Institut für Ländliche Strukturforschung e.V.
an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

CoAct Bericht

Teilvorhaben Ökonomische Analyse und Governance

Christoph Mathias, Victoria Wende, Bettina Spengler, Kai Weigand, Ulrich Gehrlein

Stand: 13.06.2024

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
FONA Ressource Land BMBF
STADT LAND PLUS
Zukunftsstadt

Impressum

Institut für Ländliche Strukturforschung e.V. (IfLS)
an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

Ansprechperson: Dr. Ulrich Gehrlein
Email: gehrlein@ifls.de
Kurfürstenstraße 49
60486 Frankfurt a.M.
Tel.:069-9726683-0
Fax: 069-9726683-22
Website: www.ifls.de

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 033L206G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorenschaft.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung 1

1.1 Das CoAct-Verfahren 1

1.2 Forschungsfragen 2

2 Ökonomische Rahmenbedingungen 3

2.1 Aktuelle Verwertungswege und Wertschöpfungsketten ausgesuchter Biomassen 3

2.1.1 Berechnungsgrundlagen und Kostenannahmen für die WSK-Berechnungen 4

2.1.2 Bestehende Wertschöpfungsketten in der Region 6

2.2 Die Bedeutung des globalen Aktivkohlemarkts für die Wirtschaftlichkeit des CoAct-Verfahrens 17

2.3 Die Bedeutung von Emissionshandel und CO_2-Grenzausgleichssystem für die Wirtschaftlichkeit des CoAct-Verfahrens 20

2.4 Strom-/ Wärmepreis 21

2.5 Förderprogramme 22

3 Das CoAct-Modell auf der „grünen Wiese“ (aus 1. Phase) 24

3.1 Investitionskosten 26

3.2 Aufwendungen 27

3.3 Erträge 29

3.4 Gewinn- und Verlustrechnung 30

3.5 WSK-Analyse 30

3.5.1 CoAct Trester 31

3.5.2 CoAct Hopfen 33

3.5.3 CoAct Straßenbegleitgrün 34

3.5.4 CoAct Streuwiesenschnitt 37

3.5.5 CoAct Maisstroh 39

3.5.6 CoAct Hochstammschnitt 41

3.5.7 CoAct Heckenschnitt 43

3.5.8 CoAct Siebüberlauf (Biogasanlagen-Biomüllverwertung) 44

3.6 Das CoAct-Kalkulations-Tool 44

3.7 Potenzielle Betreibermodelle 48

3.7.1 Organisationsformen für den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage 49

3.7.2 Zentrale organisatorische Aspekte zum Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage 52

4 Ergebnisse der Umsetzungsphase 55

4.1 Standortvariante Kläranlage (Anlagenvariante mit IFBB-Modul) 55

4.1.1 Anlagenkonfiguration 55

4.1.2 Betreibermodell für eine CoAct-Anlage an der Kläranlage Kressbronn 58

4.1.3 Biomassemix 59

4.1.4 Investitionskosten 62

4.1.5 Aufwendungen 66
4.1.6 Erträge 67
4.1.7 Gewinn- und Verlustrechnung 68
4.1.8 WSK-Analyse 69
4.2 Standortvariante Entsorgungszentrum, Anlagenvariante: ohne IFBB-Modul 70
4.2.1 Anlagenkonfiguration 70
4.2.2 Betreibermodell für eine CoAct-Anlage am Entsorgungszentrum Weiherberg 72
4.2.3 Biomassemix 72
4.2.4 Investitionskosten 73
4.2.5 Aufwendungen 74
4.2.6 Erträge 74
4.2.7 Gewinn- und Verlustrechnung 74
4.2.8 WSK-Analyse 75
4.2.9 CoAct Maisstroh 75
4.2.10 CoAct Hochstammschnitt 77
4.2.11 CoAct Heckenschnitt 78
4.3 Überlegungen zu einer externen Aktivierung der Pflanzenkohlen 78
5 Sensitivitätsanalyse 80
5.1 Vorgehen bei der Erstellung der Szenarien 80
5.2 5.1. Preis- und Kostenszenarien 80
6 Ökonomische Gesamtbewertung 85
6.1 SWOT-Analyse zum CoAct-Verfahren 87
7 Nachhaltigkeitsbewertung 90
7.1 Methodik und Vorgehen 90
7.2 Nachhaltigkeitsbewertung mit dem N!-Check 91
7.3 Nachhaltigkeitsbewertung mit TRAFIS.NB 98
8 Empfehlungen zur Übertragbarkeit 101
8.1 Standort und Anlagenkonfiguration 101
8.2 Biomassepotentiale 103
8.3 Logistik 104
8.4 Betreibermodell(e) 105
8.5 Eigenleistung oder Fremdbezug 106
9 Quellenverzeichnis 108
10 Anhang I – Förderprogramme 112

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: : Das CoAct-Verfahren (Quelle: Universität Kassel 2022). 2

Abbildung 2: Szenario: Änderung Aktivkohlepreis bei „grüne Wiese “ 81

Abbildung 3: Änderung Aktivkohlepreis bei Variante Kläranlage 81

Abbildung 4: Änderung Aktivkohlepreis bei Variante Entsorgungszentrum 82

Abbildung 5: Änderung der Zinssätze bei Variante grüne Wiese 82

Abbildung 6: Änderung der Strompreise bei Variante Kläranlange 83

Abbildung 7: Szenario Änderung Aktivkohlepreis am Beispiel Kläranlage mit günstiger Kalkulation 87

Abbildung 8: SWOT-Matrix für das CoAct-Verfahren 89

Abbildung 9: Prozessbegleitende Nachhaltigkeitsbewertung der ausgewählten Kriterien mit dem TRAFIS.NB-Tool 100

Abbildung 10: Vorgehen bei Entscheidungsprozessen zu Eigen- oder Fremdleistung (in Anlehnung an Bajec & Jakomin 2010). 107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wertschöpfung Tester - Status Quo 7

Tabelle 2: Wertschöpfung Hopfenhäcksel – Status Quo 9

Tabelle 3: Wertschöpfung Straßenbegleitgrün – Status Quo 10

Tabelle 4: Wertschöpfung Streuwiesen – Status Quo 12

Tabelle 5: Wertschöpfung Maishäcksel – Status Quo 13

Tabelle 6: Wertschöpfung Hochstammschnitt – Status Quo 15

Tabelle 7: Heckenschnitt/holziger Grünabfall – Status Quo 16

Tabelle 8: Siebüberlauf Biomüllverwertung – Status Quo 17

Tabelle 9: Gewinn- und Verlustrechnung pro t Frischmasse (IFBB-Anlage und Pyreg-Anlage) 25

Tabelle 10: Gewinn- und Verlustrechnung pro t Frischmasse (alleinstehende Pyreg-Anlage) 25

Tabelle 11: Investitionskosten der Anlagenvariante 5 („grüne Wiese“) 26

Tabelle 12: Gewinn- und Verlustrechnung „grüne Wiese“ 30

Tabelle 13: Wertschöpfung Trester - CoAct 32

Tabelle 14: Wertschöpfung Hopfenhäcksel - CoAct 34

Tabelle 15: Wertschöpfung Straßenbegleitgrün - CoAct 36

Tabelle 16: Wertschöpfung Streuwiesen - CoAct 38

Tabelle 17: Wertschöpfung Maishäcksel CoAct 40

Tabelle 18: Wertschöpfung Hochstammschnitt - CoAct 42

Tabelle 19: Wertschöpfung Heckenschnitt - CoAct 43

Tabelle 20: Gewinn- und Verlustrechnung pro Biomassemix für die grüne Wiese 44

Tabelle 21: Daten zum Strom-, Wasser-, und Wärmebedarf sowie jeweiligen Erträge und Aufwendungen für Biomassemix 1 45

Tabelle 22: Investitionskosten und Abschreibung einer CoAct-Anlage auf der grünen Wiese 46

Tabelle 23: Sonstige Aufwendungen und Personalkosten für eine CoAct-Anlage auf der grünen Wiese 47

Tabelle 24: Berechnung des Kapitaldienstes 47

Tabelle 25: Beispielhafte Gegenüberstellung von öffentlichen und privaten Organisationsformen für den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage 51

Tabelle 26: Beispielhafte Betreiberstrukturen für den Bau, Betrieb und Besitz einer CoAct-Anlage 52

Tabelle 27: Charakteristika und Anwendungsmöglichkeiten unterschiedlicher Kooperationsformen beim Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage 53

Tabelle 28: Liste der untersuchten Restbiomassen 60

Tabelle 29: Fokus-Restbiomassen, die prioritär untersucht wurden 61

Tabelle 30: Investitionskosten für die Variante Kläranlage -Vergleich Hochsilo und Fahrsilo 63

Tabelle 31: Kosten der verschiedenen Silooptionen am Beispiel der „grünen Wiese“ 65

Tabelle 32: Kosten für Ausgleichsflächen und - Maßnahmen 66

Tabelle 33: Gewinn- und Verlustrechnung für die Variante „Kläranlage" 69

Tabelle 34: Gewinn- und Verlustrechnung pro t Biomasse für die "Kressbronn-Variante" 69

Tabelle 35: Änderungen in der Wertschöpfung (Kläranlagen-Anlagenvariante) 70

Tabelle 36: Investitionskosten für die Variante Entsorgungszentrum 73

Tabelle 37: Gewinn -und Verlustrechnung für die Variante Entsorgungszentrum 75

Tabelle 38: Wertschöpfung Maishäcksel CoAct – Variante Entsorgungszentrum 76

Tabelle 39: Wertschöpfung Hochstammschnitt – CoAct – Standort Weiherberg 77

Tabelle 40: Wertschöpfung Heckenschnitt – CoAct –Variante Entsorgungszentrum 78

Tabelle 41: Verteilung der Kostenarten 83

Tabelle 42: Veränderung der Fixkosten bei verschiedenen Zinssätzen 84

Tabelle 43: Vergleich der Investitionskosten 85

Tabelle 44: Vergleich der GuV 85

Tabelle 45: Spannbreite der Investitionskosten 86

Tabelle 46: Kommunaler Nachhaltigkeitscheck für die Errichtung einer CoAct-Anlage bei der Kläranlage Kressbronn 95

Tabelle 47: Leitfragen für eine synergetische Standortwahl und Anlagenkonfiguration 102

Tabelle 48: Leitfragen für eine Output-orientierte Standortwahl und Anlagenkonfiguration 102

Abkürzungsverzeichnis

Afa	Absetzung für Abnutzung
BHKW	Blockheizkraftwerk
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DEHSt o.D.	Energiesteuerungsgesetz
EU-ETS	EU-Emissionshandelssystem
FM	Frischmasse
GaLa	Garten- und Landschaftsbau
GuV	Gewinn- und Verlustrechnung
HBEFA	Handbook Emission Factors for Road Transport
IFBB-Verfahren	Verfahren der Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion
IFEU	Institut für Energie und Umwelt
ISE	Institut für Solare Energiesysteme
KEA	kumulierter Energieaufwand
KN	Kombinierte Nomenklatur
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Mh	Maschinenstunde
N! Check	Kommunaler Nachhaltigkeitscheck
nEHS	Nationales Emissionshandelssystem
ÖPP	Öffentlich Private Partnerschaft
SDG	Sustainable Development Goals (Globale Nachhaltigkeitsziele)
t	Tonne
Voll-AK	Voll-Arbeitskraft

1 Einführung

Das Hauptziel der ökonomischen Arbeit im CoAct-Forschungsprojekt ist eine detaillierte Untersuchung der wirtschaftlichen Tragfähigkeit des CoAct-Verfahrens. Basierend darauf wurden Wege identifiziert die ökonomische Tragfähigkeit sicherzustellen. Dazu erfolgte die Entwicklung eines modularen und transparenten ökonomischen Modells, welches die Prozessschritte der Anlagenplanung sowie die Eingangsbiomassen und die erzeugten Produkte abbildet. Auf Grundlage dieses Modells wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um den Einfluss von Kosten und Erlösen auf das Gesamtverfahren zu ermitteln. Zusätzlich wurden ökonomische Auswirkungen von sich ändernden äußeren Rahmenbedingungen ermittelt und in die ökonomische Gesamtbewertung eingebunden.

1.1 Das CoAct-Verfahren

Das CoAct-Verfahren beschreibt die Verwendung von Rest-Biomassen zur Herstellung von biogener Aktivkohle. Je nach Art, ob krautige oder holzige Biomasse, kommen unterschiedliche Aufbereitungswege zur Anwendung. Die krautigen Biomassen, wie z.B. Grasschnitte, werden zunächst dem Verfahren zur Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion (IFBB-Verfahren) zugeführt (siehe Abbildung 1). Das Ziel des IFBB-Verfahrens ist es, den Aschegehalt grasartiger Biomassen zu reduzieren. Dazu werden die grasartigen Biomassen zunächst grob zerkleinert und siliert. Anschließend werden die silierten Biomassen weiter zerkleinert und für mindestens 15 Minuten mit ca. 40 °C warmen Wasser konditioniert (hydrothermale Konditionierung), 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. 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_2-Vergärung in Biogasanlagen in Biogas und anschließend in Strom und Wärme gewandelt wird, kann der Presskuchen nach einer Trocknung wahlweise als lagerfähiger Festbrennstoff oder als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Pflanzen- und Aktivkohle genutzt werden. Für das Forschungsprojekt CoAct wurde der getrocknete Presskuchen für die weitere Verarbeitung zu Aktivkohle erst homogenisiert und anschließend pelletiert. Die pelletierte Biomasse wird dann in der Pyrolyse unter sauerstoffarmen oder – freien Bedingungen und Temperaturen von bis 500 °C zu Pflanzenkohlen verarbeitet. Wie in Abbildung 1 ersichtlich, beginnt für holzige Biomassen der Verarbeitungsprozess erst mit der Pyrolyse bzw. der vorgeschalteten Zerkleinerung in Form von Holzschnitzeln, da diese nicht zuvor im IFBB-Verfahren aufbereitet werden. Im Anschluss an die Pyrolyse werden die Pflanzenkohlen mittels der Partialoxidation bei Temperaturen von bis zu 1000 °C aktiviert. Die gewonnenen Aktivkohlen können dann zu unterschiedlichen Zwecken, z.B. zur Abwasserbehandlung oder in der chemischen Industrie eingesetzt werden.

Zum einen bietet das CoAct-Verfahren die Chance ungenutzte Restbiomassen zu verwerten und somit die Wertschöpfung und Nachhaltigkeit in einer Region zu erhöhen. Zum anderen entstehen mit dem CoAct-Verfahren auch Herausforderungen, wie die Logistik, Lagerung und Sicherstellung einer ausreichenden Verfügbarkeit der Restbiomassen.

Da sich viele Faktoren des CoAct-Verfahrens, wie z.B. die Anlagenkonfiguration, die Art und Verfügbarkeit der verwendeten Biomassen, die vorhandenen Infrastrukturen und die Standortwahl, gegenseitig bedingen, kann die ökonomische Betrachtung zu einer standortangepassten Umsetzung des CoAct-Konzepts beizutragen.

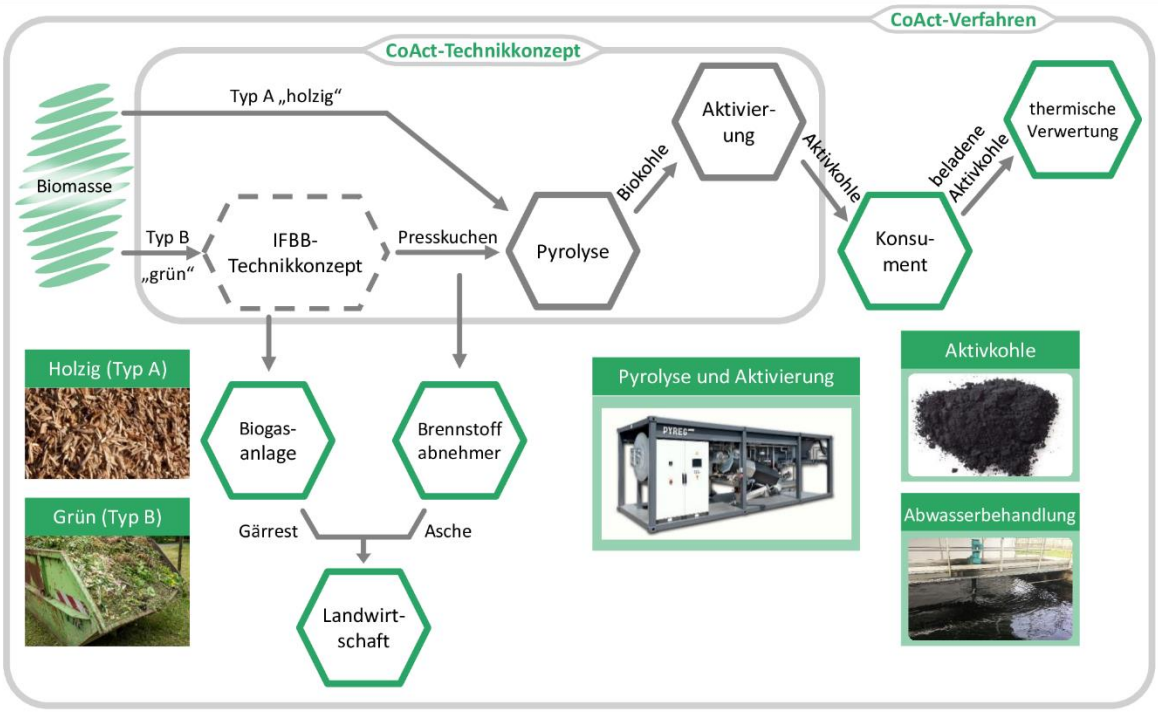


Abbildung 1: : Das CoAct-Verfahren (Quelle: Universität Kassel 2022).

1.2 Forschungsfragen

Im Rahmen der Analyse der ökonomischen Tragfähigkeit einer CoAct-Anlage ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Wie wirken sich verschiedene Standortoptionen auf die Wirtschaftlichkeit der CoAct-Anlage aus? Untersucht werden die Standorte „grüne Wiese“, Kläranlage und Wertstoffhof.
- Wie wirken sich verschiedene Anlagenkonfigurationen (mit/ohne IFBB-Modul) auf die Investitions- und prozessschrittbezogenen Kosten und Erlöse aus?
- Welchen Einfluss hat die Zusammensetzung der Biomassen auf die Kosten und Erlöse einer CoAct-Anlage?
- Inwiefern wirken sich die vorhanden Verwertungs- und Entsorgungslogistiken der Biomassen auf die Ökonomie einer CoAct-Anlage aus?
- Welche Auswirkungen hat der Betrieb einer CoAct-Anlage auf die regionale Wertschöpfung inklusive etwaiger Beschäftigungseffekte?
- Auf welchen Märkten können CoAct-Produkte vermarktet werden und inwiefern nehmen die unterschiedlichen Absatzmöglichkeiten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer CoAct-Anlage?
- Unter welchen Voraussetzungen ist eine CoAct-Anlage wirtschaftlich tragfähig?

2 Ökonomische Rahmenbedingungen

Die ökonomischen Rahmenbedingungen für den Betrieb einer CoAct-Anlage ergeben sich aus dem Marktumfeld relevanter Sektoren. Aufgrund des CoAct-Konzepts sind dies Biomassen und die Umstände bzw. Kosten ihrer Entstehung und Entsorgung. Es sind globale Aktivkohlemärkte, wobei hier sowohl fossile als auch pflanzliche Aktivkohlen miteinander konkurrieren. Darüber hinaus sind politische Regulierungen von Bedeutung. Diese wirken sich beispielsweise maßgeblich auf die Nachfrage von Aktivkohlen aus, wenn Standards für Abwasserbelastungen oder Emissionen verschärft werden. Energie-, Wärme- und CO_2-Märkte sind zudem sind bezüglich der Prozesskosten und potenzieller Erlöse relevant. Zusätzlich zum Marktgeschehen sind Förderprogramme, die Investitionen maßgeblich erleichtern können, unabhängig von der Entwicklung relevante Märkte. Wie sich diese Aspekte auf die Wirtschaftlichkeit einer CoAct-Anlage auswirken können, wird in den folgenden Unterkapiteln näher betrachtet

2.1 Aktuelle Verwertungswege und Wertschöpfungsketten ausgesuchter Biomassen

In diesem Kapitel werden die bisherigen Ergebnisse der Wertschöpfungsanalyse der Verwertungsketten von acht Biomassen erläutert, die für die Umsetzung des CoAct-Verfahrens bedeutsam sind. Untersucht wird, wie sich die Wertschöpfungsketten zum jetzigen Zeitpunkt darstellen und wie sie sich aufgrund ihres Einsatzes in einer CoAct-Anlage verändern können. Die untersuchten Biomassen sind: Maisstroh, Trester, Hopfen, Straßenbegleitgrün und Streuwiesenschnitt sowie Hochstammschnitt, Heckenschnitt und Siebüberlauf (Biogasanlagen-Biomüllverwertung). Letztere wurde aber von weiterführenden Betrachtungen aufgrund von technischen Einschränkungen bei der Verarbeitung vorerst ausgeschlossen. (Detaillierte Informationen zur Bewertung einzelner Biomassen finden sich im CoAct-Kurzbericht, Ziermann 2022).

Wichtig für das Verständnis der nachfolgenden 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. Eine akteursbezogene Betrachtung ist erst für die Governance-Arrangements (vgl. z. B Kap. 3.7.2) relevant. Gebühren o.Ä., die in 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.

Aktuell werden die Biomassen nicht in Form von Preisen/Erlösen monetarisiert. Sollte die energetische oder stoffliche Nutzung im Rahmen der Bioökonomie bzw. Kreislaufwirtschaft zunehmen, könnte die Nachfrage nach Biomassen entsprechend steigen und dadurch neue Nutzungskonkurrenzen entstehen (Lehnert et al. 2023).

Allgemeine Berechnungsgrundlagen und Kostenannahmen sind im Kapitel 2.1.1 beschrieben, gefolgt von der Beschreibung der Status Quo-Wertschöpfungsketten in Kapitel 2.1.2 Berechnungsschema, Kosten und Leistungen, die die CoAct-Anlage betreffen sind in 3.4 erläutert, die CoAct-Wertschöpfungsketten in 3.5 und folgende.

2.1.1 Berechnungsgrundlagen und Kostenannahmen für die WSK-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 sichergestellt, dass ein für die Region üblicher Nutzungsmix in der Berechnung der Wertschöpfung im Status-Quo der Biomasse-Verwertung widergespiegelt 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, solange 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. Wenn also ein positiver oder negativer Wertschöpfungseffekt ausgewiesen wird, dann ist dieser nur vor dem Hintergrund der geänderten Arbeitsschritte zu sehen. Ob die Wertschöpfungskette in ihrer Gesamtheit (von der Ernte bis hin zur Entsorgung eventueller Reststoffe) eine positive oder negative Wertschöpfung aufweist, ist nicht Teil der Untersuchung. Dasselbe Vorgehen wird bei der Ermittlung der Beschäftigungseffekte in den Wertschöpfungsketten angewendet.

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 Anwelkung, IFBB-Behandlung oder auch Pyrolyse ändern.

Die aus den Verfahrensschritten der Verarbeitung entstehenden Produkte und die Berechnung der damit verbundenen Aufwendungen (Handling, Verarbeitung etc.) und Erträge (aus dem Verkauf von Energie, Aktivkohle etc.) beziehen sich immer auf die eine Tonne Ausgangsbiomasse. Zu jeder Wertschöpfungskette gibt es eine Abbildung mit den zugrundeliegenden Be- und Verarbeitungsstufen. Mögliche Stufen sind:

- Ernte,
- Logistik I (Abtransport vom Feld),

- Zwischenlagerung / Bündelung
- Logistik II (Abtransport vom Zwischenlager),
- Verwertung
- Logistik / Vertrieb (Logistik zum Verkauf des Endprodukts).

Sind in einer Wertschöpfungskettenberechnung eine oder mehrere Stufen nicht relevant, sind sie in den zugehörigen Tabellen (vgl. Kapitel 2.1.2, 3.5 und 4.1.8) grau hinterlegt.

Die zugrundeliegenden Annahmen zu Kosten und Zeitbedarfen stammen zu einem großen Teil aus der KTBL-Webanwendung „Maschinenkosten und Reparaturkosten“ (KTBL 2021a), sowie aus anderen Quellen des KTBL (z.B. Faustzahlen für die Landwirtschaft (KTBL 2018), Webanwendung „Feldarbeitsrechner“ (KTBL 2021b)). In manchen Fällen wurde auch auf andere Literaturangaben zurückgegriffen.

Weitere verwendete Quellen, gerade was Spezialmaschinen betrifft, sind Hersteller- und Akteursangaben. Waren keine Angaben erhältlich, erfolgte eine Schätzung der entsprechenden Parameter. Da die Berechnungen zu einem Zeitpunkt vor der Ukraine-Krise und Energiekrise durchgeführt wurden, sind die Annahmen zu einigen Kosten vor allem für das IFBB-Verfahren unterschätzt. Die Investitions- und Energiekosten für die Pyrolyse enthalten dagegen entsprechende Preissteigerungen zum Stand 4. Quartal 2023. Um die ökonomischen Auswirkungen von Preis- und Kostenschwankungen abzubilden, wurde in Kapitel 5 eine Sensitivitätsanalyse mit verschiedenen Preis- und Kostenszenarios durchgeführt. So können Auswirkungen von heute nicht absehbaren Preissteigerungen betrachtet und in weitere Überlegungen einbezogen werden.

Die folgenden Kosten- und Leistungskomponenten werden mehr im Detail erläutert, da sie entweder für alle Wertschöpfungsketten relevant sind oder in mehreren Ketten eine wichtige Komponente darstellen:

- Dieselkosten: Abweichend von den Angaben in KTBL (0,70 EUR/l) wird für alle Berechnungen ein Dieselpreis von 1,30 EUR/l angesetzt. Sofern die ausführenden Akteure Landwirt:innen sind, wird davon die Agrardieselvergütung von 0,2148 EUR/l in Abzug gebracht.
- Dieselverbrauch: Abweichend von den Angaben in KTBL wurden Verbräuche von Lastkraftwagen aus der HBEFA 3.3-Datenbank entnommen, die nach Kurz-, Mittel- und Langstrecken unterteilt sind (siehe Ausführungen des ifeu dazu in MS 16).
- Personalkosten:
  - 20 EUR/h Opportunitätskostenansatz für Landwirtinnen und Landwirte,
  - 30 EUR/h Stundenlohn für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von landwirtschaftlichen Dienstleistungsunternehmen und reinen Transportunternehmen,
  - 45 EUR/h Stundenlohn für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Garten- und Landschaftsbau-Unternehmen (GaLa-Unternehmen), Entsorgungszentren/Annahmestellen, Straßenbauamt.
- Erträge und Kosten für Biogasanlagen im Status Quo: Für die Stromgestehungskosten und Einspeisevergütungen der bestehenden Biogasanlagen, die in den Status Quo Wertschöpfungsketten zum Einsatz kommen, werden standardisierte Angaben verwendet. Angaben aus dem Leitfaden Biogas der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR 2016) wurden auf der Kostenseite verwendet, eine Mischkalkulation aus Einspeisevergütungen des EEG 2009 auf der Ertragsseite.

Ein weiterer, wichtiger Grundsatz für die Berechnungen der Wertschöpfungsketten ist im Zweifelsfall die Wahl eines konservativen Ertrags- und Kostenansatzes. Bei einer unklaren Datenlage werden immer Kosten- oder Ertragsannahmen verwendet, die die CoAct-Wertschöpfungsketten nicht zu sehr begünstigen. Hintergrund dafür ist, dass eventuelle Kostenpositionen, die nicht hinreichend bekannt sind und Ertragsrisiken nicht zu positiv bewertet werden.

2.1.2 Bestehende Wertschöpfungsketten in der Region

Trester

Der Trester ist ein Nebenprodukt der Weinerzeugung und fällt beim Auspressen der Trauben auf dem Betriebsgelände der Winzer bzw. von Winzergenossenschaften an. Der Trester besteht hauptsächlich aus der Beerenhaut (Schale) und den Kernen. Teilweise sind die Rappen (Beerenstrünke) auch Teil des Tresters. Das hängt davon ab, ob die beiden Restbiomassen (Trester i.S.v. Beerenresten einerseits und Rappen andererseits) beim Abbeeren (Abrebeln) und Auspressen getrennt werden, oder - wie bei manchen Rotweinen – die Rappen für einen höheren Tannin- und Aromengehalt noch in der Maische belassen werden.

Im Status Quo wird der Trester von den befragten Akteuren bisher auf zwei unterschiedliche Arten verwendet. Ein Teil der Akteurinnen und Akteure bringt den Trester als Düngung (teilweise auch zusammen mit den Rappen) wieder auf die Weinberge aus. Dabei fallen Kosten für den Transport zu einem Lagerplatz in der Nähe der Weinberge an, von wo ein Weinbergstreuer (Schmalspurstreuer) den Trester auf die Fläche verteilt. Die zweite Verwendungsschiene ist der Transport in eine Biogasanlage mittels Container-LKW. Diese Verwertungsschiene war bereits in der Vergangenheit von einem anderen befragten Akteur genutzt worden, allerdings stellte die Biogasanlage die Zusammenarbeit nach einigen Jahren wieder ein. Insgesamt ist die energetische Nutzung also durchaus eine bekannte Option für die Winzerbetriebe und –genossenschaften, es mangelt aber bisher an der Aufnahmebereitschaft durch die Biogasanlagenbetreiber.

Für die Berechnungen im Status Quo wird basierend auf Befragungsergebnissen davon ausgegangen, dass 57 % des anfallenden Tresters in den Weinbergen ausgebracht werden und der Rest von 43 % in einer Biogasanlage verwertet wird. Entsprechend ist die Gewichtung der Kosten und Erträge pro Tonne Biomasse in diesem Verhältnis für die Berechnung festgelegt.

Mehrere Arbeitsgänge werden sich in der CoAct-Wertschöpfungskette ändern und müssen daher im Status Quo rechnerisch berücksichtigt werden. Zum einen fallen im Status Quo Transportkosten zur Biogasanlage für 43 % des Tresters an und zum anderen werden 57 % des Tresters zum Lagerplatz in Nähe der Weinberge transportiert und dort ausgebracht. In einer entsprechenden Mischkalkulation entstehen dadurch Transportkosten (inkl. Arbeitszeit) von 5,98 EUR/t. Die Tresterausbringung im Weinberg verursacht Kosten in Höhe von 12,98 EUR/t, während in der Biogasanlage ein energetischer Nutzen von 3,92 EUR/t und ein Düngeräquivalent von 5,24 EUR/t entsteht. Letzteres resultiert aus dem Gärrest der Biogasanlage, der wieder auf Felder als Düngung ausgebracht wird. (Das Düngeräquivalent des Tresters im Weinberg wird in der CoAct-Wertschöpfungskette berücksichtigt.) Insgesamt ergibt das eine negative Wertschöpfung von 9,79 EUR/t Trester.

Im Gegensatz zur ökologischen Bewertung des ifeu wird die Ausbringung des Gärrests aus der Biogasanlage hier nicht weiter thematisiert und quantifiziert, da davon ausgegangen wird, dass bei einem alternativen Einsatz der Biomasse in einer CoAct-Anlage noch genügend andere Biomassen für die im Status Quo genutzte Biogasanlage in der Region zur Verfügung stehen. Diese führen zu einem Gärrest, der wie zuvor auf Flächen ausgebracht wird. Eventuelle Unterschiede im Düngerwert können nicht quantifiziert werden.

Tabelle 1: Wertschöpfung Tester - Status Quo

Wertschöpfung Trester - Status Quo

Wert-schöpfung (EUR/t BM)	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung	Quelldaten
	Ernte	entfällt	Der Trester entsteht bei der Verarbeitung der Trauben auf dem Winzerhof. Die eigentliche Traubenernte wird hier nicht weiter betrachtet.
	Logistik I	entfällt	Der Transport der Trauben zum Winzerhof wird ebenfalls nicht berücksichtigt.
	Bündeler / Zwischenlager	entfällt	Das Zwischenlager ist im Grunde die Betriebsstelle des Winzers oder der Winzergenossenschaft, wo die Trauben gepresst werden.
-5,98 €	Logistik II	43 % Transportkosten Biogasanlage (gewichtet) 3,46 EUR/t 57 % Transportkosten Lagerplatz (gewichtet) 2,51 EUR/t Transportkosten gesamt 5,98 EUR/t	Quelle: KtBL 2016-2018
3,19 €	Verarbeitung / Ausbringung	Anteil in % / Gewinn in € Nutzung in Biogasanlage 43 % 3,92 € Düngeräquivalent 43 % 5,24 € Anteil in % / Kosten in € Tresterausbringung im Weinberg 57 % 12,98 €	Biogasanlage 250 kW Stromgestehungskosten pro kWh 0,1318 €/kWh Einspeisevergütung pro kWh 0,21 €/kWh Strom / Jahr (pro t Trester) 116,49 kWh/a Stromgestehungskosten pro Jahr 15,35 €/a Einspeisevergütung pro Jahr 24,43 €/a Differenz 9,07 €/a Quelle: https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/ GNR, Universität Kassel
-9,79 €			
	Logistik / Vertrieb		

Hopfenhäcksel

Bei der Ernte des Hopfens wird der größte Teil der Pflanze vom Strunk entfernt und zur Hofstelle gebracht. Dort werden die Hopfendolden mechanisch vom Hopfenkraut getrennt. Das gehäckselte Hopfenkraut stellt die Restbiomasse dar, die potenziell in einer CoAct-Anlage verwertet werden könnte. Im Status Quo sind derzeit für den Bodenseekreis zwei Verwertungsmöglichkeiten bekannt. Zum einen wird bei der mechanischen Trennung von den Dolden das Hopfenkraut direkt auf der Hofstelle in einen Container geleitet, der dann zu einer Biogasanlage gebracht wird. Der Container wird zeitnah zur Biogasanlage transportiert, so dass davon ausgegangen wird, dass Frischmasse transportiert wird.

Die zweite Verwertungsmöglichkeit, die weitaus stärker verbreitet ist, ist die Kompostierung des Hopfenkrautes in Hofnähe und die anschließende Ausbringung in den abgeernteten Hopfengärten. Die Rotte beträgt oft weniger als drei Monate. Dabei besteht allerdings die Gefahr, dass mit dem ausgebrachten angerotteten Kraut Krankheitserreger (v.a. die Hopfenwelke) auf das Feld verteilt werden, die im nächsten Jahr dem neuen Aufwuchs schaden könnten. Aus diesem Grund besteht eine Bereitschaft der Hopfenproduzenten, diese Restbiomasse für eine anderweitige Verwertung abzugeben. Bei der Ausbringung des Kompostguts können relativ große Maschinen (Traktor mit Kompost- bzw. Dungstreuer) zum Einsatz kommen, da die Rankdrähte (Rankhilfen) auf den Hopfenfeldern zu diesem Zeitpunkt bereits abgebaut sind.

Ein Problem für die weitere Verwertung stellen die Drahtüberreste im Hopfenkraut dar. Beim Erntevorgang wird der geerntete Pflanzenteil (Dolden und Kraut) mitsamt dem Draht, an dem die Pflanze emporwächst, abgetrennt und abgefahren. Beim Häckseln wird der Draht mit-zerkleinert. Entsprechend sind die Drahtüberreste dem Häckselgut beigemischt. Dies stört sowohl bei der Ausbringung im Hopfengarten als auch in der Biogasanlage.

Für die Berechnung der Status Quo-Wertschöpfungskette wird die Nutzung der Biomasse in der Biogasanlage mit 20 % gewichtet, die Ausbringung im Hopfengarten mit 80 %. Die Hopfenstrünke, die bei der Ernte auf dem Feld verbleiben (Wurzelstock und Ernteüberreste) werden nicht in die Berechnungen miteinbezogen.

Zum einen sind Arbeits- und Maschinenkosten für die Kompostierung des Hopfens (Umsetzen, Wenden) mit 0,92 EUR/t anzusetzen (für 0,8 t), sowie Transportkosten zur Biogasanlage in Höhe von 1,28 EUR/t Biomasse (für 0,2 t) zu berücksichtigen. Die Nutzung des Hopfens in der Biogasanlage sowie das daraus entstehende Gärsubstrat als Dünger ergibt eine positive Wertschöpfung von insgesamt 4,16 EUR/t. Der Ausbringungsprozess des kompostierten Hopfens ab Hof wird in der Status Quo-Wertschöpfungskette mit Kosten von 3,41 EUR/t Biomasse (bezogen auf Frischmasse) ebenfalls berücksichtigt. (Das Düngeräquivalent des Hopfens im Hopfengarten wird in der CoAct-Wertschöpfungskette berücksichtigt.) Insgesamt ergibt dies für eine Tonne Hopfenhäcksel eine negative Wertschöpfung von 1,45 EUR.

Im Gegensatz zur ökologischen Bewertung des ifeu wird die Ausbringung des Gärrests aus der Biogasanlage hier nicht weiter thematisiert und quantifiziert, da davon ausgegangen wird, dass bei einem alternativen Einsatz der Biomasse in einer CoAct-Anlage noch genügend andere Biomassen für die im Status Quo genutzte Biogasanlage in der Region zur Verfügung stehen. Diese führen zu einem Gärrest, der wie zuvor auf Flächen ausgebracht wird. Eventuelle Unterschiede im Düngerwert können nicht quantifiziert werden.

Tabelle 2: Wertschöpfung Hopfenhäcksel – Status Quo

Wertschöpfung Hopfenhäcksel - Status Quo

Wertschöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung	Quelldaten
	Ernte	entfällt Der Hopfenhäcksel wird mit den Hopfendolden gemeinsam geerntet.	KTBL 2016-2018 (Feldarbeitsrechner, Maschinenkostenkalkulation) Bericht zur Potential- und Statusanalyse [...], Bodenseestiftung, BSK, Stadt FN Hopfen 2015 (Grünes Heft), LfL
	Logistik I		Der Hopfenhäcksel wird mit den Hopfendolden zur Betriebsstelle transportiert.
-0,92 €	Bündeler / Zwischenlager	Betrifft 80% der FM: Kompostierung Hopfenhäcksel (gewichtet 0,92 EUR/t	Umsetzung / Wenden
-2,20 €	Logistik II	betrifft 20% der FM: Transportkosten Biogasanlage (gewichtet) 1,28 EUR/t	
1,96 €	Verarbeitung / Ausbringung	Anteil in % / Gewinn in € Nutzung in Biogasanlage 20 % 2,56 EUR/t Düngeräquivalent Gärsubstr 20 % 1,60 EUR/t Anteil in % / Kosten in € Kompost-Ausbringung im Hopfengarten ab Hof 80 % 3,41 EUR/t	Biogasanlage 250 kW Stromgestehungskosten pro kWh 0,1318 €/kWh Einspeisevergütung pro kWh 0,21 €/kWh Strom / Jahr (pro t Hopfenhäcksel) 164,13 kWh/a Stromgestehungskosten pro Jahr 21,63 €/a Einspeisevergütung pro Jahr 34,42 €/a Differenz 12,78 €/a
-1,45 €			
	Logistik / Vertrieb		

Straßenbegleitgrün

Der Status Quo des bisherigen Straßenbegleitgrünschnitts umfasst sogenannte Bankettflächen am Straßenrand, extensive Straßenbegleitflächen (vor allem an Böschungen) sowie Zwischenflächen an Auffahrten, entlang von Fahrradwegen und sonstige Straßenbegleitflächen. Je nach Aufwuchs und Notwendigkeit für die Straßenverkehrssicherheit werden die Flächen ein- bis dreimal im Jahr gemulcht. Man unterscheidet danach entsprechend auch zwischen Intensiv- und Extensivflächen. Dabei kommen zum einen drei kreiseigene Straßenmeistereien des Bodenseekreises zum Einsatz, wie auch Dienstleistungsbetriebe, die in einer jährlichen Ausschreibung ausgewählt werden.

Die Mahd wird bisher per Unimog mit Anbaumulcher, einem sog. „Mähzug“, durchgeführt bzw. auf Flächen mit schwierigerem und feuchterem Terrain wird eine Mähraupe eingesetzt.

Neben der Mahd fällt noch ein weiterer Arbeitsvorgang an: das Fräsen des Banketts. Etwa alle zehn Jahre muss das Straßenbankett auf einer Breite von einem Meter abgefräst werden. Dabei wird ca. die

Hälfte des Materials per Fräse am Straßenrand verteilt, ein Viertel zwischengelagert und wieder eingebaut und ein Viertel auf einer Deponie entsorgt. Zum Einsatz kommt bei dem Fräsvorgang ein Traktor mit Anbaufräse.

Da zurzeit nur Teile des gefrästen Materials von der Fläche abtransportiert werden, aber der Grasschnitt bisher liegen bleibt, sind lediglich Annahmen zu einem möglichen Abtransport dieses Materials möglich, basierend auf Experteneinschätzungen, Angaben von Herstellern von entsprechenden Absaugvorrichtungen und Beispielen aus anderen Landkreisen.

Laut den Angaben verschiedener Ansprechpartner im Bodenseekreis, ändern sich die Bergungsarbeiten zwar hinsichtlich der eingesetzten Maschinen in der CoAct-Wertschöpfungskette, allerdings wird davon ausgegangen, dass die An- und Abfahrten sowie die Bergungszeiten- und Betriebskosten auch mit anderen Maschinen in etwa gleichbleiben. Daher wird im Status Quo keine Berechnung ausgewiesen.

Tabelle 3: Wertschöpfung Straßenbegleitgrün – Status Quo

Wertschöpfung Straßenbegleitgrün - Status Quo		
Hauptprozess	**Inputdaten Wertschöpfung**	**Quelldaten**
Ernte	entfällt. Die Straßenbegleitgrünflächen werden nur gemulcht.	Laut den Angaben verschiedener Ansprechpartner im Bodenseekreis, ändern sich die Bergungsarbeiten zwar hinsichtlich der eingesetzten Maschinen in der CoAct-Wertschöpfungskette, allerdings wird davon ausgegangen, dass die An- und Abfahrten sowie die Bergungszeiten- und kosten auch mit anderen Maschinen gleich bleiben. Daher wird im Status Quo keine Berechnung ausgewiesen. Quelle: Befragung durch BSK / Stadt FN
Logistik I	entfällt	
Bündeler / Zwischenlager	entfällt	
Logistik II	entfällt	
Verarbeitung	entfällt	
Logistik / Vertrieb	entfällt	

Streuwiesenschnitt

Der Streuwiesenschnitt ist in Hinsicht auf die Ernteprozesse und die daraus resultierenden Produkte die wahrscheinlich diversifizierteste Wertschöpfungskette. Es wurden vier Akteure befragt (aus einem landwirtschaftlichen Betrieb, einem landwirtschaftlichen Dienstleistungsunternehmen und zwei GaLa-Unternehmen), die jeweils ein bis drei verschiedene Ernteprozesse bzw. Produkte beschreiben.

Die Flächen sind ein- bis zweischürig, d.h. sie werden ein bis zweimal pro Jahr gemäht. Nach der Mahd und dem Schwaden werden dann entweder Ballen gepresst oder das lose Schnittgut bzw. Anwelkgut wird abtransportiert. Das lose Schnittgut wird bei einem Akteur nach der Trocknung noch auf der Hofstelle zu Ballen gepresst und ab Hof verkauft, da sich das Feld nicht für das Befahren mit der Ballenpresse eignet. Bei den Ballen ab Feld werden die Ballen vor Ort gepresst und können dort von anderen Landwirtinnen und Landwirten abgeholt werden. Aus dem losen Schnittgut, das nicht zu Ballen verarbeitet werden kann, wird außerdem Kompost oder lose Einstreu. Die Kompostierung findet teilweise bei anderen Landwirten statt, mit invasiven Arten belastetes Schnittgut wird in ein Verwertungszentrum gebracht. Schnittgut, das mit Holz vermischt ist, wird zur Deponie abgefahren. Ein weiterer Akteur liefert das Schnittgut, das bei Aufträgen für die Stadt Friedrichshafen anfällt, auf stadteigenen Flächen (Fallenbrunnen) ab. Einer der Akteure machte auch Angaben zur weiteren Verwertung des losen Schnittgutes bei den Landwirtinnen und Landwirten, die dieses Material abholen. Es wird zumeist als Einstreu verwendet oder als Kompost auf dem Acker bzw. in Obstanlagen eingebracht. Zunehmend wird das Material auch pelletiert, um es als Einstreu in der Pferdehaltung zu nutzen. Für die Abholung wird den Landwirten vier bis fünf EUR/m³ als Aufwandsentschädigung gezahlt, d.h. diese Kosten fallen bei dem erntenden Akteur an.

Bei den Erntevorgängen werden diverse Maschinen und Geräte je nach Akteur und Flächenbeschaffenheit eingesetzt. Dazu gehören unter anderem Pritschenwagen mit Anhänger, Traktor, Mähraupe, Aufsitzmäher, Balkenmäher und Traktor mit Trommelmähwerk sowie Ladewagen und Ballenpresse. Je nach Flächenbeschaffenheit und Gestaltung der Pflegeverträge wird auch noch Handarbeit eingesetzt.

Für die Berechnungen der Wertschöpfungsketten wird nur der Teil des Streuwiesenschnitts betrachtet, der bisher als loses Schnittgut von den Flächen geholt wird, abzüglich des Teils, der deponiert wird (nähere Erläuterungen dazu siehe CoAct Streuwiesenschnitt). Die Kosten werden entsprechend der Anteile an dieser Biomasse gewichtet.

Für den Abtransport des Schnittgutes, für die Kompostierung und die Ballenpressung fallen in einer Mischkalkulation insgesamt Kosten von 10,68 EUR/t an, zuzüglich der anfallenden Kosten in Entsorgungszentren und der Aufwandsentschädigung für die Landwirte. Allerdings werden die beiden letztgenannten Posten unter der Rubrik „Verarbeitung“ wieder als Erträge gegengerechnet, da die Wertschöpfung in der Region verbleibt. Da der Streuwiesenschnitt im Status Quo entweder in die Kompostierung geht oder als Einstreu verwendet wird, ist ein entsprechender Düngerwert dafür angesetzt. Dabei wird auch die Einstreu mitberücksichtigt, da diese zusammen mit dem Wirtschaftsdünger auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ausgebracht wird (Wert des Düngeräquivalents 8,45 EUR/t FM). Ausbringungskosten werden hier allerdings nicht mehr betrachtet, da zum einen die Ausbringung auf verschiedenen Feldern mit unterschiedlichstem Gerät stattfindet, so dass ein entsprechender Kostenansatz schwierig wird. Zum anderen wird der Kompost bzw. Einstreu in der CoAct-Variante wahrscheinlich aus anderen Quellen bezogen, so dass die Ausbringung die gleiche sein wird. Der Düngerwert und der Ertrag aus dem Verkauf der Einstreuballen von 10,78 EUR/t führen letztlich zu einer positiven Wertschöpfung von 8,55 EUR/t.

Tabelle 4: Wertschöpfung Streuwiesen – Status Quo

Wertschöpfung Streuwiesen - Status Quo

Wertschöpfung pro t/Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung			Quelldaten
	Ernte	entfällt			Gesamtvolumen verfügbarer Biomasse der befragten Akteure (Grünschnitt) 1.380 t/a davon für CoAct verfügbar 1.039 t/a Quelle: Befragung durch Bodenseestiftung
-23,83 €	Logistik I	Transportkosten gesamt	7,26	EUR/t	Die Kosten, die bei der Entsorgung bzw. Abholung durch Landwirte entstehen, werden im Bereich Verarbeitung wieder kompensiert, da sie in der Region verbleiben. Quelle: Befragung durch BoSti KTBL Datensammlung Landschaftspflege 2005 / KTBL Webanwendungen 2016-2018
		Kosten Entsorgungszentrum/Abholung d. Landwirte	13,15	EUR/t	
		Kosten Kompostierung	2,82	EUR/t	
		Kosten Ballenpressung	0,61	EUR/t	
		Gesamtkosten	**23,83**	**EUR/t**	
	Bündeler / Zwischenlager	entfällt			
	Logistik II	entfällt			
	Verarbeitung / Ausbringung	Ertrag Entsorgungszentrum/Entschädigung d. Landwirte	13,15	EUR/t	
-2,23 €		Düngeräquivalent f. Kompost und Einstreu	8,45	EUR/t	Düngeräquivalent auf Basis von Grünkompost
8,55 €	Logistik / Vertrieb	Ertrag aus Verkauf von Einstreuballen	10,78	EUR/t	

Maisstroh

Bei der Ernte von Körnermais werden in der Regel nur die Körner geerntet bzw. bei Corn-Cob-Mix der gesamte Maiskolben. Der größte Teil der Maispflanze bleibt als sogenanntes Maisstroh bzw. sogenannter Maishäcksel zerkleinert auf dem Feld zurück und wird im Rahmen der Bodenbearbeitung für die nächste Aussaat in den Boden eingearbeitet (z.B. untergepflügt). Das dient der Humusbildung und auch der Düngung. Derzeit wird im Bodenseekreis kein Maisstroh geerntet, d.h. ein solches Ernteverfahren wäre neu in der Region. Dementsprechend ist im Status Quo ein Wert von null EUR und keine Arbeitszeit anzusetzen, da selbst bei einer alternativen Abernte von Maisstroh die bisherigen Arbeitsschritte bestehen bleiben.

