

Brandenburgische Technische Universität  
Cottbus-Senftenberg

# ARBEITSPAPIER ZUM ARBEITSPAKET 2.2: GESCHÄFTSFELDDANALYSEN

---

**Querschnittsprojekt 1**  
**im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens LaTerra**

**Querschnittsprojektleitung: Prof. Dr. Stefan Zundel, BTU Cottbus-Senftenberg**

**Verbundleitung: Prof. Dr. mult. Konstantin Terytze, FU Berlin**

Erstellt von Karsten Schatz (karsten.schatz@hs-lausitz.de)

Stefan Zundel (stefan.zundel@hs-lausitz.de)

Unter Mitarbeit von Michael Haubold-Rosar, Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften (FIB) Finsterwalde;

Rainer Macholz, Umweltprojekte Macholz GmbH;

Daniel und Dennis Krause

Jörg Rüdiger,

Karsten Tränkner,

Viktoria Witte (alle BTU Cottbus-Senftenberg).

Senftenberg, Mittwoch, 7. Mai 2014

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

FKZ 033L021E



# INHALTSVERZEICHNIS

Tabellenverzeichnis .....	III
Abbildungsverzeichnis .....	IV
Abkürzungsverzeichnis .....	V
1. Fragestellung und Überblick .....	1
1.1. Vorgehensweise .....	1
1.2. Basismodell .....	1
2. Geschäftsfeldanalysen .....	4
2.1. Mögliche Geschäftsmodelle im Überblick .....	4
2.2. Prozesse der Produktherstellung .....	6
2.2.1. Herstellung von Biokohle .....	6
2.2.2. Auskopplung von Wärme und Strom .....	8
2.2.3. Herstellung von Biokohlesubstrat .....	9
2.3. Geschäftsfelder und Nachnutzungsmöglichkeiten .....	10
2.3.1. Verkauf von Biokohle .....	10
2.3.2. Verkauf von Biokohlesubstrat .....	17
2.3.3. Landwirtschaftliche Nutzung .....	22
2.3.4. Rekultivierung von Tagebaufolgelandschaften .....	29
2.3.5. Sanierung von Konversionsflächen .....	34
3. Zusammenfassung und Ausblick .....	40
Literaturverzeichnis .....	V
Anhang A – Ressourcenkonzentration .....	IX
Anhang B – wirtschaftliche Rahmendaten .....	X
Anhang C – technische Daten .....	XI
Anhang D – Investitionen .....	XVII
Anhang E – Allgemeine Übersicht der Cash Flow-Berechnung .....	XIX

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Überblick der Herstellungsprozesse.....	4
Tabelle 2 Überblick der Geschäftsfelder der Nachnutzung .....	5
Tabelle 3 Übersicht der Angebote von nicht-zertifizierten Pflanzenkohlen.....	11
Tabelle 4 Übersicht der Angebote von zertifizierten Pflanzenkohlen.....	11
Tabelle 5 Input-/Mengengerüste der Szenarien .....	13
Tabelle 6 Herstellungskosten Biokohle - realistisches Mengengerüst.....	13
Tabelle 7 Herstellungskosten Biokohle - optimales Mengengerüst .....	14
Tabelle 8 Herstellungskosten Biokohle - hypothetisches Mengengerüst.....	14
Tabelle 9 Ausgewählte Herstellungskosten Biokohle mit Strom- und Wärmeauskopplung ...	15
Tabelle 10 Preisvergleich verschiedener BKS-Produkte.....	19
Tabelle 11 Preisvergleich verschiedener Premiumpflanzenerden.....	19
Tabelle 12 BKS- Herstellungskosten bei vorgegebener Herstellmenge .....	20
Tabelle 13 BKS- Herstellungskosten bei Verwertung aller Biomassen .....	21
Tabelle 14 BKS- Herstellungskosten bei Auslastung einer BK-Anlage .....	21
Tabelle 15 Zeitreihe der landwirtschaftlichen Nutzung von BKS .....	23
Tabelle 16 Fruchtfolge und BKS-Gaben der landwirtschaftlichen Vergleichsrechnung .....	25
Tabelle 17 Erträge und Marktpreise für Landwirtschaftliche Früchte.....	25
Tabelle 18 Kostenaufstellung konventioneller Sanierungsverfahren .....	36
Tabelle 19 Kostenaufstellung der Sanierung mit BKS (135 €/t) .....	36
Tabelle 20 Vergleich der Kosten der Sanierungsverfahren.....	36

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 Darstellung der Modellstruktur .....	3
Abbildung 2 Berechnungsschritte der Produktherstellung.....	5
Abbildung 3 Variation der Nutzungspfade .....	6
Abbildung 4 Schema der Herstellung von Biokohle .....	6
Abbildung 5 Schema der Herstellung von Biokohle mit Strom- und Wärmeauskopplung.....	8
Abbildung 6 Schema der Herstellung von BKS.....	9
Abbildung 7 Sensitivität der Amortisationszeit bei Variation der Biomassekosten bei ausgewählten BK-Verkaufspreisen.....	16
Abbildung 8 Sensitivität der Amortisationszeit bei Variation des BK-Verkaufspreises.....	17
Abbildung 9 Schema des BKS-Verkaufs .....	18
Abbildung 10 Sensitivität der Amortisationszeit bei Variation des BK-Verkaufs- und BKS- Nutzungsanteils.....	22
Abbildung 11 Schema der landwirtschaftlichen Nutzung von BKS.....	23
Abbildung 12 Kumulierter Jahresüberschuss beim BKS-Einsatz in der Landwirtschaft (ohne Ertragssteigerung).....	26
Abbildung 13 Kumulierter Jahresüberschuss des BKS-Einsatzes in der Landwirtschaft (mit 10% Ertragssteigerung).....	26
Abbildung 14 Vergleich der kumulierten jahresüberschüsse der konventionellen Landwirtschft und dem BKS-Einsatz .....	27
Abbildung 15 Sensitivität der Amortisation bei Variation des BKS-Preises .....	28
Abbildung 16 Sensitivität bei Variation der Ertragssteigerung.....	28
Abbildung 17 Schema der rekultivierung mit BKS.....	30
Abbildung 18 Jahresüberschuss (kumuliert) der Rekultivierung mit BKS (135 €/t).....	31
Abbildung 19 Jahresüberschuss (kumuliert) der mineralsichen Rekultivierung.....	32
Abbildung 20 Einfluss der BKS-Herstellungskosten auf den kumulierten Jahresüberschuss der Rekultivierung .....	33
Abbildung 21 Einfluss der Ertragssteigerungen auf den kumulierten Jahresüberschuss der Rekultivierung .....	33
Abbildung 22 Schema des Einsatzes von BKS auf Konversionsflächen .....	35
Abbildung 23 Einfluss der BKS-Gabe auf die Sanierungskosten .....	37
Abbildung 24 Einfluss der BKS- Herstellungskosten auf die Sanierungskosten.....	38
Abbildung 25 Einfluss der Sanierungstiefe auf die Sanierungskosten.....	38

