologie	Ökonomie	Soziales
Biomasse-Cluster	Biomassebezeichnung	Produkt	SAK-Wert	Gesamtnote	Gesamtnote	Gesamtnote
				am besten geeignet (+1), gut geeignet (+0,5), geeignet (0,25), wenig geeignet (0), nicht geeignet (<0)	Verbesserung gegenüber Status Quo (<0), geringe Abweichung (0), Verschlechterung (-0,5), deutliche Verschlechterung (-1)	stark positiv (+1), positiv (+0,5), minim./keine Auswirkungen (0), negative Auswirkungen (<0)
Strohartiges	Maisstroh	Pulveraktivkohle	141	0,25	-0,5	0
Ligninreich	Hochstammschnitt	Pulveraktivkohle	155	1,00	0	0,5
Ligninreich	Holz aus Hecken- und Strauchschnitt	Pulveraktivkohle	155	0,75	0	0,5
Grüngut	Landschaftspflegematerial (Streuwiesen)	Pulveraktivkohle	84	0,25	-1	0,5
Grüngut	Straßenbegleitgrün	Pulveraktivkohle	84	0,50	-1	0,5
Sonstiges	Hopfenhäcksel	Pulveraktivkohle	68	0,25	-0,5	0,5
Sonstiges	Weintrester	Pulveraktivkohle	62	0,25	-1	0

Abbildung 14: Entscheidungsmatrix zur Bewertung der Pulveraktivkohleproduktion aus Restbiomassen

## 6 Zwischenfazit

Die Forschungsergebnisse zeigen, dass aus regionalen Restbiomassen hochwertige Aktivkohle für den Einsatz in der vierten Klärstufe produziert werden kann.

Die durch die CoAct-Aktivkohle erzielten Eliminationsleistungen liegen durchaus im Bereich von handelsüblichen Aktivkohlen. Somit kann das CoAct-Technikkonzept sowohl zu einer Substituierung von konventionellen Aktivkohlen, als auch zu einem nachhaltigen Gewässerschutz beitragen. Unter Berücksichtigung des steigenden Aktivkohlebedarfs durch einen weiteren Ausbau der sogenannten 4. Reinigungsstufe bei kommunalen Kläranlagen und steigenden Einleitgrenzwerten, sowie in anderen Umwelthanwendungen stellt das CoAct-Technikkonzept ein vielversprechendes Verfahren dar diesen Bedarf aus regionalen Restbiomassen zu decken. Zusätzlich ist aufgrund der wachsenden Nachfrage nach Aktivkohle mit steigenden Preisen auf dem Weltmarkt zu rechnen, was wiederum die Etablierung und Verbreitung regionaler Konzepte nach dem CoAct-Verfahren begünstigt.

Das darin enthaltene IFBB-Technikkonzept ermöglicht auch die Verwertung von üblicherweise zur Pyrolyse ungeeigneten Restbiomassen durch eine deutliche Reduzierung des Mineralstoff- und Aschegehalts und eine Erhöhung des Kohlenstoffanteils. Dies ist von Bedeutung, da die Forschungsergebnisse darauf hindeuten, dass Biomassen mit einem geringen Aschegehalt höherwertige Aktivkohlen ergeben. Darüber hinaus werden korrosive Biomassebestandteile wie Schwefel und Chlor reduziert, wodurch die Haltbarkeit von Reaktoren bei einer thermischen Verwertung erhöht werden kann. Der dabei gewonnene energiereiche Presssaft kann durch die Verwertung in Fermentern in Methan und somit regenerative Energie gewandelt werden, wodurch zusätzlich ein nachhaltiger Beitrag zum Ausbau der erneuerbaren Energien geleistet werden kann.

Eine Evaluierung des CoAct-Technikkonzeptes unterstreicht den ökologischen Mehrwert einer Verwertung von regionalen Restbiomassen durch das CoAct-Verfahren. In Relation zu dem aktuellen Verwertungsstatus der untersuchten Restbiomassen und unter Berücksichtigung einer Substituierung von Aktivkohle auf Steinkohlebasis durch regionale CoAct-Aktivkohlen, kann für alle untersuchten umwelt- und klimarelevanten Parameter eine deutliche Verbesserung nachgewiesen werden.

Bezüglich der ökonomischen Betrachtung konnte bisher bei keiner der betrachteten Biomassen die Verwertung über das CoAct-Verfahren mit dem aktuellen Verwertungsweg konkurrieren. Dies ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass die CoAct-Anlage „auf der grünen Wiese“ geplant wurde. Eine Angliederung an bestehende Anlagen wie Verwertungszentren, Kläranlagen oder Biogasanlagen mit vorhandener Infrastruktur birgt deutliche Einsparpotentiale. Auch die Weiterentwicklung der sehr jungen Technik wird die Investitionskosten reduzieren. Zur Überbrückung dieser Phase könnte eine Förderung der Pilotanlage unterstützend wirken.

Aufgrund der sehr positiven Ergebnisse hinsichtlich Performanz der generierten Aktivkohlen und der ökobilanziellen Evaluierung des CoAct-Technikkonzeptes wird dem Ansatz ein hohes Maß an Umsetzungsfähigkeit in der Praxis zugesprochen, sofern im weiteren Verlauf die ökonomische Tragfähigkeit nachgewiesen werden kann. Allerdings handelt es sich bei dem CoAct-Technikkonzept um eine Verknüpfung sehr innovativer Verfahren, welche im Rahmen der FuE-Phase bislang nur im Labormaßstab untersucht wurden. Um eine Validierung der Ergebnisse unter praxisnahen Bedingungen durchführen zu können, sind daher während der Umsetzungsphase weitere Untersuchungen im Pilotmaßstab erforderlich.