Tabelle 5: Wertschöpfung Maishäcksel – Status Quo

Wertschöpfung Maishäcksel- Status Quo		
Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung	Quelldaten
Ernte		Eine Maisstrohernte findet im Status Quo bisher nicht statt. Die Pflanzenreste bleiben nach der Körnermaisernte gehäckselt auf dem Feld zurück und werden untergepflügt. Quelle: Befragungen der Bodensee-Stiftung
Logistik I	entfällt	
Bündeler / Zwischenlager	entfällt	
Logistik II	entfällt	
Verarbeitung	entfällt	
Logistik / Vertrieb	entfällt	

Hochstammschnitt

Beim Hochstammschnitt werden Obstbäume (zumeist ältere, bzw. hochwachsende Bäume; keine Intensiv-Obstanlagen) im Abstand von mehreren Jahren i.d.R. von Landwirtinnen und Landwirten geschnitten. Das Schnittmaterial kann dabei von dünnen Zweigen bis stärkeren Ästen im Durchmesser variieren. Das dünnere Material (oft der Großteil des Schnittgutes) wird auf dem Feld verbrannt, der Rest aus stärkeren Ästen entweder privat als Brennholz verwendet oder zu Hackschnitzel verarbeitet (Verkauf oder private Nutzung). Von einem Akteur wurde als Verwendung auch die Abgabe an eine sogenannte „Funkengruppe“ genannt. Es handelt sich dabei um regionales Brauchtum und wird in den nachfolgenden Berechnungen nicht berücksichtigt. Ebenso wird der Hackschnitzelanteil nicht berücksichtigt.

Für die Berechnungen wird davon ausgegangen, dass ca. die Hälfte des anfallenden Schnittgutes auf dem Feld verbrannt und die andere Hälfte als Brennholz verwendet wird. Entsprechend werden die Kosten für die beiden Verwertungen gewichtet.

Das Verbrennen wird kostenmäßig mit einer Arbeitsstunde/t berücksichtigt, auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass parallel andere Arbeiten auf dem Feld verrichtet werden. Das Zusammentragen des Holzes auf eine Stelle, entweder zum Abtransport oder zum Verbrennen ist eine Arbeit, die auch bei einer alternativen Verwertung in einer CoAct-Anlage vorausgesetzt wird. Daher wird diese Arbeit wertmäßig nicht berücksichtigt.

Zeitlich wird das Sägen und Spalten zu Brennholz mit Opportunitätskosten von 20 EUR/h berücksichtigt, da sehr viel Handarbeit damit verbunden ist. Ebenso wird der Abtransport zeitlich und energetisch (Diesel/Benzin) berücksichtigt. Der energetische Aufwand für Motorsäge und Holzspalter hingegen ist aus Kostensicht vernachlässigbar.

Die Arbeiten auf dem Feld (Produktion des Brennholzes bzw. die Verbrennung) generieren Personalkosten von 85,12 EUR/t. Hinzukommen Transportkosten des Brennholzes von 2,28 EUR/t. Der Gegenwert des Brennholzes (Weichholz, gescheitet) beläuft sich auf 64,50 EUR/t Hochstammschnitt. Dies ergibt eine negative Wertschöpfung von 22,90 EUR/t.

Tabelle 6: Wertschöpfung Hochstammschnitt – Status Quo

Wertschöpfung Hochstammschnitt - Status Quo

Wertschöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung			Quelldaten
-85,12 €	Ernte	Produktion Brennholz	75,12 €/t	0,5 t	Quelle: Befragung durch Stadt FN / BSK
		Verbrennung auf Feld	10,00 €/t	0,5 t	
		Personalkosten gesamt	**85,12 €/t**	1,0 t	
-87,40 €	Logistik I	Transportkosten PKW/Traktor mit Anhänger	0,88 €/t		Quellen: ADAC 2020 KTBL 2018
		Transportkosten Zeitaufwand	1,40 €/t		
		Summe (nur Brennholz)	**2,28 €/t**		
	Bündeler / Zwischenlager				
	Logistik II				
-22,90 €	Verbrennung im Privatofen	eingesparte Kosten:	64,50 €		(Fichtenholz/Weichholz; frisch geschlagen, bereits ofenfertig zugeschnitten) Quelle: https://kf-brennholz.de/Preise/
	Logistik / Vertrieb				

Heckenschnitt

Der Heckenschnitt ist holziger Grünabfall, der von diversen Dienstleistern sowie Privatpersonen an die drei Entsorgungszentren Friedrichshafen-Weiherberg, Überlingen-Füllenweid, und Tettnang-Sputenwinkel angeliefert wird. Bei Anlieferung des Heckenschnitts an diese Entsorgungszentren werden vom Bodenseekreis 65 EUR/t (netto: 54,62 EUR/t) für Grünschnittmaterial als Verwertungsgebühr erhoben. Dieses Vorgehen findet im Status Quo als auch in der CoAct-Wertschöpfungskette statt, solange ein Entsorgungszentrum als Bündeler in Erscheinung tritt. Daher werden diese Kosten in den Berechnungen der Wertschöpfungsketten nicht weiter berücksichtigt. Auf den Entsorgungszentren wird das

Material dann durch einen Dienstleister übernommen, der dieses derzeit an ein Biomasse-Heizwerk (Biomasse-HW) absetzt und die Feinanteile kompostiert.

Dadurch entstehen Transportkosten von 26,22 EUR/t für die Lieferung an das Biomasse-HW durch das entsprechende Entsorgungszentrum. Aus dem Strom- und Wärmegewinn abzüglich der Stromgestehungskosten entsteht ein Überschuss von 74,24 EUR/t Heckenschnitt, so dass insgesamt eine positive Wertschöpfung im Status Quo von 48,02 EUR/t entsteht.

Tabelle 7: Heckenschnitt/holziger Grünabfall – Status Quo

Heckenschnitt/holziger Grünabfall - Status Quo			
Wertschöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung	Quelldaten
	Ernte		
	Logistik I	Anliefgerungsgebühr erhoben vom BSK (netto) 54,62 €/t inkl. Sammlung in Wertstoffhöfen und Weitertransport an Entsorgungsfachzentren	Bei Anlieferung werden vom BSK 65 €/t (netto: 54,62 €/t) für Grünschnittmaterial erhoben. Dieses Vorgehen findet im Status Quo als auch in der CoAct-Variante statt, solange das EFZ als Bündeler in Erscheinung tritt, daher werden diese Kosten hier nicht weiter berücksichtigt.
	Entsorgungszentren		
-26,22 €	Logistik II	Transportkosten 26,22 €/t	kostenlose Abgabe an Biomasse-HW, Transportkosten werden vom Dienstleister getragen
48,02 €	energetische Nutzung	Stromgestehungskosten pro t 137,62 €/t Einspeisevergütung pro t 166,52 €/t Wärmeverkauf pro t 45,34 €/t Differenz 74,24 €/t	Biomasse-Heizwerk Stromgestehungskosten pro kWh 0,15 €/kWh Einspeisevergütung pro kWh 0,18 €/kWh Preis Wärmeverkauf 0,03 €/kWh Wärmeabgabe pro t Hackschnitzel 1.511,18 kWh/t Strom pro t Hackschnitzel 917,46 kWh/t
	Logistik / Vertrieb		

Siebüberlauf (Biogasanlagen-Biomüllverwertung)

Der Siebüberlauf ist die holzige Biomasse, die in der Biogasanlage Amtzell als Strukturbeigabe zum Gärsubstrat dient. Dieses besteht zu einem Großteil aus im Bodenseekreis gesammeltem Bioabfall von Privathaushalten. Aus dem trockenen Gärrest wird diese Strukturbeigabe wieder herausgesiebt und an ein Biomasse-HW zur Verwertung geliefert.

Die Wertschöpfung im Status Quo für den Biogasanlagen-Siebüberlauf ist im Ablauf und den Kostenpositionen mit dem Heckenschnitt fast identisch. Lediglich die Transportkosten sind um 5,14 EUR/t geringer, da die Biomasse aus der Biogasanlage Amtzell angeliefert wird und die Entfernung zum Biomasse-Heizkraftwerk daher etwas kürzer ist. Auch der Ertrag der energetischen Nutzung fällt etwas geringer aus. Insgesamt ergibt sich eine positive Wertschöpfung von 48,35 EUR.

Tabelle 8: Siebüberlauf Biomüllverwertung – Status Quo

Siebüberlauf Biomüllverwertung- Status Quo			
Wertschöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Ökobilanzierung	Quelldaten
	Ernte		
	Logistik 1	Anliefergerungsgebühr erhoben vom BSK (netto) 54,62 €/t inkl. Sammlung in Wertstoffhöfen und Weitertransport an Entsorgungsfachzentren	Bei Anlieferung werden vom BSK 65 €/t (netto: 54,62 €/t) für Grünschnittmaterial erhoben. Dieses Vorgehen findet im Status Quo als auch in der CoAct-Variante statt, daher werden diese Kosten hier nicht weiter berücksichtigt.
-35,00 €	Biogasanlage (Bündeler)	Abgabekosten an Biomasse-HW* 35,00 €/t	
-56,08	Logistik II	Transportkosten 21,08 €/t	
48,35	energetische Nutzung	Stromgestehungskosten pro t 125,26 €/t Einspeisevergütung pro t 151,57 €/t Wärmeverkauf pro t 43,12 €/t Differenz 69,43 €/t Abgabeerträge (erhoben bei Anlieferung)* 35,00 €/t	Biomasse-Heizwerk Stromgestehungskosten pro kWh 0,15 €/kWh Einspeisevergütung pro kWh 0,18 €/kWh Preis Wärmeverkauf 0,03 €/kWh Wärmeabgabe pro t Hackschnitzel 1.437,34 kWh/t Strom pro t Hackschnitzel 835,06 kWh/t Stromgestehungskosten pro t 125,26 €/t Einspeisevergütung pro t 151,57 €/t Wärmeverkauf 43,12 €/t Differenz 69,43 €/t * Das Biomasse-HW erhebt 35 €/t für den mit Plastik u.ä. verunreinigten Siebüberlauf. In der Biogasanlage Amtzell fällt dieser Betrag als Kosten und im Biomasse-HW als Ertrag an, er kürzt sich also entlang der WSK heraus.
	Logistik / Vertrieb		

2.2 Die Bedeutung des globalen Aktivkohlemarkts für die Wirtschaftlichkeit des CoAct-Verfahrens

Die CoAct-Aktivkohle muss sich im Wettbewerb mit fossiler Aktivkohle oder importierter Pflanzenaktivkohle behaupten. Bei den importierten Aktivkohlen ist die Zurückverfolgbarkeit und Sicherstellung sozialer und ökologischer Standards jedoch kaum möglich. Darüber hinaus haben sich die Lieferketten in der Corona-Krise oder während der Blockade des Suez-Kanals als äußerst anfällig erwiesen. Nichtsdestotrotz spielt der Preis eine zentrale Rolle im Wettbewerb um Marktanteile, so lange nicht davon

ausgegangen werden kann, dass Betreibergesellschaften von Kläranlagen bereit sind für eine regional produzierte Aktivkohle einen Aufpreis zu bezahlen. Somit ist der Weltmarktpreis für Aktivkohle maßgeblich für die Erlöse, die mit einer CoAct-Aktivkohle erzielt werden können.

Der Preis auf dem Weltmarkt hängt wiederum von Angebot und Nachfrage nach Aktivkohle ab. Darum werden im Folgenden Entwicklungen diskutiert, die sich auf die Nachfrage bzw. den Weltmarktpreis von Aktivkohle auswirken. Inwiefern eine vorgestellte Entwicklung einen anderen diskutierten Effekt überwiegt, kann dabei nicht abgeschätzt werden. Dennoch können die einzelnen Entwicklungstendenzen dazu genutzt werden, um das Marktumfeld für eine CoAct-Aktivkohle zu beschreiben und Perspektiven einzuordnen.

Im Jahr 2019 lag der globale Aktivkohle-Umsatz bei 2,9 Milliarden USD und im Jahr 2021 waren es 4,4 Mrd. USD (Insight Partners 2022). Während der Valuates Reports (2020) von einem jährlichen Wachstum von über 4,8 % und einem Umsatz von 3,7 Milliarden USD im Jahr 2026 ausgeht, ist die Prognose von Emergen Research (2020) noch positiver. In diesem Gutachten wird davon ausgegangen, dass der globale Markt für Aktivkohle auf 14,1 Milliarden USD wächst, was einer jährlichen Wachstumsrate von 9,8 % entspräche. Auffällig ist der große Unterschied der Prognosen. Das spricht für eine hohe Unsicherheit in der Entwicklung des Aktivkohlemarkts, die auch Kläranlagenbetreiber in der Literatur ansprechen.

Zentral für den Erfolg der CoAct-Technologie ist die zukünftige Entwicklung des Absatzmarktes für Aktivkohle. Derzeit kann der Absatzmarkt für Aktivkohle in die Segmente Wasseraufbereitung, Luft- und Gasreinigung, Lebensmittel- und Getränkeindustrie und Sonstiges unterteilt werden. Das Segment der Wasseraufbereitung dominierte im Jahr 2020 den globalen Markt, gefolgt von Luft- und Gasreinigung. Prognosen gehen davon aus, dass diese Bereiche ihre Dominanz beibehalten werden (Mandon et al. 2022). Es ist unklar, ob das Segment Wasseraufbereitung oder die Luft- und Gasreinigung zukünftig den größten Marktanteil ausmachen werden. Bei beiden wird von einem starken Wachstum ausgegangen, wobei die Schätzungen teilweise stark auseinandergehen (vgl. Fortune Business Insights 2020; Grand View Research 2019).

Das Wachstum des globalen Aktivkohlemarktes wird durch den zunehmenden Einsatz von Aktivkohle in der (Pharma-) Industrie und der Verwendung für Bodensanierungen in den letzten fünf Jahren angekurbelt. Hinzukommend sorgen insbesondere im globalen Süden strengere staatliche Vorschriften und Kontrollen von Emissionen und eine durch das Wachstum dieser Volkswirtschaften ausgelöste steigende Nachfrage nach sauberem Trinkwasser. Besonders der wachsende Bedarf an Aktivkohle für die Wasserfiltration einschließlich Abwasseraufbereitung und Bindung von Emissionen sind mittelfristig wichtige Treiber der Nachfrage (Index Box 2021).

Auf globaler Ebene dominiert Asien den Aktivkohle-Markt und wird dies auch zukünftig tun (vgl. Fortune Business Insights 2020; Mordor Intelligence 2020; Valuates Reports 2020). Gründe hierfür sind eine gestiegene Nachfrage aufgrund des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums, ein leichter Zugang zu Rohstoffen sowie geringe Rohstoff- und Produktionskosten. Auch wird die Nachfrage in Lateinamerika aufgrund des Bevölkerungswachstums und der dort ansässigen Industrien (z. B. Pharmaindustrie) steigen. Für den Nahen Osten und Afrika sind ebenfalls industrielle Aktivitäten und im Speziellen Ölförderung und Wasserverfügbarkeit wichtige Faktoren, die die Nachfrage nach Aktivkohle steigen lassen (vgl. Fortune Business Insights 2020).

Während insbesondere für Asien ein starkes Wachstum prognostiziert wird, wird für Europa und Nordamerika aufgrund der Dominanz Asiens, einer Sättigung der Endverbraucherindustrien und eines

schwachen Wirtschaftsszenarios von einem moderaten Wachstum des Aktivkohlemarktes ausgegangen (vgl. Fortune Business Insights 2020). Auch wenn Unternehmen Vorräte an Aktivkohle haben (vgl. Neumann 2018), wird diese Sättigung aufgrund gestiegener Umweltstandards allerdings nicht von Dauer sein. So wird im Valuates Reports (2020) davon ausgegangen, dass der Bedarf in Nordamerika durch strengere Umweltgesetze steigen wird. Mit Blick auf geplante und sich im Bau befindende Anlagen mit der vierten Klärstufe in Baden-Württemberg (vgl. koms-bw 2023), ist zudem keine langfristige Sättigung des Marktes ersichtlich; vielmehr scheint es zukünftig einen steigenden Bedarf an Aktivkohle zu geben. Dafür spricht auch der Gesetzesentwurf der Europäischen Kommission zur Novellierung der Kommunalabwasserrichtlinie, der die Einführung der vierten Reinigungsstufe in Kläranlagen bis 2035 bzw. 2040 vorsieht.

Im Hinblick auf den zuletzt genannten Punkt ist der Einfluss einer geplanten Einführung einer vierten Klärstufe zu berücksichtigen. Für diese gibt es drei Möglichkeiten: Ozonierung, Pulveraktivkohle und Granulataktivkohle. Aktivkohle weist einige Vorteile, wie die Bündelung von Schadstoffen und Mikroplastik, einen relativ geringen Preis, vorhandenes Wissen über die Technologie (z. B. dem Einsatz von Aktivkohle bei der Abwasserbehandlung) und eine einfache Entsorgung auf (civity (Hg.) 2018: 12; EU-Recycling und Umwelttechnik 2019). Pfadabhängigkeiten definieren die Grenzen des potenziellen Marktes für CoAct-Aktivkohlen zur Abwasserreinigung. Kläranlagen, die bisher auf Ozonierung gesetzt haben, werden die hohen Kosten für einen Umstieg auf nachhaltig hergestellte Aktivkohlen, wie die aus einer CoAct-Anlage, verzichten. Hier kommt ein Lock-In-Effekt (Wirtschafts-Lehre 2018) zum Tragen, der die Investition in eine neue, nachhaltige Technologie wie CoAct unwahrscheinlich macht. Gleichzeitig werden Kläranlagen, die ihre Abwässer bisher mit fossiler Aktivkohle geklärt haben, ohne größere Investitionen auf nachhaltig produzierte Aktivkohlen umsteigen können, wie der Praxisversuch im Rahmen dieses Vorhabens erstmal gezeigt hat.

Falls sich langfristig ein Marktwachstum einstellt, wird sich dies auch auf die Preisentwicklung auswirken. Denn letztendlich muss der erzielte Preis für die CoAct-Aktivkohle den Bau und Betrieb der CoAct-Anlage finanzieren. Eine beeindruckende Preissteigerung von 16 % gab es zwischen den Jahren 2017 und 2018. Zwischen 2018 und 2019 ist der Preis von Aktivkohle nur noch um 2,2 % gestiegen. (vgl. Index Box 2020). Gründe für die genannten Preissteigerungen waren eine gestiegene Nachfrage und höhere Produktionskosten, hervorgerufen durch strengere Umweltschutzgesetze (vgl. Research and Markets 2018). Die Abschwächung der Preisdynamik wird u.a. auf neue technologische Entwicklungen zurückgeführt, die es ermöglichen, Aktivkohle aus kostengünstigeren Ressourcen zu gewinnen und die Bioabfall-Entsorgungskosten zu reduzieren (Valuates Reports 2020). Weitere Preissteigerungen werden durch politische Maßnahmen, wie weitere Verschärfungen von Umweltschutzgesetzen und als Folge der COVID-19-Pandemie erwartet (vgl. Fortune Business Insights 2020; Neumann 2018). Denkbar ist auch, dass Recovery-Programme, die explizit den Einsatz grüner Technologien und dem Umweltschutz dienen sollen, die Nachfrage nach Aktivkohle weiter steigern. Sollte sich also der CoAct-Ansatz oder eine vergleichbare Technologie am Markt etablieren, kann die zusätzliche Aktivkohle aus nichtfossilen Quellen dazu beitragen, die Nachfrage des wachsenden Aktivkohle-Marktes zu bedienen. Dies würde sich dämpfend auf die Preisentwicklung auswirken.

Kurzfristig hatte der plötzliche Ausbruch der COVID-19-Pandemie in vielen Ländern strenge Quarantänebeschränkungen zur Folge, die zu Unterbrechungen von Lieferketten sowie Import- und Exportaktivitäten von Aktivkohle und zu Stilllegung von Produktionsanlagen führte. Daraus resultierte wiederum ein geringerer Aktivkohleverbrauch und ein Rückgang des Handels (Index Box 2020; Mandon et al. 2022). Die anhaltende COVID-19-Pandemie zwang zur Durchführung von Präventivmaßnahmen, die

die Situation der Chemie- und Werkstoffindustrie drastisch beeinträchtigten und sich negativ auf das Wachstum des Marktes auswirkten. Die Pandemie hat insgesamt negative Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Rohstoffen zur Herstellung von Aktivkohle in mehreren Ländern (Insight Partners 2022). Die Auswirkungen der Pandemie auf den Aktivkohle-Markt sind am Beispiel der USA gut erkennbar: Im Jahr 2020 beliefen sich die Einfuhren auf 194 Mio. USD (-15,3 % gegenüber dem Vorjahr) und waren damit zum ersten Mal in den letzten drei Jahren aufgrund von Stilllegungen und Unterbrechungen der Lieferkette rückläufig (Index Box 2020). Wie die COVID-Pandemie zeigt, ist die Entwicklung der Weltwirtschaft ein zentraler Faktor für die Nachfrage nach Aktivkohlen. Bremsen also weitere Faktoren, wie die Rohstoffknappheit, vor allem im asiatisch-pazifischen Raum, oder politische Instabilität und Krisen das weltweite Wirtschaftswachstum, wirkt sich dies dämpfend auf die Nachfrage aus (Market Watch 2022).

In der Fallstudienregion haben sich die skizzierten Marktentwicklungen noch nicht materialisiert. Der Abwasserzweckverband Langenargen-Kressbronn konnte bislang zu relativ stabilen Preisen von 1 300 bis 1 400 Euro/Tonne Aktivkohle beziehen. In der letzten Beschaffungsrunde 2023 wurden diesem jedoch auch Angebote mit stark gestiegenen Preisen von über 3 000 Euro/Tonne unterbreitet, wobei weiterhin wesentlich günstigere Angebote verfügbar waren und in Anspruch genommen wurden. Wenngleich der Abwasserzweckverband bisher nicht darauf angewiesen war hochpreisige Angebote anzunehmen, so kann dies für die Zukunft nicht ausgeschlossen werden. Die große Spanne zwischen dem günstigsten und teuersten Angebot sollte hinsichtlich der Prognose zukünftiger Preise berücksichtigt werden. Darüber hinaus sollte bedacht werden, dass gestörte Lieferwege sich zusätzlich auf die regional verfügbare Menge an Aktivkohle auswirken. Eine hohe Importabhängigkeit geht also mit dem Risiko einher, kurzfristigen regionalen Preisschwankungen ausgeliefert zu sein.

2.3 Die Bedeutung von Emissionshandel und CO_2-Grenzausgleichssystem für die Wirtschaftlichkeit des CoAct-Verfahrens

Ein weiterer Faktor, der die Wirtschaftlichkeit des CoAct-Verfahrens beeinflussen könnte, ist der Emissionshandel oder das CO_2-Grenzausgleichssystem. Der Emissionshandel ist ein marktbasiertes Instrument des Klimaschutzes. Voraussetzung für Emissionen ist, dass der Verursacher Zertifikate für diese erwirbt. Über die Zertifikate können somit Verschmutzungsrechte im Emissionshandel erworben werden. Durch die kontinuierliche Verknappung von Zertifikaten, steigt der Preis für Treibhausgasemissionen. Das wiederum macht die Investition in treibhausgasarme oder klimaneutrale Technologien attraktiv und wettbewerbsfähig.

Seit 2005 ist in der EU ein Emissionshandelssystem (EU-ETS) etabliert, welches die Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft, der energieintensiven Industrie und seit 2012 auch des innereuropäischen Luftverkehrs steuert (UBA 2022). Im Zeitraum 2028-2030 ist eine weitere Ausweitung des EU-ETS geplant, die auf den Sektor der Abfallwirtshaft abzielt, insbesondere auf Verbrennungsanlagen von Siedlungsabfällen (Europäisches Parlament 2022). Ein Bericht mit Details zur Implementierungsweise und insbesondere dem stofflichen Geltungsbereich ist für Ende 2026 anberaumt (Europäisches Parlament 2022). Sollte die Ausweitung auch die Verbrennung verbrauchter Aktivkohlen aus der Abwasserwirtschaft umfassen, ist anzunehmen, dass die dann notwendigen Zertifikate die Entsorgung fossiler Aktivkohle verteuert. Da belastete Pflanzenaktivkohle im ETS nicht genannt wird, ist unklar inwiefern Pflanzenaktivkohle außerhalb des EU-Emissionshandels verbrannt werden kann (Europäisches

Parlament 2022). Deshalb ist es schwer die Wirkung des Emissionshandels auf die Preisbildung für fossile Aktivkohlen und die Wirtschaftlichkeit von CoAct-Aktivkohlen zu bewerten.

2021 trat in Deutschland neben dem europäischen Emissionshandelssystem auch noch der nationale Brennstoffemissionshandel (nEHS) in Kraft (DEHSt o.D.). Dieser zielt auf die Regulierung der Treibhausgasemissionen in den Sektoren Wärme und Verkehr ab und beinhaltet alle Brennstoffe des Energiesteuergesetzes (DEHSt o.D.). Aktivkohle zählt aktuell jedoch nicht zu diesen Brennstoffen und ist folglich kein Teil des nEHS, weshalb steigende CO_2-Preise sich zunächst nicht auf ihre Herstellung, Benutzung oder Entsorgung auswirken.

Zusätzlich gilt zu berücksichtigen, dass der Zertifikatshandel sich auf den Preis für Strom und Wärme auswirkt. Da im Rahmen des CoAct-Verfahrens Energie eingesetzt und überschüssige Wärme in einem Nahwärmenetz vermarktet werden könnte, kann sich der Emissionshandel auch hier auf die Kosten bzw. Erlöse auswirken (s. Kapitel 2.4).

Grundsätzlich wäre auch der Verkauf von CO_2-Zertifikaten eine Erlösquelle, wenn die CoAct-Aktivkohle nicht stofflich im Klärprozess eingesetzt, sondern zur CO_2-Sequestrierung eingelagert werden würde. Der CO_2-Preis wird zum 1. Januar 2024 auf 45 EUR/t angehoben (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung 2024). Die konkreten Kosten auf Basis unterschiedlicher Anlagenvarianten und Biomassen sind in den folgenden Kapiteln aufgeführt; sie liegen durchweg im hohen vierstelligen Bereich pro Tonne Aktivkohle. Folglich ist die CO_2-Sequestierung und der Verkauf von Emissionszertifikaten mit CoAct-Aktivkohlen ökonomisch keine Option.

Ergänzend zu Emissionshandelssystemen wurde am 1. Oktober 2023 das CO_2-Grenzausgleichssystem (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) eingeführt. Dieses hat zum Ziel die Verlagerung von Treibhausgasemissionen zu verhindern. Dazu wird auf die Einfuhr treibhausgasintensiver Waren in das Geltungsgebiet des EU-ETS ein zusätzlicher Zoll erhoben. Die Höhe richtet sich an den Zertifikatskosten, die bei der Herstellung des Produkts innerhalb des Geltungsgebiets angefallen wären. Der CBAM gilt vorerst für Produkte die in der Kombinierten Nomenklatur (KN) wie die Sektoren Strom, Zement, Eisen und Stahl, Düngemittel und Aluminium und in Anhang I der CBAM-Verordnung aufgeführt sind. Berücksichtigt werden dabei sowohl direkte als auch indirekte Emissionen. Nach dem derzeitigen Stand wären fossile Aktivkohlen somit nicht vom CBAM betroffen. Der Einsatz von Pflanzenaktivkohlen wird durch den CBAM zumindest nach derzeitigem Stand nicht attraktiver. Bis 2026 wird die Wirksamkeit des CBAM evaluiert und geprüft, inwiefern der Anwendungsbereich ausgeweitet werden kann. Ziel ist es, den CBAM bis 2030 auf alle Produkte auszuweiten, die dem EU-ETS unterliegen (UBA 2023). Würden also Aktivkohlen in den Emissionshandel und anschließend den CBAM aufgenommen, würde dies die Wettbewerbsfähigkeit von Pflanzenaktivkohlen gegenüber Aktivkohlen aus fossilen Quellen stärken.

2.4 Strom-/ Wärmepreis

Neben der Notwendigkeit des Zertifikatserwerbs könnten sich auch Preisentwicklungen im Strom- bzw. Wärmemarkt auf die Wirtschaftlichkeit von CoAct niederschlagen, da diese die Verfahrenskosten beeinflussen. Gleichzeitig kann je nach eingesetzter Biomasse jedoch auch ein Strom- oder Wärmeüberschuss produziert werden, der in die entsprechenden Netze eingespeist werden kann und dem Verfahren somit neben der Pflanzenaktivkohle als eine zusätzliche Erlösquelle dient.

Grundsätzlich ist die Prognose der zukünftigen Strom- und Wärmepreise sehr komplex, da verschiedene Faktoren wie geopolitische Konflikte, Preisentwicklungen von CO_2-Zertifikaten (s.o.), der Ausbau erneuerbarer Energien, Entwicklungen in der Energieeffizienz und damit der Stromnachfragetrend, politische Ausgestaltung von Marktprämien für erneuerbare Energien und weitere Faktoren berücksichtigt werden müssen, über die aber bis jetzt nur Annahmen getroffen werden können (Fraunhofer ISE 2021; vwb 2023; Fraunhofer ISI 2020).

Verschiedene Studien untersuchen unterschiedliche Teilaspekte. Beispielsweise prognostiziert das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), dass langfristig fossile Energieträger aufgrund von CO_2-Preisen und Lerneffekten in der Branche der erneuerbaren Energien nicht mit dem Stromgestehungskosten ihrer erneuerbaren Konkurrenten mithalten können (Fraunhofer ISE 2021). Die Prognos AG fokussiert sich in ihrer Analyse unter anderem auf die Preiskopplung mit der Gasverfügbarkeit, weshalb sie aufgrund der aktuellen geopolitischen Konflikte mit Russland von einer Preissteigerung bis 2024 und einem subsequenten Preisabfall, jedoch nicht bis auf das Niveau von 2019/2020 rechnen (vwb 2023). Zusätzlich betrachten sie den Einfluss des Ausbaus der erneuerbaren Energien (preismindernd), der Wasserstoffverstromung (preissteigernd) und der flexiblen, IT-gesteuerten Stromnutzung (preismindernd; vbw & Prognos 2023). Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) betrachtet in ihrer Studie vor allem die politische Ausgestaltung von Fördermöglichkeiten für erneuerbare Energien. Verschiedene Szenarien werden in den Zeithorizonten bis 2030 und bis 2050 vorgestellt, bei denen grundsätzlich der Strompreis im Vergleich zum Basisjahr 2020 ansteigt, vor allem auf mittelfristige Sicht jedoch unterschiedlich stark (Fraunhofer ISI 2020).

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die o.g. Studien mittelfristig von moderaten Preisentwicklungen auf den Energiemärkten ausgehen. Geopolitische Risiken oder ein dauerhaft hinter den selbstgesteckten Zielen zurückliegender Ausbau erneuerbarer Energien, können sich jedoch schnell preissteigernd auf die Energiemärkte auswirken.

2.5 Förderprogramme

Die öffentliche Hand nutzt Förderprogramme, um Anreize für von ihr erwünschte Aktivitäten zu setzen. Die einzelnen Förderprogramme definieren den Förderzweck und die Rahmenbedingungen für die Teilnahme wie die Dauer des Programms, den Kreis der Förderberechtigten oder die Art der Förderung.

Der Bau einer CoAct-Anlage trägt zu diversen Politikzielen an den Schnittstellen von Abwasserbehandlung, erneuerbare Energien, regionale Wertschöpfungsketten / Stadt-Land-Beziehungen, Nutzung von Rest-Biomassen / Bioökonomie bei. Die Umsetzung eines CoAct-Projekts kann somit potenziell mit Hilfe von Förderprogrammen unterstützt werden. Dies kann sich signifikant auf die Wirtschaftlichkeit auswirken. Deshalb wurden im zweiten Quartal 2023 Förderprogramme recherchiert, die die oben genannten Sektoren oder Politikfelder abdecken. Dazu wurde auf die Förderdatenbank des Bundes (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz o.D.) zurückgegriffen. Diese wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz unterhalten und beinhaltet Förderprogramme der Europäischen Union, des Bundes und der Bundesländer.

Im Ergebnis konnten insgesamt 40 verschiedene Förderprogramme identifiziert werden, die zur Förderung einer CoAct-Anlage, der Nutzung regionaler Aktivkohlen aus Restbiomassen zur Abwasserbehandlung oder Trinkwasseraufbereitung infrage kommen. Das schließt Aktivitäten im Bereich nachhaltiger Energie- und Wärmeversorgung im Rahmen der zur Aktivkohleerzeugung genutzten

Biomasseanlagen ein. 33 Programme gewähren einen Zuschuss zu den Investitionen; fünf Förderprogramme stellen vergünstigte Darlehen zur Verfügung; zwei Programme bieten beide Möglichkeiten der Förderung an.

Von den 40 Förderprogrammen können zwölf bundesweit in Anspruch genommen werden. Die Fallstudienregion Bodenseekreis liegt in Baden-Württemberg. Hier stehen drei landesspezifische Fördermöglichkeiten zur Verfügung. Die weiteren Förderprogramme verteilen sich auf zehn weitere Bundesländer. In einzelnen Fällen würde auch hier die Möglichkeit für in Baden-Württemberg ansässige Akteure bestehen, Förderungen zu beantragen, falls ein Partner in dem jeweiligen Bundesland gemeldet ist.

Die Bedingungen, um Förderung zu erhalten bzw. die geförderten Vorhaben sind aufgrund der zahlreichen Verflechtungen der verschiedenen Ebenen des CoAct-Forschungsprojekts vergleichsweise breit aufgestellt. Zu den oft genannten Eignungsmerkmalen von CoAct-Anlagen bzgl. von Förderungsmöglichkeiten zählt vor allem eine Prozess- und Verfahrensänderung zur Optimierung der Abwasserreinigung, besonders im Hinblick auf die verursachten Treibhausgasemissionen. Zu weiteren wichtigen Aspekten gehört die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen mit positiven Auswirkungen auf die Klimabilanz sowie der Ersatz von treibhausgasintensivem Verfahren und Produkten. Diese Punkte werden durch CoAct-Anlagen direkt erfüllt, da die im Pyrolyseverfahren hergestellte Aktivkohle bei gleicher Qualität weitaus weniger Emissionen verursacht als fossile Aktivkohlen oder andere Verfahren der Abwasserreinigung. Darüber hinaus erscheinen auch Förderungen für die energetische Nutzung biogener Reststoffe und die Nutzung von im Produktionsvorgang entstandener Abwärme als vielversprechend. Der Ausbau von Wärmenetzen und die Erhöhung des Anteils regenerativ produzierter Wärme wird derzeit stark vorangetrieben. In diesem Hinblick können auch Wärmespeicher gefördert werden. Zusätzlich können auch Pilot- und Demonstrationsvorhaben zur Ressourcenschonung und Stärkung der Bioökonomie direkt durch einzelne Programme gefördert werden.

Die Förderprogramme richten sich vor allem an Unternehmen, Kommunen und (regionale) Verbände. Die potenziellen Betreiber einer CoAct-Anlage gehören somit auch zu den Zielgruppen der meisten Förderprogramme. In wenigen Fällen sind auch Hochschulen- und Forschungseinrichtungen förderberechtigt. Das ist insbesondere dann von Relevanz, wenn das CoAct-Konzept weiter untersucht und in Bezug auf konkrete Fragestellungen weiterentwickelt werden soll.

Beispielhaft kann hier auf relevante Bundesprogramme wie „Nachwachsende Rohstoffe“ und die „Nationale Klimaschutzinitiative“, ein Unterprogramm der Kommunalrichtlinie verwiesen werden. Gefördert werden speziell Rohstoff- und Reststoffaufbereitung und -verarbeitung sowie die Anwendung innovativer Techniken in einer klimafreundlichen Abwasserbewirtschaftung. Eine vollständige Liste der betrachteten Förderprogramme findet sich im Anhang I – Förderprogramme.

3 Das CoAct-Modell auf der „grünen Wiese“

Bei der Anlagen-Variante wird davon ausgegangen, dass sie in Gänze als Neubau konstruiert wird. Damit wird ausgeschlossen, dass bestehende Infrastrukturen oder Anlagenkomponenten, die beispielsweise an anderen Standorten wie einer bestehenden Biogasanlage mitgenutzt werden könnten, Kosten verschleiern. Gleichzeitig dient die Anlage damit dazu, die Synergien mit anderen Standorten ökonomisch zu beziffern.

Zunächst wurden Berechnungen für die fünf Biomassen Maisstroh, Trester, Hopfen, Straßenbegleitgrün und Streuwiesenschnitt basierend auf dem dafür festgelegten Biomasse-Input der Variante 5 vorgenommen. Die Berechnungen für die drei holzigen Biomassen Hochstammschnitt, Heckenschnitt und Siebüberlauf sind auf Basis der Auslastung einer alleinstehenden PYREG-Pyrolyse-Anlage mit diesen drei Biomassen entstanden. Im weiteren Projektverlauf haben sich dann zwei klar definierte Biomassemixe aus grasartigem und holzigem Material herauskristallisiert (siehe Kapitel 4.1.3).

Ein Excel-Tool wurde zunächst in Zusammenarbeit von ifeu, Pyreg und IfLS erstellt und anschließend mit ifeu, Krieg und Fischer (K&F) und IfLS auf die beiden resultierenden Biomassemixe angepasst. In der letzten Projektphase wurde das Excel-Tool mit den Angaben von Björnsen Beratende Ingenieure zur Pyrolyse ergänzt. Mit dem Excel-Tool werden unter anderem die Aufwendungen und Erträge pro Biomassemix in Abhängigkeit der Anlagenvariante und Energiepreise errechnet (siehe Kapitel 3.5).

Die Aufwendungen für die Anlage wurden anfangs für das IFBB-Verfahren und die Pyrolyse getrennt berechnet. Damit konnten zum einen die Aufwendungen aus dem IFBB-Verfahren anteilsmäßig den Input-Mengen der o.g. vier Biomassen zugeordnet werden, die frisch oder siliert in die Verarbeitung gehen. Zum anderen konnten die darauffolgend entstehenden Aufwendungen aus dem Pyrolyse-Verfahren auf die entstandenen Presskuchen-Massen umgelegt werden. Man muss sich dabei vor Augen führen, dass die Anteile des ursprünglichen Biomasse-Inputs in das IFBB-Verfahren nicht unbedingt den Verhältnissen des Presskuchen-Inputs in die Pyrolyse entsprechen, da sich die Konversionsraten von ursprünglicher Biomasse zu Presskuchen von Biomasse zu Biomasse je nach Trockensubstanzgehalt unterscheiden. Entsprechend konnte auf eine bestimmte Biomasse im IFBB-Verfahren ein höherer Prozentsatz der Aufwendungen umgelegt werden als in der Pyrolyse (oder umgekehrt). Die Aufwendungen und Erträge aus IFBB und Pyrolyse sind in der unten folgenden Darstellung jeweils addiert.

Je nach Biomasse wurden so die Aufwendungen und Erträge pro Tonne spezifischer Biomasse ermittelt. Im Laufe des Projektes wurde dann nur noch mit den zwei Biomassemixen kalkuliert. Folglich sind die Zahlen in den folgenden Tabellen überholt und dienen lediglich zum Vergleich von grasartiger und holziger Biomasse. In den Tabellen 9 und 10 sind die Erträge und Aufwendungen für die einzelnen Biomassen, die entweder in die IFBB-Anlage (mit darauffolgender Pyrolyse der Presskuchen) oder in eine alleinstehende Pyrolyse-Anlage eingespeist werden, abgebildet. In den nachfolgenden Kapiteln werden die einzelnen Positionen im Detail erklärt.

Tabelle 9: Gewinn- und Verlustrechnung pro t Frischmasse (IFBB-Anlage und Pyreg-Anlage)

	Streuwiesen	Straßenbegleitgrün
Aktivkohle/Biokohle	21,96 €	21,93 €
Erlös Abgabegebühr f. Input	- €	- €
Strom	- €	- €
Wärme	- €	- €
Summe Erlöse	**21,96 €**	**21,93 €**
Personalaufwand	34,86 €	34,86 €
Abschreibungen	130,52 €	130,52 €
Sonstige Aufwendungen	29,54 €	29,54 €
Aufwendungen für Strom	15,61 €	15,61 €
Aufwendungen für Wärme	13,42 €	13,38 €
Biomasseankauf	- €	- €
Wasser	8 €	8 €
Summe Aufwände	**223,95 €**	**223,91 €**
Ergebnis	**-201,99**	**-201,98**

Quelle: Excel-Tool, auf Basis von Daten von Krieg & Fischer und ifeu

Tabelle 10: Gewinn- und Verlustrechnung pro t Frischmasse (alleinstehende Pyreg-Anlage)

	Hochstammschnit	Heckenschnitt
Aktivkohle/Biokohle	28,14 €	28,14 €
Erlös Abgabegebühr f. Input	- €	- €
Strom	- €	- €
Wärme	- €	- €
Summe Erlöse	**28,14 €**	**28,14 €**
Personalaufwand	24,07 €	24,07 €
Abschreibungen	91,96 €	91,96 €
Sonstige Aufwendungen	36,51 €	36,51 €
Aufwendungen für Strom	32,35 €	32,35 €
Aufwendungen für Wärme	29,90 €	29,90 €
Biomasseankauf	- €	- €
Wasser	- €	- €
Summe Aufwände	**214,80 €**	**214,80 €**
Ergebnis	**-186,65**	**-186,65**

Quelle: Excel Tool, auf Basis von Daten von Krieg & Fischer und ifeu

Letztendlich wurden zwei Kombinationen aus Biomassen weiter betrachtet, die sowohl Anforderungen des Vertiefungsstandorts Kläranlage Kressbronn als auch eine ökologische und ökonomische Optimierung berücksichtigen. Der erste Biomassemix setzt sich aus 70 % holziger Biomasse und 30 % grasartiger Biomasse zusammen. Dabei handelt es sich um den ökonomisch optimierten Biomassemix, der ein Minimum grasartiger Biomassen vorsieht, um die Kläranlage mit Presssaft als Kohlenstoffquelle für den Klärprozess zu versorgen. Ökologisch wertvoller ist ein höherer Anteil grasartiger Biomassen, wie der zweite Biomassemix, der sich jeweils zur Hälfte aus grasartiger und holziger Biomasse zusammensetzt. Dieser beinhaltet einen höheren Anteil schwer zu entsorgender grasartiger Biomassen. Überflüssiger Presssaft kann zudem energetisch verwertet werden, wenn entsprechende Anlagen am Standort

vorhanden sind (z. B. Kläranlage oder Biogasanlage). Weitere Details zum Biomassemix sind in Kapitel 4.1.3 dargestellt.

3.1 Investitionskosten

Über die Investitionskosten wird die Höhe der jährlichen Abschreibungen ermittelt. In der nachfolgenden Tabelle 11 (zur Verfügung gestellt von Krieg & Fischer und Björnsen und Beratende Ingenieure) ist die Aufstellung der benötigten Sachanlagen sowie Planungskosten enthalten. Das gesamte Investitionsvolumen beträgt demnach 9.008.158 EUR für die IFBB-Anlage und die Pyrolyse mit Aktivierung. Die Angaben zu den Kosten der Werksinfrastruktur der IFBB-Anlage (30.000 EUR) und der Anlagenmontage (70.200 EUR) basieren auf den Angaben der Kläranlage Baden-Baden (Blumenstein 2019). Die Investitionskosten für eine Pyrolyse-Anlage mit Aktivierung (Input nur aus holzigen Biomassen) ohne IFBB-Anlage werden mit 6.052.185 EUR angesetzt. Darin sind Kosten für die Module zur Trocknung (370.090 EUR) und Pelletierung (178.500 EUR) holziger Biomassen enthalten, die eine IFBB-Anlage ebenfalls beinhaltet. Es ist jedoch auch denkbar, dass bei einer dauerhaft konstanten Qualität der angelieferten Holzhackschnitzel auf eine zusätzliche Anlage zur Trocknung und Pelletierung verzichtet werden kann.

Die Grundstückskosten sind für die Ermittlung der jährlichen Abschreibungen nicht relevant, da Grund und Boden nicht abgeschrieben werden kann. Ebenso wurden keine eventuellen Investitionszuschüsse von den Anlagewerten abgezogen. In der Praxis sind sowohl Fördermöglichkeiten von Bedeutung (vgl. 2.5), als auch die Synergien mit anderen Standorten. Deshalb ist die Frage nach Erweiterungsmöglichkeiten synergetischer Standorte wie Kläranlagen, Biogasanlagen oder Entsorgungszentren und den damit verbundenen Kosten von größerer Bedeutung als der Quadratmeterpreis benötigter Flächen.

Tabelle 11: Investitionskosten der Anlagenvariante 5 („grüne Wiese“)

Anlagenvariante „grüne Wiese“	Anschaffungswert
Grundstück	27.300 EUR
Werksinfrastruktur	30.000 EUR
Anlagenmontage	70.200 EUR
Planung und Genehmigung	100.000 EUR
Container / Gebäude (2x Pultdachhalle)	100.000 EUR
Pumpenraum	30.000 EUR
Hochsilo 100 m²	650.000 EUR
Waldausgleichsflächen für 150 m²	1.250 EUR
Aufbereitung	130.000 EUR
Maische	317.000 EUR
Vergärung	284.000 EUR
Gärrestlagerung	285.000 EUR
Rückhalteeinrichtung gem. AwSV	737.223 EUR
Gasnutzung	80.000 EUR
Gastechnik	14.000 EUR
Gas-, Elektro-, Heiztechn. Installation	100.000 EUR
Summe IFBB	**2.955.973 EUR**
Tiefbau (Fahrfläche, Fundamente und Bodenplatte (Halle, Silos)	558.705 EUR
Hochbau (Halle, Big-Bag-Lager)	454.580 EUR
Technische Anlagen	**3.184.440 EUR**
Presskuchentrocknung	370.090 EUR
Pelletierung	178.500 EUR

Pelletlagerung	159.460 EUR
Lagerung holzige Biomasse	207.060 EUR
Pyrolyse mit Peripherie	1.295.910 EUR
Fördertechnik	357.000 EUR
E-/MSR-Technik	295.120 EUR
Netzstation	154.700 EUR
Photovoltaikanlage	166.600 EUR
Baunebenkosten	**754.460 EUR**
Planungskosten	690.200 EUR
Genehmigung	16.660 EUR
Gutachten	47.600 EUR
Summe Pyrolyse	**4.952.185 EUR**
Aktivierung	1.000.000 EUR
Vorbereitung Biomassen (Sieb, Mühle)	100.000 EUR
Summe Aktivierung	**1.100.000 EUR**
Summe	**9.008.158 EUR**

Quelle: Krieg & Fischer und Björnsen Beratende Ingenieure

Die nachfolgenden Erträge und Aufwendungen für die grüne Wiese sind auch noch mal in der Gewinn- und Verlustrechnung (siehe Tabelle 12) in Kapitel 3.6 bei der Vorstellung des CoAct-Kalkulationstools aufgeführt.

3.2 Aufwendungen

In den Aufwendungen sind Abschreibungen, Personalaufwand, Aufwendungen für Strom, Wärme, Wasser, Druckluft und Biomasseankauf sowie sonstige Aufwendungen enthalten. Insgesamt betragen die jährlichen Aufwendungen 1.827.703 EUR.

a) Abschreibungen

Für die CoAct-Anlage ergibt sich aus den unter Kapitel 3.1 dargestellten Investitionskosten eine jährliche lineare Abschreibung von 730.274 EUR. Für eine alleinstehende Pyrolyse-Anlage (mit Trocknung und Pelletierung) fallen Abschreibungen in Höhe von 358.975 EUR pro Jahr an. Die jährliche Nutzungsdauer für die entsprechenden Anlagengüter wurde den aktuellen AfA-Tabellen des Bundesfinanzministeriums entnommen und für die Pyrolyse von Björnsen Beratende Ingenieure zur Verfügung gestellt. Genutzt wurden neben der Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagengüter auch die Tabellen für Abfallentsorgungs- und Recyclingwirtschaft, den Wirtschaftszweig „Energie- und Wasserversorgung“ und für Landwirtschaft und Tierzucht. Die Nutzungsdauer für Anlagegüter, die in einer Sammelposition zusammengefasst sind, wurde anhand einer durchschnittlichen Nutzungsdauer näherungsweise geschätzt.

b) Personalaufwand

Die Angaben basieren auf den Einschätzungen von Krieg & Fischer und Björnsen Beratende Ingenieure. Der Personalaufwand pro Jahr für 1,5 Voll-AK beträgt 75.000 EUR (ein Servicetechniker mit Arbeitgeber-Brutto i.H.v. ca. 50.000 EUR). Für eine alleinstehende Pyrolyse-Anlage werden 25.000 EUR Personalkosten für eine halbe Voll-AK angesetzt.

c) Aufwendungen für Strom

Sofern der eigenproduzierte Strom nicht ausreicht, um die Anlage zu betreiben, muss Strom zugekauft werden. Der Strompreis von 0,2 EUR/kWh (netto) basiert auf Angaben der Stadtwerke am See (Stand: Oktober 2023).

d) Aufwendungen für Wärme

Sofern die eigenproduzierte Wärme nicht ausreicht, um beispielsweise die Trocknung der Biomassen zu gewährleisten, muss Gas zugekauft werden. Der Gaspreis von 0,04 EUR/kWh (netto) basiert auf Angaben der Stadtwerke am See (Stand: Oktober 2023).

e) Aufwendungen für Wasser

In der Anlagenvariante 5 werden die Biomassen für das IFBB-Verfahren mit doppelt so viel Wasser wie Biomasse angemaischt. Entsprechend entstehen Wasserkosten in Höhe von 1,83 EUR/m3. Die Angabe beruht auf den deutschlandweiten Angaben des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2022.

f) Aufwendungen für Druckluft

Der Pyrolyseprozess benötigt Druckluft, die mit einem Preis von 0,03 ct/m³ kalkuliert wurde. Die Preisannahme stammt von Björnsen Beratende Ingenieure.

g) Sonstige Aufwendungen

Die sonstigen Aufwendungen enthalten eintragsunabhängige Aufwendungen wie Hilfs- und Betriebsstoffe, Wartung und Instandhaltung, Versicherung, Buchhaltung und den Kapitaldienst. Die Angaben wurden von Krieg & Fischer und Björnsen Beratende Ingenieure zur Verfügung gestellt bzw. auf Basis von Grundinformationen berechnet. Den größten Posten in der CoAct-Anlage, neben dem Kapitaldienst in Höhe von 673.156 EUR, stellen die Wartung und Instandhaltung dar: insgesamt 132.950 EUR/Jahr, davon entfallen etwa 30 % auf die IFBB-Anlage und 70 % auf die Pyrolyse-Anlage. Beim Kapitaldienst wurde von einer 50 % Finanzierung sowie einem Zinssatz von sechs Prozent und einer Kreditlaufzeit von zehn Jahren ausgegangen. Die Kreditlaufzeit orientiert sich dabei an Abschreibungsdauer der Anlagen.

h) Aufwendungen für Biomasseankauf

In der vorliegenden Kalkulation wird davon ausgegangen, dass grasartige Biomassen nicht angekauft werden müssen, sondern die Anlieferung frei Haus erfolgt. Insbesondere für grasartige Biomassen, bei denen keine oder kaum Entsorgungsoptionen vorliegen, stellt der CoAct-Ansatz eine Lösung dieses Problems dar und die kostenfreie Anlieferung/Entsorgung eine realistische Annahme. Bei holziger Biomasse wird ein Preis von 25 EUR/t Holzhackschnitzel und Gesamtkosten von 20.600 EUR für den Ankauf von Holzhackschnitzeln angesetzt.