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BK	Biokohle
BKS	Biokohlesubstrat
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz
EM	Effektive Mikroorganismen
FCF	Free Cash Flow
FuE	Forschung und Entwicklung
GF	Geschäftsfelder
HP	Herstellungsprozess
MKW	Mineralkohlenwasserstoffe
N-Düngung	Stickstoffdüngung
NPK-Düngung	mineralische Düngung mit Stickstoff, Phosphor und Kalium
P	Phosphor
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
K	Kalium
KUPs	Kurzumtriebsplantagen

# 1. FRAGESTELLUNG UND ÜBERBLICK

Im vorliegenden Arbeitspapier werden Geschäftsfelder zur Herstellung von Biokohlesubstrat (kurz: BKS) und zu möglichen Nachnutzungsoptionen analysiert. Nachdem die potentiellen Stoffströme (vgl. Eidner 2011, Flesch 2013) und Akteure (vgl. Schatz 2012) in den vorhergehenden Arbeitspaketen erfasst und analysiert sowie Gespräche zu Anwendungs- und Einsatzmöglichkeiten für Biokohlesubstrate in den Regionen geführt wurden, sollen durch die technische und wirtschaftliche Analyse (vgl. Krause 2014) der potentiellen Geschäftsfelder die Chancen für deren Anwendung im Vergleich zu den konventionellen Geschäftsfeldern ermittelt werden. Die Fragestellung ist dabei grundsätzlich für jedes spezifische und prototypische Geschäftsmodell, ob es sich betriebswirtschaftlich darstellen lässt (positiver Kapitalwert). Zur Klärung dieser Fragestellungen bedarf es eines Basismodells, das die wichtigsten Eigenschaften der Biokohle- und Biokohlesubstrat-Produktion mit monetären Kategorien abbildet. Dieses Basismodell wird folgend auf die spezifischen Geschäftsmodelle adaptiert.

## 1.1. VORGEHENSWEISE

Um die Geschäftsmodelle variabel darzustellen, ist ein Berechnungsmodell notwendig, das alle einzelnen Prozesse und die damit verbundenen Restriktionen und Entscheidungsfragen beinhaltet. Dabei muss zwischen der rein technischen Entscheidungsfindung mittels Beurteilung und Bewertung der verfügbaren Biomasse und der Auswahl der Produktionsverfahren sowie der rein betriebswirtschaftlichen Darstellung unterschieden werden. Allgemein ist festzustellen, dass es für die Verwertung der Biomassen (vgl. Eidner 2011) viele Möglichkeiten gibt, um die Geschäftsfelder und die Auswahl der Technologien (vgl. Rüdiger 2013) abzubilden, jedoch ist nicht jede technische Lösung betriebswirtschaftlich darstellbar.

## 1.2. BASISMODELL

Das verwendete Modell besteht entsprechend der Vielzahl möglicher Prozessschritte aus einzelnen Prozessmodulen. Diese können, je nach betrachtetem Geschäftsfeld, ergänzend eingefügt oder optional nicht berücksichtigt werden. Durch diesen Modellaufbau ist gewährleistet, dass das Modell für alle betrachteten Geschäftsfelder verwendet werden kann.

Bei der Handhabung des Modells muss zwischen verfahrenstechnischen Modulen und betriebswirtschaftlichen Modulen differenziert werden. Dabei liefern die verfahrenstechnischen Module immer das jeweilige Mengengerüst für die betriebswirtschaftliche Bewertung und für die Ermittlung entsprechender Herstellungskosten. Um diese Kombination zwischen Technik und Wirtschaft handhabbar zu machen, muss in einer Ein- und Ausgabemaske das jeweilige Modul, das in die Berechnung einfließt, (mittels VBA) aktiviert oder deaktiviert werden. Eine

Auswahl eines technischen Moduls bedingt dabei immer die automatische Auswahl eines betriebswirtschaftlichen Moduls. Die wichtigsten technischen und wirtschaftlichen Ergebnisse werden folgend in einem sogenannten META-Modul in dem Modell abgebildet. Dieses META-Modul beinhaltet eine Zusammenfassung der Kostenanalyse mit Amortisationszeiten und eine Sensitivitätsanalyse. Dabei unterstützt das Modul lediglich die Entscheidungsfindung für die Wahl von Geschäftsmodellen. Die Kalkulation übernimmt jedoch keinerlei Gewährleistung für konkrete Investitionsentscheidungen, da viele verfahrenstechnische und betriebswirtschaftliche Parameter für jede Untersuchung genauestens bekannt sein müssen. Die angestellten Untersuchungen basieren jedoch auf Annahmen, die der gängigen Praxis sehr nahe kommen können.

Die einzelnen Prozessschritte lassen sich in sieben Kategorien unterteilen. Beginnend mit der Bewertung der Biomassen, werden nach einer Berechnung des ersten Biomasse-Transports die Vorprozesse verfahrenstechnisch beurteilt und wirtschaftlich betrachtet. Dabei kann zwischen den Vorprozessen Trocknung, Zerkleinerung, Sortierung und Fermentierung unterschieden werden. Anschließend werden die Biomassen zur eigentlichen Produktionsstätte transportiert und einem primären und sekundären Prozess zugeführt. Als primärer Prozess werden die Kompostierung, die Biokohleproduktion, die organische Sorption (Vorbehandlung der Inputstoffe) sowie die Auskopplung von Strom- und Wärme aus dem Herstellungsprozess der Biokohle angesehen. Im nachfolgenden sekundären Prozess kann die Biokohle direkt vermarktet werden oder zusammen mit dem Kompost der Substratproduktion zugeführt werden. Weiter kann der Strom der BK-Anlagen (Ergänzung der Pyrolyse, Wirbelschichtvergaser oder Festbettvergaser) in das Verteilungsnetz und die Wärme in ein Nahwärmenetz eingespeist oder auch selbst verbraucht werden. Nachdem das Biokohlesubstrat erfolgreich erzeugt wurde, wird es für die jeweiligen Nachnutzungen konfektioniert und zum Bestimmungsort transportiert. Mögliche Nachnutzungen stellen dabei der Verkauf als Substrat am Herstellungs-ort oder im Baumarkt, die Verwendung zur Sanierung von kontaminierten Böden auf Konversionsflächen, die Nutzung zur Rekultivierung von Tagebaufolgelandschaften sowie die landwirtschaftliche Nutzung zur Erhöhung der Düngeneffizienz dar. In Abbildung 1 ist der beschriebene Aufbau des Gesamtmodells schematisch dargestellt (vgl. Krause 2014).