Bisher nicht berücksichtigt werden in der Berechnung kalkulatorische Kosten wie kalkulatorische Pachten o.ä.

3.3 Erträge

Erträge werden aus dem Verkauf von Aktivkohle, Strom und Wärme erzielt.

a) Erträge aus dem Verkauf von Aktivkohle

Als Marktpreis für den Verkauf der Aktivkohle pro Tonne wurde für die vorliegende Kalkulation 2.000 EUR/Tonne festgelegt. Dieser Wert wurde in Anlehnung an den von einem Akteur in der Region genannten aktuellen Preis gewählt, der von ihm aktuell für eine Tonne Pulveraktivkohle bezahlt wird. Aus Literaturangaben und nach Angaben von Experten haben die Marktpreise eine relativ hohe Preisspanne (ca. 1.200 EUR/t bis hin zu 4.000 EUR/t). Hier gibt es allerdings auch Unterschiede zwischen granulierter Aktivkohle und Pulveraktivkohle zu beachten. Letztere ist tendenziell etwas teurer als die granulierte Kohle. Nicht beachtet wurde für diese Kalkulation die Möglichkeit, eines Preisaufschlags für die nachhaltige Erzeugung. Inwieweit ein höherer Preis für nachhaltige Produktion am Markt bei gleicher Reinigungsleistung erzielbar ist, ist zum jetzigen Zeitpunkt unbekannt. Einzelaussagen von Akteuren aus der Region deuten darauf hin, dass es eine Bereitschaft dazu gibt.

b) Erträge aus Stromverkauf

Wird nach Abzug des anlageninternen Stromverbrauchs ein Überschuss an Energie erzeugt, kann dieser in das Stromnetz eingespeist werden. Als Preisannahme wurden 0,10 EUR/kWh angesetzt. Grundsätzlich ist der Stromertrag mit dem Strombedarf pro Biomasse bereits verrechnet. Die Wertschöpfungsketten-Berechnungen zeigen auf, welche Biomassen tendenziell einen Überschuss und welche ein Defizit erzeugen. Eine innerbetriebliche Verrechnung, also der Übertrag eines Energieüberschusses einer Biomasse auf eine (defizitäre) andere Biomasse, wird bislang rechnerisch nicht berücksichtigt. Das Gleiche gilt für Wärmeenergie.

c) Erträge aus Wärmeverkauf

Wird nach Abzug des anlageninternen Wärmeverbrauchs ein Überschuss an Wärmeenergie erzeugt, kann dieser theoretisch in ein Nähwärmenetz eingespeist werden. Als Preisannahme wurden 0,08 EUR/kWh angesetzt. Allerdings ist hier kritisch anzumerken, dass das Vorhandensein eines Wärmenetzes nicht vorausgesetzt werden kann. Je nach Standort wäre die Entfernung zu weit und damit die Kosten für einen entsprechenden Anschluss zu hoch.

d) Erträge aus Presskuchen

Erträge aus Presskuchen werden in der vorliegenden Kalkulation nicht berücksichtigt. Grundsätzlich wäre ein Verkauf beispielsweise an ein Heizkraftwerk vorstellbar. Eine mögliche Preisfeststellung wäre über den Heizwert des Presskuchens und dem Vergleich zu Hackschnitzeln aber theoretisch möglich.

e) Erträge aus erhobenen Abgabegebühren für Biomassen

Je nach Biomasse ist die Erhebung von Gebühren für die Abnahme durch die CoAct-Anlage möglich. Beispielsweise wird für die Abnahme von Streuwiesenschnitt im Status Quo bereits eine Entschädigung von 4 bis 5 EUR/m^3 an die abnehmenden Landwirtinnen und Landwirte gezahlt. Die Entscheidung darüber ist allerdings auch eine politische, daher bleiben die Abgabegebühren in der vorliegenden Kalkulation unberücksichtigt.

3.4 Gewinn- und Verlustrechnung

In untenstehender Tabelle sind die Erlöse und Aufwendungen der Aktivkohleproduktion für die Variante „grüne Wiese“ aufgeführt und abschließend das Ergebnis der jährlichen Gewinn- und Verlustrechnung (GuV). Der Berechnung der Erlöse und Aufwendungen liegen die oben erwähnten Annahmen (Kap. 3.2 und 3.3) zu Grunde. Zu sehen ist, dass die Aktivkohleproduktion mit einer CoAct-Anlage mit Hochsilo auf der „grünen Wiese“ unter hiesigen Annahmen jährlich etwa 1.440.063 EUR kosten würde.

Tabelle 12: Gewinn- und Verlustrechnung „grüne Wiese“

GuV	Biomassemix 1 (30:70)
Aktivkohle/Biokohle	210.000 EUR
Erlös Presskuchen	-
Erlös Abgabegebühr f. Input	-
Erlös Stromeinspeisung	40.200 EUR
Erlös Wärmeeinspeisung	137.440 EUR
Summe Erlöse	**387.640 EUR**
Personalaufwand	75.000 EUR
Abschreibungen	733.274 EUR
Sonstige Aufwendungen	864.990 EUR
Aufwendungen für Strom	128.793 EUR
Druckluft	4.605 EUR
Biomasseankauf	20.600 EUR
Wasser	3444 EUR
Summe Aufwände	**1.830.703 EUR**
Ergebnis Total	**-1.443.063 EUR**

Quelle: ifeu, Krieg & Fischer, BCE Beratende Ingenieure, eigene Berechnungen

3.5 WSK-Analyse

Für die Berechnung der CoAct-Wertschöpfungsketten wurden folgende Annahmen getroffen:

Für die Berechnung der Transportkosten von Biomassen zur CoAct-Anlage wird grundsätzlich von einer einfachen Distanz von 20 km ausgegangen. In manchen Berechnungen, in denen bereits Hof-Feld-Entfernungen eingerechnet sind (speziell bei Feldarbeiten), werden die Transportkosten für die entsprechende Entfernungsdifferenz berechnet.

Der Düngerwert des Gärrestes aus der CoAct-Anlage wird in Anlehnung an die ökologische Bewertung mit einem Düngeräquivalent bewertet. Im Gegensatz zur ökologischen Bewertung wird jedoch kein Abtransport und keine Ausbringung durch Dritte (Abholer) berechnet. Die Transportmittel sowie die Maschinen zur Ausbringung sind nicht bekannt, eine entsprechende Berechnung wäre zu vage.

Ein weiterer Unterschied zwischen der ökologischen Bewertung und der ökonomischen Analyse ist die Betrachtung der verbrauchten Aktivkohle. In der ökologischen Bewertung wird der Energieaufwand für die Klärschlammbehandlung (Entwässerung, Trocknung etc.) einerseits und der Energiegewinn aus der Verbrennung des Aktivkohle-Klärschlamms in einer Monoverbrennungsanlage andererseits berücksichtigt. Diese Entsorgungsschritte wurden aus ökonomischer Sicht nicht mehr als relevant befunden, da im Status Quo auch konventionelle Aktivkohle behandelt und verbrannt wird.

3.5.1 CoAct Trester

Die Traubenernte sowie das Abbeeren und Pressen der Trauben wird unverändert zum Status Quo durchgeführt. In der CoAct-Wertschöpfungskette werden nun aber 100 % einer Tonne Trester von den Betriebsstellen der Winzerbetriebe und Winzergenossenschaften zur CoAct-Anlage transportiert, und nicht nur wie zuvor ein rechnerischer Anteil von 43 % pro Tonne Biomasse zur Biogasanlage. Die Ausbringung von Trester auf den Weinbergen entfällt damit in der CoAct-Wertschöpfungskette. Dafür muss nun ein entsprechendes Düngeräquivalent als Kostenposition angesetzt werden, d.h. der Trester, der vorher dort ausgebracht wurde, wird nun mit Mineraldünger ersetzt. Dieser Arbeitsschritt wird entsprechend mit 57 % gewichtet.

Das entsprechende Düngeräquivalent sowie die Ausbringungskosten belaufen sich zusammen auf 14,23 EUR/t Trester. Den bisherigen Transportkosten im Status Quo (5,98 EUR zum Lagerplatz bzw. zur Biogasanlage) stehen nun 8,50 EUR/t für den Transport des gesamten Tresters (hier also nur eine Nutzungsvariante statt wie im Status Quo zwei Nutzungsvarianten) zur CoAct-Anlage per Container-LKW gegenüber.

In der IFBB-Anlage und durch die Pyrolyse entstehen weitere Kosten von 221,94 EUR/t Trester, aber auch Dünger aus dem Gärrest im Wert von 3,66 EUR/t. Der Erlös aus der Aktivkohle beträgt 59,69 EUR/t Trester.

Damit entsteht eine negative Wertschöpfung in Höhe von 181,32 EUR/t Trester.

Tabelle 13: Wertschöpfung Trester - CoAct

Wertschöpfung Trester - CoAct

Wertschöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung			Quelldaten	
-14,23 €	Ernte	N	2,23	€/t BM	Gesamtvolumen verfügbarer Trester:	541,20 t/a
		P2O5	1,06	€/t BM		
		K2O	2,65	€/t BM		
		MgO		€/t BM		
		CaO	0,05	€/t BM		
		Summe Düngeräquivalent	5,99	€/t BM		
		Düngerausbringung Kosten	8,24	€/t BM		
		Summe Kosten	14,23	€/t BM		
		Nur anteilig 57%, da 43% wie bisher im Status Quo ohne Trester gedüngt werden.				
-22,73 €	Logistik I	Transportkosten CoAct-Anlage	8,50	€/t BM		
	Bündeler / Zwischenlager					
	Logistik II					
-244,67 €	IFBB / Pyrolyse	**Anlagekosten**				
		Personalaufwand	25,53	€/t BM		
		Abschreibungen	136,48	€/t BM		
		Sonstige Aufwendungen	39,01	€/t BM		
		Aufwendungen für Strom	12,92	€/t BM		
		Aufwendungen für Wärme	0,00	€/t BM		
		Wasser	8,00	€/t BM		
		Gesamtsumme Kosten	221,94	€/t BM		
		N	0,72	€/t BM		
		P2O5	0,77	€/t BM		
		K2O	2,16	€/t BM		
		MgO		€/t BM		
		CaO	0,01	€/t BM		
		Summe Düngeräquivalent	3,66	€/t BM		
-241,01 €						
-181,32 €	Logistik / Vertrieb	**Erträge aus der CoAct-Anlage**				
		Aktivkohle	57,95	€/t BM		
		Strom	0,00	€/t BM		
		Wärme	1,74	€/t BM		
		Gesamtsumme Erträge	59,69	€/t BM		

3.5.2 CoAct Hopfen

In der CoAct-Wertschöpfungskette wird der Hopfenhäcksel bei der Trennung von Dolden und Kraut nun zu 100 % (nur ein Nutzungsweg statt wie im Status Quo zwei Nutzungswege) in bereitstehende Container gehäckselt und zur CoAct-Anlage transportiert. Eine Kompostierung in Hofnähe und Ausbringung in den Hopfengärten findet für dieses Material nicht mehr statt. Stattdessen wird für die Humusbilanz Grünkompost ausgebracht. Das Material und die entsprechende Ausbringung werden aber nur mit 80 % als Kostenposition (9,59 EUR/t) angesetzt, da im Status Quo bereits 20 % (rechnerischer Anteil an einer Tonne) in eine Biogasanlage abtransportiert wurde. Die Ausbringung des Grünkomposts ist aufgrund der geringeren benötigten Masse etwas günstiger als die Ausbringung des angerotteten Hopfens (3,19 EUR vs. 3,41 EUR, jeweils bezogen auf eine Tonne frischen Hopfenhäcksel). Die Transportkosten zur CoAct-Anlage mit einem Container-LKW betragen 8,50 EUR pro t Hopfenhäcksel.

In der IFBB-Anlage und durch die Pyrolyse entstehen weitere Kosten von 221,57 EUR/t Hopfenhäcksel, aber auch Dünger aus dem Gärrest im Wert von 5,51 EUR/t. Der Erlös aus der Aktivkohle beträgt 37,88 EUR/t Hopfenhäcksel.

Damit entsteht eine negative Wertschöpfung in Höhe von 196,28 EUR/t Hopfenhäcksel bei der Verwertung im kombinierten IFBB/CoAct-Prozess.

Tabelle 14: Wertschöpfung Hopfenhäcksel - CoAct

Wertschöpfung Hopfenhäcksel - CoAct			
Wertschöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung	Quelldaten
-9,59 €	Ernte	Ausbringung Grünkompost 3,19 EUR Humusaufbau (Grünkompos 6,40 EUR Kosten Grünkompost 9,59 EUR Nur anteilig für 80% berechnet, da 20% im Status Quo nicht als Kompost verwendet wurden, sondern in die Biogasanlage gebracht wurden.	KTBL 2016-2018 (Feldarbeitsrechner, Maschinenkostenkalkulation) Bericht zur Potential- und Statusanalyse [...], Bodenseestiftung, BSK, Stadt FN Hopfen 2015 (Grünes Heft), LfL Preis für 1 t Grünkompost: 12,50 € Ausbringung t Grünkompost für 1 t Hopfenhäcksel: 0,640
	Logistik I	entfällt	Der Hopfenhäcksel wird mit den Hopfendolden zur Betriebsstelle transportiert.
	Bündeler / Zwischenlager	entfällt	
-18,09 €	Logistik II	Transportkosten CoAct-Anlage 8,50 € EUR/t EUR/t	
-239,67 €	IFBB / Pyrolyse	**Anlagekosten** Personalaufwand 22,86 €/t BM Abschreibungen 128,07 €/t BM Sonstige Aufwendungen 35,20 €/t BM Aufwendungen für Strom 14,69 €/t BM Aufwendungen für Wärme 12,75 €/t BM Wasser 8,00 €/t BM Gesamtsumme Kosten 221,57 €/t BM	
-234,16 €		Düngerwert Gärsubstrat N 2,55 €/t BM P2O5 0,07 €/t BM K2O 2,76 €/t BM MgO €/t BM CaO 0,13 €/t BM Summe Düngeräquivalent 5,51 €/t BM	
-196,28 €	Logistik / Vertrieb	**Erträge aus der CoAct-Anlage** Aktivkohle 37,88 €/t BM Strom 0,00 €/t BM Wärme 0,00 €/t BM Gesamtsumme Erträge 37,88 €/t BM	

3.5.3 CoAct Straßenbegleitgrün

Die Berechnungen des Status Quo betreffen nur mechanisierbare Extensivflächen mit einer geschätzten Gesamtgröße von ca. 313 ha. Das entspricht ca. 44 % der gesamten Straßenbegleitgrünfläche von 711 ha. Bei den restlichen Flächen ist eine Bergung des Grasschnitts laut Expertenmeinung wirtschaftlich zu aufwendig oder technisch bzw. organisatorisch nicht möglich. Darunter befindet sich auch das Bankett am Straßenrand. Zum Absaugen des Schnittguts um die Leitpfosten herum besteht keine entsprechende technische Lösung.

Wie bereits beim Status Quo erwähnt wird, müssen für die Bergung des Grünschnitts zwar andere Maschinen eingesetzt werden, allerdings wird davon ausgegangen, dass die An- und Abfahrten sowie die Bergungszeiten und -kosten auch mit geändertem Maschinenequipment annähernd gleichbleiben.

Folgende Änderungen ergeben sich bzw. folgende Annahmen werden den Berechnungen zugrunde gelegt (Quelle: Stadt Friedrichshafen/Bodenseekreis):

- Es erfolgt eine Anschaffung von drei Mähzügen mit Absaugungsvorrichtung für die Bauhöfe für eine flächige Abdeckung des gesamten Bodenseekreises. Dafür entstehen zusätzliche Investitionskosten von ca. 100.000 EUR je Mähzug.
- Es wird die Annahme getroffen, dass sich keine Änderung zur bisherigen Mähleistung aufgrund der neuen Technik ergibt, d.h. die tägliche Mähleistung und die Anzahl der Anfahrten entsprechen dem Status Quo.
- Weiterhin wird angenommen, dass ein Anhänger für die Aufnahme des Mähguts eines Arbeitstages ausreicht. Eine Zwischenlagerung in einem Container findet statt. Der Container kann beispielsweise in der Nähe des entsprechenden Bauhofs platziert werden, so dass bei der Rückfahrt zum Bauhof das Material abgeladen werden kann. Entsprechend entfallen zusätzliche Strecken für die Anfahrt zum Container. Eine Abfuhr des Materials per Container-LKW findet jeden dritten Tag zur CoAct-Anlage statt.

  Kritisch bei diesem Punkt ist allerdings anzumerken, dass bei hohen Temperaturen oder sehr feuchtem Schnittgut womöglich bereits nach kurzer Zeit eine Gärung einsetzt, so dass das Material, das in der CoAct-Anlage angeliefert wird, womöglich für einen kontrollierten Gärprozess im Fahrsilo nicht verwendet werden kann. Die Gefahr einer Fehlgärung besteht. Eine Lösung muss hier mit der Praxis noch diskutiert werden, beispielsweise könnte nach einer späteren Festlegung des Standorts für die CoAct-Anlage bei kürzeren Entfernungen als 20 km eine direkte Anlieferung mit dem Ladewagen erwogen werden.
- Ein zusätzlicher Treibstoffaufwand je Mäheinsatz ist laut Expertenmeinung nicht zu erwarten.

Entsprechend fallen bei der Bergung des Grünschnitts höhere Abschreibungskosten für die neu angeschafften Mähzüge in Höhe von 4,31 EUR/t Straßenbegleitgrün an und Transportkosten zur CoAct-Anlage von 13,60 EUR/t.

In der IFBB-Anlage und durch die Pyrolyse entstehen weitere Kosten von 224,93 EUR/t Straßenbegleitgrün, aber auch ein Düngeräquivalent in Höhe von 3,44 EUR. Der Erlös aus der Aktivkohle beträgt 57,72 EUR/t. Damit entsteht eine negative Wertschöpfung in Höhe von 181,68 EUR/t Straßenbegleitgrün.

Zu einem früheren Zeitpunkt im Projekt wurde eine Reduktion der Anzahl der Mahdvorgänge aufgrund einer zunehmenden Aushagerung der Flächen durch die Biomasseabfuhr diskutiert. Diese Annahme lässt sich aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht verifizieren. Sollte tatsächlich eine geringere Anzahl von Mahdvorgängen daraus resultieren, wird sich das voraussichtlich erst über den Zeitraum einiger Jahre ergeben. Bei diesem Aspekt ist zu beachten, dass trotz einer möglichen Reduzierung des Aufwuchses die Verkehrssicherung im Vordergrund steht, und entsprechende Maßnahmen (Mäharbeiten) grundsätzlich durchzuführen sind.

Tabelle 15: Wertschöpfung Straßenbegleitgrün - CoAct

Wertschöpfung Straßenbegleitgrün - CoAct

Wertschöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung		Quelldaten
-4,31 €	Ernte	höhere Abschreibungen	4,31 €/t BM	Es werden ca. 100.000 EUR höhere Investitionskosten für Mähequipment und Mähgutsammelanhänger benötig als im Status Quo.
-17,91 €	Logistik I	Transportkosten zur CoAct-Anlage	13,60 €/t BM	
	Bündeler / Zwischenlager			
	Logistik II			
-242,84 €	IFBB / Pyrolyse	**Anlagekosten**		
		Personalaufwand	23,78 €/t BM	
		Abschreibungen	130,96 €/t BM	
		Sonstige Aufwendungen	36,74 €/t BM	
		Aufwendungen für Strom	14,83 €/t BM	
		Aufwendungen für Wärme	10,62 €/t BM	
		Wasser	8,00 €/t BM	
		Gesamtsumme Kosten	224,93 €/t BM	
		Düngerwert Gärsubstrat		
		N	2,12 €/t BM	
		P2O5	0,92 €/t BM	
		K2O	0,30 €/t BM	
		MgO	€/t BM	
		CaO	0,10 €/t BM	
		Summe Düngeräquivalent	3,44 €/t BM	
-239,40 €				
-181,68 €	Logistik / Vertrieb	**Erträge aus der CoAct-Anlage**		
		Aktivkohle	57,72 €/t BM	
		Strom	0,00 €/t BM	
		Wärme	0,00 €/t BM	
		Gesamtsumme Erträge	57,72 €/t BM	

3.5.4 CoAct Streuwiesenschnitt

Aufgrund verschiedener Trocknungsgrade besteht ein Unterschied zwischen den Einstreuballen ab Feld und dem frischen Schnittgut, so dass diese beiden Produkte nicht als gleichwertige Biomassen für die Einspeisung in die CoAct-Anlage behandelt werden können. Da zudem die Einstreuballen ab Feld bereits sinnvoll anderweitig abgesetzt werden können, werden diese sowie das Deponiegut (Schnittgut versetzt mit Holz) nicht in die Berechnungen miteinbezogen. Für die Berechnung der CoAct-Wertschöpfungskette wird von der Anlieferung relativ frischen Materials für das Silo auf der CoAct-Anlage ausgegangen. Dieses wird lose angeliefert. Es wird angenommen, dass ein Container-LKW für den Transport genutzt wird, wobei die Ernte und der Transport vom Feld zum Container mit den gleichen Maschinen vorgenommen wird, wie sie im Status Quo für die Abfuhr verwendet werden (Distanz 2 km zum Container, danach 20 km Fahrt zur CoAct-Anlage). Problematisch ist hierbei allerdings, dass bei einem solchen Transport die Biomasse schon nach wenigen Kilometern auf der Ladefläche bzw. im Container anfangen kann, zu gären. Dann besteht in der CoAct-Anlage die Gefahr einer Fehlgärung. Daher wird in der späteren Umsetzung je nach Lage der CoAct - Anlage womöglich nur ein Teil des Schnittguts lose angeliefert werden können, Biomasse von weiterentfernten Flächen kann eventuell als Silageballen angeliefert und gelagert werden. Diese veränderte Annahme ist erst rechnerisch überprüfbar, wenn die Entfernung der Wiesen zur CoAct-Anlage bekannt ist.

Der Transport zum Sammelcontainer und die Abfahrt zur CoAct-Anlage per Container-LKW kosten 20,35 EUR/t Biomasse.

In der IFBB-Anlage und durch die Pyrolyse entstehen weitere Kosten von 217,43 EUR/t Streuwiesenschnitt, aber auch ein Düngeräquivalent in Höhe von 2,00 EUR. Der Erlös aus der Aktivkohle beträgt 41,35 EUR/t Frischmasse. Damit entsteht eine negative Wertschöpfung in Höhe von 194,43 EUR/t Streuwiesenschnitt.

Eine Pauschale für die Abholung der Ballen ab Hof wird in der ökonomischen Berechnung im Gegensatz zur ökologischen Bewertung nicht mehr betrachtet, da einerseits die Variablen hierfür nicht bekannt sind (Transportmittel, -strecke) und zum anderen die Abholer voraussichtlich auf die Ballen ab Feld oder andere Anbieter von Einstreuballen ausweichen. Ein tatsächlicher Wegfall der Fahrten wird sehr wahrscheinlich nicht erfolgen.

Tabelle 16: Wertschöpfung Streuwiesen - CoAct

Wertschöpfung Streuwiesen - CoAct

Wertschöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung		Quelldaten
	Ernte			
-20,35 €	Logistik I	Transportkosten zum Container	4,89 €/t BM	Es werden nur jene Erntevorgänge betrachtet, bei denen auch im Status Quo Grünschnitt bzw. Anwelkgut geborgen wird. Ballen als Strohersatz sind aufgrund der trockeneren Substanz anderweitig zu bewerten.
		Transportkosten zur CoAct-Anlage	15,45 €/t BM	
		Gesamtkosten	**20,35 €/t BM**	
	Bündeler / Zwischenlager			
	Logistik II			
-237,78	IFBB / Pyrolyse	**Anlagekosten**		
		Personalaufwand	23,17 €/t BM	
		Abschreibungen	129,06 €/t BM	
		Sonstige Aufwendungen	35,73 €/t BM	
		Aufwendungen für Strom	20,64 €/t BM	
		Aufwendungen für Wärme	0,83 €/t BM	
		Wasser	8,00 €/t BM	
		Gesamtsumme Kosten	217,43 €/t BM	
		Düngerwert Gärsubstrat		
		N	0,52 €/t BM	
		P2O5	0,23 €/t BM	
		K2O	1,22 €/t BM	
		MgO	€/t BM	
		CaO	0,03 €/t BM	
-235,77		Summe Düngeräquivalent	2,00 €/t BM	
-194,43 €	Logistik / Vertrieb	**Erträge aus der CoAct-Anlage**		
		Aktivkohle	41,35 €/t BM	
		Strom	0,00 €/t BM	
		Wärme	0,00 €/t BM	
		Gesamtsumme Erträge	41,35 €/t BM	

3.5.5 CoAct Maisstroh

Der Erntevorgang für den Körnermais bleibt bei einer Abfuhr des Maisstrohs zu einer CoAct-Anlage unverändert zum Status Quo. Ebenso bleibt die Nachpflege des Feldes (Grubber, Pflug) gleich, da die Wurzelstöcke und ein Rest der Maispflanzen auf dem Feld auch nach der Maisstrohernte in der CoAct-Wertschöpfungskette zurückbleiben und in den Boden eingearbeitet werden müssen.

Da für die Maisstrohernte keine Praxisbeispiele aus der Region vorliegen, dient ein Bericht der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) zu diesem Thema als Grundlage für die Berechnungen (Fleschhut et al. 2017). Grundsätzlich gibt es laut diesem Bericht drei Methoden, das Maisstroh zu bergen. Die gleichzeitige Ernte (einstufiges Verfahren) von Maiskörnern und Maisstroh wäre grundsätzlich mit umgebauten Mähdreschern möglich. Da aber die Ernte für das CoAct-Verfahren für Landwirte eher experimenteller Natur wäre und zum jetzigen Stand des Wissens auch nur einen kleinen Teil des Biomassepotenzials ausschöpfen würde, ist ein Umbau bestehender Maschinen unwahrscheinlich. Auch für ein zweistufiges Verfahren, bei dem bereits bei der Körnerernte geschwadet wird, wäre eine maschinelle Modifikation notwendig. Entsprechend ist das dreistufige Verfahren am wahrscheinlichsten, bei dem die Körnerernte, das Schwaden und die Bergung des Maisstrohs in drei verschiedenen Schritten erfolgt.

Dementsprechend fallen in der CoAct-Wertschöpfungskette zwei zusätzliche Arbeitsvorgänge für Schwaden und Bergung an. Die Kostenpositionen wurden von Fleschhut & Strobl 2017 für die Berechnung übernommen und auf eine Tonne Maisstroh umgerechnet.

Für die Verwendung in der CoAct-Anlage wird das Maisstroh nach der Körnermaisernte geschwadet, aufgeladen und zur CoAct-Anlage gefahren. Inwieweit es dort trocken gelagert oder siliert wird, ist bisher nicht bekannt und muss mit Praktikerinnen und Praktikern aus der Region diskutiert werden. Aus der o.g. Studie werden die Kosten für die Silierung übernommen. Damit fallen Kosten pro t Maisstroh in Höhe von 34,07 EUR/t bis zu diesem Punkt an. Zudem wird als Humus- und Düngerersatz noch die Ausbringung von Grünkompost mit eingerechnet (9,54 EUR/t Maisstroh). Ob die Ausbringung von Grünkompost tatsächlich notwendig ist oder ob nach der Abfuhr des geernteten Maisstrohs nicht noch genug Pflanzenreste auf der Fläche für den Humusaufbau zurückbleiben, konnte nicht abschließend geklärt werden. Da es sich aber um eine mögliche Kostenposition handelt, wurde sie in die Berechnung mitaufgenommen.

Durch die Pyrolyse entstehen weitere Kosten von 151,35 EUR. Der Ertrag aus der Aktivkohle beträgt 45,18 EUR. Insgesamt ergibt sich daraus eine negative Wertschöpfung von 149,78 EUR.

Tabelle 17: Wertschöpfung Maishäcksel CoAct

Wertschöpfung Maishäcksel CoAct

Wert-schöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung			Quelldaten
-26,24 €	Ernte / Feldarbeiten	Ausbringung Grünkompost	2,97	EUR	Der Erntevorgang für den Körnermais selbst bleibt unverändert, auch die Nachpflege des Feldes (Grubber, Pflug) bleibt im Vergleich zum Status Quo gleich.
		Humusaufbau (Grünkompost)	6,57	EUR	Die Kosten der Ernte bis Entnahme und Beschickung der Biogasanlage wurden von Fleschhut, M., 2017 übernommen und nur CoAct-spezifische Änderungen vorgenommen. Die Reduktion des Humusaufbaus wird durch die Ausbringung von Grünkompost ausgeglichen.
			9,54	EUR	
		Kosten(pauschale) Ernte+Transport (5 km)+Einsilieren	16,70	€/t	Preis für 1 t Grünkompost: 12,50 € Ausbringung t Grünkompost für 1 t Maishäcksel: 0,5255
-43,62 €	Logistik I	Zusatzkosten f. weitere 15 km Transport :	17,37	€/t	
	Bündeler / Zwischenlager	entfällt			
	Logistik II	entfällt			
-194,97 €	Pyrolyse	Personalaufwand	8,92	€/t BM	
		Abschreibungen	65,99	€/t BM	
		Sonstige Aufwendungen	20,70	€/t BM	
		Aufwendungen für Strom	14,21	€/t BM	
		Aufwendungen für Wärme	41,54	€/t BM	
		Summe Aufwendungen	151,35	€/t BM	
-149,78 €	Logistik / Vertrieb	**Erträge aus der CoAct-Anlage:**			
		Aktivkohle	45,18	€/t BM	
		Strom	0,00	€/t BM	
		Wärme	0,00	€/t BM	
		Gesamtsumme Erträge	45,18	€/t BM	

3.5.6 CoAct Hochstammschnitt

Die für die CoAct-Anlage zur Verfügung stehende Biomasse ist das auf dem Feld verbrannte und für eigene Heizzwecke (Scheitholz) eingesetzte Holz. Die Abgabe als Hackholz (Hackschnitzel) wird in den Berechnungen nicht berücksichtigt, da es sich bei einer privaten Nutzung dabei bereits um einen hochwertigen Verwertungsweg handelt. Sollte es für die CoAct-Anlage doch genutzt werden, könnte es zu Marktpreisen in gehackter Form gekauft werden.

Für die Berechnung der CoAct-Wertschöpfungskette werden folgende Annahmen getroffen: Der Schnitt und die Sammlung des Holzes finden unverändert zum Status Quo statt. Der Hochstammschnitt wird vor Ort durch ein Dienstleistungsunternehmen gehäckselt, der Holzhacker mit Aufbaumotor ist an einen Unimog angehängt, auf dessen Ladefläche das Häckselgut zur CoAct-Anlage abtransportiert wird.

Insgesamt fallen Maschinen- und Standkosten des Häckslers an zuzüglich der Personalkosten für das Häckseln (zusammen 17,23 EUR/t) sowie Maschinen- und Personalkosten für den Transport mit dem Unimog (37,12 EUR/t). Somit ergeben sich im Bereich Logistik (inklusive Häckseln) Kosten in Höhe von 54,35 EUR/t.

Durch die Pyrolyse entstehen weitere Kosten von 232,20 EUR. Der Ertrag aus dem Aktivkohle- und dem Wärmeverkauf beträgt 108,33 EUR. Insgesamt ergibt sich daraus eine negative Wertschöpfung von 178,23 EUR.

Alternativ besteht die Möglichkeit, Sammelstellen einzurichten, an denen das Holz von den Landwirtinnen und Landwirten selbst abgegeben werden kann. Da aber zurzeit nur sehr selten das bereits bestehende Angebot des Bodenseekreises angenommen wird, das Holz auf dem Feld abholen zu lassen, ist es umso unwahrscheinlicher, dass die Landwirtinnen und Landwirte das Material, das sonst auf dem Feld verbrannt werden würde, ohne Vergütung selbst abtransportieren. Inwieweit sich die Situation verändern würde, wenn ein Verbrennungsverbot für Hochstammschnitt auf dem Feld ausgesprochen werden würde, ist nicht quantifizierbar.

Tabelle 18: Wertschöpfung Hochstammschnitt - CoAct

Wertschöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung			Quelldaten
		Wertschöpfung Hochstammschnitt - CoAct			
	Ernte				Schnitt und Sammlung des Holzes sind gleich dem Status Quo.
-54,35 €	Logistik I	Maschinen-/Standkosten Häcksler	9,91	€/t	Transport mit Unimog (Häckselgut auf Ladefläche)
		Häckselarbeiten Zeitaufwand	7,33	€/t	Häckseln vor Ort durch Dienstleister
		Transportkosten Unimog	14,48	€/t	Holzhacker mit Aufbaumotor an Unimog angehängt
		Transportkosten Zeitaufwand	22,64	€/t	
		Gesamtkosten Transport + Häckselarbeiten	**54,35**	**€/t**	
	Bündeler / Zwischenlager				
	Logistik II				
-286,56 €	Pyrolyse	Personalaufwand	19,00	€/t BM	
		Abschreibungen	140,58	€/t BM	
		Sonstige Aufwendungen	43,30	€/t BM	
		Aufwendungen für Strom	29,33	€/t BM	
		Aufwendungen für Wärme	0,00	€/t BM	
		Summe Aufwände	232,20	€/t BM	
-178,23 €	Logistik / Vertrieb	**Erträge aus der CoAct-Anlage:**			
		Aktivkohle	95,38	€/t BM	
		Strom	0,00	€/t BM	
		Wärme	12,95	€/t BM	
		Gesamtsumme Erträge	108,33	€/t BM	

3.5.7 CoAct Heckenschnitt

Die Anlieferung des Heckenschnitts an die Entsorgungszentren und das dortige Verfahren ist identisch zum Status Quo, daher setzen die Berechnungen erst bei den Transportkosten ein. Aufgrund einer kürzeren Anfahrt von den Entsorgungszentren zu der CoAct-Anlage reduzieren sich die Transportkosten auf 4,59 EUR/t (Status Quo: 26,22 EUR/t).

Durch die Pyrolyse entstehen weitere Kosten von 232,20 EUR. Der Ertrag aus dem Aktivkohle- und dem Wärmeverkauf beträgt 108,33 EUR. Insgesamt ergibt sich daraus eine negative Wertschöpfung von 128,47 EUR.

Tabelle 19: Wertschöpfung Heckenschnitt - CoAct

Wertschöpfung Heckenschnitt - CoAct			
Wertschöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung	Quelldaten
	Ernte		
	Logistik 1	Anliefergungsgebühr erhoben vom BSK (netto) 54,62 €/t inkl. Sammlung in Wertstoffhöfen und Weitertransport an Entsorgungsfachzentren	Bei Anlieferung werden vom BSK 65 €/t (netto: 54,62 €/t) für Grünschnittmaterial erhoben. Dieses Vorgehen findet im Status Quo als auch in der CoAct-Variante statt, solange das EFZ als Bündeler in Erscheinung tritt, daher werden diese Kosten hier nicht weiter berücksichtigt.
	Entsorgungszentren (Bündeler)		
-4,59 €	Logistik II	Transportkosten 4,59 €/t	
-236,80 €	Pyrolyse	Personalaufwand 19,00 €/t BM Abschreibungen 140,58 €/t BM Sonstige Aufwendungen 43,30 €/t BM Aufwendungen für Strom 29,33 €/t BM Aufwendungen für Wärme 0,00 €/t BM Summe Aufwände 232,20 €/t BM	
-128,47	Logistik / Vertrieb	**Erträge aus der CoAct-Anlage:** Aktivkohle 95,38 €/t BM Strom 0,00 €/t BM Wärme 12,95 €/t BM Gesamtsumme Erträge 108,33 €/t BM	

3.5.8 CoAct Siebüberlauf (Biogasanlagen-Biomüllverwertung)

Diese Biomasse ist von den weiteren Betrachtungen aufgrund technischer Restriktionen derzeit ausgeschlossen.

3.6 Das CoAct-Kalkulations-Tool

Um die ökonomischen Auswirkungen der CoAct-Anlage mit allen bisher identifizierten Gewinn- und Kostenpositionen abbilden zu können, haben das IFEU, Krieg & Fischer und das IfLS gemeinsam ein „Excel-Tool“ pro Anlagenvariante mit jeweils beiden Biomassemixen entwickelt. Die für die Ökonomie relevanten Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen beispielhaft für die grüne Wiese abgebildet (Tabelle 21 - Tabelle 24). In Tabelle 20 ist eine vergleichende GuV für die beiden Biomassemixe abgebildet; um zu verdeutlichen, dass sich die beiden Biomassemixe im Ergebnis kaum unterscheiden. Daher wird in den nachfolgenden Abschnitten nur noch der Biomassemix 1 betrachtet. Zwischenzeitlich wurden die Zahlen aus Tabelle 20 erneut überarbeitet und angepasst. Die Entwicklung der beiden Biomassemixe ist in Kapitel 4.1.3 näher erläutert.

Tabelle 20: Gewinn- und Verlustrechnung pro Biomassemix für die grüne Wiese

	Biomassemix 1 (30 % grasartiges Material)	**Biomassemix 2 (50 % grasartiges Material)**
Aktivkohle/Pflanzenkohle	219.480 EUR	233.800 EUR
Erlös Wärmeeinspeisung	51.164 EUR	41.874 EUR
Summe Erlöse	**270.644 EUR**	**275.674 EUR**
Personalaufwand	50.000 EUR	50.000 EUR
Abschreibungen	410.247 EUR	410.247 EUR
Sonstige Aufwendungen	308.512 EUR	308.512 EUR
Aufwendungen für Strom	29.507 EUR	36.085 EUR
Aufwendungen für Wärme	0,00 EUR	0,00 EUR
Wasser	3.135 EUR	5.223 EUR
Dieselverbrauch	2.407 EUR	3.335 EUR
Summe Aufwände	**803.808 EUR**	**813.402 EUR**
Ergebnis Total	**-533.164 EUR**	**-537.728 EUR**
Variable Kosten	85.049 EUR	94.643 EUR
Fixe Kosten	718.759 EUR	718.759 EUR

Quelle: Excel-Tool auf Basis von Daten von Krieg & Fischer, ifeu und Björnsen Beratende Ingenieure

Tabelle 21: Daten zum Strom-, Wasser-, und Wärmebedarf sowie jeweiligen Erträge und Aufwendungen für Biomassemix 1

	Streuwiesen (IFBB-Biomasse)	Holz (Nicht-IFBB-Biomasse)	Mix pro Tonne	Einheit; Bezug: Tonne feuchter Biomasse-input	Jährliche Bedarfe und Erträge für Biomassemix	Einheit	Kosten/Erlöse pro Jahr in EUR
Biomasseinput Streuwiesen feucht (FM)	1		940	t	940	t	
Biomasseinput Holzpellets (FM)		1	824	t	824	t	
Anteil Biomasseinput Streuwiesen feucht, Rest sind Holzpellets			0,533		0,533		
Anteil Presssaft in Faulturm	0,22	1	0,45				
Strombedarf Hochsilo	31,618		16,849	kWh/t	29721	kWh/a	
Strombedarf IFBB Maische	34,936		18,617	kWh/t	32840	kWh/a	
Wasserbedarf	2		1,066	t/t	1880	t/a	
Kosten							
Strombedarf IFBB					62.561	kWh/a	18.768 EUR
Strombedarf Pyrolyse					366750	kWh/a	110025 EUR
Wasserbedarf					1880	t/a	3444 EUR
Druckluftbedarf					153.500	m^3/a	4.605 EUR
Einkauf Holzhackschnitzel					824	25 €/t	20.600 EUR
Summe							**157.439 EUR**
Erlöse							
Wärmeertrag Pyrolyse					1.718.000		137.440 EUR
Stromertrag PV Anlage					134.000	kWh/a	40.200 EUR
Erlös Aktivkohle					105	t	210.000 EUR
Summe							**387.640 EUR**

Quelle: Excel-Tool auf Basis von Daten von ifeu und Björnsen Beratende Ingenieure

Nachfolgend wird dargelegt, wie die einzelnen Positionen mit Hilfe des Excel-Tools berechnet werden. Welche Daten und Annahmen den Positionen zugrunde liegen wurde bereits in den 3.2 und 3.3 erläutert. Auch auf die Grenzen des Tools wird eingegangen und Alternativen aufgezeigt.

Beschreibung der Eingabemöglichkeiten für das Exceltool

In Tabelle 21 sind die Erträge und variablen Kosten für die Berechnung des GuV-Ergebnisses dargestellt. Die Erträge und variablen Kosten basieren auf den in Tabelle 21 dargestellten Bedarfen und den im Exceltool hinterlegten Preisen für Strom, Wasser, Wärme, Druckluft und Holzhackschnitzel (siehe Kapitel 3.2) und Erlösen für den Wärmeüberschuss, den Stromertrag und Aktivkohle (siehe Kapitel 3.3.). Die Eingabe der Preise ist variabel möglich, so können stets aktuelle Annahmen in die Berechnungen einfließen. Hinzukommend fließen in die GuV noch die fixen Kosten und die Personalkosten (siehe 3.4) ein. Im Exceltool wird dazu die Summe der Abschreibungen für die einzelnen Anlagengüter berechnet (Tabelle 22), sowie unter „sonstigen Aufwendungen“ die Reparatur-, Versicherungs-, Wartungskosten, Kosten für Buchhaltung und der Kapitaldienst entsprechend der Investitionssumme und Beanspruchung der Anlagen kalkuliert (Tabelle 23). In einer separaten Exceltabelle können die aktuellen Zinssätze, die gewünschte Kreditlaufzeit und ein mögliches Disagio eingegeben werden, um die Höhe des Kapitaldienstes zu berechnen (Tabelle 24). Die Investitionskosten sind im gleichen Tabellenblatt wie die Fixkosten aufgelistet und fließen über die jeweiligen Abschreibungen und den Kapitaldienst in die GuV ein. Das Ergebnis der jährlichen GuV ist dann die Differenz zwischen Erträgen und Aufwendungen (Kapitel 3.4, Tabelle 13).

Tabelle 22: Investitionskosten und Abschreibung einer CoAct-Anlage auf der grünen Wiese

grüne Wiese	Investitionskosten	Afa-Dauer in Jahren	Jährliche Abschreibung
Grundstück	27.300 EUR	-	-
Werksinfrastruktur	30.000 EUR	10	3.000 EUR
Anlagenmontage	70.200 EUR	10	7.020 EUR
Planung und Genehmigung	100.000 EUR	10	10.000 EUR
Container / Gebäude (2x Pultdachhalle)	100.000 EUR	14	7.143 EUR
Pumpenraum	30.000 EUR	10	3.000 EUR
Hochsilo 100 m²	650.000 EUR	10	65.000 EUR
Waldausgleichsflächen für 150 m²	1.250 EUR	-	-
Aufbereitung	130.000 EUR	6	21.667 EUR
Maische	317.000 EUR	14	22.643 EUR
Vergärung	284.000 EUR	16	17.750 EUR
Gärrestlagerung	285.000 EUR	16	17.813 EUR
Rückhalteeinrichtung gem. AwSV	737.223 EUR	10	73.722 EUR
Gasnutzung	80.000 EUR	10	8.000 EUR
Gastechnik	14.000 EUR	16	875 EUR
Gas-, Elektro-, Heiztechn. Installation	100.000 EUR	15	6.667 EUR
Summe IFBB	**2.955.973 EUR**		**264.299 EUR**
Tiefbau (Fahrfläche, Fundamente und Bodenplatte (Halle, Silos)	558.705 EUR	25	22.348 EUR
Hochbau (Halle, Big-Bag-Lager)	454.580 EUR	25	18.183 EUR
Technische Anlagen	**3.184.440 EUR**		
Presskuchentrocknung	370.090 EUR	10	37.009 EUR
Pelletierung	178.500 EUR	10	17.850 EUR
Pelletlagerung	159.460 EUR	10	15.946 EUR
Lagerung holzige Biomasse	207.060 EUR	10	20.706 EUR

grüne Wiese	Investitionskosten	Afa-Dauer in Jahren	Jährliche Abschreibung
Pyrolyse mit Peripherie	1.295.910 EUR	10	129.591 EUR
Fördertechnik	357.000 EUR	10	35.700 EUR
E-/MSR-Technik	295.120 EUR	10	29.512 EUR
Netzstation	154.700 EUR	10	15.470 EUR
Photovoltaikanlage	166.600 EUR	10	16.660 EUR
Baunebenkosten	**754.460 EUR**		
Planungskosten	690.200 EUR	-	-
Genehmigung	16.660 EUR	-	-
Gutachten	47.600 EUR	-	-
Summe Pyrolyse	**4.952.185 EUR**		**358.975 EUR**
Aktivierung	1.000.000 EUR	10	100.000 EUR
Vorbereitung Biomassen	100.000 EUR	10	10.000 EUR
Summe Aktivierung	**1.100.000 EUR**		**110.000 EUR**
Summe	**9.008.158 EUR**		**733.274 EUR**

Quelle: Excel-Tool auf Basis von Daten von Krieg & Fischer und Björnsen Beratende Ingenieure

Tabelle 23: Sonstige Aufwendungen und Personalkosten für eine CoAct-Anlage auf der grünen Wiese

Betriebliche Aufwendungen einer CoAct-Anlage pro Jahr	
Wartung/Instandhaltung	132.950 EUR
Wartung Silo	1.000 EUR
Versicherung	33.124 EUR
Buchhaltung	24.761 EUR
Kapitaldienst	673.156 EUR
Summe	**864.990 EUR**

Quelle: Excel-Tool auf Basis von Daten von Krieg & Fischer, Björnsen Beratende Ingenieure und eigenen Berechnungen

Der Personalaufwand und die sonstigen Aufwendungen, bis auf den Kapitaldienst, wurden von den Technikpartnern zur Verfügung gestellt.

Tabelle 24: Berechnung des Kapitaldienstes

Kapitaldienst grüne Wiese mit Hochsilo	
Zinssatz	6,00 %
Laufzeit in Jahren	10
Darlehenssumme inkl. Disagio	4.954.487 EUR
Darlehenssumme ohne Disagio (50 % Eigenkapital)	4.504.079 EUR
Disagio	10 %
Restbetrag am Ende der Laufzeit	0
Kapitaldienst jährlich	-673.156 EUR
bezahlter Betrag nach 10 Jahren	-6.731.560 EUR

Quelle: Excel-Tool, eigene Berechnungen

Alternativen zum Excel-Tool

Das Excel-Tool sollte insbesondere dazu dienen, die einzelnen Wertschöpfungsketten ökonomisch abzubilden. Um aber eine sich stetig ändernde Biomassenzusammensetzung im Laufe eines Jahres abzubilden bzw. die Abfolge verschiedener Biomassen aufeinander, sollte ein flexibleres Tool genutzt werden, dass auch Engpässe (z.B. in Produktions-, Lagerkapazitäten, Maschinenauslastungen) berücksichtigen kann

Grundsätzlich ist es möglich ein solches Planungstool mit linearer Programmierung zu erstellen. Hier wäre dann auch die Überwachung von Engpässen möglich. Das betrifft zum einen die Kapazitätsauslastungen der IFBB- und Pyrolyse-Anlage. Wenn beispielsweise in verschiedenen Jahreszeiten bestimmte Biomassen vermehrt anfallen, müssen die entsprechenden Lagerkapazitäten (z.B. Hochsilo) vorhanden sein, um die IFBB- und Pyrolyse-Anlage auslasten zu können. Andererseits müssen bei einem Überangebot von Biomasse auch die maximalen Auslastungskapazitäten der CoAct-Anlage berücksichtigt werden. Selbst Kapazitätsengpässe innerhalb des Verarbeitungsprozesses, z.B. hinsichtlich der Mengen, die ein Magnetabscheider oder Häcksler maximal pro Tag verarbeiten können, könnten miteinbezogen werden.

Für die spätere Umsetzung in der Praxis kann ein solches Tool bei der Planung helfen, aber dafür sind dann grundsätzlich auch Programme für die Fertigung, Prozessautomatisierung und –optimierung als Software erwerbbar. Diese müssen dann entsprechend an den Fertigungsprozess von einem Dienstleister angepasst werden. Die Auswahl der passenden Software und des passenden Anbieters muss von einem Ingenieursbüro unterstützt werden.

3.7 Potenzielle Betreibermodelle

In einer CoAct-Anlage werden aus regionalen Biomassen Aktivkohlen hergestellt. Dieser Ansatz verbindet Branchen wie Land-, Forstwirtschaft, Landschaftspflege, Grünflächenmanagement, Abfall-, Wasser- und Energiewirtschaft. Die technischen Potenziale liegen darin primär Aktivkohlen zu erzeugen. Dabei fallen Wärme und je nach Anlagenvariante Presssaft an, wobei letzterer in Fermentern ebenfalls in Energie oder in Kläranlagen als Kohlenstoffquelle eingesetzt werden kann. Darüber hinaus kann der Technik-Ansatz von CoAct dazu beitragen, eine ökologisch nachhaltige Aktivkohle unabhängig von globalen Lieferketten regional zu erzeugen. Die ökonomischen Potenziale liegen darin, Synergien mit bestehenden Anlangen und Infrastrukturen wie Biogasanlagen, Kläranlagen oder Wertstoffhöfen zu heben (vgl. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und 6) und Biomassen, beispielsweise aus der Landschaftspflege, die bisher kostenpflichtig entsorgt werden mussten, einer höherwertigen Nutzung zuzuführen (vgl. Kapitel 3.5). Das organisatorische Potenzial liegt in neuen Geschäftsmodellen für die Betreiber oben genannter Anlagen und eine sektorübergreifende, partizipative Entwicklung neuer Wertschöpfungsnetzwerke in der jeweiligen Region. Dazu müssen regionale Kommunikationskonzepte entwickelt werden, um Nutzungsänderungen der Biomassen und Investitionskonzepte aufeinander abzustimmen und diese in Betreiber- und Kooperationsmodellen institutionalisiert werden.

Wie im Folgenden auch noch näher erläutert wird, setzt der Betrieb einer CoAct-Anlage die Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteursgruppen entlang der Wertschöpfungskette voraus, was unterschiedliche Kooperationsformen notwendig macht. Zudem muss ein Betreibermodell gefunden werden, das zum einen berücksichtigt, dass ein Akteur maßgeblich für die Steuerung der Wertschöpfungskette verantwortlich ist. Zum anderen sollte die Struktur ermöglichen, eine Vielzahl unterschiedlicher Akteure in die Wertschöpfungskette zu integrieren und in Entscheidungsprozesse einzubinden. Das muss nicht über Mehrheitsbeteiligungen oder vertragliche Absicherung gehen. Wichtig ist vielmehr, dass eine Koordinationsfunktion effektiv ausgeführt werden kann und gleichzeitig Prozessverbesserungen und die Rückkoppelung mit den anderen Partnern weiterhin möglich sind, um ein Wertschöpfungsnetzwerk mit unterschiedlichen Branchen von der Biomassebereitstellung, über die Energie-,

(Ab-)Wasser-, Abfallbranche, sowie den öffentlichen und privaten Sektor zu etablieren und zu optimieren.

Letztendlich sollte das Betreibermodell Projektrisiken möglichst gut mitigieren. Dabei lassen sich zwei Arten von Risiken unterscheiden (Kretschmer 2016:67, vgl. Call & Ivanov 2014) wie Risiken bei der Planung und Umsetzung des Projektes. Dazu zählen Risiken der Finanzierung (Projektentwickler, Projektpartner, Bank), Risiken des Betriebs (technischer und kaufmännischer Betreiber), Verkaufsrisiken (Abnehmer der Aktivkohle), Fertigstellungsrisiken (Bauunternehmer) und Beschaffungsrisiken (Biomasselieferanten). Um diese Risiken vorbeugend zu berücksichtigen, empfiehlt sich eine gut überlegte Wahl der Gesellschaftsform bzw. des Beteiligungsmodells sowie des Betreibermodells. Kriterien für bzw. Vorteile bestimmter Betreibermodelle sowie Leitfragen für die Einengung von Betreibermodellen sind in Kapitel 3.7.13.7.1 dargestellt.

Die zweite Art der Risiken bezieht sich auf institutionelle Risiken und Schwierigkeiten bei der Durchführung. Dazu zählen regionale Kooperationen, unternehmerische Governance und Vertragsmanagement. Diese Risiken lassen sich nicht allein über das Betreibermodell mitigieren. Darüber hinaus lassen sich institutionelle Risiken generell schlechter mitigieren, wenn sie im Kontext komplexer Themen wie der Energiewende auftreten (Monstadt 2007: 340). Versteht man den CoAct-Ansatz ebenfalls als ein komplexes Thema, das sektorübergreifend Akteure aus den Bereichen Energie, Abwasser, Land-/Forstwirtschaft, Naturschutz, der öffentlichen Hand und des Privatsektors einbindet, so braucht es auch für CoAct neue Politikansätze, um Infrastrukturen zu entwickeln und an regionale und lokale Nachhaltigkeitsanforderungen anzupassen (ibid. 326). Welche Form von Kooperationen es gibt und wodurch diese sich auszeichnen, ist in Kapitel 3.7.2 dargestellt.

3.7.1 Organisationsformen für den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage

Aus den unterschiedlichen Risiken und der Situation in der jeweiligen Region stellt sich die Frage, ob der Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage von einem existierenden, etablierten Unternehmen oder Organisation übernommen werden oder eine neue Betreibergesellschaft mit diesem Zweck etabliert werden soll. Verkaufsrisiken wären beispielsweise reduziert, wenn ein Abwasserzweckverband oder anderer Kläranlagenbetreiber die CoAct-Anlage betreibt und zumindest einen Teil der Produktion selbst einsetzt. Das Beschaffungsrisiko ist reduziert, wenn ein Kompostwerk, Wertstoffhof oder anderes Unternehmen eine CoAct-Anlage betreibt, das bereits Biomassen verarbeitet. Ein zentrales Argument für dafür ist, dass Synergien mit etablierten Infrastrukturen und Prozessen geringeren administrativen Aufwand erzeugen, wenn sie innerhalb eines Unternehmens generiert werden, als wenn eine zweite Betreibergesellschaft auf oder am Unternehmenssitz eines anderen Unternehmens Infrastrukturen synergetisch nutzen möchte. Gleichzeit stehen dem Finanzierungsrisiken, ggf. Verkaufsrisiken bzw. Beschaffungsrisiken und auch Betriebsrisiken gegenüber, die sonst überwiegend durch eine externe Betreibergesellschaft getragen würden. Letzteres würde also Risiken von anderen Geschäftsfeldern trennen. Inwiefern der Betrieb einer CoAct-Anlage in eine existierende Gesellschaft integriert werden oder eine neue Betreibergesellschaft gegründet werden sollte, hängt maßgeblich von den potenziellen Synergien mit existierenden Infrastrukturen sowie deren Betreibergesellschaften zusammen.

Kommunen spielen für den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage eine zentrale Rolle. Sie sind Aufgabenträger und damit für die Entsorgung des gesamten Hausmülls inklusive Grünschnitt verantwortlich. Dazu betreiben Kommunen Ver- und Entsorgungsinfrastrukturen auf ihrer Gemarkung, lassen diese betreiben oder wirken an ihrer Ansiedlung über Planungsprozesse mit. Die Konzentration dieser Infrastrukturen auf einzelne Sparten wie Energie, Abwasser, Abfall etc. führt dazu, dass bei einer cross-

sektoralen entsprechende Koordinierungsleistungen notwendig sind, um die natürlichen Ressourcen den Nutzerinnen und Nutzern zuzuführen (Tietz 2011). Dies gilt auch für das CoAct-Verfahren, in dem Biomassen gesammelt, aufbereitet, gelagert oder verteilt werden müssen, um Aktivkohle, Energie und Kohlenstoffquelle für den Klärprozess zu erzeugen und einzusetzen.

Organisatorisch und formalrechtlich kommen unterschiedliche öffentlich-rechtlich oder privatrechtlich organisierte Unternehmen für den Bau und Betrieb infrage. Einige relevante Organisationsformen sind beispielhaft in Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Beispielhafte Gegenüberstellung von öffentlichen und privaten Organisationsformen für den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage

Eigenbetrieb (Kommunale Hand)	Zweckverband (Zusammenschluss von Kommunen)	Privatrechtliche Organisationsform in öffentlichem Besitz	Ausschreibung von Leistungen durch die kommunale Hand	Öffentlich-Private Partnerschaft (ÖPP)	Privater Betrieb
■ Unternehmerische Entscheidungen unterliegen direkter politischer Kontrolle ■ Synergien mit bestehenden Infrastrukturen ■ Kommunale Finanzierung	■ Zusammen-schluss von Kommunen ■ Kommunale Finanzierung ■ Synergien mit bestehenden Infrastrukturen realisierbar	■ Unterrichtungs-, Auskunftspflichten sowie Weisungsrechte entsprechend der Gesellschaftsform (z. B. GmbH) ■ Vorrang der Unternehmensinteressen vor den kommunalen Interessen ■ Synergien mit bestehenden Infrastrukturen realisierbar	■ Abnahme der Aktivkohle zu vereinbartem Preis ■ Finanzierung und Bereitstellung der ausgeschriebenen Leistung ■ Kosten richten sich nach den ausgeschriebenen Leistungen ■ Die öffentl. Hand hat keinen Einfluss auf unternehmerische Entscheidungen jenseits der Spezifikationen der Ausschreibung ■ Synergien mit bestehenden Infrastrukturen und Prozessen des Betreibers realisierbar ■ Definierte Laufzeit	■ Einfluss auf unternehmerische Entscheidungen in Abhängigkeit von den gehaltenen Firmenanteilen ■ Einbringen eigener Infrastrukturen und eigenen Know-Hows möglich ■ Synergien mit Infrastrukturen und Prozessen des Partners möglich ■ Geteiltes wirtschaftliches Risiko	■ Abnahme / Verkauf der Aktivkohle zu Marktpreis ■ Kein kommunaler Einfluss auf unternehmerische Entscheidungen ■ Finanzierung von Bau und Betrieb der Anlage durch privaten Betreiber ■ Synergien mit bestehenden Infrastrukturen und Prozessen des Betreibers realisierbar

Quelle: Eigene Darstellung

Wie die Tabelle 25 zeigt, kann eine CoAct-Anlage von einem Privatunternehmen oder einer Kommune gebaut und betrieben werden. Ersteres wäre eine private, letzteres eine öffentliche Investition. Der Bau und Betrieb wäre in Hand des Anlagenbesitzers (Engl. Build-Own-Operate - BOO). Öffentliche und private Partner können gemeinsam eine Anlage in einer BOO-Struktur bauen und betreiben, beispielsweise im Rahmen einer öffentlich-privaten Partnerschaft.

Wie dargestellt, kann es darüber hinaus eine Arbeitsteilung zwischen der öffentlichen Hand und privaten Unternehmen geben. Dies ist immer dann der Fall, wenn die öffentliche Hand Leistungen ausschreibt und Konzessionen vergibt. Dabei können der Bau, der Betrieb und der Besitz der Anlage betrachtet werden. Die unterschiedlichen Möglichkeiten der Arbeitsteilung zwischen dem privaten Sektor und der öffentlichen Hand sind Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Beispielhafte Betreiberstrukturen für den Bau, Betrieb und Besitz einer CoAct-Anlage

Build-Own-Operate (**BOO**)	Partner A beauftragt den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage. Partner B baut, besitzt und betreibt eine CoAct-Anlage.
Build-Own-Operate-Transfer (**BOOT**)	Die öffentliche Hand vergibt den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage. Ein Unternehmen baut und betreibt die CoAct-Anlage. Das Unternehmen ist Eigentümer der CoAct-Anlage, bis die Konzession abläuft. Nach Ablauf der Konzession geht die CoAct-Anlage in das Eigentum der öffentlichen Hand über.
Build-Operate-Transfer (**BOT**)	Die öffentliche Hand finanziert den Bau einer CoAct-Anlage. Ein Unternehmen baut diese und übergibt sie der öffentlichen Hand, übernimmt jedoch den Betrieb für eine definierte Zeit.
Build-Lease-Operate-Transfer (**BLOT**)	Die öffentliche Hand finanziert den Bau einer CoAct-Anlage. Ein Unternehmen baut die Anlage und mietet diese nach Fertigstellung von der öffentlichen Hand, um sie für die Dauer der Konzession zu betreiben.

Quelle: Eigene Darstellung

Vergibt die öffentliche Hand Konzessionen, so können sich darauf nicht nur private Unternehmen, sondern auch öffentlich-private Partnerschaften oder privatrechtlich organisierte Unternehmen im kommunalen Besitz bewerben. Ebenso sei darauf hingewiesen, dass in den Fällen, in denen ein Betreibermodell gewählt wird, bei dem der Betrieb einer Anlage vom Konzessionsnehmer an die öffentliche Hand zurückgeht, der Betrieb i.d.R. neu ausgeschrieben wird. Häufig bewirbt sich das bisherige Unternehmen erneut auf den Betrieb der jeweiligen Infrastruktur.

3.7.2 Zentrale organisatorische Aspekte zum Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage

Der Technik-Ansatz von CoAct sieht die Kooperation einer Vielzahl von Akteursgruppen vor. So ergeben sich zentrale Synergien dann, wenn

- Biomassen aus der Landschaftspflege einer hochwertigen Verwertung zugeführt werden können,
- die Aktivkohlen in regionalen Kläranlagen zum Einsatz kommen und
- der Presssaft aus dem IFBB-Verfahren am Produktionsort verwertet werden kann (z. B. energetisch oder als Kohlenstoffzugabe im Klärprozess) sowie
- die Wärme in ein Nahwärmenetz eingespeist werden kann.

Synergien ergeben sich somit an Standorten, an denen Biomassen verarbeitet werden. Dazu zählen Wertstoffhöfe, Kompostwerke etc. Denkbar sind Biogasanlagen, da dort ebenfalls Biomassen

verarbeitet werden und das Prozesswasser aus dem IFBB-Verfahren energetisch verwertet werden kann. Darüber hinaus sind insbesondere Kläranlangen geeignet, da diese das Prozesswasser als Kohlenstoffquelle und die Aktivkohlen in der 4. Reinigungsstufe einsetzen können.

Eine erfolgreiche Umsetzung des Technikkonzepts setzt also voraus, dass Akteure aus verschiedenen Sektoren entlang der Wertschöpfungskette zusammenarbeiten. Grundsätzlich können Kooperationsformen anhand von ihren Zielen oder aufgrund ihrer Intensität, Dauer und Zielrichtung unterschieden werden. Additive und synergetische Kooperationen unterscheiden sich in den Zielen bzw. dem Zweck der Kooperation. Kooperation hat immer eine Einschränkung des individuellen Handelns zur Folge. Die beiden Kooperationsformen haben somit zum Ziel durch die Zusammenarbeit eine Optimierung zu erlangen, welche eine Einschränkung der Individualität rechtfertigt (Schramm et al. 2023: 53). Horizontale, vertikale und komplementäre Kooperationen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Intensität, Dauer und Zielrichtung (ebd.:53f.). Folgerichtig gilt es für die spezifische Akteurskonstellation und die unterschiedlichen Motivationen und Interessen die richtige Kooperationsform zu finden, um eine CoAct-Anlage erfolgreich zu betreiben. Zentral für das Gelingen solcher Kooperationen ist, dass ein Akteur als zentraler Treiber fungiert (Schramm et al. 2023: 28). Tabelle 27 stellt Anwendungsmöglichkeiten unterschiedlicher Kooperationsformen im Kontext des Baus und Betriebs einer CoAct-Anlage vor. In der Praxis finden sich häufig unterschiedliche Kombinationen von Kooperationsformen (Schramm et al. 2023: 54). Inwiefern die unterschiedlichen Kooperationsformen für den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage genutzt werden können, ist ebenfalls dargestellt.

Tabelle 27: Charakteristika und Anwendungsmöglichkeiten unterschiedlicher Kooperationsformen beim Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage

Kooperationsform	Charakteristika	Anwendungsmöglichkeit CoAct
Additive Kooperation	Durch die Zusammenarbeit wird ein Skaleneffekt erzielt, der einen Mehrwert für die Beteiligten darstellt	Eine Kooperation regionaler Abwasserzweckverbände zur gemeinsamen Nutzung regionaler Aktivkohlen, sichert die Auslastung der CoAct-Anlage und reduziert das wirtschaftliche Risiko des Betreibers
Synergetische Kooperation	Durch das Teilen von Ressourcen (Anlagen, Rohstoffe, Wissen etc.) wird ein Mehrwert geschaffen, den die Beteiligten alleine nicht generieren könnten	CoAct erfordert eine synergetische Kooperation, um aus regionalen Biomassen Aktivkohle herzustellen
Horizontale Kooperation	Zusammenarbeit auf derselben Stufe der Wertschöpfungskette oder derselben politischen Ebene	Zusammenarbeit verschiedener landwirtschaftlicher Betriebe zur Bereitstellung von Biomasse oder die Zusammenarbeit von Kommunen
Vertikale Kooperation	Zusammenarbeit entlang einer Wertschöpfungskette	Zusammenarbeit forstwirtschaftlicher Betriebe und Hackschnitzelproduzenten zur Bereitstellung von Hackschnitzeln für den CoAct-Prozess
Komplementäre Kooperation	Zusammenarbeit von Akteurinnen und Akteuren verschiedener Wertschöpfungs- ketten und Branchen, Bereiche	Zusammenarbeit der Abfall-, Abwasserwirtschaft und Landwirtschaft sowie der öffentlichen Verwaltung, beispielsweise im Rahmen von ÖPP

Quelle: Eigene Darstellung, (Eigene Darstellung in Anlehnung an Schramm et al. 2023: 53f)

Häufig werden Kooperationen im Bereich der öffentlichen Infrastruktur und Daseinsvorsorge nie nur aus rein wirtschaftlichen Überlegungen eigegangen (Schramm et al. 2023: 54). Vielmehr spielen auch kommunalpolitische oder gesellschaftliche Momente eine Rolle. Im Falle von CoAct werden Biomassen einer höherwertigen Verwertung zugeführt. Da fossile Aktivkohle ersetzt werden kann, spielen zudem die Themen Klimawandel und Versorgungssicherheit durch die so zu erschließende regionale Versorgungsquelle als Motiv für den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage eine Rolle.

4 Ergebnisse der Umsetzungsphase

In der Forschungsphase des Vorhabens wurden verschiedene potenzielle Standorte einer CoAct-Anlage geprüft. Wie bereits erwähnt, wurden Synergien für den Bau- und Betrieb einer CoAct-Anlage an Kläranlagen, Biogasanlagen, Entsorgungszentren und Bauhöfen in unterschiedlichem Umfang identifiziert, je nachdem welche Biomassen verarbeitet werden sollen. Im Rahmen der Forschungsphase wurden diese Standorte in der Projektregion identifiziert und das Interesse der Eigentümer und Betreiber abgefragt.

Der Abwasserzweckverband Kressbronn-Langenargen verfügt über eine vierte Reinigungsstufe. In dieser kommt fossile Pulveraktivkohle zum Einsatz. Das Konzept der regionalen Aktivkohleproduktion stieß hier auf Interesse, ebenso wie der Einsatz des Presssaftes aus dem IFBB-Verfahren als Kohlenstoffquelle. Somit erfolgte eine vertiefte Anlagenplanung in der Umsetzungsphase für diesen Anlagenstandort. Konzeptionell ähnlich wäre der Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage an einer Biogasanlage. Lediglich die Nutzung der produzierten Aktivkohlen würde nicht vor Ort anfallen.

Zusätzlich wurde der Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage ohne IFBB-Modul betrachtet. Eine solche Anlagenkonfiguration ist beispielsweise an einem Biomasseentsorgungszentrum oder Bauhof denkbar, wo keine Infrastrukturen zur Vergärung des Presssaftes oder zur Aufbereitung des Wassers aus dem IFBB-Verfahren verfügbar sind. Ohne IFBB-Modul könnten lediglich holzige Biomassen verarbeitet werden. Der hohe ökologische Nutzen durch die hochwertige Verwertung grasartiger Biomassen stellt sich an diesen Standorten somit nicht ein. Gleichwohl liegen die Investitionskosten niedriger und ermöglichen eine regionale Produktion von Pflanzenaktivkohlen.

Im folgenden Kapitel wird auf die detaillierte Standortplanung Kläranlage am Beispiel der Kläranlage Kressbronn eingegangen (Kapitel 4.1). Zusätzlich als Vergleich wird eine Anlagenkonfiguration ohne IFBB-Modul für ein Entsorgungszentrum vorgestellt (Kapitel 4.2). Die ökonomische Betrachtung dieses Standorts erfolgt allerdings nicht auf einer konkreten Standortplanung wie im Falle der Kläranlage, sondern basiert auf theoretischen Überlegungen, die eine Entnahme des IFBB-Moduls aus der detaillierten Planung für die Kläranlage beinhalten.

Das Kapitel endet mit Überlegungen zu einer externen Aktivierung von Aktivkohlen (Kapitel 4.3). Dieses Konzept sieht die regionale Produktion von Pflanzenkohlen vor, um Biomassen nicht weit transportieren zu müssen. Pyrolysiert nehmen die Biomassen jedoch nur noch ca. 1/10 des Volumens ein und könnten zentral in größeren Anlagen aktiviert werden. Wenngleich der logistische Aufwand steigt, könnten Skalierungseffekte bei der Aktivierung erzielt werden.

4.1 Standortvariante Kläranlage (Anlagenvariante mit IFBB-Modul)

4.1.1 Anlagenkonfiguration

Der Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage auf einer Kläranlage bietet sich insbesondere da an, wo die Aktivkohlen vor Ort in der vierten Reinigungsstufe eingesetzt werden können. Die Kläranlage Kressbronn setzt bereits seit einigen Jahren Pulveraktivkohle zur weitergehenden Abwasserbehandlung und somit zur Entfernung von organischen Spurenstoffen ein. Entsprechend könnte durch eine CoAct-Anlage der Eigenbedarf an Aktivkohle gedeckt werden. Damit der hier geplanten CoAct-Anlage jährlich ca. 100 t Aktivkohle produziert werden können, übersteigt die produzierte Menge den

Aktivkohlebedarf der Kläranlage Kressbronn von ca. 20 t pro Jahr um ein Vielfaches. Dieser Überschuss könnte jedoch in den umliegenden Kläranlagen Stockach (ca. 40 t Aktivkohle pro Jahr) und Ravensburg (ca. 130 t Aktivkohle pro Jahr) eingesetzt werden, die ebenfalls Pulveraktivkohle einsetzen.

Zugleich besitzen Kläranlagen nutzbare Infrastrukturen, die eine Integration einer CoAct-Anlage unter Nutzung von weiteren Synergieeffekten ermöglichen würde. So kann für das IFBB-Technikkonzept das eigene Prozesswasser der Kläranlage genutzt werden, wodurch kein zusätzliches Wasser benötigt wird und die Betriebskosten deutlich reduziert werden können.

Anforderungen an die Anlagenvariante

Die räumlichen Gegebenheiten sind von Kläranlage zu Kläranalage unterschiedlich. Sollte das Betriebsgelände erweitert werden müssen, geht dies meist zu Lasten umliegender Nutzungen, sofern eine Erweiterung überhaupt möglich ist. Neben einer sinnvollen technischen Integration der CoAct-Anlagen in die Kläranlageninfrastruktur können der Platzbedarf Anforderungen an die Analgenvariante definieren. Im Falle der Kläranlage Kressbronn wurden beispielsweise die im Bau und Betrieb teureren Hochsilos zur Lagerung krautiger Biomassen gewählt, um das Betriebsgelände in möglichst geringem Umfang erweitern zu müssen.

Der Wasserbedarf für das IFBB-Verfahren spielt eine untergeordnete Rolle, da das Prozesswasser der Kläranlage für diesen Zweck verwendet werden kann (hohes Wasser zu Input-Verhältnis von bis zu 10:1). Somit können durch die Verwendung von Prozesswasser zur Anmaischung von Gärsubstrat jährlich bis zu 6400 m³ Frischwasser eingespart werden.

Die Faultürme der Kläranlage können als Fermenter genutzt werden. Voraussetzung ist, dass die Kapazität der Faultürme nicht ausgeschöpft ist. Der Presssaft nimmt ein zusätzliches Faulraumvolumen von ca. 200 m³ in Anspruch.

Eine weitere Option ist die Nutzung von Presssaft im Kläranlagenprozess als externe Kohlenstoffquelle. Für die biologische Denitrifikation muss externer Kohlenstoff hinzugegeben werden, da der CSB im Abwasser zu gering ist. Hierfür kann der Presssaft aufgrund seines hohen CSB-Gehalts verwendet werden.

Das zusätzlich in den Faultürmen erzeugte Biogas (ca. 4 m³/Stunde) kann zusammen mit dem Klärgas in der Heizzentrale genutzt werden. Der zusätzlich erzeugte Strom kann direkt für den Betrieb der Kläranlage genutzt werden, um den Strombedarf zu reduzieren. Die Wärme kann komplett für den Eigenbedarf genutzt werden. Weitere Abnehmer der in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Wärme sind im Falle der Kläranlage Kressbronn in der Nachbarschaft nicht vorhanden. Im Rahmen einer kommunalen Wärmeplanung könnte jedoch der Bau eines Nahwärmenetzes geprüft und die Einspeisung der Prozesswärme vorgesehen werden.

Der Aktivkohlebedarf der Kläranlage Kressbronn beläuft sich auf 20 t pro Jahr. Nach überschlägiger Rechnung könnte eine CoAct-Anlage mit einer Pyreg A500 aus 1.000 t Pellets ca. 100 – 200 t Aktivkohle pro Jahr produzieren. Der Eigenbedarf kann, auch bei geringerer Qualität der Aktivkohle gedeckt werden und weitere Kläranlagen können versorgt werden.

Hinsichtlich der erforderlichen Lagerflächen befindet sich etwa 150 m vom Gelände der Kläranlage entfernt bereits ein Lagerplatz der Gemeinde Kressbronn-Langenargen für Grünschnitt. Dieser Platz könnte auch als Biomasselagerplatz für eine CoAct-Anlage genutzt werden. Zusätzlich befindet sich direkt neben der Kläranlage ein Kieslagerplatz der Gemeinde, welcher zur Lagerung und ggf. Silierung von Biomassen genutzt werden kann. Evtl. erforderliche Erweiterungen für die Realisierung einer

CoAct-Anlage sind nach Angaben des Betreibers möglich. Auch bzgl. der vorhandenen Logistikinfrastruktur sind voraussichtlich keine Einschränkungen zu erwarten, so dass die erforderlichen zusätzlichen LKW-Anfahrten keine Erweiterung der bestehenden Infrastruktur erfordern.

Technische Umsetzung des CoAct-Verfahrens

Die Umsetzung erfolgt mit der Variante fünf zur Erzeugung von Presskuchen für die Auslastung einer A500, die 1.000 t Trockenmasse pro Jahr verarbeitet. Um die Anlage über das ganze Jahr mit Substraten zu versorgen, müssen die zumeist saisonal anfallenden Substrate konserviert und gelagert werden. Enthaltene Störstoffe müssen vor der Konservierung entfernt werden, da eine Abtrennung nach der Konservierung deutlich schlechter durchzuführen und technisch schwieriger ist. Während der Konservierung, die durch Milchsäuregärung durchgeführt wird, wird im Siliergut enthaltener Zucker bzw. Stärke durch Bakterien in organische Säuren abgebaut. Durch den Säuregehalt wird die Silage konserviert. Durch den teilweisen Abbau der organischen Substanz wird das Pflanzengewebe aufgeschlossen und in der Maische mehr Inhaltstoffe freigesetzt als bei unbehandeltem Substrat.

Die eingesetzten Substrate müssen auf unterschiedliche Weise vorbehandelt werden und erfordern zum Teil unterschiedliche Aufbereitungsverfahren: Landschaftspflegeschnitt und Straßenbegleitgrün werden nach der Zerkleinerung im Häcksler über einen Magnetabscheider und eine Siebanlage geführt. Das Straßenbegleitgrün wird zusätzlich über einen Sichter geführt, um Leichtstoffe zu entfernen. Sollte der Störstoffgehalt beim Landschaftspflegeschnitt gering sein, kann dieser Schritt umgangen werden.

Der Einsatz der Wassermenge für die Anmaischung ist auf eins zu zwei reduziert. Es kann Prozesswasser aus der Biogasanlage genutzt werden. Zur Anmaischung wird eine Schwemmrinne eingesetzt. Dabei wird das Substrat über einen Aufgabetrichter der Schwemmrinne zugeführt und langsam vom Einlass zum Auslass geschwemmt und dabei von oben über Verteildüsen mit Perkolatwasser berieselt. In einem Schneckenseparator wird die Maische anschließend in Feststoffe und Presssaft separiert. Dabei erreicht die eingesetzte Schneckenpresse Trockensubstanzgehalte von über 40 % im Presskuchen. Der abgepresste Presssaft, in dem die energiereichen, gelösten Komponenten enthalten sind, wird der Vergärung im Fermenter mit Kontaktverfahren zugeführt. Das erzeugte Biogas kann im vorhandenen BHKW genutzt werden zur Erzeugung von Strom und Wärme.

Die flüssige Phase des Austrags aus dem Fermenter nach der Separierung wird als Flüssigdünger vermarktet. Eine ausreichende Lagerkapazität für neun Monate ist vorhanden.

Der Presskuchen wird getrocknet und pelletiert und der Pyrolyse zur Erzeugung von Aktivkohle zugeführt.

Anlagenkomponenten

Faultürme: Der anfallende Klärschlamm wird auf der Kläranlage Kressbronn aktuell in zwei Faultürmen (1400 m³ bzw. 1600 m³) behandelt und das entstehende Methan in zwei Blockheizkraftwerken (BHKW) mit einer Nettoleistung von je 50 kW elektrisch verstromt. Die Abwärme wird zum Heizen der Faultürme auf 37 °C (mesophil) genutzt. Durch die Verstromung des Klärgases kann aktuell etwa 50 % des Energiebedarfs der Kläranlage gedeckt werden. Der Anfall an Klärschlamm reicht jedoch nicht aus, um die Faultürme auszulasten, was in einer aktuellen Verweilzeit des Klärschlamms von über 100 Tagen in den Faultürmen resultiert. Nach Angaben des Betreibers wären Verweilzeiten von etwa 21 Tagen ausreichend. Dieses Faulraumvolumen könnte zur Co-Vergärung des Presssaftes aus dem IFFB-Technikkonzept genutzt werden. Eine solche Co-Vergärung würde zu einer erhöhten Methanproduktion

führen, wodurch der Energiebedarf der Kläranlage reduziert werden könnte, oder unter Umständen eine komplette Selbstversorgung erreicht werden könnte.

Denitrifikation: Mit einer CSB-Konzentration von etwa 550 mg/L im Rohabwasser ist die Kohlenstoffbelastung des Abwassers sehr gering. Dies äußert sich darin, dass für die vorgeschaltete Denitrifikation des Abwassers zur Stickstoffentfernung aktuelle externe Kohlenstoffquellen dazugegeben werden müssen. Diese werden dazugekauft. Aufgrund des hohen CSB-Gehalts der IFBB-Presssäfte besteht die Möglichkeit einen Teil des Presssaftes zur Substituierung dieser Kohlenstoffquellen in der Denitrifikation einzusetzen, wodurch Betriebskosten eingespart werden können.

4.1.2 Betreibermodell für eine CoAct-Anlage an der Kläranlage Kressbronn

Das Betreibermodell für die CoAct-Anlage an der Kläranlage Kressbronn kristallisierte sich in Folge eines umfangreichen Austauschs zwischen den zentralen Akteursgruppen im Bodenseekreis heraus. Die in Abschnitt „**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**“ vorgestellten Leitfragen wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens beantwortet. Dabei wurden die sich daraus ergebenden Handlungsoptionen mit den regionalen Akteursgruppen explizit oder implizit diskutiert.

Der Abwasserzweckverband Langenargen-Kressbronn nutzt auf seiner Kläranlage Aktivkohle in der vierten Reinigungsstufe. Starke Preisschwankungen der Weltmarktpreise für Aktivkohlen und teilweise gestörte Lieferketten für dieses für den Abwasserzweckverband wichtige Produkt, weckten das Interesse am CoAct-Verfahren und eigens produzierter Aktivkohlen. Drei Gründe machen den CoAct-Ansatz für den Abwasserzweckverband interessant. Erstens ist die Versorgung aus regionalen Biomassen gesichert und unabhängig von instabilen politischen Situationen in Produktionsregionen oder Störungen in der globalen Warenlogistik. Zweitens sind die Kosten für die Produktion von CoAct-Aktivkohlen langfristig besser planbar. Preissteigerungen aufgrund steigender Nachfrage wirken sich so nicht direkt auf die Kosten des Kläranlagenbetriebs und damit die Abwassergebühren der beteiligten Kommunen aus. Und drittens weckte die Nutzung des Presssaftes im Klärprozess das Interesse des Betreibers. Der kohlenstoffhaltige Presssaft kann eine bis dato zugekaufte Kohlenstoffquelle ersetzen und auch hier die Abhängigkeit von Märkten reduzieren mit dem Potenzial Gebühren stabil zu halten. Darüber hinaus steht mit dem Klärwasser kostenfreies Prozesswasser zur Verfügung. Die Faultürme am Standort sind aktuell nicht ausgelastet und können die zusätzliche Menge an Prozesswasser auch energetisch verwerten.

Auch bei den kommunalen Entscheiderinnen und Entscheider, die den Abwasserzweckverband tragen, stößt der CoAct-Ansatz aufgrund der o.g. Synergien auf Interesse, zumal den Kommunen bislang eine Verwertungsmöglichkeit ihres Grünschnitts fehlt. Diese regionale Einbettung des Technik-Ansatzes ist für die kommunalpolitische Ebene interessant, da so die Bevölkerung direkt eingebunden werden kann und eine Lösung für die Entsorgung krautiger Biomassen vorliegt.

Der Abwasserzweckverband Langenargen-Kressbronn beabsichtigt den CoAct-Ansatz weiterzuverfolgen. Zu klären ist weiterhin, ob der Bau und Betrieb der CoAct-Anlage vom Zweckverband selbst weiterverfolgt wird oder dafür eine eigene Trägerschaft geschaffen wird. Klar ist, dass der Abwasserzweckverband die Kontrolle über den Bau behalten will, da dieser auf der Kläranlage erfolgen soll. Darüber hinaus erscheint ein integrierter Betrieb von Kläranlage und Aktivkohleproduktion zielführend, um die beschriebenen Synergien tatsächlich zu nutzen. Nur so kann sichergestellt werden, dass einerseits ausreichend Prozesswasser aus dem Klärprozess für das IFBB-Verfahren zur Verfügung steht und dieses

gleichzeitig die erforderliche Kohlenstoffmenge für den Klärprozess liefert. Darüber hinaus gilt es bei den Prozesswassermengen die Kapazitäten der Faultürme bestmöglich zu nutzen. Ein integrierter Betrieb der Kläranlage und CoAct-Aktivkohlenproduktion unter dem Dach des Abwasserzweckverbands vermeidet alle Abstimmungs- und Koordinationsbedarfe, die mit einer komplementären Kooperation eines CoAct-Betreibers mit dem Abwasserzweckverband verbunden wäre. Betroffen wären davon alle Prozesse, von der Biomasselogistik bis zur Bereitstellung von Prozesswasser für und aus dem IFBB-Verfahren sowie der Aktivkohlen selbst. Behält der Abwasserzweckverband die Kontrolle über den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage, optimiert er institutionelle Risiken und Risiken beim Betrieb des Vorhabens. Dafür trägt er Beschaffungs- und Finanzierungsrisiken.

Etabliert der Abwasserzweckverband ein Betreiberunternehmen, optimiert er die Projektrisiken wie Finanzierungsrisiken, in dem er nicht (allein) das wirtschaftliche Risiko trägt. Gleichwohl wäre dieser von einem Scheitern einer Betreibergesellschaft betroffen, wenn die CoAct-Anlage auf der Kläranlage errichtet wurde. Unabhängig davon besteht bei einer eigenen Trägergesellschaft die Möglichkeit, weitere Akteure einzubinden. Denkbar wären weitere Kläranlagenbetreiber oder Biomasselieferanten. Dadurch können Verkaufsrisiken und Beschaffungsrisiken optimiert werden.

Unabhängig von der Betreiberorganisation der CoAct-Anlage braucht es ein regionales Netzwerk, dass die gesamte Wertschöpfungskette abbildet. Die Biomasselogistik muss so organisiert sein, dass die unterschiedlichen Quellen zur benötigten Zeit in den Ausgangsstoff für die CoAct-Aktivkohlen in der richtigen Qualität bereitstellen. Darüber hinaus muss der Absatz der Aktivkohlen gesichert werden. Diese Steuerungsfunktion des Wertschöpfungsnetzwerkes liegt ebenfalls beim Abwasserzweckverband, da dieser den Ansatz in der Region zusammen mit der Bodensee-Stiftung vorantreibt. Beide Institutionen sind in der Region sowohl mit den Kommunen, der Land- und Forstwirtschaft sowie dem Naturschutz vernetzt und verfügen über die Kapazitäten ein Wertschöpfungsnetzwerk aufzubauen. So wurde bereits im Rahmen des CoAct-Vorhabens festgestellt, dass einzelne Dienstleister in der Lage wären, die CoAct-Anlage kontinuierlich mit Biomasse zu versorgen. Biomasseaufbereitung, -lagerung und -bereitstellung könnten so unter Umständen effizienter erfolgen. Im Fall einer weiteren Konkretisierung des CoAct-Ansatzes im Bodenseekreis sollten die Möglichkeiten und Grenzen einer solchen vertikalen Kooperation vertieft geprüft werden.

4.1.3 Biomassemix

Als Biomassen, welche dem CoAct-Technikkonzept zugeführt werden können, eignet sich grundsätzlich eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Biomassen. Um jedoch sowohl Nutzungskonkurrenzen mit bestehenden Verwertungswegen zu vermeiden als auch einen ökologischen Mehrwert und eine nachhaltige Bewirtschaftung von Flächen zu fördern, liegt der Fokus in dem CoAct-Technikkonzept auf der Verwertung von Restbiomassen.

Um eine Auswahl unter den acht in der Region verfügbaren Restbiomassen zu treffen, wurden die verschiedenen Restbiomassen zunächst auf ihre technische Eignung zur Herstellung von Aktivkohle untersucht. Zur Bewertung der Eignungen dieser Biomassen für das CoAct-Technikkonzept erfolgte eine Unterteilung in die Biomassefraktionen "grasartiges Material", "halmartiges/strohartiges Material", "holziges Material" und "sonstiges Material". Diese Unterteilung erlaubt eine erste Abschätzung, welche Biomassen für das IFFB-Technikkonzept geeignet sind und welche direkt pyrolysiert werden können.

Tabelle 28: Liste der untersuchten Restbiomassen

01 Restholz von Hochstammpflegeschnitt	13 Maisstroh
02 Obstbäume (Rodung)	14 Hopfenpflanzenreste
03 Wurzelstöcke von z.B. Apfelplantagen	15 Weintrester
04 Holz aus Pflege von Fluss- und Seeufern	16 Obsttrester
05 Schwemmholz	17 Maische (Brennrückstand)
06 Hecken- und Strauchschnitt	18 Obstkerne
07 Restholz (Forst und sonst. Gehölze)	19 Nussschalen
08 Holziges Straßenbegleitgrün	20 Algen
09 Straßenbegleitgrün	21 Klärschlamm
10 Landschaftspflegeschnitt von Streuwiesen	22 Durchwachsene Silphie
11 Landschaftspflegeschnitt von Feuchtwiesen	23 Siebüberlauf Biogasanlagen- Biomüllverwertung

Die erstellte Liste mit pflanzlichen Rest- und Abfallstoffen im Bodenseekreis wurde mit den Projektpartnern in der Region, den Mitarbeitenden der Umweltabteilung der Stadt Friedrichshafen und des Abfallwirtschaftsamtes im Bodenseekreis abgeglichen. Somit berücksichtigt die Auswahl die im Bodenseekreis vorkommenden Biomassen.

In weiteren Schritten wurden mit Vertreterinnen und Vertreter verschiedener Ämter des Landkreises (Abfallwirtschaftsamt, Amt für Liegenschaften, Untere Naturschutzbehörde, Straßenbauamt, Landwirtschaftsamt), des Landschaftserhaltungsverbandes sowie mit Vertreterinnen und Vertretern der Stadtverwaltung (Stadtbauamt/Grünabteilung, Amt für Vermessung und Liegenschaften, Städtische Bauverwaltung, Umweltamt) relevante Vorkommen pflanzlicher Reststoffe im Landkreis sowie der Stadt Friedrichshafen skizziert und entsprechende Schlüsselakteure bezüglich Aufkommen, Transport und Nutzung von Restbiomassen identifiziert (= Biomasse-Akteure).

Parallel zur Definition der Restbiomassen erfolgte eine Erfassung und Untersuchung erster Biomassen im Spätsommer / Herbst 2018. Diese wurden in luftdicht verschließbaren Fässern verdichtet und durch saure Konservierung lagerfähig aufbereitet. Nachdem relevante Biomassemengen erfasst wurden, wurden die Proben an die Uni Kassel gesendet und dort aufbereitet. Dieser Schritt war wichtig, um schon frühzeitig erste Aktivkohlen herstellen zu können. Zudem konnten dabei einige Restbiomassen als für das CoAct-Projekt ungeeignet ausgeschlossen werden. Unter anderem führten erste stoffliche Analysen zum Ausschluss von Apfeltrester.

Im weiteren Projektverlauf wurden weitere Biomassen ausgeschlossen, da mengenmäßig von untergeordneter Bedeutung (Nussschalen), im Bodenseekreis keine Restbiomasse (Getreidestroh), hohes Maß an Verunreinigung und problematisch in der Verarbeitung (Schwemmholz, Laub). Und einige Biomassen wurden aufgrund ihrer Vergleichbarkeit zusammengefasst (verschiedene Fraktionen Landschaftspflegeschnitte zu Streuwiesen).

Um eine Anzahl an Biomassen zu definieren, für die detaillierte Informationen bzgl. raumzeitlicher Verfügbarkeit, Logistik, stoffliche Eigenschaften, Verarbeitbarkeit zu Aktivkohle im Rahmen der ersten Projektphase generiert werden können, einigten sich die Projektpartner auf acht Biomassen. Dabei wurden Restbiomassen aus allen vier Biomassefraktionen gewählt. Zudem wurden Restbiomassen mit einem relevanten Mengenanfall, die von unterschiedlichen Akteursgruppen geworben/verarbeitet werden und auch für andere Landkreise eine potenzielle Relevanz haben, berücksichtigt. Die Projektpartner verständigten sich auf die folgenden Fokus-Restbiomassen:

Tabelle 29: Fokus-Restbiomassen, die prioritär untersucht wurden

1. Maisstroh (strohartige)
2. Hochstammschnitt (holzige)
3. Strauch- und Heckenschnitt (holzige)
4. Landschaftspflegematerial von Streuwiesen (grasartige)
5. Straßenbegleitgrün (grasartige)
6. Hopfhenhäcksel (sonstige)
7. Weintrester (sonstige)
8. Siebüberlauf Biogasanlage Biomüllverwertung (sonstige)

Nach der Auswahl der Restbiomassen wurden relevante Personen und Personengruppen eruiert, die mit den entsprechenden Biomassen Berührungspunkte haben. Zur Bestimmung des theoretischen Potenzials im Bodenseekreis verfügbarer Biomassen wurden von Oktober bis Dezember 2018 die oben genannten Akteure und Experten fragebogenbasiert zum Mengenaufkommen und zur Verwendung von Biomassen holziger, halmartiger und grasartiger Struktur befragt. Nachdem das theoretische Biomassepotenzial bekannt war, wurden die Datenerhebungen zum Verwertungsstatus verschiedenster Biomassefraktionen intensiviert. Dazu wurden die von den Akteuren gesteuerten Mengen nach technischen, ökonomischen und ökologischen Kriterien bewertet. Diese qualitativen und quantitativen Angaben der lokalen Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner wurden bei den weiteren Betrachtungen mit einbezogen. Anschließend wurden die Ernte- und Logistikketten auf Praktikabilität und die acht Biomassen auf räumlich und zeitliche Verfügbarkeit geprüft. Dabei sind für CoAct besonders die Biomassen von Interesse, die eine geringe oder gar keine Nutzungskonkurrenz aufweisen. Zusätzlich werden auch die rechtlichen Rahmenbedingungen, wie z.B. das Abfallrecht, und daraus resultierende Pflichten für den Umgang mit Restbiomassen beachtet.

Bei der Prüfung der Restbiomassen auf ihre Eignung für das CoAct-Technikkonzept konnten sehr schnell zwei weitere Restbiomassen ausgeschlossen werden:

Der Siebüberlauf aus der Biogasanlage Amtzell konnte im Rahmen des CoAct- Technikkonzeptes in der FuE-Phase nicht verarbeitet werden. Der Grund hierfür liegt darin, dass diese Restbiomasse teilweise stark mit unterschiedlichen Kunstsoffen in verschiedenen Größen verunreinigt ist. Die Kunststoffe an sich stellen zwar von der Menge in der Pyrolyse selbst kein Problem dar, jedoch ist eine vorherige Homogenisierung und Kompaktierung erforderlich. Hierzu wurde die Biomasse zerkleinert und sollte anschließend pelletiert werden. Bei der Pelletierung entstehen jedoch Temperaturen von bis zu 70 °C oder mehr. Diese hohen Temperaturen führten dazu, dass die Matrize der Pelletpresse aufgrund des Kunststoffanteils verklebte und eine weitere Verarbeitung nicht möglich war.

Ebenfalls als problematisch gestaltete sich die Verarbeitung des Hopfenhäcksels mittels IFBB-Verfahren. In der Projektregion werden für die Hopfenstauden Metalldrähte als Rankhilfen verwendet, welche bei der Ernte an ihrer Aufhängung abgeschnitten und so die Dolden von den Stauden entfernt werden. Die abgeernteten Stauden werden zusammen mit dem Draht gehäckselt und anschließend siliert. Um eine Beschädigung bzw. Verschleiß der Schneckenpresse bei der mechanischen Entwässerung des gemaischten Hopfenhäcksels nach der hydrothermalen Konditionierung zu verhindern, ist eine Abscheidung der Drahtrückstände zwingend erforderlich.

Im Labormaßstab wurden die Drahtrückstände nach der hydrothermalen Konditionierung mittels eines Magneten aus der Maische entfernt. Im großtechnischen Maßstab ist jedoch eine zusätzliche Aufbereitung dieser Restbiomasse mittels einen Magenabscheiders erforderlich. Zukünftig wäre eine

Umstellung des Hopfenanbaus auf Kunststoffseile als Rankhilfe eine mögliche Alternative, um diesen Aufbereitungsschritt zu umgehen. Plastik und Kunststoffe stellen in geringer Konzentration im niedrigen einstelligen Prozentbereich keine Beeinträchtigung in der Pyrolyse dar und werden bei der Pyrolyse vollständig abgebaut.

Nach weiterer Prüfung der technischen Eignung, der Verfügbarkeit sowie der Logistik der acht Restbiomassen haben sich folgende zwei geeignete Biomassemischungen herauskristallisiert:

Biomassemix 1: 70 % holzige Biomassen, bestehend aus Hochstamm, Hecken- und Strauchschnitt plus 30% grasartige Biomassen, bestehend aus 10 % kommunalen Grünschnitt und 20 % Streuwiesen-Schnitt

Biomassemix 2: je 50 % holzige Biomassen und 50 % grasartige Biomassen

Dabei ist zu sagen, dass mindestens ein Anteil von 30 % der Biomasse aus ökonomischer Sicht für die IFBB-Anlage erforderlich ist, um mit dem Presssaft den Kohlenstoffbedarf der Kläranlage zu decken. Aus ökologischer Sicht ist ein Verhältnis von 50:50 von holzigen und grasartigen Biomassen günstiger.

Im Sinne der örtlichen Kommune ist die Nutzung des örtlichen Biomassepotenzials welches den Biomassekategorien (Straßenbegleitgrün, Landschaftspflegeschnitt, Heckenschnitt) entspricht. (Sammelplatz in unmittelbarer Nachbarschaft).

Lager- und Transportkapazitäten

Direkt neben der Kläranlage gibt es einen Kieslagerplatz der Gemeinde, der zur Lagerung und Silierung genutzt werden kann. 150 m westlich ist ein einfacher Lagerplatz für Grünschnitt der Gemeinde. Auch dieser Platz kann als Lagerkapazität eingeplant werden. Im Falle von Kressbronn sind Containerumschlags- und Umlademöglichkeiten sowie Zufahrtslogistik nach Einschätzung des Ansprechpartners einrichtbar, laut Überschlagsrechnung zwei oder mehr LKW-Anfahrten pro Tag möglich. Ein Silo für Landschaftspflegematerial und Hopfenhäcksel muss gebaut werden. Grünschnitt können auf einem offenen Lagerplatz zwischengelagert werden. Maisstrohballen sollen möglichst trocken gelagert werden und benötigen eine einfache überdachte Konstruktion

4.1.4 Investitionskosten

In den nachfolgenden Tabelle 30 bis Tabelle 32 (zur Verfügung gestellt von Krieg & Fischer und Björnsen Beratende Ingenieure) ist die Aufstellung der benötigten Sachanlagen sowie Planungskosten für die Anlagenvariante Kläranlage vergleichend mit Hoch- und Fahrsilo enthalten. Das Gesamtinvestitionsvolumen beträgt mit Hochsilo demnach 7.577.935 EUR für die IFBB-Anlage und die Pyrolyse und kostet im Vergleich zur „grünen Wiese“ – Variante mit Hochsilo 1.430.223 EUR weniger. Im Vergleich zur „grünen Wiese“ – Variante entfallen hier die Kosten für die Vergärung bzw. den Fermenter (- 284.000 EUR), die Gärrestlagerung (- 285.000 EUR), den Pumpenraum (-30.000 EUR), die Rückhalteeinrichtung (- 737.223 EUR), die Gasnutzung (- 80.000 EUR) und Gastechnik (- 14.000 EUR). Die Kosten für die Vergärung und die Gasnutzung fallen bei der Kläranlage weg, da, wie oben beschrieben, die Faultürme als Fermenter und das zusätzlich in den Faultürmen erzeugte Biogas zur Gasnutzung verwendet werden können. Darüber hinaus sind bereits ein Pumpenraum sowie Lagerkapazitäten für die Gärreste auf der Kläranlage vorhanden. Wie aus Tabelle 30 zu entnehmen, ist die Variante mit Hochsilo um 384.522 EUR teurer als die Variante mit dem Fahrsilo. Um Kosten einzusparen, könnte die Biomasse ausgelagert und „gebrauchsfertig“ eingekauft werden. In diesem Fall würden bei den Investitionskosten ein Ballenauflöser mit 18.500 EUR dazu kommen und die Kosten für die Waldausgleichsflächen und

das Fahr- bzw. Hochsilo entfallen. Somit wären die Investitionskosten mit Outsourcing der Biomassen um 672.750 EUR niedriger im Vergleich zur Option mit Hochsilo und 288.228 EUR geringer als die Option mit Fahrsilo.