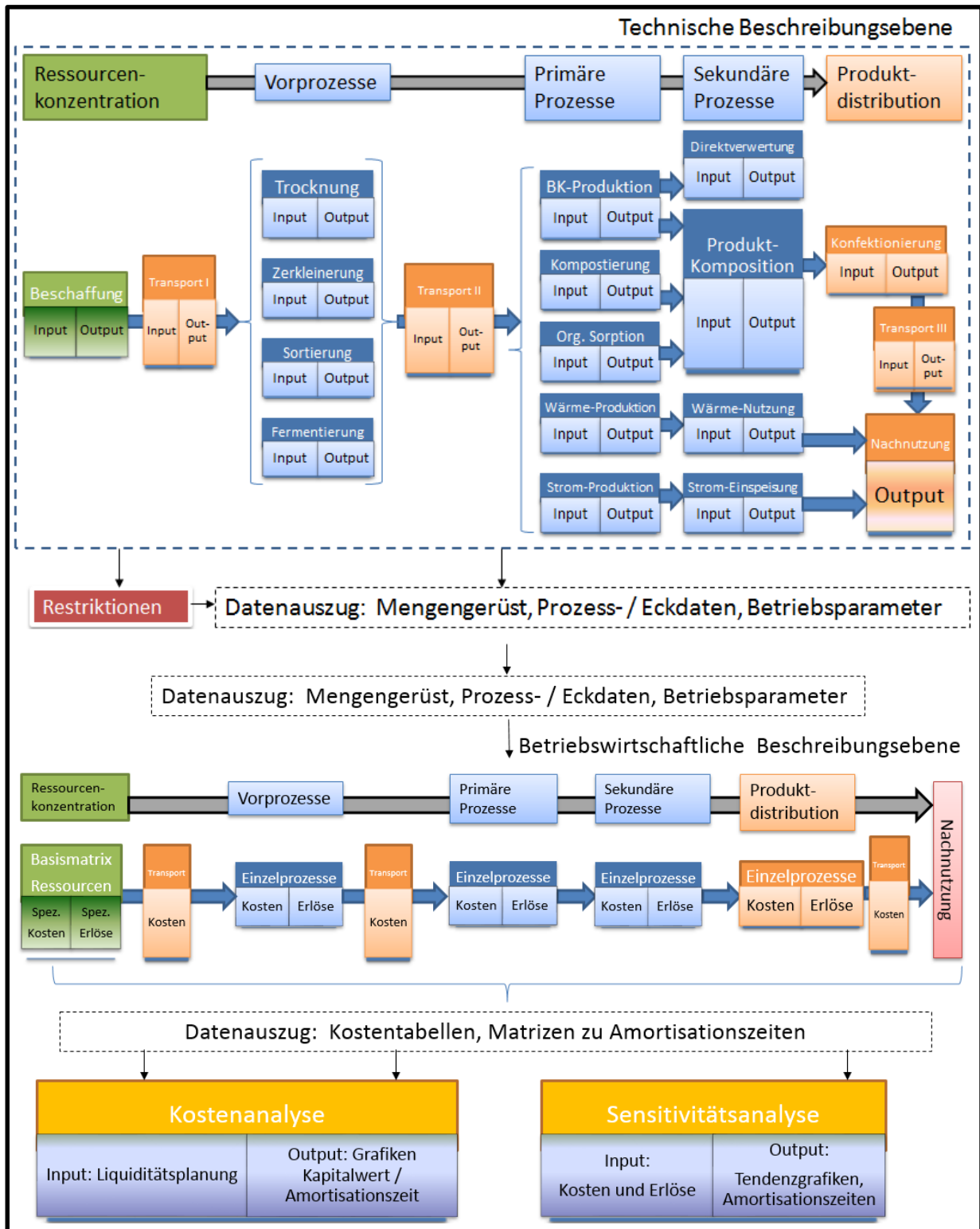


ABBILDUNG 1 DARSTELLUNG DER MODELLSTRUKTUR



## 2. GESCHÄFTSFELDDANALYSEN

Um die Geschäftsfelder vollständig zu erfassen, müssen die jeweiligen Rahmenbedingungen berücksichtigt und Biomassen entsprechend ihren Verwendungsmöglichkeiten zugeordnet werden. Dafür muss im Vorfeld die vorhandene Biomasse analysiert werden, um eine Verwendungsmöglichkeit und Technologiewahl für die Produktherstellung zu identifizieren (siehe Anhang A). In einem weiteren Schritt der Geschäftsfeldanalyse wird folgend zwischen verschiedenen Nachnutzungsoptionen zur Produktverwendung unterschieden. Entsprechend ergeben sich grundsätzlich zwei Kategorien von Geschäftsfeldern: Einerseits solche der Produktherstellung oder -herkunft und andererseits solche der Produktverwendung. Im folgenden Abschnitt wird auf die unterschiedlichen Differenzierungen eingegangen.

### 2.1. MÖGLICHE GESCHÄFTSMODELLE IM ÜBERBLICK

Für die Verwendung von Biomassen kommen, wie im Kapitel 1.2 bereits angedeutet, mehrere Produktionsverfahren in Frage. Diese Möglichkeiten werden durch die Qualität und Eigenschaften der Biomassen sehr stark limitiert. Im Allgemeinen sind jedoch in jeder der Untersuchungsregionen (Teltow-Fläming, Niederlausitz) genügend freie Biomassen vorhanden, um diese in ein Geschäftsmodell zur Herstellung von Biokohlesubstrat zu integrieren. Ausschlaggebend ist dabei jeweils das Produktionsziel. Nachfolgend werden die zu betrachtenden Herstellungsprozesse (im folgendem mit HP abgekürzt, Tabelle 1) und die sich daraus ergebenden Geschäftsfelder zur Nachnutzung (im folgendem mit GF abgekürzt, Tabelle 2) tabellarisch aufgelistet.