Für die Grundstückskosten und eventuelle Investitionszuschüsse von Anlagenwerten gilt das gleiche, das schon im Kapitel 3.1 für die „grüne Wiese“ – Variante erwähnt wurde.

Tabelle 30: Investitionskosten für die Variante Kläranlage -Vergleich Hochsilo und Fahrsilo

Kläranlage - Investitionskosten	**mit Hochsilo**	**mit Fahrsilo**
Grundstück	27.300 EUR	27.300 EUR
Werksinfrastruktur	30.000 EUR	30.000 EUR
Anlagenmontage	70.200 EUR	70.200 EUR
Planung und Genehmigung	100.000 EUR	100.000 EUR
Container / Gebäude (2x Pultdachhalle)	100.000 EUR	100.000 EUR
Pumpenraum	entfällt	entfällt
Hochsilo 100 m² / Fahrsilo 1000 m²	650.000 EUR	246.000 EUR
Radlader (nur für Fahrsilo-Variante)	entfällt	10.000 EUR
Waldausgleichsflächen für 150 m²	1.250 EUR	10.728 EUR
Aufbereitung	130.000 EUR	130.000 EUR
Maische	317.000 EUR	317.000 EUR
Vergärung	entfällt	entfällt
Gärrestlagerung	entfällt	Entfällt
Rückhalteeinrichtung gem. AwSV	entfällt	entfällt
Gasnutzung	entfällt	entfällt
Gastechnik	entfällt	entfällt
Gas-, Elektro-, Heiztechn. Installation	100.000 EUR	100.000 EUR
Summe IFBB	**1.525.750 EUR**	**1.141.228 EUR**
Tiefbau (Fahrfläche, Fundamente und Bodenplatte (Halle, Silos)	558.705 EUR	558.705 EUR
Hochbau (Halle, Big-Bag-Lager)	454.580 EUR	454.580 EUR
Technische Anlagen	**3.184.440 EUR**	**3.184.440 EUR**
Presskuchentrocknung	370.090 EUR	370.090 EUR
Pelletierung	178.500 EUR	178.500 EUR
Pelletlagerung	159.460 EUR	159.460 EUR
Lagerung holzige Biomasse	207.060 EUR	207.060 EUR
Pyrolyse mit Peripherie	1.295.910 EUR	1.295.910 EUR
Fördertechnik	357.000 EUR	357.000 EUR
E-/MSR-Technik	295.120 EUR	295.120 EUR
Netzstation	154.700 EUR	154.700 EUR
Photovoltaikanlage	166.600 EUR	166.600 EUR
Baunebenkosten	**754.460 EUR**	**754.460 EUR**
Planungskosten	690.200 EUR	690.200 EUR
Genehmigung	16.660 EUR	16.660 EUR
Gutachten	47.600 EUR	47.600 EUR
Summe Pyrolyse	**4.952.185 EUR**	**4.952.185 EUR**
Aktivierung	1.000.000 EUR	1.000.000 EUR
Vorbereitung Biomassen	100.000 EUR	100.000 EUR
Summe Aktivierung	**1.100.000 EUR**	**1.100.000 EUR**
Summe	**7.577.935 EUR**	**7.193.413 EUR**

Quelle: Krieg & Fischer und Björnsen Beratende Ingenieure

Weitere Überlegungen zu Silooptionen

Bei der Planung der Silos zur Lagerung und Silierung der Restbiomassen gab es diverse Überlegungen. So wurden folgende Silo-Varianten näher betrachtet und diskutiert: ein Fahrsilo mit mehreren Kammern, ein Hochsilo oder Silageballen. Bezüglich des Fahrsilos war die Überlegung, dieses so zu konstruieren, dass es seitlich befahrbar ist, um eine flexiblere Nutzung des Silos zu ermöglichen. Im Vergleich zum Hochsilo könnte das Fahrsilo kostengünstiger gebaut werden, hat aber einen höheren Platzbedarf. Im Falle der Kläranlage in Kressbronn gehört die Baufläche für das Fahrsilo dem Abwasserzweckverband und ist an die dortige Gemeinde verpachtet. Um das Fahrsilo bauen zu können, benötigt man einen Teil der angrenzenden Waldfläche, welche forstwirtschaftliche oder naturschutzfachliche Bedeutung hat und folglich durch andere Naturschutzflächen oder -Maßnahmen ausgeglichen werden müsste. Hinzukommend müssen der naturschutzfachliche Nutzen und die Bedeutung der Synergien für die Kläranlage, die sich aus dem Bau und dem Einsatz einer CoAct-Anlage ergeben, hervorgehoben werden, um eine Baugenehmigung im Grünzug zu erhalten. Auch wenn man keine Flächen im Waldgebiet benötigen würde, so würde durch den Bau des Fahrsilos doch der Mindestabstand zum Wald unterschritten und es müssten dennoch Waldflächen naturschutzfachlich kompensiert werden. Darüber hinaus gestaltet sich bei dem Fahrsilo die Silierung mit Grünschnitt schwierig, da das Material dafür zu viel Feuchtigkeit enthält. Zudem ist sowohl das Befüllen wie auch die Entnahme beim Fahrsilo arbeitsintensiv.

Sowohl beim Fahrsilo als auch beim Hochsilo wäre ein gleichzeitiges Silieren und Entnehmen der Biomassen möglich. Das Hochsilo hat zwar ökonomische Nachteile, da es deutlich höhere Investitions- und Instandhaltungskosten aufweist, beansprucht aber weniger Fläche im Vergleich zum Fahrsilo und würde die Problematik mit den Ausgleichsflächen bzw. –Maßnahmen hinfällig werden lassen. Eine dritte Option wäre die Verwendung von gebrauchsfertigen Silageballen, die von einem Dienstleistungsunternehmen extern gelagert werden. Somit würden die Kosten für die Lagerung bzw. die Lagerflächen entfallen. Es müsste allerdings ein Ballenauflöser im Wert von 18.500 EUR angeschafft werden, um die Silageballen zu entwickeln. Bezüglich des Plastikbedarf sind die Unterschiede zwischen Fahrsilo und Silageballen vernachlässigbar. Dennoch wäre die Beteiligung an einem Rücknahmesystem für das Plastik sinnvoll. In den nachfolgenden Tabellen sind die Investitionskosten und die jährlichen Kosten für die unterschiedlichen Silooptionen und Biomassemixe (Kapitel 4.1.3) inklusive der Kosten für Ausgleichsflächen bzw. Aufforstungsmaßnahmen dargestellt. Für das Fahrsilo haben wir ein Volumen von 4.400 m³ angenommen und eine erforderliche Fläche von 1.700 m².

Beim Hochsilo wurde eine Haltbarkeit von zehn Jahren angenommen. Der Behälter des Hochsilos hat zwar eine längere Lebensdauer, aber die Mechanisierung nicht. Generell ist die Mechanisierung beim Hochsilo relativ hohem Verschleiß ausgesetzt und das Einsilieren dauert länger, da das Gebläse nur eine begrenzte Förderleistung hat. Als erforderliche Fläche für das Hochsilo wurden 100 m² und ein Volumen von 800 m³ angesetzt. Die Investitionskosten für das Hochsilo inkludieren den Hochbehälter, die Entnahmefräse, das Fundament, das Gebläse und die Pressschnecke.

Die Anschaffung einer Ballenpresse (55.000 EUR) und Ballenwicklers und einer eigenen Silierung auf dem Grundstück der Kläranlage wurde ausgeschlossen, da sich diese aus ökonomischer Sicht aufgrund des geringen Einsatzvolumens nicht rentabel wäre. Folglich finden sich in den Kostentabellen nur die Option mit Lohnunternehmen.

Die Angaben in den folgenden drei Tabellen sind das Ergebnis eigener Berechnungen auf der Basis von Angaben des Ingenieurbüros Krieg & Fischer, Telefonaten mit dem Forstamt im Bodenseekreis und der Flächenagentur Baden-Württemberg, sowie des Maschinenkostenrechners auf der KTBL-Webseite.

Bezüglich der Ausgleichsmaßnahmen können in anderen Regionen weitere oder andere Naturschutzmaßnahmen erforderlich sein, dies ist individuell abhängig von der Wertigkeit des betroffenen Waldgrundstückes. Nach Rücksprache mit dem örtlichen Forstamt muss die Ausgleichsfläche den 1,5-fachen Umfang der ursprünglichen Eingriffsfläche aufweisen. Zudem muss in den ersten beiden Jahren die Aufforstungsfläche mit einem Freischneider ausgemäht werden.

Zusammenfassend lässt sich aus den Tabellen Tabelle 31 und Tabelle 32 erkennen, dass die Option mit einem Lohnunternehmen bzw. fertige Silageballen einzukaufen am wirtschaftlichsten ist. Bei der Verwendung von Silageballen beschränken sich die Investitionskosten auf den Radlader, der sowieso für die Werksinfrastruktur anzuschaffen wäre und den Ballenauflöser. Bei den jährlichen Kosten weist die Option mit ausschließlich Silageballen zwar einen leicht höheren Betrag als mit Fahrsilo auf, aber durch die deutlich geringeren Investitionskosten wäre aus ökonomischer Sicht die Option „nur Silageballen mit Lohnunternehmen“ zu präferieren. Die teuerste Variante wäre das Hochsilo, das auch den höchsten Wartungsaufwand, jedoch den geringsten Flächenanspruch aufweist. Bezüglich der Kosten für die Aufforstung (Tabelle 32) inklusive der Aufforstungsflächen ist die Option mit dem Hochsilo um etwa 9.000 EUR kostengünstiger, wobei dies bei den vorliegenden Investitionssummen nicht den Ausschlag gibt. Aufgrund der Schwierigkeiten bezüglich des naturschutzfachlichen Eingriffs in den angrenzenden erhaltungswürdigen Buchenwald und des begrenzten Flächenangebotes, wurde sich in Kressbronn trotz höherer Investitionskosten für ein Hochsilo entschieden. Ergänzend kommt die günstigere Option mit dem Kauf von Silageballen nicht in Betracht, da die angefragten Lohnunternehmen keinen Grünschnitt auf den Flächen silieren können, auf denen das grasartige Biomassematerial anfällt. Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, wurde auch für die Variante „grüne Wiese“ mit einem Hochsilo kalkuliert.

Tabelle 31: Kosten der verschiedenen Silooptionen am Beispiel der „grünen Wiese“

Investitionskosten	**Fahrsilo**	**Silageballen mit Lohnunternehmen**	**Hochsilo**
Silos	246.000 EUR	-	650.000 EUR
Ballenauflöser	-	18.500 EUR	-
Radlader (54kW) mittleres Modell	70.000 EUR	70.000 EUR	-
Summe	**316.000 EUR**	**88.500 EUR**	**650.000 EUR**
Jährliche Kosten (ohne Personalkosten)			
Afa Silos + Maschinen (10 / 4 Jahre)	42.100 EUR	19.350 EUR	65.000 EUR
Wartungskosten Silo	2.460 EUR	-	1.000 EUR
Versicherung Silo	1.230 EUR	-	3.250 EUR
Fixkosten Radlader	920 EUR	920 EUR	-
Kapitaldienst	35.789 EUR	6.613 EUR	97.145 EUR
variable Kosten Radlader	1.040 EUR	700 EUR	-
variable Kosten Ballenauflöser	-	1.880 EUR	-
Silofolie	1.276 EUR	-	-
Entsorgungskosten Folie Ballen	-	680 EUR	-
1.700 Siloballen (34 EUR/Ballen)	-	57.900 EUR	-
Summe jährliche Kosten	**84.815 EUR**	**88.043 EUR**	**166.395 EUR**

Quelle: Krieg & Fischer, KTBL-Maschinenkostenrechner, eigene Berechnungen

Tabelle 32: Kosten für Ausgleichsflächen und - Maßnahmen

Kosten Ausgleichsflächen + Aufforstung	Kosten pro Einheit	Fahrsilo 1000 m²	Hochsilo 100 m²
		Kosten für 1500m²	Kosten für 150m²
Kosten Aufforstung pro Baum (Vollkosten)	5 - 6 EUR	6 EUR	6 EUR
Platzbedarf pro Baum	3 m²		
Bedarf Bäume		500	50
Kosten Bäume		**3.000 EUR**	**300 EUR**
Ausmähen 1-2 mal/Jahr mit Freischneider	185 EUR/ha		
Anschaffung Freischneider	200 EUR	200 EUR	200 EUR
Ausmähen vMK+AKH/m²	0,02 EUR	27,75 EUR	2,78 EUR
Kosten Flächenkauf	**3,50 EUR - 7 EUR/m²**	**7.500 EUR**	**750 EUR**
Gesamtkosten		**10.728 EUR**	**1.253 EUR**

Quelle: KTBL, Telefonate mit Forstamt Bodenseekreis, Flächenagentur Baden-Württemberg in Ostfildern

4.1.5 Aufwendungen

In den Aufwendungen sind Abschreibungen, Personalaufwand, Aufwendungen für Strom, Wärme, Wasser, Druckluft und Biomasseankauf sowie sonstige Aufwendungen enthalten. Insgesamt betragen die jährlichen Aufwendungen 1.568.530 EUR.

a) Abschreibungen

Im Vergleich zur Variante auf der „grünen Wiese“ ergibt sich für die CoAct-Anlage auf der Kläranlage für die in Kapitel 4.1.4 dargestellten Investitionskosten mit Hochsilo eine um 118.160 EUR geringere jährliche lineare Abschreibung von 612.114 EUR. EUR. Aufgrund der geringeren Investitionssumme ergibt sich auch eine geringere jährliche Abschreibung gegenüber der „Grünen Wiese“ - Variante. Für die jährliche Nutzungsdauer der entsprechenden Anlagengüter wurden die gleichen Quellen wie für die „grüne Wiese“ - Variante herangezogen. Ebenso wurde bei der Nutzungsdauer für Anlagegüter, die in einer Sammelposition zusammengefasst sind, analog zur „Grünen Wiese“ - Variante vorgegangen.

b) Personalaufwand

Die Angaben basieren auf den Einschätzungen von Krieg & Fischer und Björnsen Beratende Ingenieure. Der Personalaufwand pro Jahr für 1,5 Voll-AK beträgt 75.000 EUR (ein Servicetechniker mit Arbeitgeber-Brutto i.H.v. ca. 50.000 EUR).

c) Aufwendungen für Strom

Sofern der eigenproduzierte Strom nicht ausreicht, um die Anlage zu betreiben, muss Strom zugekauft werden. Der Strompreis von 0,30 EUR/kWh (netto) basiert auf Angaben von Björnsen Beratende Ingenieure.

d) Aufwendungen für Wärme

Sofern die eigenproduzierte Wärme nicht ausreicht, um beispielsweise die Trocknung der Biomassen zu gewährleisten, muss Gas zugekauft werden. Der Gaspreis von 0,08 EUR/kWh (netto) basiert auf Angaben von Björnsen Beratende Ingenieure.

e) Aufwendungen für Wasser

In der Anlagenvariante 5 werden die Biomassen für das IFBB-Verfahren mit doppelt so viel Wasser wie Biomasse angemaischt. Der Wasserbedarf wird über die Kläranlage gedeckt, daher entstehen keine Aufwendungen für Wasser.

f) Aufwendungen für Druckluft

Der Pyrolyseprozess benötigt Druckluft, die mit einem Preis von 0,03 ct/m³ kalkuliert wurde. Die Preisannahme stammt von Björnsen Beratende Ingenieure.

g) Sonstige Aufwendungen

Die sonstigen Aufwendungen enthalten eintragsunabhängige Aufwendungen wie Hilfs- und Betriebsstoffe, Wartung und Instandhaltung, Kapitaldienst, Versicherung und Buchhaltung. Die Angaben wurden von Krieg & Fischer und Björnsen Beratende Ingenieure zur Verfügung gestellt bzw. auf Basis von Grundinformationen berechnet. Der größte Posten in der CoAct-Anlage stellt darin der Kapitaldienst dar: insgesamt 566.279 EUR/Jahr, gefolgt von Wartung und Instandhaltung mit 104.945 EUR davon entfallen etwa 75 % auf die Pyrolyse-Anlage. Beim Kapitaldienst wurde von einer 50 % Finanzierung sowie einem Zinssatz von sechs Prozent und einer Kreditlaufzeit von zehn Jahren ausgegangen. Die Kreditlaufzeit orientiert sich dabei an Abschreibungsdauer der Anlagen.

h) Aufwendungen für Biomasseankauf

In der vorliegenden Kalkulation wird davon ausgegangen, dass grasartige Biomassen nicht angekauft werden müssen, sondern die Anlieferung frei Haus erfolgt. Bei holziger Biomasse wird ein Preis von 25 EUR/t Holzhackschnitzel und Gesamtkosten von 20.600 EUR für den Ankauf von Holzhackschnitzeln angesetzt.

Bisher nicht berücksichtigt werden kalkulatorische Kosten wie kalkulatorische Pachten o.ä.

Erläuterungen zu Naturschutzfachlichen Maßnahmen

Am Standort der Kläranlage in Kressbronn würde die Errichtung der CoAct-Anlage eine Ausweitung des Kläranlagen-Geländes bedeuten. Da die Kläranlage an ein Waldgebiet grenzt ist die flächenmäßige Ausweitung des Kläranlagen-Geländes mit naturschutzfachlichen Maßnahmen verbunden. Der angrenzende Wald enthält einen schutzwürdigen Altbuchenbestand und wurde von einem lokalen Sachverständigen begutachtet. Ein abschließendes Ergebnis der Begutachtung lag zu Projektabschluss noch nicht vor. Es ist davon auszugehen, dass der Eingriff zum einen flächenmäßig eine Waldausgleichsmaßnahme erfordert und zum anderen zusätzlich eine naturschutzfachliche Ausgleichsmaßnahme.

4.1.6 Erträge

Erträge werden aus dem Verkauf von Aktivkohle, Strom und Wärme erzielt.

a) Erträge aus dem Verkauf von Aktivkohle

Als Marktpreis für den Verkauf der Aktivkohle pro Tonne wurde für die vorliegende Kalkulation 2.000 EUR/Tonne festgelegt. Dieser Wert wurde in Anlehnung an den von einem Akteur in der Region genannten aktuellen Preis gewählt, der von ihm aktuell für eine Tonne Pulveraktivkohle bezahlt wird. Aus Literaturangaben und nach Angaben von Experten haben die Marktpreise eine relativ hohe Preisspanne (ca. 1.200 EUR/t bis hin zu 4.000 EUR/t). Hier gibt es allerdings auch Unterschiede zwischen

granulierter Aktivkohle und Pulveraktivkohle zu beachten. Letztere ist tendenziell etwas teurer als die granulierte Kohle. Nicht beachtet wurde für diese Kalkulation die Möglichkeit, eines Preisaufschlags für die nachhaltige Erzeugung. Inwieweit ein höherer Preis für nachhaltige Produktion am Markt bei gleicher Reinigungsleistung erzielbar ist, ist zum jetzigen Zeitpunkt unbekannt. Einzelaussagen von Akteuren aus der Region deuten darauf hin, dass es eine Bereitschaft dazu gibt.

b) Erträge aus Stromverkauf

Wird nach Abzug des anlageninternen Stromverbrauchs ein Überschuss an Energie erzeugt, kann dieser in das Stromnetz eingespeist werden. Als Preisannahme wurden 0,10 EUR/kWh angesetzt. Grundsätzlich ist der Stromertrag mit dem Strombedarf pro Biomasse bereits verrechnet. Die Wertschöpfungsketten-Berechnungen zeigen auf, welche Biomassen tendenziell einen Überschuss und welche ein Defizit erzeugen. Eine innerbetriebliche Verrechnung, also der Übertrag eines Energieüberschusses einer Biomasse auf eine (defizitäre) andere Biomasse, wird bislang rechnerisch nicht berücksichtigt. Das Gleiche gilt für Wärmeenergie.

c) Erträge aus Wärmeverkauf

Wird nach Abzug des anlageninternen Wärmeverbrauchs ein Überschuss an Wärmeenergie erzeugt, kann dieser theoretisch in ein Nähwärmenetz eingespeist werden. Als Preisannahme wurden 0,08 EUR/kWh angesetzt. Allerdings ist hier kritisch anzumerken, dass das Vorhandensein eines Wärmenetzes nicht vorausgesetzt werden kann. Je nach Standort wäre die Entfernung zu weit und damit die Kosten für einen entsprechenden Anschluss zu hoch.

d) Erträge aus Presskuchen

Erträge aus Presskuchen werden in der vorliegenden Kalkulation nicht berücksichtigt. Grundsätzlich wäre ein Verkauf beispielsweise an ein Heizkraftwerk vorstellbar. Eine mögliche Preisfeststellung wäre über den Heizwert des Presskuchens und dem Vergleich zu Hackschnitzeln aber theoretisch möglich.

e) Erträge aus erhobenen Abgabegebühren für Biomassen

Je nach Biomasse ist die Erhebung von Gebühren für die Abnahme durch die CoAct-Anlage möglich. Beispielsweise wird für die Abnahme von Streuwiesenschnitt im Status Quo bereits eine Entschädigung von vier bis fünf EUR/m^3 an die abnehmenden Landwirtinnen und Landwirte gezahlt. Die Entscheidung darüber ist allerdings auch eine politische, daher bleiben die Abgabegebühren in der vorliegenden Kalkulation unberücksichtigt.

4.1.7 Gewinn- und Verlustrechnung

In untenstehender Tabelle sind die Erlöse und Aufwendungen der Aktivkohleproduktion für die Variante „Kläranlage“ aufgeführt und abschließend das Ergebnis der jährlichen GuV. Der Berechnung der Erlöse und Aufwendungen liegen die oben erwähnten Annahmen (siehe Kapitel 4.1.5 und 4.1.6) zu Grunde. Die Aktivkohleproduktion mit einer CoAct-Anlage mit Hochsilo auf der Kläranlage in Kressbronn unter hiesigen Annahmen würde jährlich 1.170.331 EUR kosten. Im Vergleich zur grünen Wiese-Variante kostet die Aktivkohleherstellung mit einer CoAct-Anlage und Hochsilo an einer Kläranlage rund 270.000 EUR weniger pro Jahr bei einer Jahresleistung von ca. 100 t Aktivkohleoutput.

Tabelle 33: Gewinn- und Verlustrechnung für die Variante „Kläranlage"

GuV	Biomassemix 1 (30:70)
Aktivkohle / Biokohle	210.000 EUR
Erlös Stromeinspeisung	40.200 EUR
Erlös Wärmeeinspeisung	138.544 EUR
Ersparnis Brenntag	9.455 EUR
Summe Erlöse	**398.199 EUR**
Personalaufwand	75.000 EUR
Abschreibungen	612.114 EUR
Sonstige Aufwendungen	730.109 EUR
Aufwendungen für Strom	126.101 EUR
Biomasseankauf	20.600 EUR
Druckluft	4.605 EUR
Summe Aufwände	**1.568.530 EUR**
Ergebnis Total	**-1.170.331 EUR**

4.1.8 WSK-Analyse

Im Vergleich zu den zuvor dargestellten CoAct-spezifischen Berechnungsgrundlagen und Wertschöpfungsketten in einer Anlage auf der grünen Wiese ändert sich in der „Kressbronn"-Variante die mit der geänderten Anlagenkonfiguration einhergehenden Erträge und Aufwendungen, die direkt in der Anlage entstehen. Die einzige sonstige Änderung in der Wertschöpfungskette besteht aus dem Wegfall der Düngeräquivalente aus der IFBB-Anlage, da in dieser Variante der Gärrest nicht auf Feldern ausgebracht, sondern zusammen mit dem Klärschlamm verbrannt wird. Die Änderungen beziehen sich nur auf die Wertschöpfungsketten, die sonst in der IFBB-Anlage verarbeitet werden, also Streuwiesenschnitt und Straßenbegleitgrün.

Die folgende Tabelle zeigt die aus der Kressbronn-Variante entstehende GuV aus einer früheren Projektphase, in der die Biomassemixe noch nicht definiert waren.

Tabelle 34: Gewinn- und Verlustrechnung pro t Biomasse für die "Kressbronn-Variante"

	Einheit	Streuwiesen	Hochstammschnitt	Heckenschnitt
Aktivkohle	EUR/(t*a)	51,48 EUR	128,70 EUR	128,70 EUR
Presskuchen	EUR/(t*a)	-	-	-
erhobene Abgabegebühr f. Input	EUR/(t*a)	15,00 EUR	-	-
Strom	EUR/(t*a)	-	-	-
Wärme	EUR/(t*a)	3,66 EUR	22,90 EUR	22,90 EUR
Summe Erträge	**EUR/(t*a)**	**70,14 EUR**	**151,60 EUR**	**151,60 EUR**

Personalaufwand	EUR/(t*a)	16,67 EUR	45,47 EUR	45,47 EUR
Abschreibungen	EUR/(t*a)	36,67 EUR	336,50 EUR	336,50 EUR
Sonstige Aufwendungen	EUR/(t*a)	29,33 EUR	102,66 EUR	102,66 EUR
Aufwendungen für Strom	EUR/(t*a)	14,43 EUR	64,55 EUR	64,55 EUR
Aufwendungen für Wärme	EUR/(t*a)	-	-	-
Biomasseankauf	EUR/(t*a)	-	-	-
Wasser	EUR/(t*a)	-	-	-
Summe Aufwendungen	**EUR/(t*a)**	**97,09 EUR**	**549,19 EUR**	**549,19 EUR**
Gewinn oder Verlust (+/-)	**EUR/(t*a)**	**- 26,95 EUR**	**-397,59 EUR**	**-397,59 EUR**

Quelle: Excel-Tool

Die Erträge aus der Aktivkohle und Stromeinspeisung, die Personalkosten, Kosten für Druckluft und Biomasseankauf bleiben bei dieser Variante die gleichen wie in der grüne Wiese-Variante. Alle anderen Aufwendungen sinken bzw. es ergibt sich ein Wärmeüberschuss bei den Biomassen anstelle eines Wärmebedarfs.

Die größten absoluten Änderungen sind in den Abschreibungen zu sehen. Da die Investitionskosten für die IFBB-Anlage von 2.955.973 EUR (grüne Wiese-Variante) auf 1.525.750 EUR fallen, reduzieren sich die Abschreibungen entsprechend. Nicht mehr in den Investitionskosten enthalten sind die Anlagen für die Vergärung, insbesondere mit dem Fermenter, die Gärrestelagerung, Rückhalteeinrichtung, Gasnutzung und Gastechnik.

Der Wasserbedarf für die IFBB-Maische wird aus der Kläranlage gedeckt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der vorangegangenen Berechnungen zum Status Quo gleichbleibend zu Kapitel 2.1.2 und der CoAct-Wertschöpfungskette in Kombination mit der Kressbronn-Anlagenvariante einander gegenübergestellt. Zusätzlich zur oben dargestellten GuV ist hier noch der Wegfall des Düngeräquivalents aus dem Gärrest berücksichtigt.

Tabelle 35: Änderungen in der Wertschöpfung (Kläranlagen-Anlagenvariante)

	Status Quo [EUR/t]	mit Kläranlagen-Variante [EUR/t]	Differenz [EUR/t] [CoAct – Status Quo]
Straßenbegleitgrün	0	-118,85	-118,85
Streuwiesenschnitt	8,55	-135,98	-144,53

Quelle: Excel-Tool

4.2 Standortvariante Entsorgungszentrum, Anlagenvariante: ohne IFBB-Modul

4.2.1 Anlagenkonfiguration

Der Standort-Variante Entsorgungszentrum wurde theoretisch betrachtet, obwohl mit dem Entsorgungszentrum Raderach-Weiherberg das größte der drei bestehenden Entsorgungszentren im Bodenseekreis zum Bau einer CoAct-Anlage in der ersten Phase angeschaut wurde. An Entsorgungszentren bestehen bereits Infrastrukturen zur Annahme, Lagerung und Verarbeitung von holzigen Biomassen.

Im Fall vom Entsorgungszentrum Weiherberg könnte die erzeugte Aktivkohle nicht in der Sickerwasseraufbereitung auf dem Anlagengelände genutzt werden, da in einer CoAct-Anlage Pulver-Aktivkohle hergestellt würde, in den Silos der Sickerwasseraufbereitung jedoch Körner-Aktivkohle eingesetzt wird. Die erzeugte Aktivkohle könnte jedoch in den umliegenden Kläranlagen genutzt werden.

Ergänzend werden die Dachflächen der Anlagenkomponenten mit Photovoltaikmodulen versehen.

Anforderungen an die Anlagenvariante

Falls der für die Aufbereitung benötigte Häcksler nicht auf dem Wertstoffhof vorhanden sein sollte, kann dieser und die Siebanlage angemietet oder die Verarbeitung extern vergeben werden. Bei der Auswahl der Substrate wird der Schwerpunkt auf kommunale holzige Biomassen gelegt. Idealerweise werden qualitativ hochwertigen, holzigen Biomassen eingesetzt, die ohne Pelletierung und der dafür benötigten Trocknung, in der Pyrolyse zu guter Aktivkohle verarbeitet werden können. Dafür darf nur Astmaterial mit einem Durchmesser von über zwei Zentimetern verwendet werden. Feines Material muss nach dem Häckseln abgesiebt und der Kompostierung zugeführt werden. Anlagen mit IFBB-Modul verfügen bereits über die Möglichkeit der Trocknung und Pelletierung und können deshalb ohne zusätzliche Investitionskosten holzige Biomassen unterschiedlicher Qualitäten verarbeiten. Bei Anlagen ohne IFBB-Modul muss man sich entscheiden, ob man flexibel verschiedene Holzqualitäten verarbeiten möchte und in die entsprechenden Anlagen investieren. Oder man legt sich beim Bau bereits auf die bessere Holzqualität fest und reduziert dadurch Investitionskosten.

Um die Anlage über das ganze Jahr gleichmäßig mit Substraten zu versorgen, müssen die eventuell saisonal vermehrt anfallenden holzigen Biomassen gelagert werden können. Entweder wird das Substrat schon gehäckselt angeliefert und direkt gelagert oder es wird auf dem Entsorgungszentrum gehäckselt und anschließend gelagert. Flächen werden derzeit schon vor Ort zur Lagerung genutzt. Für die Zwischenlagerung für ca. einen Monat wird eine Halle mit drei Lagerboxen vorgesehen.

Technische Umsetzung des CoAct-Verfahrens

Diese Variante ist ausgelegt zur Verarbeitung von Hackschnitzeln für die Auslastung einer Pyrolyse, die etwa 1.000 t Trockenmasse pro Jahr verarbeitet.

Zur kurzzeitigen trockenen Zwischenlagerung wird eine Halle mit Betonboxen und Anschiebewand errichtet.

Wenn die Qualität der erzeugten Holzhackschnitzel nicht ausreichend ist, muss ggf. das Material vor der Pyrolyse pelletiert werden. Dazu muss es auf einen Trockensubstanzgehalt von 90 % getrocknet werden. Die Hackschnitzel werden der Pyrolyse zur Erzeugung von Aktivkohle mittels Radlader zugeführt.

Anlagenkomponenten

Für die **Aufbereitung** bedarf es einen Häcksler zur Zerkleinerung und einen Siebschneider um feines Material absieben zu können, sowie eine Halle mit drei Betonboxen zur Zwischenlagerung. Eine **Trocknung und Pelletierung** der Hackschnitzel ist vorgesehen, wobei bei einer Festlegung auf hochwertige Biomassen darauf verzichtet werden kann. Eine weitere Anlagenkomponente ist die **Pyrolyse** in einem separaten Gebäude.

4.2.2 Betreibermodell für eine CoAct-Anlage am Entsorgungszentrum Weiherberg

Der Standort Entsorgungszentrum wurde in der Forschungsphase des Vorhabens geprüft. Wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt zeigte sich, dass sich der Standort insbesondere für eine CoAct-Anlage ohne IFBB-Modul eignet. In der Umsetzungsphase wurde die Standortvariante übernommen, um einen Vergleich der Anlagenvariante mit IFBB-Modul zu der Anlagenvarianten ohne IFBB-Modul zu ermöglichen. Da sich bereits früh in Forschungsphase abzeichnete, dass weder der Betreiber des Entsorgungszentrums noch der Bodenseekreis eine CoAct-Anlage an dem Standort realisieren würden, wird im Folgenden auf die möglichen Betreibermodelle eingegangen, ohne dass diese mit den regionalen Akteursgruppen diskutiert wurden.

Das Entsorgungszentrum wird von einem Privatunternehmen im Auftrag des Bodenseekreises betrieben. Bis zum Ablauf der Konzession kann somit keine CoAct-Anlage ohne eine ergänzende Vereinbarung zwischen Besitzer und Betreiber auf des Entsorgungszentrums errichtet werden. Der Betrieb und bei Bedarf auch der Bau kann in die Ausschreibung für den Weiterbetrieb aufgenommen werden. In der Ausschreibung wären das Besitz und Eigentum der CoAct-Anlage zu klären. Möglich wäre sowohl der Bau durch den Landkreis als auch durch den privaten Betreiber. Ein integrierter Betrieb des Wertstoffhofes und der CoAct-Anlage erscheint sinnvoll, da so Fragestellungen bezüglich der Zugriffsrechte auf Biomassen, die am Wertstoffhof verarbeitet werden, internen Regelungen zugrunde liegen und keine Verträge zwischen zwei Wirtschaftsparteien geschlossen werden müssen. Abschließend gilt es zu klären, ob die Anlage nach Fertigstellung oder nach Auslaufen der Konzession in das Eigentum des Bodenseekreises übergehen soll, sofern sie davor Eigentum des Wertstoffhofbetreibers war.

4.2.3 Biomassemix

Für diese Variante mit Verwertung in der CoAct-Anlage ohne IFBB-Modul kommen lediglich holzige Biomassen in Frage. Neben klassischen Holzrestbiomassen, wie beispielsweise Hochstamm- oder Heckenschnitt beinhaltet diese Fraktion auch Restbiomassen mit einem geringen Wassergehalt, bzw. hohen Trockensubstanzgehalt, wie z.B. getrocknetes Maisstroh. Grundsätzlich handelt es sich hierbei um alle Biomassen, welche nicht durch eine Silierung konserviert werden und über einen hohen Ligninanteil verfügen. An dieser Stelle werden die folgenden Biomassen betrachtet:

- Maisstroh
- Hochstammschnitt
- Strauch- und Heckenschnitt

Bezüglich der Biomasselogistik für das Entsorgungszentrum Weiherberg ergibt sich folgendes:

Maisstroh kann bei einer angestrebten Nutzung bereits auf den landwirtschaftlichen Betrieben getrocknet und in Ballen gepresst und entsprechend lagerfähig geliefert werden. Die Technik hierfür ist vorhanden und könnte ggf. über Lohnunternehmen auf dem Betrieb zur Verfügung gestellt werden.

Hochstammschnitt fällt im Winterhalbjahr an. Gegenwertig wird ein wesentlicher Teil des Materials auf den Streuobstflächen verbrannt. Je nach Mengenanfall pro Fläche würde das Material vor Ort gehäckselt und in Form von transport- und lagerfähigen Hackschnitzeln ans Entsorgungszentrumangeliefert werden. Die Logistik zur Annahme und Häckseln von Holzresten ist vorhanden.

Strauch- und Heckenschnitt fällt im Bodenseekreis ganzjährig an. Die Biomasse wird bereits zu einem großen Teil in Weiherberg und den beiden anderen Verwertungszentren im Bodenseekreis angeliefert.

Bei größeren Mengen wird das Material durch Dienstleister vor Ort gehackt und anschließend in eigene Hackholzlager oder direkt zu Feuerungsanlagen transportieren. Hier wäre eine Umleitung der Mengen in das CoAct-Verfahren denkbar.

In Bezug auf die Absatzmöglichkeiten für die CoAct-Produkte kann die Pulveraktivkohle in den Kläranlagen der Region eingesetzt werden. Dazu zählen die Kläranlage Kressbronn (24.000 Einwohnerwerte), die bereits handelsübliche Aktivkohle einsetzt und ein Interesse am Einsatz regional erzeugter Aktivkohle hat. Darüber hinaus gibt es noch die Kläranlage Stockacher Aach (43.000 Einwohnerwerte) und die Kläranlage in Ravensburg (184.000 Einwohnerwerte), welche bereits Pulveraktivkohle einsetzen und als Kunden für eine zusätzliche Produktion in Frage kommen.

4.2.4 Investitionskosten

Für eine Pyrolyse-Anlage ohne IFBB-Verfahren werden für den Standort Entsorgungszentrum Investitionskosten von 5.344.135 EUR kalkuliert. Davon entfallen 1.295.910 EUR auf die Pyrolyse-Anlage mit Peripherie. Es wird davon ausgegangen, dass ein Radlader und Häcksler auf einem Wertstoffhof vorhanden sind oder angemietet werden können, weshalb diese in den Investitionskosten nicht berücksichtigt sind.

Im Gegensatz zur „grünen Wiese“ - Variante mit IFBB-Modul und Pyrolyse entfallen hier die Investitionskosten für das IFBB-Modul. Dies betrifft die Kosten für die Anlagenmontage, Planung und Genehmigung, zwei Pultdachhallen, Hochsilo, Aufbereitung, Maische, Vergärung bzw. den Fermenter inklusive Gärrestlagerung. Somit liegen die Investitionskosten im Vergleich zur „grünen Wiese“ um 3.664.023 EUR geringer und im Vergleich zur Kläranlage Kressbronn (mit Hochsilo) um 2.233.800 EUR geringer.

Tabelle 36: Investitionskosten für die Variante Entsorgungszentrum

Weiherberg	**Investitionskosten**
Tiefbau (Fahrfläche, Fundamente und Bodenplatte (Halle, Silos)	558.705 EUR
Hochbau (Halle, Big-Bag-Lager)	454.580 EUR
Technische Anlagen	**2.476.390 EUR**
Lagerung holzige Biomasse	207.060 EUR
Pyrolyse mit Peripherie	1.295.910 EUR
Fördertechnik	357.000 EUR
E-/MSR-Technik	295.120 EUR
Netzstation	154.700 EUR
Photovoltaikanlage	166.600 EUR
Baunebenkosten	**754.460 EUR**
Planungskosten	690.200 EUR
Genehmigung	16.660 EUR
Gutachten	47.600 EUR
Summe Pyrolyse	**4.244.135 EUR**
Aktivierung	1.000.000 EUR
Vorbereitung Biomassen	100.000 EUR
Summe Aktivierung	**1.100.000 EUR**
Summe gesamt	**5.344.135 EUR**

Quelle: Björnsen Beratende Ingenieure

4.2.5 Aufwendungen

Insgesamt sind jährliche Aufwendungen in Höhe von ca. 1.117.467 EUR zu erwarten. Der größte Anteil davon entfällt auf Abschreibungen in Höhe von 398.170 EUR. In den Aufwendungen sind folgende Faktoren noch nicht berücksichtigt:

mögliche Erträge aus Gebühren für die Entsorgung von Biomassen (wie sie teilweise z. B. je nach Kommune, Akteursgruppe oder Menge von Andienenden zu entrichten ist),

anteilige Abschreibungen für einen am Standort bereits vorhandenen Radlader o.ä. Gerät,

Mietkosten für einen Häcksler von ca. 7.300 EUR (146 Mh/Jahr, ca. 6 Mh/Tag, 300 EUR Mietkosten/Tag).

Die Aufwendungen für eine wie oben beschrieben konfigurierte CoAct-Anlage sind um ca. 450.000 EUR (nur holzige Biomasse) günstiger als bei der Kläranlagen-Variante und etwa 710.000 EUR geringer als bei der grüne-Wiese-Variante. Vergleichend mit der Grüne - Wiese - Variante sind die Abschreibungen hier um ca. 332.104 EUR niedriger aufgrund der geringeren Investitionskosten.

Auch der Personalaufwand ist am Entsorgungszentrum 25.000 EUR geringer als bei der Variante Kläranlage oder auf der grünen Wiese, da kein Personal für die Vorbereitung und Silierung der grasartigen Biomassen sowie für die Betreuung des IFBB-Verfahrens benötigt wird. Vergleichend mit der Status-Quo-Variante entstehen bei der vorliegenden Variante um ca. 118.000 EUR geringere Aufwendungen für Strom.

4.2.6 Erträge

Erträge werden aus dem Verkauf von Aktivkohle, Strom und Wärme erzielt. Insgesamt wird ein jährlicher Erlös von ca. 387.640 EUR erwartet. Den größten Teil trägt der Verkauf von nachhaltiger Pflanzenaktivkohle an umliegenden Kläranlagen mit ca. 210.000 EUR dazu bei. Den kleineren Anteil macht der Erlös durch die Stromeinspeisung mit etwa 40.200 EUR aus.

4.2.7 Gewinn- und Verlustrechnung

Wie in untenstehender Tabelle zu entnehmen ist, würde die Produktion von Pflanzenaktivkohlen mit der geplanten CoAct-Anlage jährlich etwa 729.827 EUR an Entsorgungszentren kosten, bei einer Produktion von ca. 100 t. Dies ist etwa 700.000 EUR günstiger als bei der grünen-Wiese-Variante und knapp 440.000 EUR günstiger als die Kläranlagen-Variante.

Tabelle 37: Gewinn -und Verlustrechnung für die Variante Entsorgungszentrum

GuV	nur holzige Biomasse
Aktivkohle	210.000 EUR
Erlös Stromeinspeisung	40.200 EUR
Erlös Wärmeeinspeisung	137.440 EUR
Summe Erlöse	**387.640 EUR**
Personalaufwand	50.000 EUR
Abschreibungen	398.170 EUR
Sonstige Aufwendungen	529.667 EUR
Aufwendungen für Strom	110.025 EUR
Druckluft	4.605 EUR
Biomasseankauf	25.000 EUR
Summe Aufwände	**1.117.467 EUR**
Ergebnis Total	**-729.827 EUR**

Quelle: Excel-Tool

4.2.8 WSK-Analyse

Nachfolgend werden die Wertschöpfungsketten der drei Biomassen Maisstroh, Hochstammschnitt und Heckenschnitt für Entsorgungszentren beispielhaft an der Verwendung am Standort Weiherberg dargestellt.

4.2.9 CoAct Maisstroh

Im Vergleich zu der Beschreibung der Wertschöpfungskette Maisstroh im Kapitel 3.5.5 für die Anlage „auf der grünen Wiese“ ändert sich für den Standort Weiherberg der Ort der Silierung, die Summe der Aufwendungen und die Erträge aus dem Verkauf der Aktivkohle.

Für die Verwendung in der CoAct-Anlage wird das Maisstroh nach der Körnermaisernte geschwadet, aufgeladen und im Lohnunternehmen siliert. Erst zu einem späteren Zeitpunkt wird es nach Bedarf zur CoAct-Anlage gefahren. Inwieweit das Lohnunternehmen für die Zwischenlagerung des silierten Materials und die Ballenpressung einen Aufpreis verlangt, ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht absehbar. Die bisher angenommenen Kosten pro t Maisstroh in Höhe von 34,07 EUR/t werden daher auch für den Standort Weiherberg bis zu diesem Punkt in der Wertschöpfungskette angesetzt.

Durch die Pyrolyse entstehen weitere Kosten von 141,37 EUR. Der Ertrag aus der Aktivkohle beträgt 71,50 EUR. Insgesamt ergibt sich daraus eine negative Wertschöpfung von 113,49 EUR.

Tabelle 38: Wertschöpfung Maishäcksel CoAct – Variante Entsorgungszentrum

Wertschöpfung Maishäcksel CoAct

Wert-schöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung	Quelldaten
-26,24 €	Ernte / Feldarbeiten	Ausbringung Grünkompost 2,97 EUR Humusaufbau (Grünkompost) 6,57 EUR 9,54 EUR Kosten(pauschale) Ernte+Transport (5 km)+Einsilieren 16,70 €/t	Der Erntevorgang für den Körnermais selbst bleibt unverändert, auch die Nachpflege des Feldes (Grubber, Pflug) bleibt im Vergleich zum Status Quo gleich. Die Kosten der Ernte bis Entnahme und Beschickung der Biogasanlage wurden von Fleschhut, M., 2017 übernommen und nur CoAct-spezifische Änderungen vorgenommen. Die Reduktion des Humusaufbaus wird durch die Ausbringung von Grünkompost ausgeglichen. Preis für 1 t Grünkompost: 12,50 € Ausbringung t Grünkompost für 1 t Maishäcksel: 0,5255
	Logistik I		
-26,24 €	Bündeler / Zwischenlager	Ob Zusatzkosten beim Lohnunternehmen für Ballenpressung und Lagerung anfallen, ist nicht bekannt.	
-43,62 €	Logistik II	Zusatzkosten f. weitere 15 km Transport : 17,37 €/t	
-184,99 €	Pyrolyse	Personalaufwand 12,45 €/t BM Abschreibungen 51,83 €/t BM Sonstige Aufwendungen 21,31 €/t BM Aufwendungen für Strom 14,24 €/t BM Aufwendungen für Wärme 41,54 €/t BM Summe Aufwendungen 141,37 €/t BM	
-113,49 €	Logistik / Vertrieb	**Erträge aus der CoAct-Anlage:** Aktivkohle 71,50 €/t BM Strom 0,00 €/t BM Wärme 0,00 €/t BM Gesamtsumme Erträge 71,50 €/t BM	

4.2.10 CoAct Hochstammschnitt

Bis zur Pyrolyse ist die Wertschöpfungskette des Hochstammschnitts identisch mit den Angaben in Kapitel 3.5.65 (Standort „Grüne Wiese“).

Durch die Pyrolyse entstehen weitere Kosten von 188,26 EUR. Der Ertrag aus dem Aktivkohle- und Wärmeverkauf beträgt 131,07 EUR. Insgesamt ergibt sich daraus eine negative Wertschöpfung von 111,55 EUR.

Tabelle 39: Wertschöpfung Hochstammschnitt – CoAct – Standort Weiherberg

Wertschöpfung Hochstammschnitt - CoAct			
Wertschöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung	Quelldaten
	Ernte		Schnitt und Sammlung des Holzes sind gleich dem Status Quo.
-54,35 €	Logistik I	Maschinen-/Standkosten Häcksler 9,91 €/t Häckselarbeiten Zeitaufwand 7,33 €/t Transportkosten Unimog 14,48 €/t Transportkosten Zeitaufwand 22,64 €/t **Gesamtkosten Transport + Häckselarbeiten 54,35 €/t**	Transport mit Unimog (Häckselgut auf Ladefläche) Häckseln vor Ort durch Dienstleister Holzhacker mit Aufbaumotor an Unimog angehängt
	Bündeler / Zwischenlager		
	Logistik II		
-242,62 €	Pyrolyse	Personalaufwand 25,02 €/t BM Abschreibungen 104,14 €/t BM Sonstige Aufwendungen 42,11 €/t BM Aufwendungen für Strom 16,99 €/t BM Aufwendungen für Wärme 0,00 €/t BM Summe Aufwände 188,26 €/t BM	
-111,55 €	Logistik / Vertrieb	**Erträge aus der CoAct-Anlage:** Aktivkohle 107,25 €/t BM Strom 0,00 €/t BM Wärme 23,82 €/t BM Gesamtsumme Erträge 131,07 €/t BM	

4.2.11 CoAct Heckenschnitt

Im Vergleich zur Anlage auf der „grünen Wiese“ entfällt der Transport vom Entsorgungszentrum zur CoAct-Anlage.

Es verbleiben nur die Kosten der Pyrolyse von 188,26 EUR und die Erträge aus dem Aktivkohle- und Wärmeverkauf (131,07 EUR). Insgesamt ergibt sich daraus eine negative Wertschöpfung von 57,19 EUR.