TABELLE 1 ÜBERBLICK DER HERSTELLUNGSPROZESSE

Prozesse der Produktherstellung	Kapitel
HP 1: Herstellung von Biokohle	2.2.1
HP 2: ergänzend zu HP 1 – Auskopplung von Strom und Wärme	2.2.2
HP 3: Herstellung von Biokohlesubstrat	2.2.3

Die Ermittlung von Spannen der Herstellungskosten in den Herstellungsprozessen 1-3 bildet die Grundlage für die Analyse von Möglichkeiten der Nachnutzung. Dabei fließen die Maximalkosten der Herstellung als Worst Case und die Minimalkosten der Herstellung der Produkte als Best Case in die nachfolgenden Berechnungen der Nachnutzung ein. Außerdem soll auch der Zukauf von Biokohle oder von Biokohlesubstrat für die Geschäftsfelder der Nachnutzung als Option betrachtet werden. Die unterschiedlichen Betrachtungsvarianten der Prozesse der Produktherstellung sind in der Abbildung 2 dargestellt.

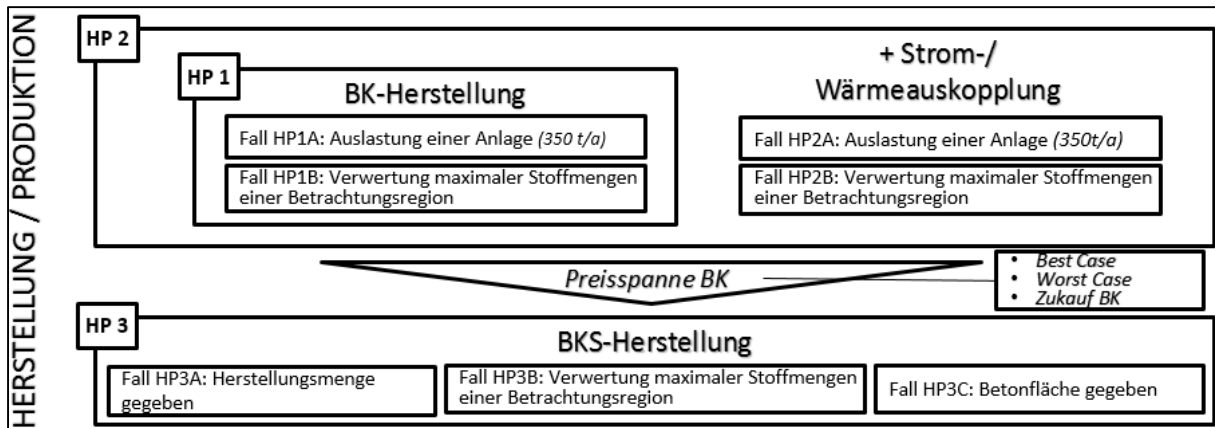


ABBILDUNG 2 BERECHNUNGSSCHRITTE DER PRODUKTERSTELLUNG

Bei der Betrachtung der Herstellung von Biokohle kann zwischen unterschiedlichen Szenarien unterschieden werden. Die Biokohle kann durch eine Technologie, die auf die reine BK-Herstellung ausgelegt ist, erzeugt werden, aber auch durch eine Technologie, bei der zusätzlich noch Strom und Wärme ausgekoppelt werden kann. Durch die Betrachtung dieser beiden Optionen können unterschiedliche Herstellungskosten für Biokohle ermittelt werden. Mit dieser Kostenspanne kann nachfolgend die Herstellung von BKS simuliert und an die Limitierung eines Parameters (Herstellmenge, Stoffmenge, Produktionsfläche) angepasst werden.

TABELLE 2 ÜBERBLICK DER GESCHÄFTSFELDER DER NACHNUTZUNG

Geschäftsfelder der Nachnutzung	Kapitel
GF 1: Verkauf von Biokohle	2.3.1
GF 2: Verkauf von Biokohlesubstrat	2.3.2
GF 3: Landwirtschaftliche Nutzung	2.3.3
GF 4: Rekultivierung	2.3.4
GF 5: Sanierung kontaminierter Böden	2.3.5

Für einzelne Anwendungsgebiete gibt es bei einzelnen Unternehmen, mit denen Gespräche geführt wurden, Nutzungsinteressen (Schatz 2012). In den folgenden Abschnitten werden deshalb die Einsatzmöglichkeiten der Geschäftsfelder direkt einer Region zugeordnet und mit den regionalen Gegebenheiten kalkuliert und simuliert.

Neben der Variation der Kostenspanne für Biokohle und Biokohlesubstrat, sollen innerhalb der Nutzungsmöglichkeiten in einer Fallunterscheidung verschiedene limitierende Faktoren betrachtet werden (siehe Abbildung 3). Eine weitere Variation unterschiedlicher Geschäftsfelder ist durchaus vorstellbar und wird mittels Variation der Rahmendaten der Geschäftsfelder und der ergänzenden Sensitivitätsanalyse abgebildet.

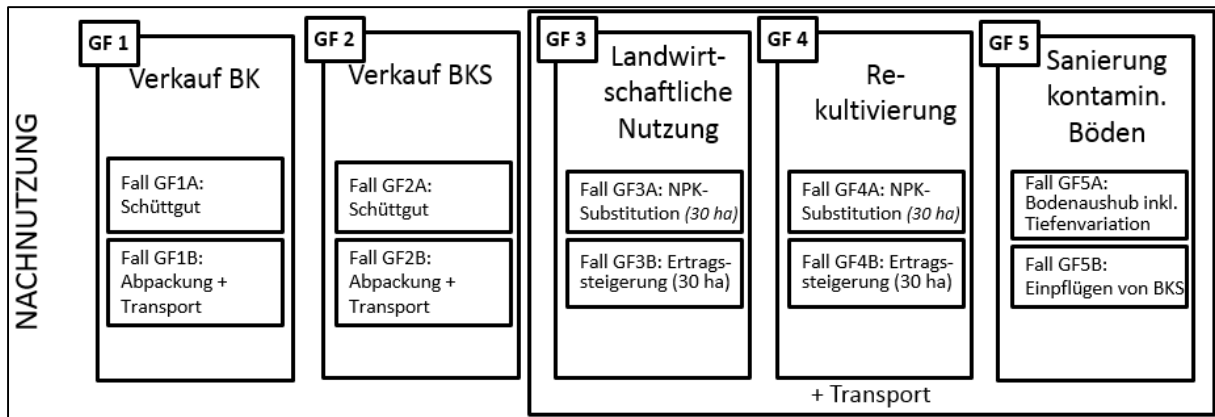


ABBILDUNG 3 VARIATION DER NUTZUNGSPFADE

## 2.2. PROZESSE DER PRODUKTHERSTELLUNG

Wie in Tabelle 1 angedeutet, wird in dieser Analyse die Herstellung von Biokohle und von Biokohlesubstrat betrachtet. Die Herstellung von Biokohle kann zusätzlich durch die Prozesse der Strom- und Wärmeauskopplung ergänzt werden. Nachfolgend wird auf die Charakterisierung und die schematische Darstellung der einzelnen Prozesse eingegangen.