Tabelle 40: Wertschöpfung Heckenschnitt – CoAct –Variante Entsorgungszentrum

Wertschöpfung pro t Biomasse	Hauptprozess	Inputdaten Wertschöpfung	Quelldaten
	Ernte		
	Logistik 1	Anliefgerungsgebühr erhoben vom BSK (netto) 54,62 €/t inkl. Sammlung in Wertstoffhöfen und Weitertransport an Entsorgungsfachzentren	Bei Anlieferung werden vom BSK 65 €/t (netto: 54,62 €/t) für Grünschnittmaterial erhoben. Dieses Vorgehen findet im Status Quo als auch in der CoAct-Variante statt, solange das EFZ als Bündeler in Erscheinung tritt, daher werden diese Kosten hier nicht weiter berücksichtigt.
	Entsorgungszentren (Bündeler)		
	Logistik II		
-188,26 €	Pyrolyse	Personalaufwand 25,02 €/t BM Abschreibungen 104,14 €/t BM Sonstige Aufwendungen 42,11 €/t BM Aufwendungen für Strom 16,99 €/t BM Aufwendungen für Wärme 0,00 €/t BM Summe Aufwände 188,26 €/t BM	
-57,19	Logistik / Vertrieb	**Erträge aus der CoAct-Anlage:** Aktivkohle 107,25 €/t BM Strom 0,00 €/t BM Wärme 23,82 €/t BM Gesamtsumme Erträge 131,07 €/t BM	

4.3 Überlegungen zu einer externen Aktivierung der Pflanzenkohlen

Da, wie bereits in Kapitel 4.1.1 erwähnt, die Anlage Pyreg A500 nicht auf dem Markt verfügbar ist, wurden die Aktivierungskosten von Björnsen und Partner beratenden Ingenieure auf 1,1 Mio. Euro geschätzt. Zusätzlich wurde eine externe Aktivierung in Betracht gezogen. Zum einen kann die Aktivierung dann durch einen Dienstleister erfolgen. Laut dem Unternehmen Carbotech würde der Preis bei

etwa 2.000 EUR/t Aktivkohle liegen, wobei bei Etablierung des Aktivierungsprozesses ein geringerer Preis anzunehmen ist. Zum anderen könnten die Investitions- und Prozesskosten eines Drehrohrofens anteilig in die Kalkulation einbezogen werden. Nach eigener Recherche und Anfragen bei entsprechenden Unternehmen ist es nicht möglich diesbezüglich eine belastbare Preisauskunft zu erhalten. Bei einer externen Aktivierung könnte die CoAct-Anlage auch mit einer Pyreg PX zur Herstellung von Pflanzenkohlen betrieben werden. Die Investitionskosten für eine solche Anlage betragen laut Hersteller etwa 950.000 EUR. Im Vergleich zur aktuell kalkulierten Pyrolyse-Anlage (1.295.910 EUR) wäre die Pyreg PX um 345.910 EUR günstiger, dies würde auch die Fixkosten und Abschreibung betreffen. Es bleibt zu eruieren, inwiefern der Betrieb einer Pyreg PX mit anschließender externer Aktivierung der Pflanzenkohlen sich ökonomisch im Vergleich zu den bisherigen Anlagen-Varianten darstellt.

5 Sensitivitätsanalyse

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde untersucht, welche Auswirkungen veränderte Aktivkohle- und Strompreise sowie Zinssätze auf die Rentabilität einer CoAct-Anlage haben. Dabei wurden entsprechende Szenarien mit unterschiedlichen Aktivkohle- und Strompreisen sowie Zinssätzen unter Einbezug der verschiedenen Standortvarianten erstellt.

Wie bereits in Kapitel 3.5 erwähnt, hat der Biomassemix einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer CoAct-Anlage. Folglich wird auf diesen Aspekt nicht weiter eingegangen und für alle Szenarien der Biomassemix 1 verwendet. Zunächst werden in Kapitel 5 die Szenarien mit veränderten Aktivkohlepreisen betrachtet. Anschließend werden die Szenarien mit veränderten Strompreisen und Zinssätzen dargestellt.

5.1 Vorgehen bei der Erstellung der Szenarien

Für die Szenarien wurde die variable Größe, Zinssatz bzw. Aktivkohle- und Strompreis, mit entsprechenden Werten in das Excel-Tool eingegeben und das jeweilige Ergebnis der GuV betrachtet. Anschließend wird zur Veranschaulichung die Veränderung der variablen und fixen Kosten und das Ergebnis der GuV in Bezug zur Entwicklung der Variablen graphisch dargestellt. Die jährlichen Fixkosten, ohne Investitionskosten, bestehen aus den Kosten für Wartung, Versicherungen, Buchhaltung, Kapitaldienst und Abschreibung. Die variablen Kosten setzten sich aus Kosten für Druckluft und Strom, aus Personalkosten und Einkauf der Biomassen, hier Holzhackschnitzel zusammen. Die in den folgenden Diagrammen abgebildeten Gesamtkosten bilden die Summe aus den jährlichen Fixkosten (ohne Investitionskosten) und den variablen Kosten.

5.2 5.1. Preis- und Kostenszenarien

Im Folgenden werden verschiedener Aktivkohle-Preisszenarien durchgespielt und die Auswirkungen auf die Rentabilität einer CoAct-Anlage untersucht. Dies erfolgt unter Einbezug verschiedener Standorte (grüne Wiese / Kläranlage / Entsorgungszentrum) und entsprechender Anlagenkonfigurationen (mit IFBB-/ohne IFBB-Modul). Anschließend erfolgen analog dazu Szenarien mit unterschiedlichen Strompreisen und Zinssätzen. Den Szenarien liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Gaspreis = 0,08 EUR/kWh
- Strompreis = 0,30 EUR/kWh
- Erlös Wärme = 0,08 EUR/kWh
- Verwendung von Biomassemix 1 (30 % grasartig, 70 % holzig)
- Output an Aktivkohle = 105 t
- Steuerliche Afa-Sätze
- Verhältnis Eigenkapital zu Fremdkapital = 50:50
- wenn nicht anders angegeben, beträgt der Zinssatz sechs Prozent und der Disagio zehn Prozent
- Kreditlaufzeit = zehn Jahre
- Keine Kosten für den Ankauf von grasartigen Biomassen (Variante mit IFBB-Modul)

- Kosten für den Einkauf von Holzhackschnitzeln: 25 EUR/t

Die folgenden drei Graphiken zeigen das Szenario mit veränderten Aktivkohlepreis für die drei Standort- und Anlagenvarianten: Kläranlage (mit IFBB-Modul), Entsorgungszentrum (ohne IFBB-Modul) und grüne Wiese (mit IFBB-Modul).

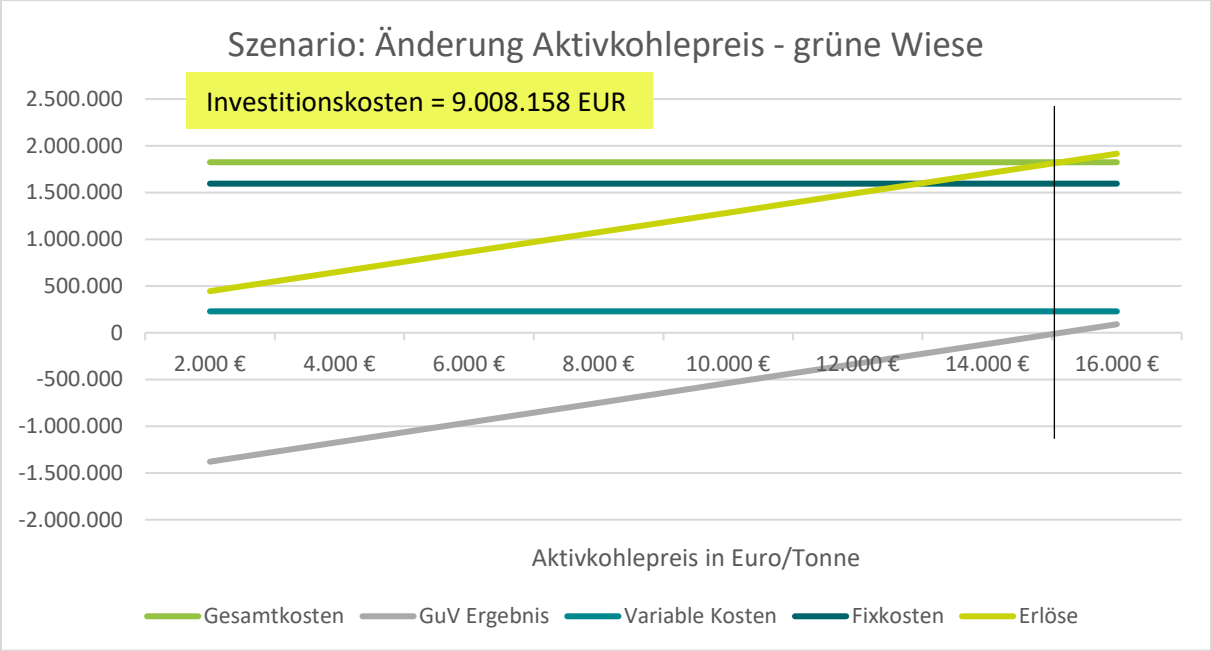


Abbildung 2: Szenario: Änderung Aktivkohlepreis bei „grüne Wiese "

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Wie aus Abbildung 2 zu entnehmen ist, können die Gesamtkosten mit der Variante „grüne Wiese" unter den getroffenen Annahmen ab einem Aktivkohlepreis von 15.715EUR/t durch die Erlöse gedeckt werden. Dazu kommen die vergleichsweise hohen Investitionskosten von neun Millionen Euro.

Abbildung 3 zeigt das gleiche Szenario für einen Kläranlagenstandort. Die CoAct-Anlage würde bereits ab einem Aktivkohlepreis von 13.146 EUR/t wirtschaftlich produzieren.

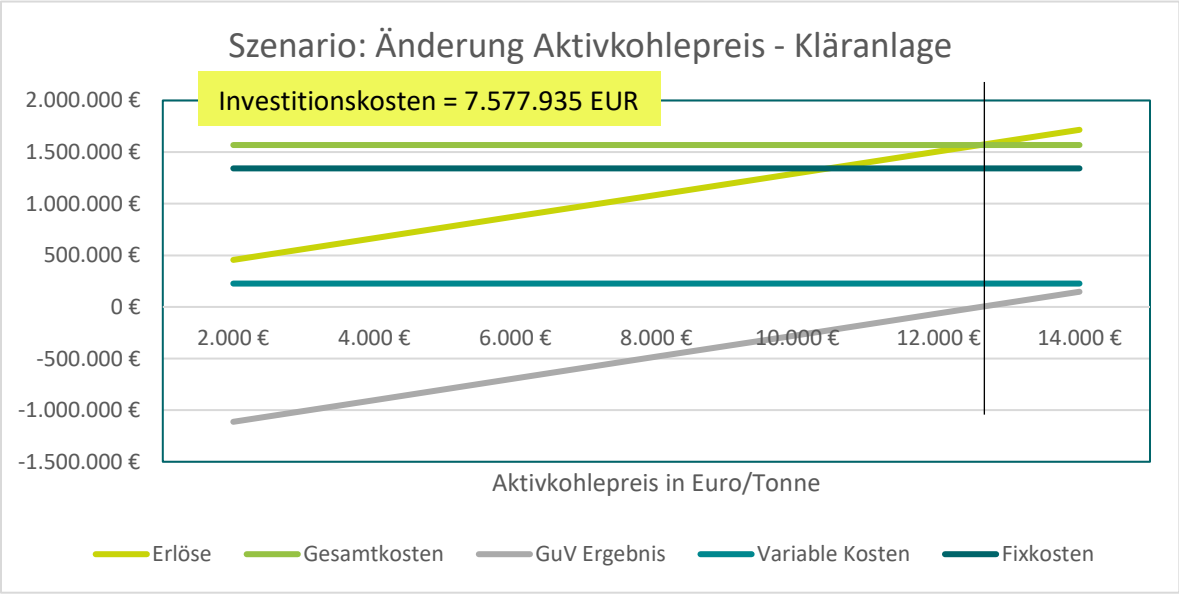


Abbildung 3: Änderung Aktivkohlepreis bei Variante Kläranlage

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Wie in Abbildung 4 zu erkennen ist, wäre die Aktivkohleproduktion mit einer Pyrolyse und Aktivierung von holzigen Biomassen beispielsweise an einem Entsorgungszentrum bereits bei Aktivkohlepreisen ab 8.951 EUR/t rentabel.

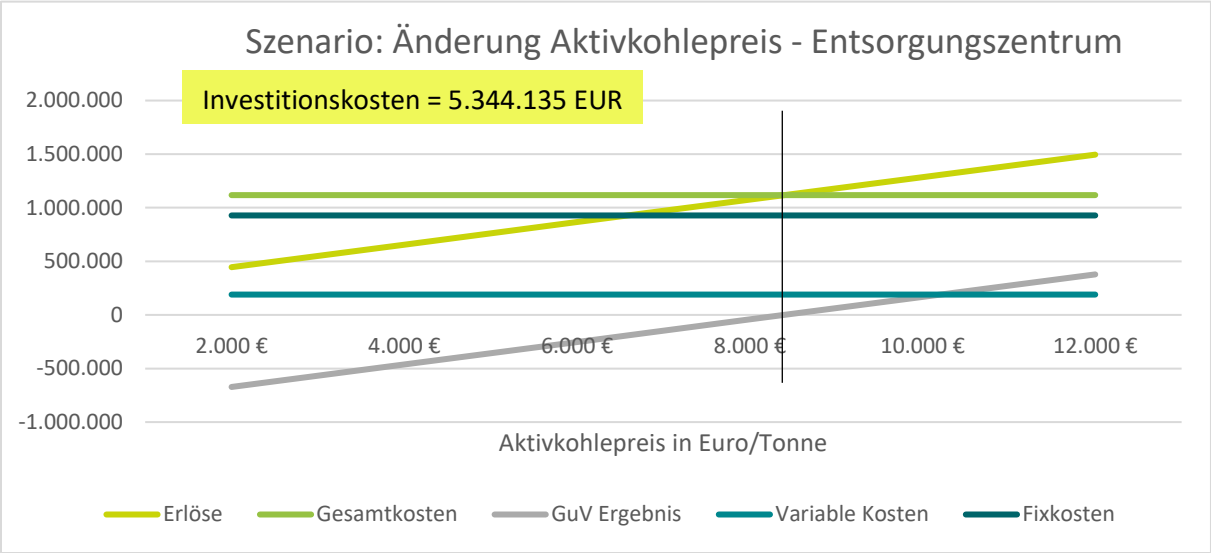


Abbildung 4: Änderung Aktivkohlepreis bei Variante Entsorgungszentrum

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Die nächste Abbildung zeigt ein Szenario, bei dem sich die Zinssätze verändern. Es lässt sich erkennen, dass das Ergebnis der GuV für die Variante „grüne Wiese“ auch bei einem sehr niedrigen Zinssatz (< 2 %) nicht in einem wirtschaftlichen Bereich liegen würde. Folglich sind die Zinsen weniger ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit einer CoAct-Anlage, sondern vielmehr die Höhe der Investitionssumme. Da dieses Szenario bei den Varianten Kläranlage und Entsorgungszentrum sehr ähnlich aussieht, wird an dieser Stelle auf weitere Darstellungen der Standortvarianten verzichtet.

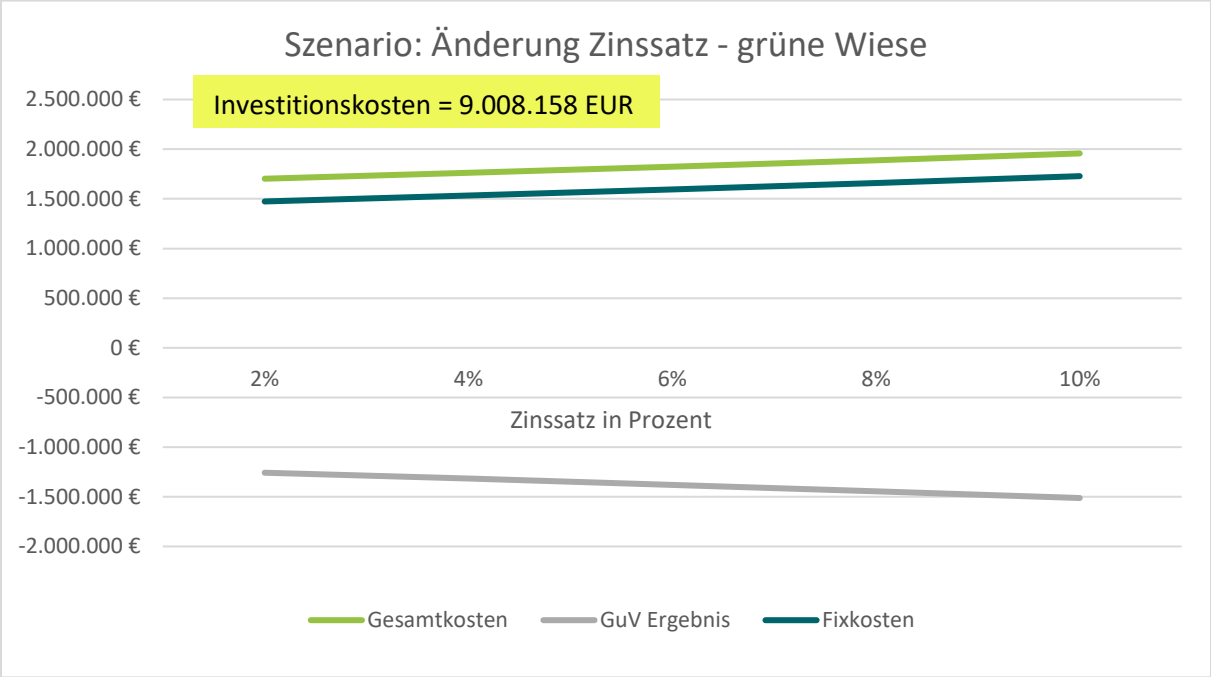


Abbildung 5: Änderung der Zinssätze bei Variante grüne Wiese

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Wenig überraschend (Abbildung 6), tragen steigende Strompreise zu einem stetig schlechter werdenden Ergebnis der GuV und zu steigenden variablen Kosten bei. Da, wie beim Zinssatz-Szenario, die Standortvarianten grüne Wiese und Entsorgungszentrum ähnlich aussehen, wird an dieser Stelle auf die Darstellung weiterer Varianten verzichtet.

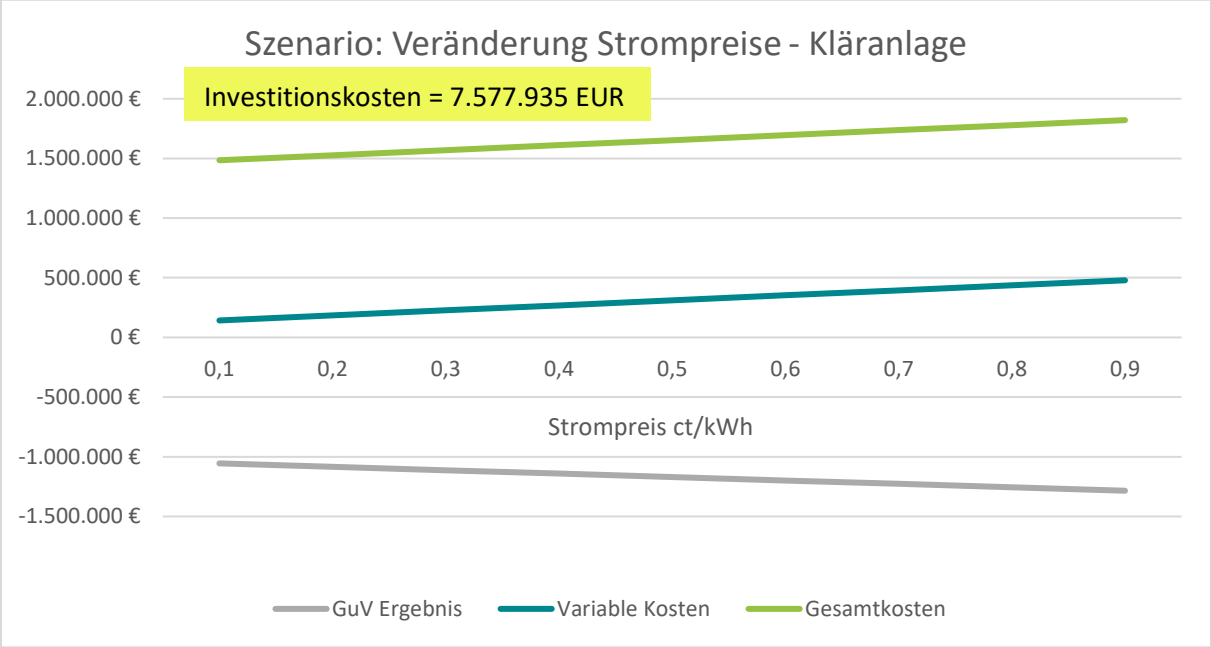


Abbildung 6: Änderung der Strompreise bei Variante Kläranlange

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Zusammenfassend ist erkennbar, dass der Betrieb einer CoAct-Anlage umso rentabler ist, je geringer die Investitionskosten gehalten werden können. In Bezug auf die Gesamtkosten spielen die variablen Kosten und hier insbesondere die Stromkosten eine untergeordnete Rolle. Letzteres macht maximal zehn Prozent der Gesamtkosten aus. Dies lässt sich anhand der Verteilung der Kostenarten in Tabelle 41 ablesen.

Tabelle 41: Verteilung der Kostenarten

Standortvarianten	Grüne Wiese (mit Hochsilo)	Kläranlage (mit IFBB und Hochsilo)	Entsorgungszentrum (ohne IFBB und ohne Hochsilo)
Investitionskosten	9.008.158 EUR	7.577.935 EUR	5.344.135 EUR
Variable Kosten[1] pro Jahr / %-Anteil an Gesamtkosten	232.439 EUR / 13 %	226.306 EUR / 14 %	189.630 EUR / 17 %
Fixkosten[2] pro Jahr / %-Anteil an Gesamtkosten	1.595.264 EUR / 87 %	1.342.223 EUR / 86 %	927.837 EUR / 83 %
Stromkosten pro Jahr (0,30ct/kWh; Anteil an Gesamtkosten)	7 %	8 %	10 %

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

[1] Variable Kosten = Energiekosten, Personalkosten, Kosten für holzige Biomasse und Druckluft

[2] Fixkosten = Versicherungen, Wartung, Abschreibung, Kapitaldienst, Buchhaltung

Tabelle 42 zeigt, dass auch ein erhöhter Zinssatz, hier 10 %, maximal einen moderaten Einfluss auf die Fixkosten nimmt. Je höher die Investitionssumme, desto größer natürlich der Einfluss des Zinssatzes auf die Fixkostensumme.

Tabelle 42: Veränderung der Fixkosten bei verschiedenen Zinssätzen

Standortvarianten	Grüne Wiese (mit Hochsilo)	Kläranlage (mit IFBB und Hochsilo)	Entsorgungszentrum (ohne IFBB und ohne Hochsilo)
Investitionssumme	9.008.158 EUR	7.577.935 EUR	5.344.135 EUR
Fixkosten mit 5 % Zins	1.563.737 EUR	1.315.701 EUR	909.134 EUR
Fixkosten mit 10 % Zins	1.728.428 EUR	1.454.245 EUR	1.006.837 EUR

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Resümierend kann eher ein Anstieg der variablen Kosten in Kauf genommen werden als ein Anstieg der Investitionskosten. Letztere sollten möglichst geringgehalten werden, um die Fix- bzw. Gesamtkosten gering zu halten und die Rentabilität zu erhöhen. Um dies zu erreichen könnte auf die Verwendung grasartiger Biomassen und folglich auf die Investition in ein IFBB-Verfahren verzichtet werden. Dadurch könnten jedoch keine grasartigen Biomassen einer hochwertigen Nutzung zugeführt werden und der ökologische Mehrwert des CoAct-Konzepts würde nicht ausgeschöpft. Vielversprechend sind dagegen die Möglichkeiten der Investitionsförderungen in Anspruch zu nehmen. Gerade Zuschüsse senken die einzubringenden finanziellen Ressourcen von Betreibern oder Besitzern einer CoAct-Anlage und wirken sich direkt auf die Wirtschaftlichkeit aus.

6 Ökonomische Gesamtbewertung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Investitionskosten der größte Dreh- und Angelpunkt für die Wirtschaftlichkeit einer CoAct-Anlage sind. Damit verbunden sind die Fixkosten ebenfalls relevant für die Rentabilität einer CoAct-Anlage, da die Investitionskosten mit der Abschreibung und dem Kapitaldienst in diese einfließen. Den drittgrößten Anteil innerhalb der Fixkosten machen die Kosten für Wartung und Instandhaltung aus. Beim Vergleich der Investitionskosten der drei Standortvarianten schneidet die Variante Entsorgungszentrum am besten ab, da hier die Investitionskosten für das IFBB-Verfahren und das Hoch-Silo entfallen.

Tabelle 43: Vergleich der Investitionskosten

Standortvarianten	Grüne Wiese (mit Hochsilo)	Kläranlage (mit IFBB und Hochsilo)	Entsorgungszentrum (ohne IFBB und ohne Hochsilo)
Investitionssumme	9.008.158 EUR	7.577.935 EUR	5.344.135 EUR

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Beim Vergleich der GuV der drei Standortvarianten (Tabelle 44) wird deutlich, dass eine CoAct-Anlage ohne IFBB-Verfahren aufgrund von niedrigeren Investitionskosten, Abschreibung, Kapitaldienst sowie Strombedarf, die geringsten Kosten verursacht.

Tabelle 44: Vergleich der GuV

GuV	Grüne Wiese (mit Hochsilo)	Kläranlage (mit IFBB und Hochsilo)	Entsorgungszentrum (ohne IFBB und ohne Hochsilo)
Aktivkohle	210.000 EUR	210.000 EUR	210.000 EUR
Erlös Stromeinspeisung	40.200 EUR	40.200 EUR	40.200 EUR
Erlös Wärmeeinspeisung	137.440 EUR	138.544 EUR	137.440 EUR
Ersparnis Brenntag	-	9.455 EUR	-
Summe Erlöse	**387.640 EUR**	**398.199 EUR**	**387.640 EUR**
Personalaufwand	75.000 EUR	75.000 EUR	50.000 EUR
Abschreibungen	733.274 EUR	612.114 EUR	398.170 EUR
Sonstige Aufwendungen	864.990 EUR	730.109 EUR	529.667 EUR
Aufwendungen für Strom	128.793 EUR	126.101 EUR	110.025 EUR
Druckluft	4.605 EUR	4.605 EUR	4.605 EUR
Biomasseankauf	20.600 EUR	20.600 EUR	25.000 EUR
Wasser	3444 EUR	-	-
Summe Aufwände	**1.830.703 EUR**	**1.568.530 EUR**	**1.117.467 EUR**
Ergebnis Total	**-1.443.063 EUR**	**-1.170.331 EUR**	**-729.827 EUR**

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung

Wie die Ergebnisse der Gewinn- und Verlustrechnungen zeigen, ist die Wirtschaftlichkeit einer CoAct-Anlage wie hier konzipiert, aktuell noch nicht gegeben. Aufgrund der herausfordernden

Wirtschaftlichkeit und Aktivierungstechnologie gibt es kaum Hersteller von Pflanzenaktivkohlen in Deutschland. Die wenigen existierenden deutschen Aktivkohle-Hersteller verwenden entweder ausschließlich die weniger kostspieligen holzigen Biomassen oder andere nicht-grasartige Biomassen, wie z.B. Kokosschalen. Diese Situation spiegelt sich auch in den Ergebnissen des hiesigen Projektes wider. Dennoch soll nachfolgend auf Aspekte verwiesen werden, die bei der Bewertung der hiesigen Kalkulationen zu berücksichtigen sind.

Die im vorliegenden Bericht verwendeten Daten basieren auf den Planungen und zum Teil Schätzungen der beauftragten Ingenieurbüros und ergänzenden Annahmen aus Recherchen und Anfragen bei Anbietern. Zu Beginn und zum Ende der Projektlaufzeit wurden zwei Ingenieurbüros für die Planung und Kostendarstellung hinzugezogen. Das Resultat sind zum Teil sehr unterschiedliche Angaben zu den (Investitions-) Kosten. Die Spannbreite der Kosten ist in der nachfolgenden Tabelle abgebildet.

Tabelle 45: Spannbreite der Investitionskosten

Investitionskosten	Grüne Wiese (mit Hochsilo)	Kläranlage (mit IFBB und Hochsilo)	Entsorgungszentrum (ohne IFBB und ohne Hochsilo)
Summe Kalkulation Ingenieurbüro 1	5.464.523 EUR3	4.006.800 EUR	2.211.300 EUR
Summe Kalkulation Ingenieurbüro 2	9.008.158 EUR	7.577.935 EUR	5.344.135 EUR
Differenz Kalkulationen	3.543.635 EUR	3.571.135 EUR	3.132.835 EUR

Quelle: K&F, Björnsen Beratende Ingenieure

Zwischen der ersten und der zweiten Kalkulation liegen etwa je Standort drei bis dreieinhalb Millionen Euro. Dies ist ein erheblicher Unterschied und bei Betrachtung der vorgestellten ökonomischen Ergebnisse in den Kapiteln 3, 4.1 und 4.2 unbedingt im Hinterkopf zu behalten, in denen die Varianten CoAct auf der „grünen Wiese“, an einer Kläranlage und einem Wertstoffhof diskutiert wurden. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnungen beruhen auf verschiedenen Angaben und Schätzungen von Ingenieurbüros. Standortspezifika fehlen dabei in der Betrachtung. Folglich wäre auch der Bau einer deutlich kostengünstigeren CoAct-Anlage mit einer entsprechend höheren Wirtschaftlichkeit denkbar, wie Tabelle 45 zeigt. Die Abbildung 7 veranschaulicht die Entwicklung der Wirtschaftlichkeit mit der geringeren Kalkulation aus Tabelle 45. Demnach würde die günstigere CoAct-Anlage an einer Kläranlage ab einem Aktivkohlepreis von etwa 9.000 EUR wirtschaftlich produzieren. Das ist immer noch ein sehr hoher Aktivkohlepreis, aber verglichen mit der hochpreisigen Kalkulation (Abbildung 3), wird hier bei einem um ca. 4.000 EUR niedrigeren Aktivkohlepreis bereits eine wirtschaftliche Aktivkohleproduktion erreicht.

[3] Ohne Erdarbeiten

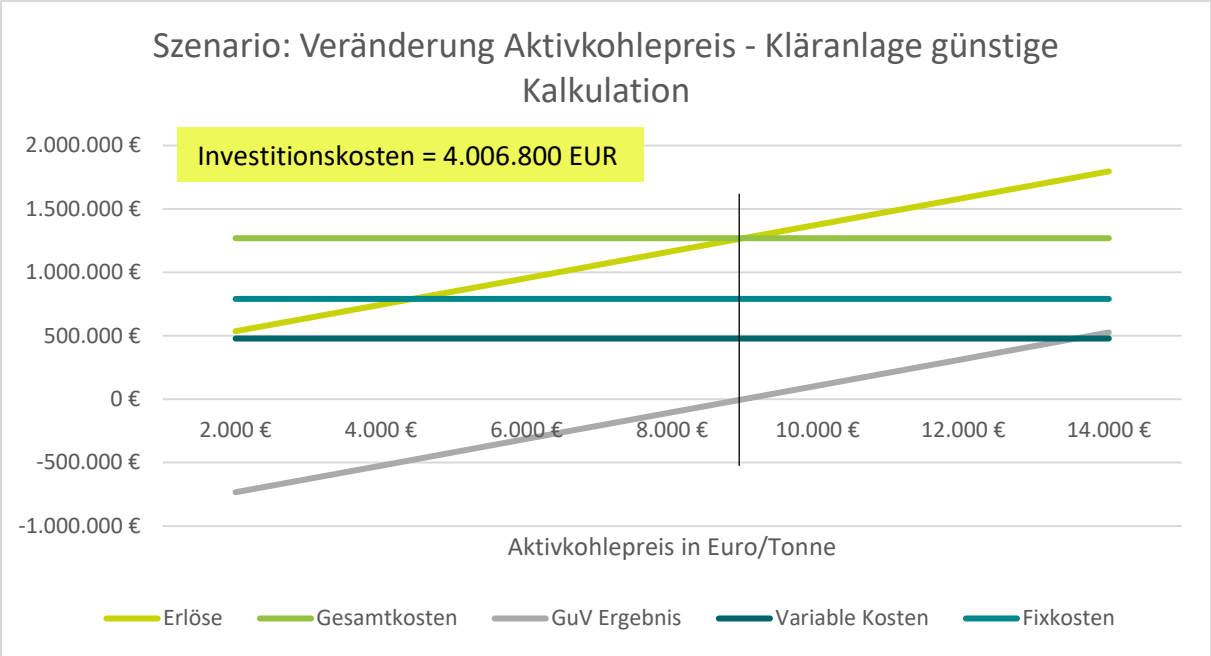


Abbildung 7: Szenario Änderung Aktivkohlepreis am Beispiel Kläranlage mit günstiger Kalkulation

Quelle: K&F, Björnsen Beratende Ingenieure, eigenen Berechnung und Darstellung

Des Weiteren wurde in den vorliegenden Kalkulationen die Kreditlaufzeit auf zehn Jahre angesetzt, gemäß der Abschreibungsdauer. Die kurze Kreditlaufzeit hat einen hohen Kapitaldienst zur Folge. Bei einer Umsetzung des Vorhabens würde man längere Kreditlaufzeiten wählen und könnte entsprechende Einsparpotentiale beim Kapitaldienst realisieren.

Darüber hinaus wurde in Kapitel 4.3 die Möglichkeit einer externen Aktivierung angesprochen.

Mit einer externen Aktivierung könnten bei der Pyrolyse ca. 345.000 EUR an Investitionskosten eingespart werden. Allerdings kommen dann Kosten für den Transport und die Aktivierung dazu.

Eine weitere Option, um die Kosten zu reduzieren wäre die ausschließliche Verwendung von holziger Biomasse. Dem entgegen steht aber der Ansatz der nachhaltigen Verwendung von bisher ungenutzten grasartigen Biomassen, daher ist dies kritisch abzuwägen. Eine weitere Option die Investitionskosten zu reduzieren wäre das Auslagern der Biomassen, damit Siloflächen einzusparen und die Biomassen „gebrauchsfertig“ anliefern zu lassen. Wie in Kapitel 4.1.4 dargestellt, hätte das eine Reduzierung der Investitionskosten je nach Vergleichswert von ca. 227.500 EUR bis 561.500 EUR zur Folge.

Zuletzt sollten in jedem Fall die Fördermöglichkeiten eruiert und ausgeschöpft werden. Darauf wurde bereits näher in Kapitel 2.5 eingegangen. Trotz der aus diversen Gründen noch fehlenden Wirtschaftlichkeit einer CoAct-Anlage, bietet das Verfahren einen innovativen und nachhaltigen Ansatz für die Verwendung von ungenutzten Biomassen, die Reduzierung von CO_2 in der Atmosphäre, die Steigerung regionaler Wertschöpfung und die Vermeidung von globalen Lieferketten- und Rohstoffabhängigkeiten.

6.1 SWOT-Analyse zum CoAct-Verfahren

Die SWOT (Strength-Weakness-Opportunities-Treaths) -Analyse (Gabler Wirtschaftslexikon o.D.) kommt aus der strategischen Unternehmensplanung und dient der Positionierungsanalyse der eigenen Unternehmensaktivitäten gegenüber dem Wettbewerb. Dazu wird das Unternehmensumfeld

analysiert und die daraus resultierenden Chancen und Risiken den Stärken und Schwächen des Unternehmens (interne Analyse) gegenübergestellt. Daraus lassen sich vier Unternehmensstrategien bzw. Handlungsfelder ableiten: in dem Bereich, in dem interne Unternehmensstärken auf externe Chancen treffen (Matrixkasten oben links), sollten die Stärken weiter ausgebaut werden, um die Chancen, die sich daraus für das Unternehmen ergeben möglichst gut nutzen zu können. Im Feld oben rechts, wo Schwächen des Unternehmens auf externe Chancen treffen, sollten die Schwächen weiterentwickelt werden, damit die Chancen genutzt werden können und sich daraus keine Risiken ergeben. Der Matrix-Kasten unten links beantwortet die Frage: welche Stärken des Unternehmens können mögliche Risiken aus dem Unternehmensumfeld minimieren? Der Kasten daneben zeigt auf, welches Schwächen weiterentwickelt werden sollten, um Risiken für das Unternehmen zu vermeiden bzw. möglichst gering zu halten. Abbildung 8 zeigt die SWOT-Analyse für das CoAct-Verfahren.

SWOT ANALYSE		INTERNE ANALYSE	
		STÄRKEN	**SCHWÄCHEN**
EXTERNE ANALYSE	**CHANCEN**	Folgende Chancen ergeben sich durch die Stärken des CoAct-Konzepts: ■ Verwendung von ungenutzten Biomassepotentialen ■ Nachhaltige Produktion von Aktivkohle ■ Steigerung der regionalen Wertschöpfung ■ Nachfragesteigerung nach Reinigungsverfahren mit Einführung der 4. Reinigungsstufe ■ Einsparung von Energie (-Kosten) bzw. nutzbarer Energie-Überschuss	Folgende Schwächen begrenzen die Chancen des CoAct-Konzepts: ■ Technologie noch nicht am Markt verfügbar ■ Technologie noch sehr teuer -> Förderprogramme ■ Silierung von grasartiger Biomasse, die außerhalb von Wiesen-/Weideflächen anfällt ist teilweise schwierig umzusetzen
	RISIKEN	Die Stärken des CoAct-Konzepts wirken positiv auf potenzielle Risiken: ■ Unabhängigkeit von globalen Lieferketten und fossilen Rohstoffen ■ Positive Klimaeffekte (langfristige Reduzierung von Treibhausgasen) ■ Keine Konkurrenz um Biomassenutzung bei grasartigen, kommunalen Biomassen ■ Möglicher Beitrag zur vorgesehenen Energieneutralität von Kläranlagen	Die Schwächen des Konzepts können folgende Risiken verstärken: ■ Nutzung von ausschließlich holziger Biomasse aufgrund der Wirtschaftlichkeit: Nachhaltigkeit kritisch zu hinterfragen und Konkurrenz mit anderen stofflichen Nutzungen ■ Umlegen der Kosten auf Kommunen/Bürgerinnen und Bürger ■ Vorhandensein ausreichender Biomassepotentiale ggf. nicht in allen Regionen gegeben

Abbildung 8: SWOT-Matrix für das CoAct-Verfahren

Quelle: Eigene Darstellung

7 Nachhaltigkeitsbewertung

7.1 Methodik und Vorgehen

Der CoAct-Ansatz verfolgt das Ziel, regionale Restbiomassen einer hochwertigen Nutzung zuzuführen, indem sie zu hochwertigen biogenen Aktivkohlen verarbeitet werden. Die Arbeitsthese war, dass dies ökologisch sinnvoll und regionalwirtschaftlich positive Effekte mit sich bringt. Neben der konzeptionellen Weiterentwicklung und technischen Prüfung des Ansatzes ist eine Nachhaltigkeitsbewertung vorgesehen. Diese soll prüfen, ob der CoAct-Ansatz zu einer

- nachhaltigen Regionalentwicklung und
- den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung (Engl. Sustainable Development Goals – SDGs) insgesamt

beitragen. Dabei muss konkretisiert werden, was im Kontext des CoAct-Ansatzes unter Nachhaltigkeit verstanden wird. Dabei geht es darum, alle Bereiche zu betrachten, die sich durch den Einsatz von CoAct-Aktivkohlen ändern bzw. von der Produktion von CoAct-Aktivkohlen betroffen sind. Nur durch das Betrachten positiver Wirkungen, wie auch negativer Effekte oder auswirkungslosen Änderungen kann der CoAct-Ansatz als Ganzes bewertet werden.

Diese multidimensionale Betrachtung der Nachhaltigkeit zieht sich durch das gesamte CoAct-Projekt. Bereits in der Forschungsphase 2018-2021 entwickelte die Bodensee-Stiftung eine Entscheidungsmatrix, um Biomassen und ihre Eignung für die Verarbeitung zu Aktivkohlen zu bewerten. Dabei wurden ökologische, soziale und ökonomische Parameter herangezogen. Das Technikzentrum Wasser und die Universität Kassel bestimmten die Reinigungsleistung verschiedener Pflanzen-Aktivkohlen. Das ifeu verglich den Fußabdruck konventioneller und CoAct-Aktivkohlen.

Diese Nachhaltigkeitsbewertung greift die Ergebnisse der Partner auf und unterfüttert die Gesamtbetrachtung mit Kennzahlen und qualitativen Aussagen. Anders als die Partner versucht diese Nachhaltigkeitsbewertung nicht einen einzelnen Aspekt vertieft zu untersuchen, sondern das CoAct-Konzept als gesamtes zu bewerten.

Als normative Grundlage für die Gesamtbewertung dienen die Ziele für eine nachhaltige Entwicklung. Diese wurden 2015 von der UN-Vollversammlung verabschiedet. Auch Deutschland verpflichtete sich die auf Englisch Sustainable Development Goals oder SDGs genannten Ziele umzusetzen. Diese Nachhaltigkeitsbewertung greift auf dieses System zurück, um aufzuzeigen, inwiefern das CoAct-Konzept zum aktuellen Rahmen für nachhaltige Entwicklung beiträgt.

Operationalisiert wird die Nachhaltigkeitsbewertung durch zwei unterschiedliche Ansätze. Erstens kam der kommunale N!-Check zum Einsatz, der im Jahr 2019 von der Landesanstalt für Umwelt in Baden-Württemberg entwickelt wurde. Dieser Check ermöglicht eine ganzheitliche Bewertung der Auswirkungen eines Projekts, indem wirtschaftliche, soziale und ökologische Aspekte gleichermaßen berücksichtigt werden. Mit dem N!-Check wurde auf ein in der Projektregion bereits eingesetztes Tool zurückgegriffen, das mit den SDG verknüpft wurde.

Zusätzlich wurde der N!-Check durch das TRAFIS.NB-Tool ergänzt. Dabei handelt es sich um einen Ansatz für die prozessbegleitende Nachhaltigkeitsbewertung von innovativen Infrastrukturlösungen des Umweltbundesamts. Dieser Ansatz legt besonderen Wert auf technische Aspekte im Bereich der

Versorgungssicherheit, Ressourcenschonung und Nutzerorientierung. Beide Methoden ergänzen sich zu einem Gesamtbild, das einerseits Nachhaltigkeitsfragen auf regionaler Ebene wie Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit behandelt und andererseits auf Anlagenebene die Emissionen sowie die Möglichkeit eines Energieüberschusses in Betracht zieht.

Durch den Rückgriff auf etablierte Systeme, kann die Nachhaltigkeitsbewertung standardisierte Ergebnisse produzieren. Diese sind anschlussfähig an die Diskussion um eine global nachhaltige Entwicklung durch die Einbindung der SDGs. Der N!-Check ist ein Tool, das im Rahmen seiner Entwicklung von Test-Kommunen geprüft wurde und sich in der vorliegenden Form auch in der Projektregion liegenden Stadt Friedrichshafen bewährt hat. Auch der N!-Check liefert vergleichbare Ergebnisse im Bereich kommunaler Nachhaltigkeitsbewertung. Und abschließend ermöglicht das Trafis.NB-Tool den Blick auf die Infrastruktur selbst. Ergänzend zu den in anderen Arbeitspaketen vertieft betrachteten Fragestellungen geht der Ansatz auf die Beziehung zwischen dem Betrieb dieser Infrastruktur und der Versorgungsleistung der Region ein. So können im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertungen unterschiedliche Nachhaltigkeitsebenen, vom Globalen, dem Kommunalen bis hin zur Anlage selbst, abgedeckt werden. Die Themen, die dabei näher betrachtet werden und die dazugehörigen Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt.

7.2 Nachhaltigkeitsbewertung mit dem N!-Check

Der N!-Check (McLeod 2019) setzt sich aus den vier übergeordneten Bereichen „Ökologische Tragfähigkeit“, „Wirtschaft, Arbeit und Mobilität“, „Soziales und Gesellschaft“ sowie „Rahmenbedingungen und Fernwirkungen“ zusammen. Der Bereich „Soziales und Gesellschaft“ nicht berücksichtigt, da die relevanten Aspekte Versorgungssicherheit und Resilienz im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung bereits im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung mit TRAFIS:NB abgedeckt werden. Zusätzlich wurden den einzelnen Handlungsfeldern und dazugehörigen Leitfragen relevante Bezüge zu den Globalen Nachhaltigkeitszielen (SDGs) zugeordnet. Der Einfluss des Projekts auf die vordefinierten Handlungsfelder kann dabei bzgl. der regionalen Nachhaltigkeit fördernd oder hemmend sein oder keinen Effekt haben. Der Begriff "Kein Effekt" wird verwendet, um anzugeben, dass die Auswirkungen entweder marginal sind oder zum aktuellen Stand der Planung noch nicht genau eingeschätzt werden können. In einigen Handlungsfeldern können auch unterschiedliche oder sogar entgegengesetzte Auswirkungen auftreten. Im folgenden Abschnitt werden die Auswirkungen der Errichtungen einer CoAct Anlage im Vergleich zum Status-Quo näher erläutert. Tabelle 46 bietet einen zusammenfassenden Überblick über die einzelnen Felder, wobei je nach genutzter Substratart der Biomassen unterschiedlich starke Auswirkungen auftreten können. Die relevanten Substrate für die Anlagenvariante Kressbronn lassen sich in strohartige, holzige, grasartige und sonstige Restbiomassen unterteilen. Die Bewertung des Bereichs "Ökologische Tragfähigkeit" stützt sich größtenteils auf die ökologische Bewertung des ifeu und der Universität Kassel.

Holzigen Biomassen weisen eine höhere Konversionsrate von Frischbiomasse zu Aktivkohle auf. Nichtsdestotrotz sind auch die Bilanzen krautiger und grasartiger Biomassen positiv. Gerade in Bezug auf die ökologische Bedeutung von Landschaftspflegematerialien oder der Zusatznutzes des Presssaftes aus dem IFBB-Verfahren spricht für den Einsatz dieser Biomassefraktionen. Biomasseübergreifend werden durch das Entfernen der Restbiomasse aus ihrer ursprünglichen Umgebung Feldemissionen vermieden, die durch biologische Abbauprozesse entstehen. Im Gegensatz zum Status quo wirkt sich der Betrieb einer CoAct-Anlage auch positiv auf die effiziente und nachhaltige Nutzung von Energie aus. Der

fossile kumulierte Energieaufwand sinkt bei allen untersuchten Biomassen stark. Der gesamte kumulierte Energieaufwand (KEA) sinkt ebenfalls, jedoch im Vergleich zum fossilen kumulierten Energieaufwand weniger deutlich ausgeprägt. Dies bedingt sich daraus, dass in den CoAct-Szenarien mehr Strom verbraucht wird und deswegen mehr Lasten in der Bilanz auftreten. Eine Ausnahme stellt dabei der Heckenschnitt dar, dessen KEA-Bilanz im Vergleich zum Status quo negativ ist, da die Restbiomassen ohne Nutzung in der CoAct-Anlage energetisch verwertet werden würden.

Der Aufbau einer CoAct-Anlage auf der Kläranlage Kressbronn erfordert zusätzliche Flächen, die auf dem bisherigen Gelände nicht verfügbar sind. Aus diesem Grund ist eine Flächenerweiterung erforderlich, die mit einem entsprechenden Eingriff in die Umwelt und zusätzlicher Versiegelung einhergeht. Anlagenstandorte, die bereits über ausreichend versiegelte Flächen für das Aufstellen einer CoAct-Anlage verfügen kämen dagegen ohne einen solchen Flächeneingriff und zusätzliche Versiegelung aus.

Im Rahmen der Standortplanung an der Kläranlage Kressbronn wurden verschiedene Varianten geprüft. Die Platzierung der CoAct-Anlage im Süden des Betriebsgeländes hätte den Vorteil, dass bestehende Infrastrukturen genutzt und Wege kurzgehalten werden können. Gleichzeitig grenzt die Kläranlage an der Südseite an ein Waldstück. Es werden somit Abstandsflächen zwischen Waldrand und Infrastrukturen benötigt, um diese vor potenziellen Schäden umfallender Bäume zu schützen. Da sich in dem angrenzenden Waldstück eine als potenziell schützenswerte Buchengruppe befindet, erfordert diese Platzierung entsprechende Ausgleichsmaßnahmen.

In Bezug auf den Input von Biomassen ist die Bilanz der CoAct-Anlage positiv, da die genutzten Restbiomassen keiner Nutzungskonkurrenz unterliegen und stofflich sowie energetisch verwertet werden, anstatt entsorgt oder auf dem Feld belassen zu werden. Dies unterstützt auch die Pflege der Flächen im Rahmen von Anpassungen an den Klimawandel, indem Pflanzenmaterial aus der naturschutzorientierten Landschaftspflege verwertet wird. Im Vergleich zum Status quo würden das terrestrische Eutrophierungs- sowie das Versauerungspotenzial reduziert, was positive Auswirkungen auf die lokale Biodiversität hätte. Insgesamt hätte das Projekt bezüglich der ökologischen Tragfähigkeit fast durchweg positive Auswirkungen.

Das Projekt trägt dabei zur Umsetzung der SDGs „7 – Bezahlbare und saubere Energie“, indem es den fossilen kumulierten Energieaufwand reduziert, und „15 – Leben an Land“, indem es der Biodiversität abträgliche Eutrophierung und Versauerung reduziert, bei. Zusätzlich fördert es die Ziele „11 - Nachhaltige Städte und Gemeinden“, indem es sich positiv auf den Umgang mit natürlichen Ressourcen und die Pflege von Grünflächen auswirkt, sowie „12 - Nachhaltiger Konsum und Produktion“, indem es Restbiomassen stofflich und energetisch verwertet. Schließlich unterstützt das CoAct-Projekt auch das Ziel „13 – Maßnahmen zum Klimaschutz“, indem es eine ökonomische Inwertsetzung von Restbiomassen von Grün- und Ausgleichsflächen ermöglicht, die im Rahmen von Klimaanpassungsmaßnahmen zunehmend notwendig werden. Darüber hinaus ersetzen CoAct-Aktivkohlen fossile Aktivkohlen und binden Kohlenstoff, sofern sie nach ihrer Nutzung nicht energetisch entsorgt werden.