### 2.2.1. HERSTELLUNG VON BIOKOHLE

#### VISUALISIERUNG DES HERSTELLUNGSPROZESSES

In Abbildung 4 ist der Prozess der Herstellung von Biokohle vereinfacht dargestellt. Dabei bezieht ein Hersteller von Biokohle geeignete Inputstoffe aus der Region, verwertet diese und verkauft im einfachsten Verfahren die Biokohle als Erzeugnis. Die gelieferte Biomasse muss dabei eine auf die Technologie abgestimmte Qualität besitzen. Auf die Wirtschaftlichkeit des Prozessschrittes „Herstellung von Biokohle“ wird im Kapitel 2.3.1 genauer eingegangen.

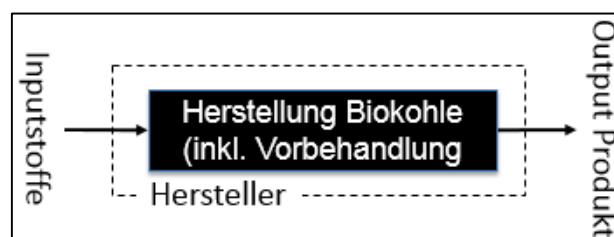


ABBILDUNG 4 SCHEMA DER HERSTELLUNG VON BIOKOHLE

Zur Simulation werden die folgenden Qualitäten für trockene ligninhaltige Biomassen grob unterschieden (für genauere Mengen und Differenzierungen siehe Anhang A):

- Biomasse für thermische Verwertung, Vergasung **und** Pyrolyse geeignet
- Biomasse für thermische Verwertung, nur Pyrolyse geeignet
- Biomasse **nicht** für thermische Verwertung, nur als Strukturmaterial geeignet.

Zur Simulation können die jeweiligen Anteile der Biomassekategorien vorgegeben werden. Die entsprechende Unterscheidung real auftretender Biomassen in einer Region kann anhand der

in Anhang A beigefügten Parameterliste, die physikalisch-chemische Eigenschaften wie den Heizwert und den Wasser- bzw. Fremdstoffgehalt der Biomasse enthält, getroffen werden. Dabei sollte mit dem Technologiehersteller Rücksprache gehalten werden.

Biomassen für thermische Verwertung sind als Inputstoffe für den BK-Herstellungsprozess geeignet.

### **CHARAKTERISIERUNG DES HERSTELLUNGSPROZESSES**

Eine erste Möglichkeit die Biomassen einer Region mit hohem Ligningehalt zu verwerten ist die Verarbeitung zu Biokohle. Dabei muss zwischen unterschiedlichen Herstellungsoptionen und -technologien unterschieden werden. In der vorliegenden Analyse werden die Herstellungsverfahren Pyrolyse, Wirbelschichtvergasung und Festbettvergasung betrachtet. Diese Auswahl soll die technologische Vielfalt zur Herstellung von Biokohle andeuten. Dabei werden eher zentral bzw. eher dezentral einsatzfähige Technologiekombinationen, die sich für bestimmte Mengengerüste herauskristallisieren, gegenüber gestellt. Die Pyrolyse ist eine relativ neue dezentrale Technologie mit reiner Biokohleerzeugung, bei der zusätzlich Abwärme entsteht, und die Wirbelschichtvergasung ist eine relativ zentrale Technologie mit Hauptaugenmerk auf Vergasung zur Erzeugung von Strom und Wärme. Die Festbettvergasung ist eine dezentrale und sehr weit verbreitete Technologie. Darüber hinaus existieren viele weitere Technologien. Der Verfahrensprozess selbst unterliegt dabei hohen technischen Restriktionen. Die Wahl der Technologie ist immer von der zu verwertenden Biomasse abhängig. Da der Fixkostenanteil der Biokohleherstellung hoch ist, stellen die Vollbenutzungsstunden zur Herstellung von Biokohle bei diesem Geschäftsfeld einen entscheidenden Faktor zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit dar. Um niedrige Stückkosten (€/t) zu generieren ist ein hoher Durchsatz von Biomasse und dementsprechend auch deren Verfügbarkeit eine wichtige Voraussetzung. Demgegenüber scheint das Geschäftsfeld sehr lukrativ zu sein, da sich aktuell zertifizierte und hochwertige Biokohle in einem hochpreisigen Marktsegment befindet.

Die Prozesse werden aus Vereinfachungsgründen typisiert. Die Qualität der Biomassen wird deshalb als geeignet eingestuft. Bei der Bewertung der Technologien wird i. d. R. davon ausgegangen, dass jeweils eine komplette Anlage für 7.000 h (Wartungszyklen führen zur Abweichung von einem Dauerbetrieb von 8.760 Stunden pro Jahr) im Jahr ausgelastet werden kann. Die saisonal anfallenden Biomassen werden bis zur Verwertung in einem Zwischenlager aufbewahrt. Weiterhin wird zwischen Biomassen unterschieden, die vorbehandelt werden müssen oder nicht. Als Option können bei Bedarf verschiedene thermische und mechanische Vorprozesse (z.B. Vortrocknung, Zerkleinerung, Siebung) zugeschaltet werden, die in der typisierten Berechnung aus Gründen der Vergleichbarkeit keine Berücksichtigung finden. Auch der Einfluss unterschiedlicher Transportentfernungen auf die Wirtschaftlichkeit wird untersucht. Als Betriebsstundenzahlen für die BK-Herstellung konnten lediglich die Herstellerangaben er-

mittelt und zugrunde gelegt werden, die in der Regel optimistischer sind als die konservative-  
ren Angaben der Betreiber. Für eine vergleichende Modellbetrachtung ist diese Annahme hin-  
reichend. Bei Auslegungsrechnungen sollten die Angaben der Betreiber jeweils ähnlicher An-  
lagen zu Rate gezogen werden.

## 2.2.2. AUSKOPPLUNG VON WÄRME UND STROM

### VISUALISIERUNG DES HERSTELLUNGSPROZESSES

Die nachfolgende Abbildung 5 verdeutlicht schematisch eine Ergänzung der Herstellung von  
Biokohle um den Prozessschritt der Strom- und Wärmeauskopplung.

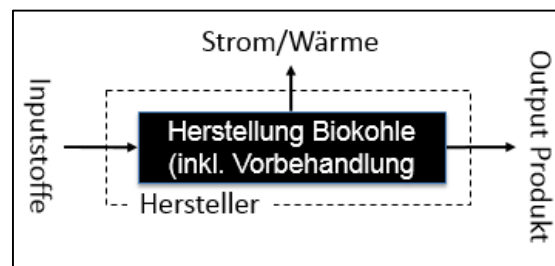


ABBILDUNG 5 SCHEMA DER HERSTELLUNG VON BIOKOHLE MIT STROM- UND WÄRMEAUSKOPPLUNG

Der Hersteller besitzt bei dieser Prozesswahl die Möglichkeit die Herstellung entweder auf  
Synthesegas zu fokussieren oder primär Biokohle herzustellen. Meist steht bei dieser Ergän-  
zung die Energiegewinnung aus der Biomasse und die Umwandlung in Strom oder Wärme im  
Vordergrund und die Biokohle ist ein Nebenprodukt dieser Verwertung der Biomassen. Die  
dabei erzeugte Energie kann entsprechend der Vorgaben des aktuellen Erneuerbare-Ener-  
gien-Gesetzes (kurz: EEG) von 2012 entsprechend in das öffentliche Stromnetz eingespeist  
und vergütet werden. Durch die Verschiebung der Verwertungsprioritäten der Biomassen auf  
die Energiegewinnung sind Einschränkungen bei der Wahl der zu verwertenden Biomassen  
erforderlich, da nur unter konstant gehaltenen Bedingungen die Qualität des erzeugten Syn-  
thesegases sichergestellt werden kann. Soll zusätzlich das Nebenprodukt Biokohle verkauft  
werden, müssen technologische Einschränkungen bei der Erzeugung des Synthesegases vor-  
genommen werden, um die Qualität der Biokohle zur weiteren Verwendung zu gewährleisten.  
Grundsätzlich ist die Biokohlequalität innerhalb der hier betrachtenden Verfahren invariant  
(Ronsse, 2013). Auf Grund der Vielfalt der Technologien und Anwendungsfälle ist dies im Re-  
alfall aber unbedingt mit dem Technologieherstellern und Betreibern zu klären, da noch nicht  
alle hier betrachteten Technologieoptionen marktfähig sind.

### CHARAKTERISIERUNG DES HERSTELLUNGSPROZESSES

Bei einem ergänzenden Prozessschritt für die Verwertung ligninhaltiger Biomassen zur Her-  
stellung von Biokohle wird die bisherige Technologiewahl um die Auskopplung von Strom  
oder/und Wärme ergänzt, um neue Erlöspfade zu ermöglichen.

### 2.2.3. HERSTELLUNG VON BIOKOHLESUBSTRAT

#### VISUALISIERUNG DES HERSTELLUNGSPROZESSES

In Abbildung 6 ist schematisch die Herstellung von Biokohlesubstrat dargestellt. Um Biokohlesubstrat herzustellen werden sowohl Biokohle, als auch feuchte Biomassen benötigt. Weiter ist auch die Verwendung von Mineralen, wie Bentonit oder Kalk, Strukturmaterial und unter Umständen auch die Zugabe von Multi-Mikroben-Präparaten erforderlich. Diese „Zusatzstoffe“ zur Herstellung von BKS sind in den Schemata nicht dargestellt. Sie sind in den Abbildungen jedoch im Inputstoff „feuchte Biomassen“ enthalten.

Im ersten Schritt wird die Biomasse zerkleinert und getrocknet. Nachfolgend rotet die Biomasse unter Zumischung von Mikroorganismen abgedeckt zu einem Frischekompost vor, bevor die Biokohle und die Minerale beigemischt werden. Danach wird eine kontrollierte Intensivrotte mit regelmäßiger Wendung durch einen Kompostwender oder Radlader durchgeführt. Ist die Intensivrotte beendet, kann die gewünschte Konfektionierung (Abpackung, Schüttgut) vorgenommen werden.

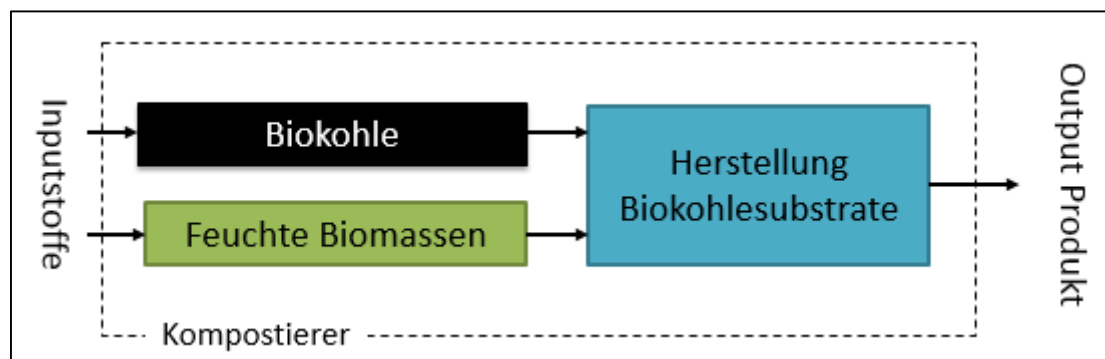


ABBILDUNG 6 SCHEMA DER HERSTELLUNG VON BKS

Um im Vorfeld Entscheidungen über die Produktionsmengen von BKS zu treffen, müssen drei Faktoren berücksichtigt werden, die stark limitierend auf die Gesamtproduktionsmenge wirken können: Die Menge der zur Verfügung stehenden Biomasse, die gewünschte Outputmenge und die gegebene Größe der Betonfläche, die als Arbeitsfläche zum Anordnen der Kompostmieten oder als Lagerfläche benötigt wird. Größere Flächen müssen mit einer Sickerwasseranlage zum Auffangen des Regenwassers versehen werden, damit das Wasser nicht unkontrolliert in das Grundwasser gelangt. Es besteht immer die Möglichkeit die Menge der zu verwendenden Biomassen als limitierenden Faktor zu bestimmen. Dabei müssen die Qualitäten und Eignungspotentiale genauer betrachtet werden. Im zweiten Schritt kann bestimmt werden, welche Produktionsmenge erstrebenswert ist. Nicht immer ist die Verwertung aller verfügbaren und geeigneten Biomassen wünschenswert, da Biomassen saisonal stark schwankend verfügbar sind (siehe Eidner 2012). Im dritten Schritt kann auch das Platzangebot für die Produktion von BKS, wie z. B. die Größe des Grundstücks oder die Größe einer vorhandenen Betonfläche limitierend wirken.