Die Umsetzung des CoAct-Szenarios würde sich positiv auf den lokalen Wirtschaftsstandort auswirken. Durch die Zusammenarbeit von verschiedenen Akteuren innerhalb der Wertschöpfungskette für stoffliche und energetische Verwertung von Restbiomassen entstehen synergetische Effekte zum Vorteil aller Beteiligten. Dies umfasst zum einen Aufträge für regionale Unternehmen während der Errichtung der CoAct-Anlage. Zu diesen zählen der Bau notwendiger Infrastrukturen an der Kläranlage und ggf. auch Lagermöglichkeiten für die Restbiomassen. Der laufende Betrieb würde auch engere Kooperationen zwischen dem Betreiber der CoAct-Anlage und Land- sowie Forstwirten sowie Dienstleistungs-

betrieben bewirken, um eine stabile Versorgung mit den notwendigen Restbiomassen sicherzustellen. Der Einfluss auf den regionalen Arbeitsmarkt kann nicht genau beziffert werden. Zwar sind für den Bau der CoAct-Anlage Arbeitskräfte notwendig. Für den Betrieb wird aktuell jedoch mit dem Umfang von einer Vollzeitarbeitsstelle gerechnet, die in den Betrieb der Kläranlage integriert werden soll.

Bei der wirtschaftlichen Bewertung gibt es unterschiedliche Aspekte zu bewerten. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass es sich bei dem Ansatz um eine neue, innovative Technologie handelt. Einerseits geht damit einher, dass die Kosten für den Bau höher sind als bei einer etablierten Technologie. Andererseits stehen damit aber auch Fördermittel für die Entwicklung und den Aufbau innovativer Lösungen im Abwasserbereich zur Verfügung. Der reine Kostenvergleich zu importierter Aktivkohle zeigt bei allen getesteten Restbiomassen eine unterschiedliche negative Bilanz. Das setzt jedoch voraus, dass die fossilen Aktivkohlen auch weiterhin zu den zum Vergleich angenommenen Konditionen verfügbar sind. Dies war weder im Rahmen von der Corona-Pandemie noch nach dem Überfall Russlands auf die Ukraine der Fall. So zeigte sich im Rahmen der Projektlaufzeit, dass der Aspekt der Versorgungssicherheit von größerer Bedeutung ist und der reine Preisvergleich nicht ausreichend ist, um das CoAct-Konzept zu bewerten.

Der konkrete Einfluss des Projekts auf den kommunalen Haushalt ist zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht abschätzbar und würde von der Struktur des Betreibermodells abhängen. Denkbar wäre ein integrierter Betrieb der Kläranlage in Kombination mit der CoAct-Aktivkohleproduktion, was Abstimmungsbedarfe und institutionelle Risiken minimieren, aber Beschaffungs- und Finanzierungsrisiken für die Kommune bzw. den Gebührenzahler erhöhen würde. Es steigert jedoch die Verlässlichkeit der Prozesse innerhalb der regionalen Wasserversorgung, da durch die Verfügbarkeit von regional hergestellten Aktivkohlen Abhängigkeiten von problematischen Schwankungen am Aktivkohlemarkt reduziert werden können. Die Kläranlage wäre in Folge unabhängig von gestörten Lieferketten aufgrund beispielsweise unsicherer politischer Situationen in den Produktionsländern oder auch Engpässen wegen stark gestiegener Nachfrage. Vor dem Hintergrund der Diskussion einer verpflichtenden Einführung einer vierten Klärstufe, wäre ein mittelfristiger Anstieg des Nachfrage- und damit Preisniveaus plausibel. In der Vergangenheit wurden die Produktionskapazitäten daraufhin häufig ausgeweitet, weshalb sich das Preisniveau wieder stabilisierte. Eine CoAct-Anlage würde nicht nur die Versorgung mit Aktivkohlen sicherstellen, sondern auch Verlässlichkeit hinsichtlich der Kosten bieten.

Ein negativer Einfluss des Projekts auf die nachhaltige Mobilitätsentwicklung ist nach bisherigen Planungen auszuschließen, es kann jedoch, abhängig vom Biomasselogistikkonzept und den aktuellen Verwertungswegen, zu einer geringfügig erhöhten Anzahl von Transporten zur CoAct-Anlage kommen. Insgesamt wirkt sich das Projekt positiv auf die SDGs "8 – Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum“, in dem durch ein erhöhtes Aufkommen an Aufträgen und einen größeren Stoffstrom die regionale Wirtschaft gestärkt wird.

Ebenso besteht ein Bezug zu „SDG 11 – Nachhaltige Städte und Gemeinden". Es werden die Zusammenarbeit verschiedener Akteure innerhalb der Wertschöpfungskette und die regionale Infrastruktur gestärkt und dadurch zu einer nachhaltigen Entwicklung beigetragen.

Um die Nachhaltigkeit eines Projektes zu beurteilen, werden neben Veränderungen im ökologischen und wirtschaftlichen Bereich auch weitere Rahmenbedingungen und Auswirkungen betrachtet. Als innovativer Ansatz trägt das CoAct-Konzept dazu bei Wissenskapazitäten in den Bereichen Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt zu bilden. Dies umfasst nicht nur die Konzeptionierung der Anlagenkomponenten für Biomasseaufbereitung, Pyrolyse und Aktivierung, sondern auch die Untersuchung und

Optimierung regionaler Logistikketten und soziale Innovationen wie mögliche Kooperationen zwischen den Bereichen Land- und Forstwirtschaft, Biomasseaufbereitung und Lagerung mit dem Abwassersektor.

Das Projekt hätte positive Auswirkungen auf das Engagement der Bevölkerung hinsichtlich ökologischer und gesellschaftlicher Aspekte. Im Rahmen des CoAct-Szenarios werden verschiedene regionale Unternehmen einbezogen, um gemeinsam an einer innovativen Lösung für die Verwertung von Restbiomassen zu arbeiten. Dies stärkt auch die Bewusstseinsbildung für die Transformation hin zu einer nachhaltigen Wirtschaft und Gesellschaft. Konkret hat die Kommune derzeit die Herausforderung den Grünschnitt der Bewohnerschaft zu entsorgen. „Schnitttage" beispielsweise und eine anschließende Verwertung in der CoAct-Anlage bieten nicht nur eine einfachere Entsorgung der Restbiomassen, sondern auch eine soziale und verbindende Komponente für die Bürgerschaft. Darüber hinaus besteht im Kontext von CoAct die Möglichkeit ein Wertschöpfungsnetzwerk aufzubauen und dadurch die Zusammenarbeit regionaler Akteursgruppen zu stärken. Denkbar wäre die Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteure aus der Kommune, der Land- und Forstwirtschaft sowie des Naturschutzes. Die in der CoAct-Anlage produzierten biogenen Aktivkohlen können nicht nur im angeschlossenen Klärwerk, sondern auch in anderen Klärwerken im Rahmen der Einrichtung einer vierten Reinigungsstufe eingesetzt werden. Dadurch könnte auch die regionale Vernetzung und Zusammenarbeit zwischen den Kläranlagen gestärkt werden.

Insgesamt wirken sich die betrachteten Felder im Bereich der Rahmenbedingungen und Fernwirkungen durchweg positiv auf die regionale Nachhaltigkeit aus und leisten Beiträge zur Umsetzung der SDGs "4 – Hochwertige Bildung", indem sie bewusstseinsfördernde Maßnahmen und Bildung für nachhaltige Entwicklung unterstützen, SDG „9 – Industrie, Innovation und Infrastruktur", indem die regionale Infrastruktur in einer nachhaltigen Form modernisiert wird, sowie "16 – Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen", indem sie gesellschaftliche Engagement und die Zusammenarbeit regionaler Akteure in einem integrierten Ansatz stärken.

Tabelle 46: Kommunaler Nachhaltigkeitscheck für die Errichtung einer CoAct-Anlage bei der Kläranlage Kressbronn

Ökologische Tragfähigkeit						
SDG Bezug	**Handlungsfeld**	**Leitfrage**	Fördernd	Kein Effekt	hemmend/ negativer	**Anmerkungen**
	Klimaschutz	Wie wirkt sich das Vorhaben auf den Klimaschutz und die Senkung der Treibhausgas-Emissionen aus?				Substitution von konventioneller Aktivkohle aus Steinkohle durch biogene produzierte Aktivkohle Vermeidung von Feldemissionen (N20)
	Energie	Wie wirkt sich das Vorhaben auf den sorgsamen Umgang mit Energie und den Ausbau regenerativer Energien aus?				Geringerer fossiler und kumulierter Energieaufwand (KEA) Ersatz konventionell produzierter Energie durch Verheizung
	Flächen-inanspruchnahme	Wie wirkt sich das Vorhaben auf den nachhaltigen Umgang mit Flächen im Innen- und Außenbereich aus?				Ausweitung des Kläranlagengeländes wäre für die Errichtung einer CoAct-Anlage notwendig Eingriff in den angrenzenden Wald Mehrere Möglichkeiten bzgl. Waldrandgestaltung und Anlagenplanung am Standort
	Natürliche Ressourcen	Wie wirkt sich das Vorhaben auf den sorgsamen Umgang mit natürlichen Ressourcen und Rohstoffen aus?				Stoffliche und energetische Nutzung von Restbiomassen anstatt von derer Entsorgung
	Biologische Vielfalt	Wie wirkt sich das Vorhaben auf Erhalt oder Förderung der Vielfalt an Pflanzen, Tieren und deren Lebensräumen aus?				Geringeres terrestrisches Eutrophierungspotenzial Geringeres Versauerungspotenzial Substituierter Mineraldünger durch Verwendung von vergorenem Presssaft
	Anpassung an den Klimawandel	Wie wirkt sich das Vorhaben auf die Anpassung an die Folgen des Klimawandels aus?				Verwertung von Pflanzenmaterial aus der naturschutzorientierten Landschaftspflege

Wirtschaft, Arbeit und Mobilität						
SDG Bezug	**Handlungsfeld**	**Leitfrage**	Fördernd	Kein Effekt	hemmend/ negativer	**Anmerkungen**
8 MENSCHENWÜRDIGE ARBEIT UND WIRTSCHAFTS-WACHSTUM	Wirtschaftsstandort	Wie wirkt sich das Vorhaben auf die Stärkung des Wirtschaftsstandorts aus?				Synergie-Effekte durch Zusammenarbeit von verschiedenen in der Wertschöpfungskette beteiligten Akteuren
8 MENSCHENWÜRDIGE ARBEIT UND WIRTSCHAFTS-WACHSTUM	Arbeitsplatz-angebot	Wie wirkt sich das Vorhaben auf das Arbeitsplatzangebot aus?				Zusätzliches Personal für den Bau und Betrieb notwendig Regionale Bedeutung für Arbeitsmarkt nicht exakt darstellbar
11 NACHHALTIGE STÄDTE UND GEMEINDEN	Nahversorgung und zentrale Dienstleistungen	Wie wirkt sich das Vorhaben auf die Nahversorgung der Bevölkerung aus?				Keine Auswirkungen auf die Nahversorgung Unabhängigkeit gestörten Lieferketten von Aktivkohle Steigerung Verlässlichkeit der Wasserversorgung als zentrale Dienstleistung
8 MENSCHENWÜRDIGE ARBEIT UND WIRTSCHAFTS-WACHSTUM	Lokale und regionale Wertschöpfung	Wie wirkt sich das Vorhaben auf örtliche Betriebe und den Absatz von Produkten und Dienstleistungen in der Region aus?				Aufträge bzgl. Bau, Installation und laufender Prozesse im Rahmen der Errichtung und des Betriebs der Anlage Mehr Geld zirkuliert in der Region Negative Bilanz der Erträge und Aufwendungen pro Tonne Bio-masse
16 FRIEDEN, GERECHTIGKEIT UND STARKE INSTITUTIONEN	Fiskalische Nachhaltigkeit	Wie wirkt sich das Vorhaben auf den kommunalen Haushalt aus?				Betreibermodellabhängig Kostendeckung vom Abwasserzweckverband über Gebühreneinnahmen oder kommunalen Träger des Zweckverbands
11 NACHHALTIGE STÄDTE UND GEMEINDEN	Mobilität	Wie wirkt sich das Vorhaben auf eine umweltverträgliche Mobilität aus?				Abhängig von Logistikkonzept und aktuellen Verwertungswegen. Biomasse abhängig Größeres Aufkommen durch Transporte d. Biomasse zur Anlage plausibel

Rahmenbedingungen und Fernwirkungen						
SDG Bezug	**Handlungsfeld**	**Leitfrage**	Fördernd	Kein Effekt	hemmend/ negativer	**Anmerkungen**
	Partizipation	Wie wirkt sich das Vorhaben auf die Beteiligung der Bevölkerung an Entscheidungsprozessen aus?				Keine Veränderung
	Bürgerschaftliches Engagement	Wie wirkt sich das Vorhaben auf das Engagement der Bevölkerung für das Gemeinwesen aus?				Einbeziehung regionaler Unternehmen „Schnitttage“ zur Entsorgung des privaten Grünschnitts und Verwertung in der CoAct-Anlage
	Regionale und interkommunale Zusammenarbeit	Wie wirkt sich das Vorhaben auf die Zusammenarbeit mit anderen Kommunen aus?				Aufbau eines Wertschöpfungsnetzwerks, das sowohl Kommunen als auch Akteure aus der Land- und Forstwirtschaft und dem Naturschutz beinhaltet
	Überregionale Auswirkungen	Wie wirkt sich das Vorhaben über die eigene Region hinaus aus?				Nutzung der biogenen Aktivkohle in Klärwerken im Rahmen der 4. Reinigungsstufe Einbindung der regionalen Land- und Forstwirtschaft -> Anlieferung von deren Restbiomassen
	Bildung	Wie wirkt sich das Vorhaben auf die Weiterentwicklung und den Ausbau des Bildungsangebots aus, auch in Bezug auf die sich verändernde Arbeitswelt?				Naturschutzinformationstage (möglich)
	Innovation	Wie wirkt sich das Vorhaben auf die Entstehung von hilfreichen Neuerun-gen, guten Ideen und Know-how in Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt-schutz aus?				Hochwertige Nutzung regional verfügbarer Restbiomassen Konzeptionierung der Anlagenkomponenten für die Biomasseaufbereitung, Pyrolyse und Aktivierung

7.3 Nachhaltigkeitsbewertung mit TRAFIS.NB

TRAFIS.NB ist ein informelles Werkzeug für die Nachhaltigkeitsbewertung von innovativen Infrastrukturlösung (vgl. Olfert & Walther 2023). Es ermöglicht die Identifizierung von Stärken und Schwächen von Projekten in den Dimensionen „Versorgungssicherheit“, „Ressourcenschonung“, „Wirtschaftlichkeit“ und „Nutzerorientierung“ auf. Im Kontext der Nachhaltigkeitsbewertung des CoAct-Projekts dient es dazu, den N-Check als Bewertungsinstrument für den Einfluss auf die regionale Entwicklung zu ergänzen. TRAFIS.NB fokussiert sich insbesondere auf prozessorientierte Fragestellungen des Anlagebetriebs selbst. Im Rahmen der Anwendung von TRAFIS.NB wurden elf für das CoAct-Szenario relevante Kriterien aus dem fest definierten Kriterienpool des Tools ausgewählt. Andere Kriterien, die bereits durch den N-Check ausreichend abgedeckt waren, wurden nicht erneut behandelt. Zudem wurden drei zusätzliche Kriterien eingeführt, die speziell auf CoAct bezogen werden können. Die Nachhaltigkeitsbewertung via TRAFIS.NB wurde mithilfe einer anonymisierten Umfrage im Nachgang einer Begehung der Kläranlage Kressbronn im November 2023 durchgeführt. An dieser nahmen neben Projektbeteiligten auch externe Expertinnen und Experten teil, denen nicht nur das CoAct-Konzept vorgestellt, sondern auch der zum damaligen Zeitpunkt laufende Einsatz biogener Aktivkohle im Praxisversuch gezeigt wurde. Somit kann ein generelles Verständnis über die Funktionsweise des CoAct-Konzepts und seine Potenziale auch bei den Externen vorausgesetzt werden. Die Auswertung dieser Ergebnisse erfolgte unter Verwendung des Excel-Bewertungstools (Olfert & Walther 2023). Die Resultate werden in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** als Liniendiagramm dargestellt, basierend auf den Durchschnittswerten der Einzelbewertungen für die ausgewählten Kriterien. Zusätzlich werden die Quartile der Bewertung abgebildet, um die Streuung der Bewertungen zu verdeutlichen.

Im Vergleich zum Status quo wurde die Leistungsfähigkeit der CoAct-Anlage hinsichtlich der sicheren Erbringung der vorgesehenen Aufgaben sowie der Funktionen positiv bewertet. Die Abhängigkeit der Kläranlage von der CoAct-Anlage wurde ebenfalls positiv eingeschätzt, da ein kurzfristiger Ausfall der CoAct-Anlage aufgrund der langfristigen Wirkung der zugeführten Aktivkohle nicht zu erheblichen Einschränkungen führen würde. Die höhere Redundanz und Ersetzbarkeit von Aktivkohle, Energie und Kohlenstoffquellen in der Kläranlage wurden als Vorteile betrachtet.

Die Bewertungen zum Primär- und Endenergieverbrauch im Rahmen von TRAFIS:NB stimmten mit der Beurteilung des Energiehandlungsfeldes im N-Check überein. Einen großen Vorteil stellt auch die höhere Redundanz bzw. Ersetzbarkeit von Aktivkohle, sowie Energie und Kohlenstoffquellen in der Kläranlage dar. So sei damit zu rechnen, dass Aktivkohlen vollständig ersetzt werden können, aber auch die anderen Quellen anteilig substituiert werden. Zwar würde der Verbrauch der Anlage durch die zusätzliche Energie der Restbiomassen steigen, allerdings werden die nachwachsenden Rohstoffe durch die CoAct-Anlage überhaupt erst nutzbar gemacht. Vorher wurden sie nicht verwertet. Bei einer effektiven Nutzung der Abwärme würde der Primärenergieverbrauch aus bereits im Status-Quo genutzten und fossilen Quellen sinken. Der im CoAct-Verfahren entstandene Presssaft könnte auch als Kohlenstoffquelle dienen.

Positiv wurde der Einfluss auf die lokale Wertschöpfung bewertet, da ein Markt für die Verwertung von Reststoffen geschaffen wird und die Pflanzenaktivkohle als neues, regional produziertes Produkt gehandelt werden kann. Die Nutzung der Aktivkohlen wird allgemein als gut geeignete Verwertungsmöglichkeit von Restbiomassen gesehen.

Einige Aspekte wurden hingegen deutlich negativ bewertet, darunter die Auswirkungen auf die Kosten der Funktionswiederherstellung nach einem Betriebsausfall, den Endverbraucherpreis der Infrastrukturdienstleistung sowie den Aufpreis der Pflanzenaktivkohlen im Vergleich zu Importen. Eine mögliche Erhöhung der Abwassergebühren wurde angesprochen, insbesondere wenn keine ausreichende Investitionsförderung vorhanden ist. Die höheren Kosten resultieren teilweise aus den höheren Herstellungskosten nachhaltiger Aktivkohlen im Vergleich zu Importen. Es wurde betont, dass höhere Kosten bei nachhaltigen Produkten im Vergleich zu importierten konventionellen Produkten aufgrund von nicht eingepreisten Aspekten externen Kosten auftreten können. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, bei der Umsetzung von Erneuerungen wie der Einführung der 4. Reinigungsstufe in Kläranlagen nicht allein der linearen, rein profitorientierten Wirtschaftslogik zu folgen.

Die Einschätzungen der Befragten zur Auswirkung des CoAct-Szenarios auf die Redundanz im personellen Bereich sowie auf die Verfügbarkeit von Fachkräften waren gemischt. Es wurde angenommen, dass einige Aufgaben vom bestehenden Personal übernommen werden könnten, jedoch seien zusätzliche Personalressourcen notwendig, um mit den zusätzlichen Aufgaben umzugehen. Neben der Notwendigkeit zusätzlichen Fachpersonals sei auch beim Bestandspersonal Qualifizierungsbedarf vorhanden, um eine CoAct-Anlage möglichst störungsfrei zu betreiben.

Die Befragung erkundigte sich auch nach alternativen Nutzungsmöglichkeiten für die genutzten Restbiomassen. Die Nutzung zur Kompostierung, Energiegewinnung und Herstellung von Pflanzen-/Holzkohle wurde als relevant erachtet, während die Nutzung als Einstreu als weniger relevant betrachtet wurde.

Des Weiteren wurden verschiedene Nutzungsmöglichkeiten für die Aktivkohlen neben dem Einsatz in der Kläranlage erörtert. Als besonders relevant wurden der Einsatz in Bezug auf weitere Reinigungsfunktionen im Biogassektor, in Klimaanlagen sowie im Acker- und Gartenbau angesehen. Es gab gemischte Einschätzungen zum Einsatz im Bausektor, der Chemieindustrie, Tierzucht, Kohlenstoffsequestrierung und Energiegewinnung.

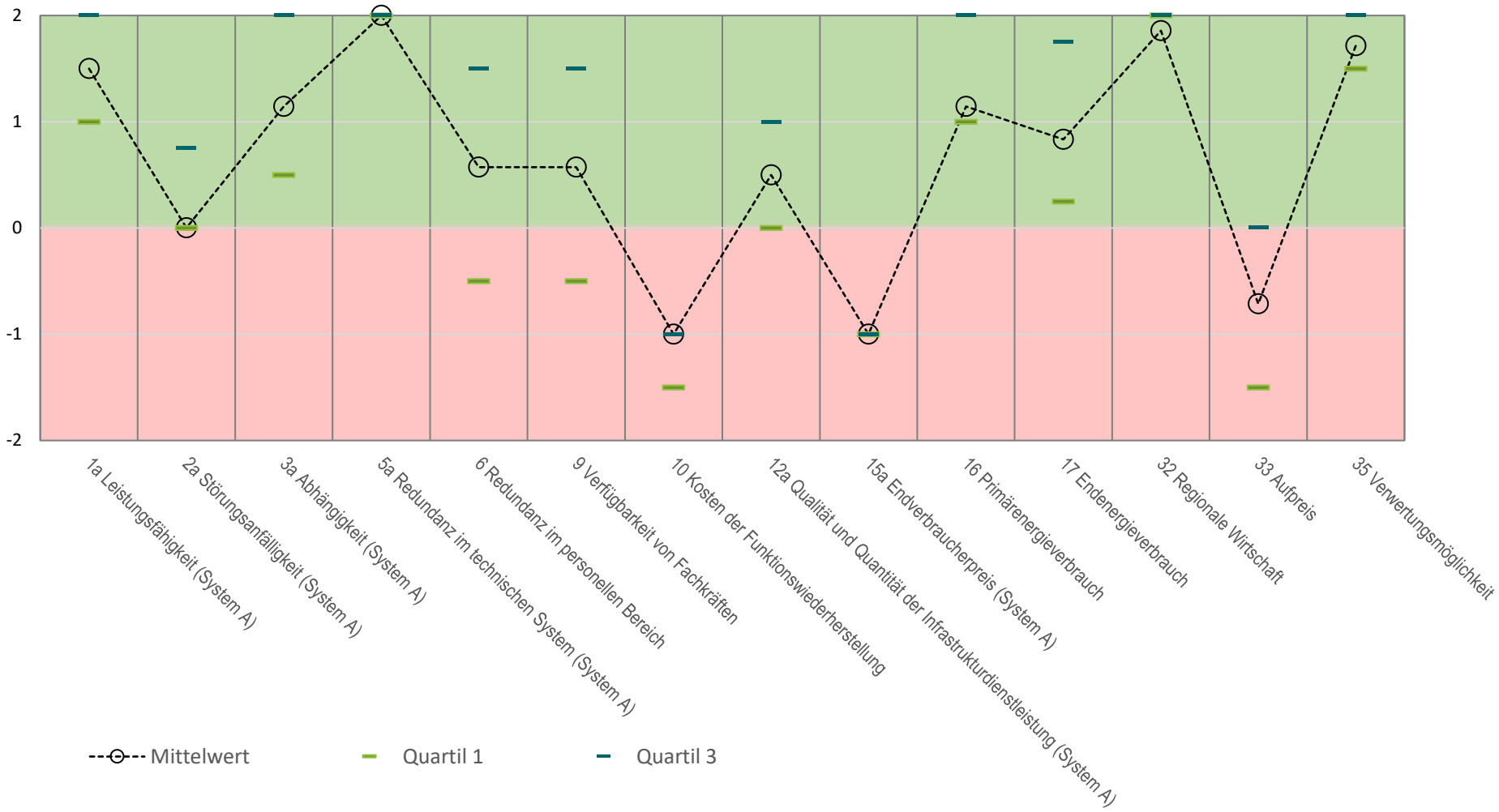


Abbildung 9: Prozessbegleitende Nachhaltigkeitsbewertung der ausgewählten Kriterien mit dem TRAFIS.NB-Tool

8 Empfehlungen zur Übertragbarkeit

8.1 Standort und Anlagenkonfiguration

Im Vergleich zu Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage auf „der grünen Wiese“, lassen sich an Klär- und Biogasanlagen und Wertstoff- oder Bauhöfen Synergien mit den dort stattfindenden Prozessen erzielen, die eine große Bedeutung für den wirtschaftlichen Betrieb einer CoAct-Anlage haben, da hier nicht alle Maschinen und Infrastrukturen beschafft, erstellt oder unterhalten werden müssen. Die Standortoptionen unterscheiden sich zudem hinsichtlich ihrer Eignung zur Verarbeitung krautiger Biomasse im sog. IFBB-Modul. Sowohl in Verbindung mit einer Klär- als auch einer Biogasanlage bietet sich die Anlagenvariante mit IFBB-Modul an, da der Presssaft aus dem IFBB-Verfahren als externe Kohlenstoffquelle im Klärprozess und anschließend zur Strom-/Wärmeerzeugung im Faulturm oder in einer Biogasanlage direkt zur Strom-/Wärmeproduktion eingesetzt werden kann. Ein Teil der Wärme kann zudem im Prozess genutzt werden, beispielsweise zur Trocknung von Biomassen. Des Weiteren kann mit dem Prozesswasser der Kläranlage der Wasserbedarf des IFBB-Verfahrens gedeckt sowie ein Teil der produzierten Aktivkohle vor Ort im Klärprozess eingesetzt werden.

Die beschriebenen Synergieeffekte reduzieren sowohl die Produktions- als auch die Investitionskosten. Erlöse können durch den Verkauf der erzeugten Aktivkohle und des Stroms sowie überschüssiger Prozesswärme erzielt werden, sofern die Wärme abgenommen werden kann.

Bei Anschluss an einen Wertstoff- oder Bauhof kommen sowohl die Variante mit als auch ohne IFBB-Modul in Betracht. Auch hier können ähnliche Synergieeffekte, wie vorhandene Infrastrukturen für die Verarbeitung der Biomasse, Personal- und Grundstückkapazitäten genutzt und dadurch Kosten reduziert werden. Zu beachten ist, dass ohne das IFBB-Modul nur holzige Biomasse verwertbar ist, da diese direkt der Pyrolyse zugeführt werden kann. Die Anlagenvariante hat also auch Einfluss auf den verwertbaren Biomassemix und dieser hängt darüber hinaus auch von der Verfügbarkeit und den vorhandenen Infrastrukturen ab. Bei der Variante ohne IFBB-Modul reduzieren sich aufgrund des geringeren Platzbedarfes, durch das Wegfallen von größeren Lagerkapazitäten und Aufbereitungsanlagen für die Biomasse, die Investitionskosten. Hier bestehen die Erlöse ausschließlich aus dem Verkauf der Aktivkohle.

Soll an Wertstoff- oder Bauhöfen auch krautige Biomasse verarbeitet werden, schlagen sich die zu schaffenden zusätzlichen Lagerkapazitäten, Aufbereitungsanlagen (das IFBB-Modul) und der Bau eines Fermenters sowie die für die Prozesswasserver- und -entsorgung notwendigen Arbeiten in den Investitionskosten nieder. Sickerwasser aus der Deponie kann ggf. zur Aufbereitung der Biomasse genutzt werden. Ebenso muss geprüft werden, ob eine Verwendung der gewonnenen Aktivkohle in der Sickerwasseraufbereitung möglich ist. Erlöse werden bei der Variante mit IFBB-Modul durch den Verkauf der Aktivkohle sowie des im Fermenter gewonnenen Biogases erzielt.

Letztendlich kann die Standortwahl und Anlagenkonfiguration nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen.

zeigt Leitfragen und Prüfaufträge, um ein größtmögliches Maß an Synergien mit bestehenden Infrastrukturen und Prozessen zu realisieren. Diese Herangehensweise bietet sich insbesondere dann an, wenn es darum geht regionale Restbiomassen möglichst effizient einer höherwertigen Nutzung

zuzuführen. Eine andere Perspektive ist die, die Standortwahl und Anlagekonfiguration auf Basis der angestrebten Outputs und Ergebnisse durchzuführen. Beispielhafte Leitfragen und Prüfaufträge sind in Tabelle 47 dargestellt. Dieses Vorgehen bietet sich insbesondere dann an, wenn mit dem Betrieb der Anlage konkrete Ziele verfolgt werden.

Tabelle 47: Leitfragen für eine synergetische Standortwahl und Anlagenkonfiguration

Leitfrage	Prüfauftrag
Welche Infrastrukturen an der Schnittstelle Energie, (Ab-)Wasser, Biomasse-verarbeitung sind in der Kommune vorhanden?	Erfassung relevanter Standorte wie ■ Kläranlagen ■ Biogasanlagen, Hackschnitzelkraftwerken ■ Wertstoffhöfen, Kompostwerk, Biomassesammelstelle ■ Bauhöfe, Straßenmeistereien ■ Sonstigen ggf. relevanten Einrichtungen. Das Ergebnis ist eine Liste potenzieller Standorte
An welchen Standorten können größere Mengen Wasser genutzt werden?	Das Ergebnis ist eine Liste an Standorten, an denen Synergien mit dem wasserintensiven IFBB-Verfahren genutzt werden können. Um an den anderen Standorten das IFBB-Verfahren zu nutzen, müsste die Wasserver- und -entsorgung geklärt werden. Da dies zu hohen Kosten führen kann, spricht es eher dafür, an diesen Standorten auf das IFBB-Modul zu verzichten.
Welche Biomassen liegen an den genannten Standorten vor, die in das CoAct-Verfahren einfließen könnten?	Das Ergebnis ist eine Klärung, welche Biomassestöme bereits an den potenziellen Standort gehen. Daraus ergibt sich auch der zusätzliche Biomassebedarf, der durch ein entsprechendes Logistikkonzept mobilisiert werden muss.
An welchen Standorten wäre eine Abwärmenutzung möglich?	Das Ergebnis ist eine Klärung, inwiefern die ggf. anfallenden Wärmeüberschüsse aus dem CoAct-Prozess für Prozesse am Standort oder im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung in Wert gesetzt werden können.
Inwiefern verfügen die identifizierten Standorte über ausreichen Platz für Logistik- und Lagerflächen, sowie Platz für die CoAct-Anlage selbst?	Das Ergebnis reduziert die Liste von Standorten mit prozessualen Synergien auf die Standorte, an denen die baulichen Voraussetzungen bestehen, diese zu realisieren.

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 48: Leitfragen für eine Output-orientierte Standortwahl und Anlagenkonfiguration

Leitfrage	Prüfauftrag
Inwiefern wird Aktivkohle in ihrer oder angrenzenden Regionen zur Abwasserreinigung eingesetzt?	Dabei ist zu klären, wie hoch der Aktivkohle-Bedarf ist, der in der Region oder angrenzenden Regionen besteht. Dadurch können nicht nur potenzielle Abnehmer, sondern auch Kooperationspartner identifiziert werden.
Inwiefern bestehen in der Region Verwertungswege von Biomassen mit geringer oder negativer Wertschöpfung?	Im Ergebnis ist klar, welche Biomassen bislang keiner hochwertigen Nutzung zugeführt werden. Denkbar ist, dass Baumschnitt, häufig illegal, verbrannt wird, oder Biomassen im Gelände verbleiben, gemulcht, kompostiert oder in Biogasanlagen energetisch verwertet werden. Um Nutzungskonflikte mit anderen Verwertungswegen zu vermeiden und das ökologische Potenzial von CoAct auszunutzen, kommen insbesondere diese Restbiomassen für den Betrieb einer CoAct-Anlage infrage.

Leitfrage	Prüfauftrag
Inwiefern handelt es sich bei den identifizierten Biomassen um krautige Biomassen oder andere Biomassen mit hoher Feuchtigkeit (z. B. Trester?)	Krautige und andere feuchte Biomassen benötigen eine Aufbereitung im IFBB-Verfahren, um pelletiert pyrolysiert zu werden. Im Ergebnis wird also deutlich, welcher Anteil des Biomassepotenzials nur mit einer IFBB-Anlage genutzt werden kann bzw. ob ein IFBB-Modul für die Anlagenkonfiguration notwendig ist oder nicht.
Gibt es Planungen für den Auf- oder Ausbau eines Nahwärmenetzes oder Prozesse, die die Abwärme nutzen können?	Im Ergebnis soll geklärt werden, inwiefern potenziell anfallende Abwärme in Netze eingespeist und im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung genutzt werden kann.

Quelle: Eigene Darstellung

8.2 Biomassepotentiale

Die Verfügbarkeit der Biomassen wurde bereits im Kurzbericht zum Abschluss der Forschungs- und Entwicklungsphase dargestellt. Unter ökonomischen Gesichtspunkten müssen die Potenziale aber nicht nur nach verfügbarer Menge, sondern auch unter preislichen Aspekten (Beschaffungskosten) betrachtet werden. Das Beispiel der Preisentwicklung von Holzhackschnitzeln im Projektzeitraum hat gezeigt, wie schnell und deutlich sich Preise ändern können. Waren die Preise für Holzhackschnitzel zum Projektbeginn am Boden, so stiegen sie später deutlich an und die zuvor übervollen Lager leerten sich rasch. Auch die zukünftige Preisentwicklung ist kaum absehbar aufgrund verschiedener Faktoren wie z.B. steigende Schadholzvorkommen durch Trockenschäden und Käferbefall und sich ändernde rechtliche Vorgaben im Heizanlagenbau.

An diesem Beispiel wird deutlich, dass es nicht per se eine günstige oder teure Biomasse gibt, sondern die Preise sich u.a. durch Aufwuchs, anderweitige Nachfrage oder neue rechtliche Rahmenbedingungen ändern können. Entsprechend ist Flexibilität in der Biomassebeschaffung wichtig, um nicht nur auf die Verknappung einer Biomasse sondern auch auf Preisveränderungen reagieren zu können. Allerdings sind auch gute Beziehungen zu den regionalen Lieferantinnen und Lieferanten notwendig, um über Jahre hinweg stabile Liefermengen zu gewährleisten. Entsprechend bietet sich an, einen Teil des benötigten Biomasse-Mixes über Lieferverträge mittelfristig abzusichern und einen anderen kurzfristig und nach Marktlage zu beschaffen.

Zu tatsächlichen und potenziellen Lieferbetrieben, insbesondere land- und forstwirtschaftlichen, und Landschaftspflege-Betriebe, sowie zu den Landschaftspflege-Verbänden, sollte ein enger Kontakt aufrechterhalten und die Zusammenarbeit beworben werden. So ist es möglich, dass sich mit der Zeit doch noch alternative Logistikketten, z.B. zur Sammlung des Hochstammschnitts, ergeben, die kosteneffektiver als die bestehenden sind.

Aufgaben für das zukünftige Management der Pyrolyse-Anlage in Verbindung mit den bereits genutzten oder ungenutzten Biomassepotenzialen in der Region sind entsprechend folgende:

- Bestimmung des Biomasse-Mixes in Zusammensetzung und Umfang, der über Lieferverträge abgesichert wird, die Identifizierung der Lieferantinnen und Lieferanten, sowie die finanzielle Ausgestaltung der Lieferverträge und ihre Laufzeiten.
- Aufbau eines Netzwerkes von Lieferantinnen und Lieferanten, die kurzfristig Biomassen anliefern können.

- Periodische Überprüfung der Prozesskosten, die sowohl selbst durchgeführt als auch ausgelagert (Lohnarbeit) werden können, z.B. Häckselarbeiten oder Silierung von Biomassen, insbesondere i.V.m. maschinellen Potenzialen der Entsorgungsanlage.
- Periodische Überprüfung von noch nicht genutzten, aber potenziellen Biomassen, sowie deren Kosten (z.B. Treibholz).
- Periodische Überprüfung, ob für bestimmte Biomassen Entsorgungsgebühren erhoben werden sollten/können.
- Präsenz in der Region als Biomasseabnehmer zeigen, um Biomasseproduzierende zu Nachfragen anzuregen und bei Lösungswegen oder Rentabilitätsberechnungen zu unterstützen.

8.3 Logistik

Zahlreiche Rest-Biomassen kommen für die Herstellung von Aktivkohlen infrage (siehe oben oder Ziermann 2022). Wichtig ist, dass diese einfach zu mobilisieren sind und Nutzungskonkurrenzen vermieden werden. Je nach Biomasse und insbesondere bei Abfallprodukten ist es auch möglich, dass die Abgebenden den Transport auf eigene Kosten übernehmen, falls dies kostenneutral oder sogar günstiger ist als die bisherige Entsorgung.

Bei der Logistik müssen spezielle Aspekte der Biomassen beachtet werden, z. B. dass frischer Grünschnitt schon nach kurzer Zeit beginnt, auf der Ladefläche zu gären. Entsprechend sind weite Wege für solche Biomassen nicht umsetzbar. Ebenfalls sind Sammlungen in Containern über mehrere Tage je nach Biomasse und Wetterbedingungen schwierig, da je nach Gärfortschritt eine Silierung der Biomasse nicht mehr möglich ist. Bei Abfallprodukten (z. B. Hochstammschnitt aus dem Streuobstanbau, der bisher auf dem Feld verbrannt wird) muss geklärt werden, wie eine Sammlung effizient organisiert werden kann.

Wertstoffhöfe können im Hinblick auf die Biomassebündelung eine wichtige Rolle in der Logistik übernehmen. Sie können auch mögliche Bezugsquellen von Biomassen sein. Für den Transport von Biomasse an Wertstoffhöfe bestehen zumeist schon etablierte Transportstrukturen, so dass in diesem Bereich kaum Handlungsbedarf von Seiten der Betreiberorganisation einer CoAct-Anlage besteht. Soll aber ein Teil der Biomasse – mit Einverständnis des Wertstoffhofs - direkt zur Aktivkohle-Produktion umgeleitet werden, sind entsprechend kürzere oder längere Wegstrecken einzukalkulieren.

Neben den etablierten Transportstrukturen bietet ein Wertstoffhof größere verfügbare Biomasse-Mengen und u.U. auch notwendiges Equipment. Hier können bereits Zwischenschritte erfolgen, z.B. das Schreddern oder die Fremdgut-Entfernung mittels Magnetabscheider. Durch das Schreddern kann Volumen und damit Transportkosten reduziert werden.

Letztendlich muss die Biomasselogistik die im Jahresverlauf unterschiedlich anfallende Biomasse aufbereiten (z. B. durch Silage oder häckseln) und das ganze Jahr für einen kontinuierlichen Betrieb einer CoAct-Anlage bereitstellen. Dafür braucht es ausreichend Lagerflächen und klare Lieferbedingungen, auch für den Fall von Jahren mit geringem Aufwuchs.

8.4 Betreibermodell(e)

Mit der Wahl des Betreibermodells werden Risiken, die mit der Umsetzung eines solchen Infrastrukturprojekts einhergehen, auf die beteiligten Akteure verteilt. Aus diesem Grund ist die Wahl des Betreibermodells ein wichtiger Schritt bei der Etablierung einer CoAct-Anlage. Die unterschiedlichen Organisationsformen und organisatorischen Aspekte sind in Kapitel 3.7 dargestellt. Wichtig ist den Eigentümer und Betreiber der Anlage zu unterscheiden. Daraus ergeben sich eine Vielzahl an Möglichkeiten den Bau, Betrieb und Transfer der fertiggestellten Anlage flexibel zu handhaben.

Grundsätzlich empfiehlt es sich die Kommune einzubinden, wenn die CoAct-Anlage an eine kommunale Kläranlage angedockt werden soll. Denn Bakker und Cameron (2005: 505f) stellen fest, dass sich die Synergien, die sich durch die Wahl des Betreibermodells ergeben sollen, eher erfüllt werden, wenn die Kommune einen direkten Einfluss auf den Betrieb hatte. Gleichzeitig stellen sie fest, dass die meisten Betreibermodelle private Unternehmen einbinden. In dem Fall ist es wichtig, dass es eine klare Rollenverteilung zwischen den Beteiligten und ein Mandat für die jeweilige Aufgabe gibt. Zum Projekterfolg trägt bei, wenn es ein Unternehmen gibt, das die Umsetzung federführend vorantreibt (Schramm et al. 2023: 28).

Immer dann, wenn ein Akteur die Anlage alleine betreibt, trägt er einerseits das wirtschaftliche Risiko, andererseits verfügt er aber auch über die vollständige Kontrolle über den Bau und Betrieb der CoAct-Anlage. Mischformen bieten sich immer dann an, wenn Kapital und Wissen, aber auch Risiko, ökonomischer Gewinn und organisatorische, prozessuale oder immaterielle Vorteile wie Image geteilt werden sollen. Für den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage und der Ausgestaltung der dazu notwendigen Kooperationen gilt es also insbesondere die lokalen Rahmenbedingungen zu beachten. Ziel sollte es sein, möglichst umfassend Synergien mit bestehenden Anlagen und Prozessen zu generieren,. Folgende Prüffragen können genutzt werden, um die unterschiedlichen Aspekte zu berücksichtigen:

- Befinden sich die relevanten Infrastrukturen im Besitz der kommunalen Hand bzw. in der Hand kommunaler Unternehmen / Beteiligungen oder werden sie von dritten betrieben bzw. sind im Besitz eines Privatunternehmens?
- Welche Akteure kommen für den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage infrage? Können die Betreiber von relevanten Infrastrukturen in einen regionalen Austauschprozess eingebunden werden?
- Denkt die öffentliche Hand oder ein kommunales Unternehmen darüber nach, neue bzw. komplementäre Aktivitäten wie die Herstellung von Aktivkohlen aus regionalen Biomassen aufzunehmen? Oder kann sich der private Betreiber oder Besitzer eines Wertstoffhofs, Biogasanlage oder sonstiger relevanter Infrastruktur vorstellen ergänzend Aktivkohlen herzustellen?
- Inwiefern sieht der Abwasserzweckverband die Versorgung mit preisstabilen Aktivkohlen als langfristig gesichert? Kann sich der Abwasserzweckverband vorstellen eine CoAct-Anlage zu betreiben?
- Inwiefern sieht sich die Kommune selbst und ihre Unternehmen und Beteiligungen auf einem guten Wege bis spätestens 2045 klimaneutral zu wirtschaften? Kann sich die Kommune vorstellen eine CoAct-Anlage zu betreiben oder über eine Beteiligung oder Ausschreibung betreiben zu lassen?
- Kann sich ein Privatunternehmen vorstellen regionale Biomassen zu Aktivkohlen zu verarbeiten?

- Welche Akteure sind im Besitz bzw. habe das Verfügungsrecht über diese Biomassen? Können sie sich vorstellen, diese einer hochwertigen Nutzung zuzuführen?

8.5 Eigenleistung oder Fremdbezug

Unter Beschaffung (Engl. „sourcing“) verstehen Bajec & Jakomin (2010: 286) Prozesse einer Einheit einer anderen zu übertragen. Outsourcing bedeutet somit, dass der Arbeitsschritt an eine externe Einheit ausgelagert wird. In der Frage nach Eigenleistung oder Fremdbezug entscheidet sich also, ob ein Prozess an ein anderes Unternehmen abgegeben wird bzw. erst gar kein eigener Prozess aufgebaut und stattdessen ein Vorprodukt oder eine Dienstleistung eingekauft werden. Dabei gilt es immer die spezifischen Umstände der beteiligten Organisationen zu berücksichtigen (ibid: 291).

Für den Bau und Betrieb einer CoAct-Anlage bedeutet dies, dass es keine allgemeinen Empfehlungen gegeben werden können, welche Prozesse vom Anlagenbetreiber selbst und welche von einem Dienstleister erbracht werden sollten. Vielmehr sollten die von Standort und Betreibermodell abhängigen Ressourcen und Kapazitäten berücksichtig werden. Neben finanziellen Ressourcen sind das die Kapazitäten und das Fachwissen der Angestellten, die bereits verfügbaren Anlagen und Maschinen sowie deren Auslastung durch andere Prozesse oder auch Platz für Bauliche Anlagen und Arbeitsschritte. Standorte, die bereits Biomassen verarbeiten, werden i.d.R. über Personal und Maschinen zur Aufbereitung und Verarbeitung von Biomassen verfügen, die im CoAct-Prozess ein weiteres Beschäftigungsfeld finden. Kläranlagenbetreiber verfügen i.d.R. nicht über diese Maschinen oder geschultes Personal, verfügen dafür ggf. über Personal und Infrastrukturen für den Einsatz von Aktivkohlen und die stoffliche und energetische Nutzung des IFBB-Presssaftes.

Auf Basis dieser unterschiedlichen Ausgangsvoraussetzungen gilt es abzuwägen, welche Ziele mit der Eigenleistung oder dem Fremdbezug erreicht werden sollen. Die Implikationen bezüglich der wirtschaftlichen und organisatorischen Risiken sollten dabei gegenübergestellt und im Entscheidungsprozess berücksichtigt werden. Ausgangspunkt für die Frage nach Eigenleistung oder Fremdbezug ist i.d.R. eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Dabei werden Fertigungskosten den Beschaffungskosten gegenübergestellt. Je teurer der Kapazitätsaufbau bzw., je geringer die Kapazität oder Auslastung im eigenen Unternehmen ist, umso eher lohnt sich der Fremdbezug. Unabhängig vom reinen Vergleich von Fertigungs- und Beschaffungskosten nimmt der die Liquidität weniger in Anspruch. Der Aufbau von Kapazitäten für Eigenleistung erfordert dagegen eigenes Kapital. Somit kann die Entscheidung zwischen Eigen- und Fremdleistung nicht nur eine operative Frage nach Kostenvorteilen sein, sondern ist durch aktuelle Handlungsmöglichkeiten beeinflusst und setzt den Rahmen für zukünftige Investitionsentscheidungen.

Eine strategische Entscheidung wird es dann, wenn die Frage nach dem Kerngeschäft ausschlaggeben für die Entscheidung über Eigen- und Fremdleistung wird (Serrano et al 2018: 147). Hier gilt es abzuwägen, inwiefern durch die Entscheidung ein langfristiger Wettbewerbsvorteil generiert werden kann. Neben der kurzfristigen Kostenfrage gilt es abzuwägen, inwiefern durch Eigenleistung Kostenrisiken insbesondere bei volatilen Märkten reduziert werden kann. Darüber hinaus kann es ein Wettbewerbsvorteil sein einen Prozess selbst zu beherrschen. Zum einen verfügt das eigene Unternehmen dann über das Fachwissen und die Kapazitäten diesen durchzuführen. Zum anderen kann das eigene Unternehmen direkten Einfluss auf den Prozess ausüben, diesen optimieren und die gewünschte Qualität leichter sicherstellen.

Die Entscheidung zwischen Eigen- oder Fremdleistung setzt nicht nur den oben erwähnten Rahmen für zukünftige Investitionsentscheidungen. Während der kurzfristige Einkauf oder Zukauf von Leistungen reversibel ist, liegen die Hürden eine strategische Entscheidung zu ändern höher. Fachwissen neu aufzubauen kann zeitaufwendig sein (Bajec & Jakomin 2010: 287). Wenn zwischenzeitlich bauliche Änderungen vorgenommen wurden, kann eine optimale Integration von Prozessen nur zu höheren Kosten oder im Extremfall an diesem Standort nicht mehr möglich sein.

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass die Frage nach Eigen- und Fremdleistung nicht einfach zu beantworten ist. Neben dem Vergleich von Fertigungs- und Beschaffungskosten, sollten strategische Implikationen bedacht werden, was an die Frage nach dem Kerngeschäft anschließt. Letztendlich gilt es den CoAct-Standort als solchen möglichst effizient zu auszulasten und die eigenen Kapazitäten und Fachwissen zu nutzen. Welche Phasen ein Entscheidungsprozess durchläuft und welche Schritte nach einer Entscheidung für eine Fremdleistung zu unternehmen sind, ist in Abbildung 10 dargestellt. Sollte sich stattdessen für eine Eigenleistung entschieden werden, ginge es in den nächsten Schritten darum, die Voraussetzungen für die Eigenleistung zu schaffen. Dazu zählen beispielsweise die Anlagen- und Personalplanung anzupassen und die Logistik zu organisieren.