Neben diesen drei Faktoren ist auch die Herkunft der Biokohle ein entscheidender Parameter, der einen erheblichen Kostenanteil bei der Herstellung von BKS hat. Der Volumenanteil der Biokohle in den nachfolgend durchgeführten Betrachtungen beträgt immer 15% im fertigen Biokohlesubstrat. Bei einer BKS-Produktionsmenge von z.B. 7.500 m<sup>3</sup> (~3.400 t) ist der Betrieb einer Anlage zur Herstellung von Biokohle mit einer Jahresproduktionsmenge von 800m<sup>3</sup> (~350 t) zu favorisieren. Dabei entstehen weitere Investitionen und Betriebskosten, die die Kosten für Biokohle jedoch wesentlich senken können. Sollen jedoch nur z.B. 1.500 m<sup>3</sup> (~700 t) BKS hergestellt werden, ist der Zukauf der dafür erforderlichen 225 m<sup>3</sup> (~100 t) besser geeignet, wenn kein ergänzender Verkauf überschüssiger Biokohle angedacht ist. Die hier genannten Zahlen sind pauschal gewählt und sollen lediglich den Prüfungsansatz der Herkunft der Biokohle verdeutlichen.

### **CHARAKTERISIERUNG DES HERSTELLUNGSPROZESSES**

Nachdem in den vorhergehenden beiden Prozessen die Verwertung von ligninhaltigen Biomassen zur Herstellung von Biokohle im Vordergrund stand, werden im folgenden Abschnitt Prozess die feuchten Biomassen betrachtet. Diese Biomassen eignen sich unter Umständen für die Herstellung eines weiteren Produktes, dem Biokohlesubstrat.

## **2.3. GESCHÄFTSFELDER UND NACHNUTZUNGSMÖGLICHKEITEN**

Nachfolgend wird eine Auswahl relevanter Geschäftsfelder der einzelnen Regionen vorgestellt. Dabei werden die Berechnungsschritte des Basismodells (siehe 1.2) für die jeweiligen Anwendungsmöglichkeiten variiert. Im Vorfeld sind Szenarien (günstigster und ungünstigster Fall) für Herstellungskosten von Biokohle und BKS ermittelt worden, um diese Kosten mit dem Marktpreis vergleichen zu können. Die Marktpreise stammen sowohl aus der Untersuchungsregion Lausitz, als auch aus dem Internet. Im Anschluss wird die Sensitivität der einzelnen Geschäftsfelder bei Variation von Biomasse-, Biokohle- und BKS-Verkaufspreis ergänzt, um strategische Empfehlungen herauszuarbeiten. Die Kalkulationsgrundlagen des Basismodells sind im Anhang A bis Anhang E? hinterlegt.

### **2.3.1. VERKAUF VON BIOKOHLE**

#### **MARKTANALYSE: VERKAUFSPREISE VON BIOKOHLE AM MARKT**

Um einen realistischen Erlös für das Geschäftsfeld Biokohle-Verkauf zu kalkulieren, wird nachfolgend ein Vergleich mit den Marktpreisen ähnlicher Produkte angestellt. Dabei wird am Markt klar unterschieden zwischen zertifizierter und nicht-zertifizierter Biokohle. Eine Zertifizierung der Kohle erfolgt nach den Richtlinien des Europäischen Biochar-Zertifikats (Ronsse 2013), um Qualitätsstandards für die erzeugte Biokohle zu gewährleisten (vgl. Schatz 2012). Der Markt ist sowohl für zertifizierte als auch für nicht-zertifizierte Biokohle vorhanden und es gibt verschiedene Akteure, die Biokohle im Internetvertrieb anbieten. Zusammenfassend werden



ausgewählte Unternehmen vorgestellt, die nicht-zertifizierte (siehe Tabelle 3) und zertifizierte Bio-/Pflanzenkohle (siehe Tabelle 4) anbieten (vgl. Tränkner 2014).

TABELLE 3 ÜBERSICHT DER ANGEBOTE VON NICHT-ZERTIFIZIERTEN PFLANZENKOHLEN

Vertrieb/Produkt	Menge in l	Preis	Preis/l
Susterra Pflanzenkohle - Nachhaltig Pflanzen Philipp Ludwig und Torsten Purle GbR (Dessau)	1	1,89 €	1,89 €
	5	6,29 €	1,26 €
	10	9,99 €	1,00 €
	50	39,95 €	0,80 €
Christoph Fischer GmbH (Söchtenau / Haid) - Pflanzenkohle pur (feine Körnung 1-10 mm, ca. 17-18% Feuchtigkeit)	1.100	300,00 €	0,27 €
	1.800	490,00 €	0,27 €
EM-Sachsen GbR (Hainichen) - Pflanzenkohle Terra	40	24,90 €	0,62 €
Verora GmbH (Edlibach/CH) - Pflanzenkohle feucht	30	21,28 €	0,71 €
SONNENERDE Gerald Dunst Kulturerden GmbH (Österreich) (Preis mit 20% MwSt, umgerechnet auf 19 %) - Pflanzenkohle	30	16,36 €	0,55 €
minimaler Marktpreis			0,27 €
maximaler Marktpreis			1,89 €
<b>Durchschnittlicher Marktpreis (ohne Zertifizierung)</b>			<b>0,85 €</b>