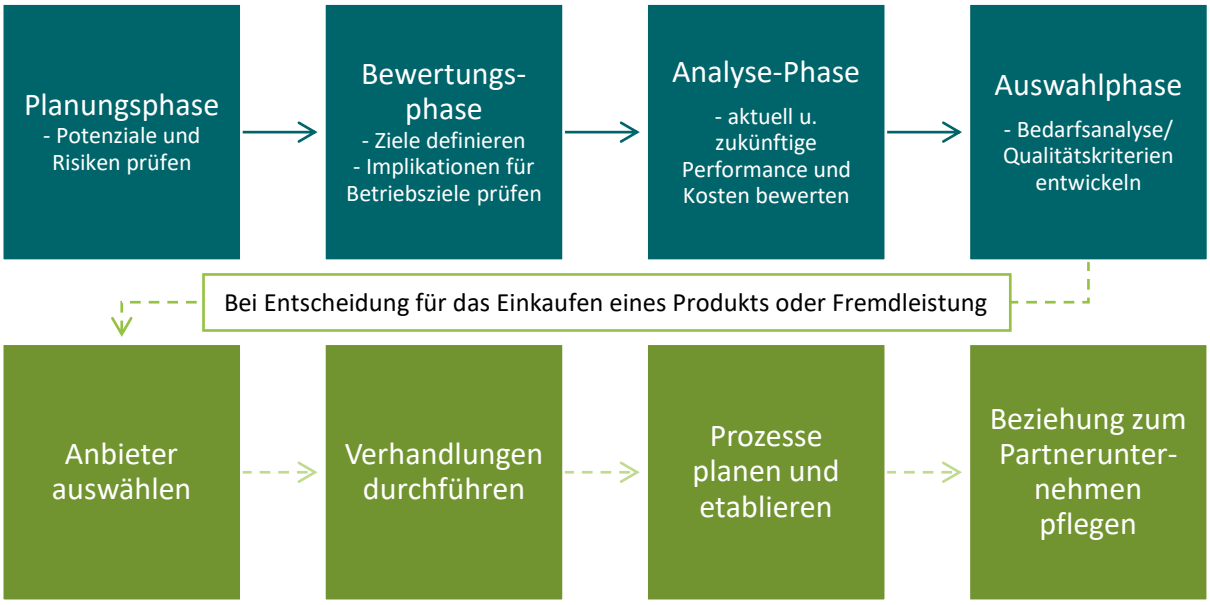


Abbildung 10: Vorgehen bei Entscheidungsprozessen zu Eigen- oder Fremdleistung (in Anlehnung an Bajec & Jakomin 2010).

Alternativ zur Frage Eigen- oder Fremdleistung besteht die Möglichkeit Produkte aus unterschiedlichen Quellen zu beziehen, Fremd- und Eigenleistungen zu kombinieren oder Dritte im Rahmen von Kooperationen enger in die eigenen Prozesse einzubinden, als über reine Kaufverträge möglich wäre. Auch hierbei gilt es das eigene Kerngeschäft zu definieren, Risiken abzuwägen, die Flexibilität einzelner Beteiligter zu bedenken, Kosten und Erlöse sowie die vorhandenen Fähigkeiten und Kapazitäten zu berücksichtigen (Serrano et al. 2018: 148). Die Entscheidung eine Eigen- oder Fremdleistung in Anspruch zu nehmen, kann bei der Etablierung einer CoAct-Anlage kaum ohne die Frage nach dem Betreibermodell und Kooperationen zu bedenken, beantwortet werden (vgl. Kap. 3.7).

9 Quellenverzeichnis

Bajec, P. & Jakomin, I. (2010). A Make-or-buy Decision Process for Outsourcing. PROMET - Traffic&Transportation, 22(4), 285–291. https://doi.org/10.7307/ptt.v22i4.193

Bakker, K. & Cameron, D. (2005). Governance, business models and restructuring water supply utilities: recent developments in Ontario, Canada. Water Policy, 7(5), 485–508. https://doi.org/10.2166/wp.2005.0029

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (o.D.). Förderdatenbank. https://www.foerderdatenbank.de

Call, C. & Ivanov, M. (2014). Möglichkeiten zur technischen und kaufmännischen Optimierung von bestehenden Biomasseanlagen. 18. Europäischer Biomassetag: Wertschöpfung und Innovation. 20-21.10.2014. Salzburg, 84–89.

Civity. Kosten und verursachungsgerechte Finanzierung einer vierten Reinigungsstufe in Kläranlagen. Ökonomische Instrumente zur Reduktion von Arzneimittelrückständen. Verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/PI_20181022_Kosten-verursachungsgerechte-Finanzierung-4-Reinigungsstufe-_Klaeranlagen.pdf

Deutsche Emissionshandelsstelle. (o.D.). Nationalen Emissionshandel verstehen. Verfügbar unter: https://www.dehst.de/DE/Nationaler-Emissionshandel/nEHS-verstehen/nehs-verstehen_node.html

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2023). Verursacher in die Pflicht nehmen. DWA begrüßt Erweiterte Herstellerverantwortung der Kommunalabwasserrichtlinie. Verfügbar unter: https://de.dwa.de/de/presseinformationen-volltext/verursacher-in-die-pflicht-nehmen.html

Emergen Research. (2020). Activated Carbon Market Size Worth USD 14.07 Billion by 2027 Growing at a CAGR of 9.6%. Verfügbar unter: https://www.globenewswire.com/news-release/2020/12/02/2138482/0/en/Activated-Carbon-Market-Size-Worth-USD-14-07-Billion-by-2027-Growing-at-a-CAGR-of-9-6-Emergen-Research.html

EU-Recycling und Umwelttechnik. (2019). Eine vierte Reinigungsstufe für Kläranlagen: Nach Verursacherprinzip statt per Abwasserabgabe finanzieren. Verfügbar unter: https://eu-recycling.com/Archive/22167

Europäisches Parlament. (2022). Klimaschutz: Einigung über ehrgeizigeren EU-Emissionshandel (ETS). Verfügbar unter: https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20221212IPR64527/klimaschutz-einigung-uber-ehrgeizigeren-eu-emissionshandel-ets

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2016). Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und verbraucherschutz. Verfügbar unter: https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Leitfaden_Biogas_web_V01.pdf

Fleschhut, M. & Strobl, M. (2017). Körnermaisstroh – ein Substrat, das Hoffnungen weckt. Biogas Journal, 2, 27–33.

Fleschhut, M., Thurner, S., Ostertag, J. & Eder, J. (2017). Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. Verwertung von Körnermaisstroh für die Biogasproduktion (N/14/07). Verfügbar unter: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/07_fleschhut_2017.pdf

Fortune Business Insights. (2020). The global activated carbon market size was valued at $4.98 billion in 2022 & is projected to grow from $5.26 billion in 2023 to $7.73 billion by 2030… Read More at:- https://www.fortunebusinessinsights.com/activated-carbon-market-102175. Verfügbar unter: https://www.fortunebusinessinsights.com/activated-carbon-market-102175

Fraunhofer ISE. (2021). Stromgestehungskosten erneuerbare Energien. Verfügbar unter: https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.html

Fraunhofer ISI. (2020). Zukunftsszenarien für erneuerbare Energien – wie viel und welche Förderung wird zukünftig benötigt? Diskussionspapier im Rahmen des Dienstleistungsvorhabens „Zukünftige Finanzierung von Erneuerbare-Energien-Anlagen in Deutschland“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energ. Verfügbar unter: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2020/EE_Finanzierung_Auszahlungen.pdf

Gabler Wirtschaftslexikon. (o.D.). SWOT-Analyse. https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/swot-analyse-52664

Grand View Research. (2019). Coal-based Activated Carbon Market Size Worth $4.6 Billion By 2025. Verfügbar unter: https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-coal-based-activated-carbon-market

IndexBox. (2020). Previously Driven by the Growth of the Chemical Industry and Construction, the Global Activated Carbon Market to Struggle with the Pandemic. Verfügbar unter: https://www.globaltrademag.com/previously-driven-by-the-growth-of-the-chemical-industry-and-construction-the-global-activated-carbon-market-to-struggle-with-the-pandemic/

Insight Partners. (2022). Activated Carbon Market Size Worth $8.26Bn, Globally, by 2028 at 9.6% CAGR. Verfügbar unter: https://www.prnewswire.com/news-releases/activated-carbon-market-size-worth-8-26bn-globally-by-2028-at-9-6-cagr---exclusive-report-by-the-insight-partners-301500725.html

Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg. (2023). Kläranlagen mit einer Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg. Verfügbar unter: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/3_Umwelt/Wasser/Karte-zu-Klaeranlagen-BW-mit-Spurenstoffelimination-mit-Link-zur-barrierefreien-Version.pdf

Kretschmer, F. (2016). Thermal use of wastewater – Policy instruments for initialization and potential operating models / Thermische Nutzung von Abwasser – Instrumente zur Verbreitung und mögliche Betreibermodelle. Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment, 67(3), 173–183. https://doi.org/10.1515/boku-2016-0015

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. (2021b). Feldarbeitsrechner. Verfügbar unter: https://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. (2021a). MaKost - Maschinenkosten und Reparaturkosten. Verfügbar unter: https://daten.ktbl.de/makost/#landingPage?language=de-DE

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. (2018). Faustzahlen für die Landwirtschaft, (15. Auflage). Verfügbar unter: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/MiniFZ-Landwirtschaft.pdf

Lehnert, F., Wenzel, T., Steyer, N. & Heinrich, P. (2023). Einfluss des CO_2-Preises für fossile Energieträger (im EU- ETS und nEHS) auf die Biomassenachfrage. Texte 95/2023. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/95_2023_texte_einfluss_des_co2-preises_fuer_fossile_energietraeger__0.pdf

Mandon, P., Bhagyashri, P. & Prasad, E. (2022). Activated Carbon Market Research, 2030. Verfügbar unter: https://www.alliedmarketresearch.com/activated-carbon-market

Market Watch. (2022). Activated carbon market by size share. Verfügbar unter: https://www.marketwatch.com/press-release/activated-carbon-market-by-size-share-latest-global-trends-top-key-players-future-growth-revenue-analysis-demand-forecast-to-2031-2022-09-07

McLeod, R. (2019). Kommunaler N!-Check - Begleitheft zur Mustervorlage für den Nachhaltigkeitscheck., Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. Verfügbar unter: https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10053

Medina Serrano, R., González Ramírez, M. R. & Gascó Gascó, J. L. (2018). Should we make or buy? An update and review. European Research on Management and Business Economics, 24(3), 137–148. https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2018.05.004

Monstadt, J. (2007). Urban Governance and the Transition of Energy Systems: Institutional Change and Shifting Energy and Climate Policies in Berlin. International Journal of Urban and Regional Research, 31(2), 326–343. https://doi.org/10.1111/j.1468-2427.2007.00725.x

Mordor Intelligence. (2020). Activated Carbon Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029). Verfügbar unter: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/activated-carbon-market

Neumann, H. (2018). Neue Entwicklungen machen Aktivkohle teurer. Verfügbar unter: https://www.topagrar.com/energie/aus-dem-heft/neue-entwicklungen-machen-aktivkohle-teurer-9642263.html

Olfert, A. & Walther, J. (2023). TRAFIS.NB Prozessbegleitende Nachhaltigkeitsbewertung für innovative Infrastrukturlösungen. Anwendungshandbuch: Methode und Bewertungswerkzeug, Umweltbundesamt. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/trafisnb-prozessbegleitende

Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. (2024). https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/co2-preis-kohle-abfallbrennstoffe-2061622

Research and Markets. (2020). Global Activated Carbon Industry Report, 2018-2023 - Focus on the Chinese Market. Verfügbar unter: https://www.globenewswire.com/news-release/2018/08/30/1563158/0/en/Global-Activated-Carbon-Industry-Report-2018-2023-Focus-on-the-Chinese-Market.html

Schramm, E., Trapp, J. H., Stein, C. & Rauchecker, M. A. (2023). Aufbau und Erhalt blau-grün-grauer Infrastrukturen für die kommunale Klimaanpassung. Fallbeispiele, Konstellationen und Kooperationsmanagement (netWORKS-Papers, Heft 39). Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH.

Tietz, H.P. (2011). Funktion und Struktur von Ver- und Entsorgungssystemen im Wandel. In H.-P. Tietz & Hühner, Tanja (Hrsg.), Zukunftsfähige Infrastruktur und Raumentwicklung: Handlungserfordernisse für Ver- und Entsorgungssysteme (S. 5–18). Hannover: Akademie für Raumforschung und

Landesplanung - Leibniz-Forum für Raumwissenschaften. Verfügbar unter: https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/27983

Tietz, H.P. & Hühner, Tanja (Hrsg.). (2011). Zukunftsfähige Infrastruktur und Raumentwicklung: Handlungserfordernisse für Ver- und Entsorgungssysteme. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung - Leibniz-Forum für Raumwissenschaften.

Umweltbundesamt. (2022). Der Europäische Emissionshandel. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel#luftverkehr-im-emissionshandel-

Umweltbundesamt. (2023). Einfluss des CO_2-Preises für fossile Energieträger (im EU-ETS und nEHS) auf die Biomassenachfrage. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/einfluss-des-co2-preises-fuer-fossile

Valuates Reports. (2020). Activated Carbon Market Size is Projected to Reach USD 3718.2 Million by 2026. Verfügbar unter: https://www.prnewswire.com/in/news-releases/activated-carbon-market-size-is-projected-to-reach-usd-3718-2-million-by-2026-valuates-reports-818245059.html

Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V. (2023). Studie - Strompreisprognose. Verfügbar unter: https://www.vbw-bayern.de/vbw/Themen-und-Services/Energie-Klima/Energie/Neue-Strompreisprognose-bis-2040.jsp

Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V. & Prognos. (2023). Strompreisprognose 2023. Verfügbar unter: https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2023/Downloads/vbw_Strompreisprognose_Juli-2023-3.pdf

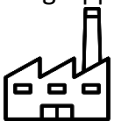
Wirtschafts-Lehre. (2018). Lock-in-Effekt. Verfügbar unter: https://www.wirtschafts-lehre.de/lock-in-effekt.html#google_vignette

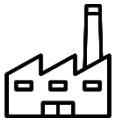
Ziermann, A. (2022). Integriertes Stadt-Land-Konzept zur Erzeugung von Aktivkohle und Energieträgern aus Restbiomassen. - Kurzbericht zum Abschluss der Forschungs- und Entwicklungsphase - Kurzbericht zum Abschluss der Forschungs- und Entwicklungsphase -Nachhaltigkeitswirkungen und Umsetzungsperspektiven des CoAct- Verfahrens. Verfügbar unter: https://www.bodensee-stiftung.org/wp-content/uploads/CoAct-Kurzbericht-FuE.pdf

10 Anhang I – Förderprogramme

Potenziell relevante Förderprogramme, einen oder mehreren Technikaspekt oder Verfahrensschritt des CoAct-Konzepts abdecken. Die Recherche basiert auf einer Analyse der Förderdatenbank des Bundes im 3. Quartal 2023 und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Aktualität.

Bundesweit verfügbare Förderprogramme:

KfW-Konsortialkredit Nachhaltige Transformation	
Art der Förderung: Darlehen	Zielgruppen:  Unternehmen
Kurzbeschreibung: Der KfW-Konsortialkredit Nachhaltige Transformation unterstützt Unternehmen bei der Finanzierung von ambitionierten, nachhaltigen und transformativen Vorhaben nach den in der EU-Taxonomie definierten Umweltzielen.	
Relevante Positionen für CoAct: Herstellung klimafreundlicher Technologien und Produkte, die in nachgelagerten Bereichen (auch privaten Haushalten) einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten (Modul A) oder zu Wasser, Abwasser, Abfall (Modul D).	
Maximale Fördersumme: 100 Mio. €	
Weiterführende Informationen: https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-und-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/KfW-Konsortialkredit-Nachhaltige-Transformation-(291)/	

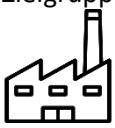
Klimaschutzoffensive für Unternehmen	
Art der Förderung Darlehen	Art der Förderung  Unternehmen
Kurzbeschreibung: Investitionen zum ökologisch nachhaltigen Wirtschaften. Förderung für die Errichtung und den Erwerb förderfähiger Anlagen sowie für Modernisierungen bestehender Anlagen.	
Relevante Positionen für CoAct: Modul C: Energieversorgung, Anlagen zur CO_2-armen Bereitstellung von Strom und Wärme inklusive hierfür notwendiger Infrastruktur zur Verteilung und Speicherung.	
Maximale Fördersumme: 25 Mio. €	
Weiterführende Informationen: https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Klimaschutzoffensive-f%C3%BCr-den-Mittelstand-(293)/	

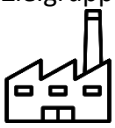
Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW): Modul III – Einzelmaßnahmen	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Unternehmen, Kommunen, Öffentliche Einrichtungen, Verbände/ Vereine
Kurzbeschreibung: Für schnell umsetzbare Einzelmaßnahmen in Wärmenetzen können unter bestimmten Voraussetzungen eine Förderung erhalten werden.	
Relevante Positionen für CoAct: Biomassekessel Wärmespeicher Wärmeübergabestationen	
Maximale Fördersumme: 100 Mio. €	
Weiterführende Informationen: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html	

Energieforschungsprogramm – Angewandte nichtnukleare Forschungsförderung	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Forschung, Unternehmen, Kommunen, Öffentliche Einrichtungen
Kurzbeschreibung: Die Bundesregierung fördert auf der Grundlage des Energieforschungsprogramms projektbezogene Aktivitäten zu Forschung, Entwicklung und Innovation von Energietechnologien im nichtnuklearen Bereich.	
Relevante Positionen für CoAct: Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe Technologien für die CO_2-Kreislaufwirtschaft	
Maximale Fördersumme: Für die Festlegung der förderfähigen Kosten und die Bemessung der jeweiligen Förderquote sowie der Beihilfehöchstbeträge gelten die Regelungen der Artikel 21, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 46 und 48 AGVO.	
Weiterführende Informationen: https://www.energieforschung.de/antragsteller/antragstellung	

Nachwachsende Rohstoffe	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Verbände/ Vereine Öffentliche Einrichtungen Forschung Unternehmen
Kurzbeschreibung: Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) unterstützt bei Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe.	
Relevante Positionen für CoAct: Rohstoff- und Reststoffaufbereitung und -verarbeitung	
Maximale Fördersumme: Grundlagenforschung bis zu 100 Prozent industrielle Forschung bis zu 50 Prozent experimentelle Entwicklung bis zu 25 Prozent Durchführbarkeitsstudien bis zu 50 Prozent	
Weiterführende Informationen: https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeokonomie-nachwachsende-rohstoffe/foerderprogramm-nachwachsende-rohstoffe.html	

Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss: Modul 2 Prozesswärme aus erneuerbaren Energien	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Unternehmen
Kurzbeschreibung: Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) fördert die Bereitstellung von Prozesswärme aus erneuerbaren Energien in Unternehmen.	
Relevante Positionen für CoAct: Biomasse-Anlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe oder pflanzlicher Abfälle, hocheffiziente KWK-Anlagen	
Maximale Fördersumme: 15 Mio. €	
Weiterführende Informationen: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/Modul2_Prozesswaerme/modul2_prozesswaerme_node.html	

Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Förderwettbewerb	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen:  Unternehmen
Kurzbeschreibung: Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) fördert investive Maßnahmen zur energetischen und ressourcenorientierten Optimierung von industriellen und gewerblichen Anlagen und Prozessen, die zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz beziehungsweise zur Senkung des fossilen Energieverbrauchs in Unternehmen beitragen.	
Relevante Positionen für CoAct: Prozess- und Verfahrensumstellungen, die zu Energie- und Ressourceneffizienz führen, insbesondere energie- und ressourceneffiziente Technologien sowie energetische und ressourcenorientierte Optimierung von Produktionsprozessen Maßnahmen zur Reduktion oder Vermeidung von Energie- und Ressourcenverlusten im Produktionsprozess Maßnahmen zur Prozesswärmebereitstellung aus u.a. Biomasse-Anlagen	
Maximale Fördersumme: 40 Mio. € Budget insgesamt pro Wettbewerbsaufruf (pro Quartal)	
Weiterführende Informationen: https://www.wettbewerb-energieeffizienz.de/WENEFF/Navigation/DE/Foerderwettbewerb/Rahmenbedingungen/rahmenbedingungen.html	

Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Kredit: Modul 2 Prozesswärme aus erneuerbaren Energien	
Art der Förderung: Darlehen	Zielgruppen:  Unternehmen
Kurzbeschreibung: Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) fördert die Bereitstellung von Prozesswärme aus erneuerbaren Energien in Unternehmen.	
Relevante Positionen für CoAct: Biomasse-Anlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe oder pflanzlicher Abfälle, hocheffiziente KWK-Anlage	
Maximale Fördersumme: 25 Mio. €	
Weiterführende Informationen: https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/KfW/energieeffizienz-u-prozesswaerme-kredit-2.html	

Nutzung und Bau von Demonstrationsanlagen für die industrielle Bioökonomie	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Unternehmen, Forschung, Verbände/ Vereine, Öffentliche Einrichtungen
Kurzbeschreibung: Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) fördert im Bereich der industriellen Bioökonomie notwendige Entwicklungsschritte, die insbesondere die Nutzung und den Bau von Demonstrationsanlagen voraussetzen.	
Relevante Positionen für CoAct: Substitution fossiler durch biobasierte Ressourcen, Steigerung der Ressourceneffizienz durch Abfallvermeidung oder -verwertung und Beitrag zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft, prognostizierte quantitative Minderung der Emission von Treibhausgasen im Vergleich zum Stand der Technik, Darstellung der Generierung neuer Wertschöpfungsketten auf Basis biobasierter Produkte oder Verfahren.	
Maximale Fördersumme: 2 Mio. €	
Weiterführende Informationen: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/industrielle-biooekonomie.html	

Nationale Klimaschutzinitiative: Kommunalrichtlinie	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Kommunen, Öffentliche Einrichtungen
Kurzbeschreibung: Mit der Kommunalrichtlinie, die es bereits seit 2008 gibt, unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz Kommunen und kommunale Akteurinnen und Akteure dabei, ihre Emissionen nachhaltig zu senken. Die positiven Effekte der Klimaschutzmaßnahmen gehen weit über den Schutz des Klimas hinaus: Sie steigern die Lebensqualität vor Ort und sorgen durch sinkende Energiekosten für finanzielle Entlastung. Gleichzeitig kurbeln klimafreundliche Investitionen die regionale Wertschöpfung an.	
Relevante Positionen für CoAct: Anwendung innovativer Verfahrenstechnik in der Abwasserbewirtschaftung und klimafreundliche Abwasserbewirtschaftung	
Maximale Fördersumme: Abhängig von Fördergegenstand	
Weiterführende Informationen: https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie	

Umweltinnovationsprogramm	
Art der Förderung: Darlehen Zuschuss	Zielgruppen: Unternehmen
Kurzbeschreibung: Im Umweltinnovationsprogramm werden Demonstrationsvorhaben in großtechnischem Maßstab in Deutschland gefördert, die erstmalig aufzeigen, in welcher Weise fortschrittliche Verfahren nach Abschluss von Forschung und Entwicklung zur Vermeidung oder Verminderung von Umweltbelastungen genutzt und kombiniert werden können.	
Relevante Positionen für CoAct: Gefördert werden großtechnische Anlagen mit Demonstrationscharakter in Deutschland. Die geplante innovative Technik wird in der Branche erstmalig durch das Unternehmen angewendet oder es werden bekannte Techniken neuartig kombiniert.	
Maximale Fördersumme: 7,5 Mio. €	
Weiterführende Informationen: https://www.umweltinnovationsprogramm.de/	

EU-LIFE – Programm für die Umwelt und Klimapolitik (2021–2027)	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Kommunen, Öffentliche Einrichtungen, Verbände / Vereine, Unternehmen
Kurzbeschreibung: Konkrete Vorhaben in einem Bereich wie Arten- und Biotopschutz, biologische Vielfalt, Boden, Wälder, Klimaschutz, Klimaanpassung, Energieeffizienz, erneuerbare Energien, Energiewende, Luftqualität, Kreislaufwirtschaft, Ressourceneffizienz, Chemikalien, Lärm, Wasser oder Abfall planen, können gefördert werden.	
Relevante Positionen für CoAct: Kreislaufwirtschaft und Lebensqualität/Circular Economy and Quality of Life Vereinfachung von Investitionsprojekten auf lokaler und regionaler Ebene Aufbau von Fähigkeiten und Kapazitäten im Industrie- und Dienstleistungssektor	
Maximale Fördersumme: Abhängig von Fördergegenstand	
Weiterführende Informationen: https://www.z-u-g.org/strategische-aufgaben/beratung-zum-eu-life-programm/	

Förderprogramme des Landes Baden-Württemberg

Invest BW: Förderung von Innovationen	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Unternehmen
Kurzbeschreibung: Innovative Spitzentechnologien aus Baden-Württemberg sollen zum weltweiten Kampf gegen den Klimawandel beitragen. Baden-Württemberg will dabei zum Vorreiter im Bereich klimaneutrale Produktion und Green-Tech werden. Dies umfasst insbesondere erneuerbare Energien, Ressourceneffizienz, Kreislaufwirtschaft (Recycling), Boden- und Wasserschutz sowie Luftreinhaltung und damit verbundene innovative Dienstleistungen.	
Relevante Positionen für CoAct: Geförderte Maßnahmen sollen der Ressourcenschonung dienen, durch einen verringerten Materialeinsatz, neue Recyclingmethoden und -prozessen oder die Verlängerung des Lebenszyklus von Produkten. Optimierung von Produktions- und Wirtschaftsprozesse, dass sie zur Verbesserung der Abwasserreinigung, der Luftreinhaltung und/oder Abfallvermeidung beitragen und/oder dem Schutz des Landökosystems dienen, insbesondere durch Schonung der Böden, den Schutz und der Entsiegelung von Flächen und den Erhalt der Biodiversität.	
Maximale Fördersumme: Einzelvorhaben: 20.000€ - 650.000€ / Verbundvorhaben: bis 1,3 Mio. €	
Weiterführende Informationen: https://invest-bw.de/ https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien_Downloads/Foerderprogramme/Invest_BW_Innovationsf%C3%B6rderung_5._F%C3%B6rderaufruf_-_Einzel_barrierefrei.pdf	

Innovationsgutscheine Baden-Württemberg	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Unternehmen
Kurzbeschreibung: Das Land Baden-Württemberg unterstützt kleine und mittelständische Unternehmen mit Zuschüssen für Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Diese Projekte sollen dazu dienen, neue und innovative Produkte, Produktionsverfahren oder Dienstleistungen zu schaffen.	
Relevante Positionen für CoAct: Gefördert werden wissenschaftliche Tätigkeiten, die vor der eigentlichen Entwicklung von innovativen Vorhaben stattfinden. Unterstützt werden Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die darauf abzielen, innovative Produkte, Produktionsmethoden oder Dienstleistungen so zu gestalten, dass sie bereit für den Markt oder die Produktion sind.	
Maximale Fördersumme: 20.000€	
Weiterführende Informationen: https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/innovation/innovationsgutscheine https://www.l-bank.de/produkte/finanzhilfen/innovationsgutschein.html	

Klimaschutz-Plus	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Verbände/ Vereine Öffentliche Einrichtungen Kommunen Unternehmen
Kurzbeschreibung: Nach dem Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz sollen inzwischen die im Land verursachten Treibhausgasemissionen im Vergleich zu den Gesamtemissionen 1990 bis zum Jahr 2030 um mindestens 65 Prozent reduziert und zur Erreichung der Netto-Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2040 schrittweise verringert werden. Dies kann nur erreicht werden, wenn Energie effizienter eingesetzt und bei Strom und Wärme Energie eingespart wird – insbesondere im Gebäudebestand.	
Relevante Positionen für CoAct: Förderung der Nutzung von Abwärme auch aus Kläranlagen	
Maximale Fördersumme: 3.000 € - 200.000 €	
Weiterführende Informationen: https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/informieren-beraten-foerdern/klimaschutz-plus	

Förderprogramme des Landes Bayern

Investitionsförderung für Scale-Up-Anlagen im Rahmen der bayerischen Bioökonomiestrategie (BayBioökonomie-Scale-Up)	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Unternehmen
Kurzbeschreibung: Wenn Sie als Unternehmen in eine innovative Produktionsanlage investieren, die nachwachsende Rohstoffe verarbeitet, daraus innovative Produkte erzeugt und neue Wertschöpfungsketten ermöglicht, können Sie unter bestimmten Voraussetzungen einen Zuschuss bekommen.	
Relevante Positionen für CoAct: Errichtung einer innovativen industriellen Produktionsanlage zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe (beispielsweise Bioraffinerie, Bioproduktewerk) mit positivem Klimaeffekt investieren.	
Maximale Fördersumme: Prozentsatz 10-40% je nach Akteur der zuwendungsfähigen Ausgaben (mindestens 250.000€)	
Weiterführende Informationen: https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/Foerderungen/BayBiooekonomie-Scale-Up/2022-10-25_Richtlinie_Bio%C3%B6konomieBayern-Scale-Up.pdf	

Nutzung erneuerbarer Energien und Vermeidung von Kohlendioxidemissionen durch Biomasseheizwerke und zugehörige Wärmenetze (BioWärme Bayern)	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Kommunen, Öffentliche Einrichtungen, Unternehmen - Privatpersonen, Verbände/ Vereine
Kurzbeschreibung: Der Freistaat Bayern fördert die Substitution fossiler Energieträger durch neue umweltschonende Biomasseheizwerke sowie durch die Verteilung von Wärme aus erneuerbaren Energien und/oder Abwärme über die zugehörigen Wärmenetze.	
Relevante Positionen für CoAct: Die Errichtung von neuen energieeffizienten Wärmenetzen oder die energieeffiziente Erweiterung von bestehenden Wärmenetzen, sofern das betreffende Wärmenetz im Zusammenhang mit einer Investition in ein zu förderndes Biomasseheizwerk steht.	
Maximale Fördersumme: 100.000€ (Wärmenetze)	
Weiterführende Informationen: https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Bayern/bio-waerme-bayern.html	

Bayerisches Umweltkreditprogramm / Ökokredit	
Art der Förderung: Darlehen	Zielgruppen: Unternehmen
Kurzbeschreibung: Der Freistaat Bayern unterstützt – gemeinsam mit der KfW Bankengruppe –mittelständische Unternehmen oder Angehörige und Angehörige der Freien Berufe bei eigenverantwortlichen Investitionen in den Umweltschutz, die über die rechtlichen Vorgaben hinausgehen.	
Relevante Positionen für CoAct: Abwasserreinigung, Kreislaufwirtschaft, Ressourceneffizienz und Ressourcenschutz sowie Investitionen in Technologien im Bereich Nanotechnologie, Biotechnologie und Bionik zur Steigerung der Umweltfreundlichkeit von Produktionsprozessen	
Maximale Fördersumme: 2 Mio. €	
Weiterführende Informationen: www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Bayern/bayerisches-umweltkreditprogramm.html	

Förderprogramme der Hansestadt Bremen

Programm zur Förderung anwendungsnaher Umwelttechniken (PFAU)	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Forschung Unternehmen
Kurzbeschreibung: Das Land Bremen unterstützt verschiedene Akteure bei der Durchführung von Vorhaben im Bereich der Entwicklung, Anwendung und Verbreitung von Umweltinnovationen	
Relevante Positionen für CoAct: Materialien wiederverwerten und die die Voraussetzungen für den Einsatz produktionsintegrierter Umweltschutztechniken schaffen.	
Maximale Fördersumme: Einzelvorhaben: 100.000 € Verbundvorhaben: 200.000 €	
Weiterführende Informationen: https://www.bab-bremen.de/de/page/programm/pfau	

Förderprogramme der Hansestadt Hamburg

Erneuerbare Wärme	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Unternehmen Privat-personen Verbände/ Vereine
Kurzbeschreibung: Die Freie und Hansestadt Hamburg unterstützt auf Grundlage der „Förderrichtlinie Erneuerbare Energien“ den Einsatz von erneuerbaren Energien für die Wärmebereitstellung.	
Relevante Positionen für CoAct: Wärmespeicher: Gefördert wird der Neubau von Wärmespeichern mit einem Speichervolumen von mindestens 4 Kubikmetern, wenn die zu speichernde Wärme zu mindestens denselben Anteilen aus erneuerbarer Energie und/oder unvermeidbarer Abwärme stammt.	
Maximale Fördersumme: Abhängig von Fördergegenstand	
Weiterführende Informationen: https://www.ifbhh.de/foerderprogramm/erneuerbare-waerme	

Unternehmen für Ressourcenschutz	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Verbände/ Vereine Unternehmen
Kurzbeschreibung: Die Freie Hansestadt Hamburg unterstützt Investitionsvorhaben, die durch den effizienten Umgang mit Ressourcen wie Energie, Wasser und Rohstoffen oder durch eine nachhaltige Reduzierung von Kohlenstoffdioxidemissionen zu einer Umweltentlastung beitragen.	
Relevante Positionen für CoAct: Förderung zur Verringerung des Materialeinsatzes, des Trinkwasserbedarfs oder der Abwassermenge oder zur Nutzung unvermeidbarer Abwärme in einem Wärmenetz.	
Maximale Fördersumme: Es werden Zuschüsse für den erreichten Ressourcen- bzw. Klimaschutzeffekt vergeben. Die Förderung erfolgt als Festbetrag pro jährlich vermiedener Tonne CO_2 bzw. pro eingesparter Tonne Material, Abfall oder eingespartem Kubikmeter Wasser. Die Förderquote beträgt je nach Förderschwerpunkt bis zu 50% der förderfähigen Kosten.	
Weiterführende Informationen: https://www.ifbhh.de/foerderprogramm/ufr-unternehmen-fuer-ressourcenschutz	

Förderprogramme des Landes Hessen

Förderung der energetischen und stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Verbände/ Vereine Unternehmen Öffentliche Einrichtungen Kommunen Privat-personen
Kurzbeschreibung: Das Land Hessen unterstützt Sie Investitionen und nichtinvestiven Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bei der energetischen und stofflichen Biomassenutzung.	
Relevante Positionen für CoAct: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Pilot- und Demonstrationsvorhaben sowie sonstige Projekte.	
Maximale Fördersumme: Nahwärmenetz: max 100knach Richtlinie zur Förderung der ländlichen Entwicklung in Hessen	
Weiterführende Informationen: https://www.wibank.de/wibank/biomassefeuerungsanlagen-in-hessen/foerderung-von-biomassefeuerungsanlagen-in-hessen-312070	

LOEWE-Förderlinie 3	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Forschung Öffentliche Einrichtungen Unternehmen
Kurzbeschreibung: Mit dem LOEWE-Programm fördert die Landesregierung herausragende wissenschaftliche Verbundvorhaben der Hochschulen und Forschungseinrichtungen in Hessen. Im Fokus steht eine intensive Vernetzung von Wissenschaft, außeruniversitärer Forschung und Wirtschaft.	
Relevante Positionen für CoAct: Innerhalb konkreter Vorhaben können Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für Produkt- und Prozessinnovationen mit Zuschüssen gefördert werden.	
Maximale Fördersumme: 100.000 € - 500.000 €	
Weiterführende Informationen: https://www.innovationsfoerderung-hessen.de/foerderangebote	

Förderprogramme des Landes Mecklenburg-Vorpommern

Klimaschutzförderrichtlinie Kommunen / Klimaschutzförderrichtlinie Unternehmen	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Verbände/ Vereine Kommunen Öffentliche Einrichtungen
Kurzbeschreibung: Das Land Mecklenburg-Vorpommern fördert Vorhaben nicht wirtschaftlich tätiger Organisationen zur direkten oder indirekten Reduzierung von Treibhausgasemissionen.	
Relevante Positionen für CoAct: Investive Maßnahmen zum Einsatz regenerativer Energien zur Wärmenutzung	
Maximale Fördersumme: Gestaffelt nach Fördergegenstand	
Weiterführende Informationen: https://www.lfi-mv.de/foerderfinder/klimaschutzprojekte-in-wirtschaftlich-taetigen-organisationen/	

Förderprogramme des Landes Niedersachsen

Förderung von Maßnahmen zur Verringerung von anthropogenen Spurenstoffen in Gewässern	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Kommunen Öffentliche Einrichtungen Verbände / Vereine
Kurzbeschreibung: Förderung für Auf- und Umrüstung von öffentliche Abwasseranlagen, um die Umweltverschmutzung zu verringern und die biologische Vielfalt in niedersächsischen Gewässern zu erhalten.	
Relevante Positionen für CoAct: Förderung von weitergehenden Reinigungsverfahren oder deren Kombination, zum Beispiel Oxidationsverfahren, Aktivkohlefiltration oder Membrantechnologien oder andere innovative beziehungsweise fortschrittliche Technologien mit gleichartiger Reinigungsleistung. Außerdem werden vorgeschaltete Maßnahmen zur Optimierung des gewählten Verfahrensablaufes gefördert.	
Maximale Fördersumme: > 200.000 €	
Weiterführende Informationen: https://www.nbank.de/F%C3%B6rderprogramme/Aktuelle-F%C3%B6rderprogramme/Verringerung-von-Spurenstoffen-in-Gew%C3%A4ssern.html#aufeinenblick	

Förderung von Klimaschutz und Energieeffizienz bei Unternehmen, bei öffentlichen Trägern und Kultureinrichtungen (Richtlinie „Klimaschutz und Energieeffizienz“)	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Kommunen Öffentliche Einrichtungen Verbände/ Vereine Unternehmen
Kurzbeschreibung: Das Land Niedersachsen unterstützt mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Energieeinsparung.	
Relevante Positionen für CoAct: Investitionen in energieeffiziente oder treibhausgasmindernde Produktionsprozesse und -anlagen Errichtung von Wärmenetzen im Zusammenhang mit energetischen Sanierungen von Gebäuden und Anlagen und der Nutzung von Abwärme, die nicht ausschließlich für diesen Zweck hergestellt wurde	
Maximale Fördersumme: Gestaffelt nach Fördergegenstand	
Weiterführende Informationen: https://www.nbank.de/F%C3%B6rderprogramme/Aktuelle-F%C3%B6rderprogramme/Klimaschutz-und-Energieeffizienz.html#aufeinenblick	

Zukunftsfähige und nachhaltige Abwasserbeseitigung NRW (ZunA NRW)	
Art der Förderung: Darlehen, Zuschuss	Zielgruppen: Öffentliche Einrichtungen, Kommunen, Unternehmen, Verbände/ Vereine, Privat-personen
Kurzbeschreibung: Förderungen für den Erhalt und den Ausbau der abwassertechnischen Infrastruktur zum Schutz der Gewässer und der Umwelt	
Relevante Positionen für CoAct: Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Abwasserbeseitigung (Übergeordnetes Ziel ist die Weiterentwicklung des Standes der Technik der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen.)	
Maximale Fördersumme: Gestaffelt nach Fördergegenstand	
Weiterführende Informationen: https://www.nrwbank.de/de/foerderung/foerderprodukte/60185/zukunftsfaehige-und-nachhaltige-abwasserbeseitigung-nrw-zuna-nrw.html	

Grüne Gründungen.NRW	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Verbände/ Vereine, Forschung, Unternehmen
Kurzbeschreibung: Förderung für Projekte mit hohem Innovations- und Anwendungspotenzial, die einen Beitrag zur Transformation in Richtung einer Green Economy leisten	
Relevante Positionen für CoAct: Schwerpunkt der Förderung sind innovative Ansätze, Technologien, Verfahren und Dienstleistungen, die zum Klimaschutz, zur Klimaanpassung, zum Umweltschutz, zur Schonung von Ressourcen sowie zum Erhalt der Biodiversität beitragen.	
Maximale Fördersumme: 800.000 €	
Weiterführende Informationen: https://www.in.nrw/gruene-gruendungen-nrw	

progres.nrw – Programm für Rationelle Energieverwendung, Regenerative Energien und Energiesparen – Programmbereich Innovation	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Unternehmen, Verbände/ Vereine, Kommunen, Öffentliche Einrichtungen, Forschung
Kurzbeschreibung: Das Land Nordrhein-Westfalen unterstützt im Rahmen von progres.nrw – Programmbereich Innovation Vorhaben zur effizienten Energieumwandlung und -nutzung.	
Relevante Positionen für CoAct: Abwärme, Abwasserwärme und Umweltwärme	
Maximale Fördersumme: >25k Bagatellgrenze, abhängig von Maßnahme	
Weiterführende Informationen: https://www.ptj.de/projektfoerderung/progres-nrw/progres-nrw-innovation	

progres.nrw – Programm für Rationelle Energieverwendung, Regenerative Energien und Energiesparen – Programmbereich Wärme- und Kältenetze	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Unternehmen
Kurzbeschreibung: Das Land Nordrhein-Westfalen unterstützt im Rahmen von progres.nrw – Programmbereich Innovation bei Vorhaben zur effizienten Energieumwandlung und -nutzung.	
Relevante Positionen für CoAct: Dem Wärme- und Kältenetz zugehörige Anlagen zur Auskopplung von Wärme thermische Speicher in Verbindung mit Wärme- und -kältenetzen,	
Maximale Fördersumme: 200.000 €	
Weiterführende Informationen: https://www.bra.nrw.de/energie-bergbau/foerderprogramme-fuer-klimaschutz-und-energiewende/foerderbereiche/fernwaermeleitungen-waermekonzepte/foerderung-von-waerme-und-kaeltenetzen-zuwendungen-ab-100000-eur	

REGIO.NRW-Transformation	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Kommunen
Kurzbeschreibung: Der Projektaufruf ist ein Instrument, um die Regionen beim Ausbau und der Weiterentwicklung ihrer Stärken zu unterstützen. Mit dem Aufruf sollen Vorhaben gefördert werden, die einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, regionale Transformationsprozesse mit Blick auf die spezifischen Profile der Regionen erfolgreich zu gestalten.	
Relevante Positionen für CoAct: Inhalte von Förderprojekten können etwa der Transfer von Wissen und innovativen Technologien aus Hochschulen und Forschungseinrichtungen in die wirtschaftliche Anwendung in KMU oder Start-ups, die Förderung von nachhaltigen Wirtschaftsformen wie der Circular Economy und die Förderung von Klimaanpassung auf regionaler Ebene sein.	
Maximale Fördersumme: Abhängig von Fördergegenstand	
Weiterführende Informationen: https://www.in.nrw/massnahmen/regio-nrw	

Förderprogramme des Landes Rheinland-Pfalz

Zukunftsfähige Energieinfrastruktur (ZEIS)				
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Kommunen	Verbände/ Vereine	Öffentliche Einrichtungen	Unternehmen
Kurzbeschreibung: Förderung für Investitionen in den Bau oder Ausbau von Wärmenetzen zur Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien umweltfreundliche Sanierung von Straßenbeleuchtung umweltfreundlich durch LED-Technik				
Relevante Positionen für CoAct: Bau und Ausbau von Wärmenetzen zur direkten Wärmeversorgung von 2 oder mehr Gebäuden, die aus Biomasse, geothermischer und solarer Energie, industrieller Abwärme und Wärme aus Abwasser versorgt werden. Darüber hinaus werden damit in Verbindung stehende Übergabestationen, Wärmespeicher, Biomassefeuerungsanlagen, thermische Solaranlagen, effiziente Wärmepumpen sowie Anlagen zur Verwertung von Abwärme gefördert.				
Maximale Fördersumme: Abhängig von Fördergegenstand				
Weiterführende Informationen: https://mkuem.rlp.de/themen/energie-und-klimaschutz/foerderung-der-energiewende/foerderprogramm-zukunftsfaehige-energieinfrastruktur-zeis				

Zuwendungen für wasserwirtschaftliche Maßnahmen	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Kommunen Verbände/Vereine
Kurzbeschreibung: Förderung von wasserwirtschaftlichen Vorhaben, die zumutbare Entgeltbelastung der Einwohnerinnen und Einwohner und eine effiziente Nutzung der Wasserressourcen in Rheinland-Pfalz ermöglichen.	
Relevante Positionen für CoAct: Abwasserbeseitigung (Maßnahmen der Abwasserbehandlung für eine verbesserte Schadstoffminimierung des Abwassers, Ausbau von Abwasseranlagen zur Erreichung der Klimaschutzziele, Maßnahmen der öffentlichen Kanalisation), Analysen, Gutachten und Konzeptionen (zum Beispiel zur Modernisierung von Infrastruktur der Wasserversorgung oder Abwasserbeseitigung), Modellvorhaben und Pilotprojekte	
Maximale Fördersumme: Gestaffelt nach Fördergegenstand	
Weiterführende Informationen: https://landesrecht.rlp.de/bsrp/document/VVRP-VVRP000004982	

Einzelbetriebliches Innovations- und Technologieförderungsprogramm Rheinland-Pfalz - Inno-Top	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Unternehmen
Kurzbeschreibung: Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in rheinland-pfälzischen Unternehmen, wenn es um die Entwicklung von Produkten oder Verfahren geht, die sich von routinemäßigen oder regelmäßigen Änderungen an bestehenden Produkten, Produktionslinien oder Herstellungsverfahren abheben und für deren Realisierung zunächst die Gewinnung neuer Kenntnisse und Fertigkeiten und/oder die Umsetzung der Kenntnisse und Fertigkeiten in neue Produkte oder neue Verfahren anstehen.	
Relevante Positionen für CoAct: Durchführbarkeitsstudien/FuE-Vorhaben	
Maximale Fördersumme: Gutschein: 20.000 € FuE: 500.000 € für Einzelvorhaben	
Weiterführende Informationen: https://mwvlw.rlp.de/themen/wirtschafts-und-innovationspolitik/innovation/innovationsfoerderung	

Förderprogramme des Landes Sachsen-Anhalt

IB-Darlehen Grüne Innovationen (Sachsen-Anhalt MUT)	
Art der Förderung: Darlehen	Zielgruppen: Unternehmen
Kurzbeschreibung: Mit dem IB-Darlehen Grüne Innovationen unterstützt die Investitionsbank Sachsen-Anhalt Unternehmen bei der Entwicklung innovativer Lösungen der Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft, des Klimaschutzes, der Energieeffizienz, der erneuerbaren Energien, der Luftreinhaltung und der Lärmminderung	
Relevante Positionen für CoAct: Pilot- und Demonstrationsanlagen, Maßnahmen der Markterschließung/Markteinführung dieser Prototypen oder Pilotprojekte.	
Maximale Fördersumme: 1,5 Mio. €	
Weiterführende Informationen: https://www.ib-sachsen-anhalt.de/unternehmen/investieren-finanzieren/ib-darlehen-gruene-innovationen	

Wasserwirtschaftliche Vorhaben			
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Kommunen	Öffentliche Einrichtungen	Verbände/ Vereine
Kurzbeschreibung: Für die Umsetzung von Maßnahmen, mit denen der Energieverbrauch in der öffentlichen Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung verringert wird.			
Relevante Positionen für CoAct: Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von öffentlichen Abwasseranlagen und Anlagen der öffentlichen Wasserversorgung Forschungs- und Entwicklungsvorhaben.			
Maximale Fördersumme: Gestaffelt nach Fördergegenstand			
Weiterführende Informationen: https://lvwa.sachsen-anhalt.de/das-lvwa/landwirtschaft-umwelt/abwasser/foerderung-von-wasserwirtschaftlichen-vorhaben/page			

Förderprogramme des Landes Schleswig-Holstein

Landesprogramm Wirtschaft – Förderung der Energiewende und von Umweltinnovationen (EUI-Richtlinie)	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Unternehmen Forschung
Kurzbeschreibung: Das Land Schleswig-Holstein unterstützt im Rahmen des Landesprogramms Wirtschaft Vorhaben zur Umsetzung der Energiewende sowie von Umweltinnovationen.	
Relevante Positionen für CoAct: Substitution fossilbasierter durch biobasierte Rohstoffe und Produkte, stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und organischen Reststoffen, Verwertungsverfahren für Abfälle, Entwicklung neuer Produkte, Verfahren und Dienstleistungen mit besonderer, positiver Umweltrelevanz.	
Maximale Fördersumme: 2 Mio. €	
Weiterführende Informationen: https://ee-sh.de/de/foerdermittel/data/20291231_energiewende_umweltinnovation.php	

Landesprogramm Wirtschaft 2021–2027 – Nachhaltige Wärmeversorgungssysteme	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Kommune Öffentliche Einrichtungen Unternehmen Verbände/ Vereine
Kurzbeschreibung: Das Land Schleswig-Holstein unterstützt im Rahmen des Landesprogramms Wirtschaft 2021–2027 aus Mitteln der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur (GRW)“ und des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) bei dem Neubau und Ausbau von Wärmeversorgungssystemen auf Basis erneuerbarer Energien.	
Relevante Positionen für CoAct: Energieerzeugungsanlagen, die Wärmequellen auf Basis erneuerbarer Energien nutzen (beispielsweise Solarenergie, Geothermie, Umweltwärme, industrielle Abwärme), Wärme- und Kältespeicher in den entsprechenden Netzen.	
Maximale Fördersumme: 50.000 € - 1 Mio. €	
Weiterführende Informationen: https://www.ib-sh.de/produkt/landesprogramm-wirtschaft-nachhaltige-waermeversorgungssysteme-1/	

Landesprogramm Wirtschaft 2021–2027 – Förderung des Übergangs zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft (KuR-RL)	
Art der Förderung: Zuschuss	Zielgruppen: Forschung Kommunen Unternehmen
Kurzbeschreibung: Das Land Schleswig-Holstein unterstützt im Rahmen des Landesprogramms Wirtschaft 2021–2027 aus Mitteln der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur (GRW)“ und des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) vor allem kleine oder mittlere Unternehmen bei anwendungsorientierten Forschungsvorhaben für die Entwicklung einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) sowie bei Investitionen in den Transfer innovativer, ressourceneffizienter und klimaschonender Technologien.	
Relevante Positionen für CoAct: Ressourceneffizientes Produktdesign, Produktionsverfahren, Geschäftsmodelle, Abfallaufbereitungsverfahren zur hochwertigen Verwertung, Zusammenarbeit mit Hochschulen und Forschungsinstituten.	
Maximale Fördersumme: Gestaffelt nach Fördergegenstand	
Weiterführende Informationen: https://wtsh.de/de/foerderung-einer-ressourceneffizienten-kreislaufwirtschaft	