TABELLE 4 ÜBERSICHT DER ANGEBOTE VON ZERTIFIZIERTEN PFLANZENKOHLEN

Vertrieb/Produkt	Menge in l	Preis	Preis/l
BHKW Wilhelm und Herta Jäger GbR (zertifiziert) (Nottuln) - grobe Pflanzenkohle	1	4,90 €	4,90 €
	3	7,90 €	3,16 €
	10	12,90 €	1,29 €
	40	44,00 €	1,10 €
	500	239,00 €	0,48 €
	1.000	399,00 €	0,40 €
BHKW Wilhelm und Herta Jäger GbR (zertifiziert) (Nottuln) - gemahlene Pflanzenkohle	1	6,90 €	6,90 €
	3	9,90 €	3,96 €
	10	14,90 €	1,49 €
	40	55,90 €	1,40 €
	500	319,00 €	0,64 €
	1.000	550,00 €	0,55 €
Swiss Biochar (Belmont-sur-Lausanne/CH)(Preis in Franken, umgerechnet in € nach Wechselkurs am 26.02.2014) - Pflanzenkohle (Biochar Certificate zertifiziert)	240	191,87 €	0,80 €
	960	483,77 €	0,50 €
Verora GmbH (Edlibach/CH) - Pflanzenkohle feucht (Biochar Certificate zertifiziert)	1.300	324,05 €	0,25 €
minimaler Marktpreis			0,21 €
maximaler Marktpreis			6,90 €
<b>Durchschnittlicher Marktpreis (mit Zertifizierung)</b>			<b>1,60 €</b>



Die Preisspanne für nicht-zertifizierte Pflanzenkohlen reicht von 0,27€ bis 1,89€ je Liter, bei einem durchschnittlichen Marktpreis von 0,85€ je Liter. Die Preisspanne von zertifizierte Pflanzenkohle reicht von 0,21 bis 6,90 € je Liter, bei einem durchschnittlichen Marktpreis von 1,60 € je Liter.

Da von der Herstellung einer hochwertigen und damit in Zertifizierungsqualität hergestellten Biokohle ausgegangen wird, werden dementsprechend die Preise der zertifizierten Biokohle als Vergleichswert genommen.

#### **KOSTENANALYSE BEI BETRACHTUNG VERSCHIEDENER SZENARIEN**

Für die Herstellung von Biokohle stehen unterschiedliche technische Optionen zur Verfügung. Um diese Optionen vergleichbar machen zu können, müssen grundlegende Annahmen für die Mengengerüste der Biomassen und deren Qualität vorgenommen werden. Nachfolgend werden die Szenarien kurz aufgelistet. Eine genauere Beschreibung und Analyse der Szenarien können der dazugehörigen Kurzstudie (Rüdiger 2013) entnommen werden. Die in dieser Betrachtung aufgeführten Szenarien sind für den reinen BK-Verkauf simuliert worden, sodass die Produktion und der Verkauf von BKS nicht weiter betrachtet wird (siehe Anhang C).

- Szenario 0: reine Pyrolyse-Anlage
- Szenario 1: Pyrolyse-Anlage in Kombination mit zentralem Festbettvergaser
- Szenario 2: Pyrolyse-Anlage in Kombination mit dezentralem Festbettvergaser
- Szenario 3: Wirbelschichtvergaser mit Synthesegas-BHKW
- Szenario 4: Pyrolyse-Anlage und Klein-Festbettvergaser

Weiter werden Varianten der Verfügbarkeit einer Betonfläche unterschieden.

- Variante 1: Nutzung einer vorhandenen Betonfläche
- Variante 2: Neubau einer Kompostfläche
- Variante 3: Miete einer Betonfläche

Die Mengengerüste der Biomassen, die für die Berechnungen betrachtet werden, unterscheiden sich insofern, als zwischen einem realistischen Szenario für die komplette Betrachtungsregion, einem optimalen Szenario (Anpassung der Stoffströme auf Anlagentypen) und einem hypothetischen (Auslastung einer Anlage) unterschieden werden kann (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) . Dabei wird simuliert, dass für das realistische Szenario relativ wenig qualitativ gute Biomassen, die auch für die Vergasung geeignet sind, und relativ viel Pyrolyse-geeignete (qualitativ weniger gute) Biomassen vorhanden sind. Beim optimalen Szenario sind relativ viel qualitativ gute Biomassen und relativ wenig qualitativ weniger gute Biomassen vorhanden. Im hypothetischen Szenario wird lediglich die Auslastung einer Anlage betrachtet und die Eignungseinstufung der Biomassen wird nicht weiter betrachtet.

TABELLE 5 INPUT-/MENGENGERÜSTE DER SZENARIEN

Biomasseverwendung/ -eignung	Biomasse X	Biomasse Y	Biomasse Z
Realistisches Szenario	1.850 t/a	6.547 t/a	4.084 t/a
Optimales Szenario	7.487 t/a	910 t/a	4.084 t/a
Hypothetisches Szenario	432 t/a	432 t/a	11.137 t/a

Durch diese Differenzierung können unterschiedlichste Rahmenbedingungen simuliert werden. Die Tabellen 6 bis 8 stellen dabei die simulierten Herstellungskosten der Biokohleproduktion gegenüber. Bei leeren Feldern übersteigen die Herstellungskosten den ermittelten maximalen Marktpreis von 6,90 €/l (siehe Tabelle 4). Zusätzlich werden auch die Herstellungskosten bei unterschiedlichen Benutzungsstunden gegenübergestellt.

Dabei wird schnell ersichtlich, wie stark der Einfluss von Benutzungsstunden auf die Herstellungskosten wirkt und wie groß die Anforderungen an die zur Verfügung stehenden Biomassen sind. Die Herstellungskosten (bei Betrachtung von Technologien mit Herstellungskosten unter dem maximalen Marktpreis) variieren zwischen 0,27 €/l (Tabelle 6 – Szenario 0 - Pyrolyse, vorhandene Betonfläche, Benutzungsstunden 7.000 h) und 6,28 €/l (Tabelle 7 – Szenario 4 – Pyrolyse und Kleinfestbettvergaser, Miete Betonfläche, Benutzungsstunden 4.000 h). Diese Spanne der Herstellungskosten wird erreicht, wenn keine Strom- und Wärmeauskopplung sondern eine reine Produktion der Biokohle betrachtet wird.

TABELLE 6 HERSTELLUNGSKOSTEN BIOKOHLE - REALISTISCHES MENGENGERÜST

Prozess	Szenario	Variante	Benutzungsstunden		
			7.000 h	4.000 h	1.500 h
realistisches Mengengerüst	0	1	0,2741 €/l	0,5346 €/l	2,9097 €/l
		2	0,2750 €/l	0,5355 €/l	2,9106 €/l
		3	0,2871 €/l	0,5603 €/l	3,0533 €/l
	1	1	0,3479 €/l	0,3843 €/l	0,8874 €/l
		2	0,3488 €/l	0,3848 €/l	0,8433 €/l
		3	0,3614 €/l	0,4023 €/l	0,8847 €/l
	2	1	0,3479 €/l	0,4293 €/l	0,8874 €/l
		2	0,3488 €/l	0,3848 €/l	0,8433 €/l
		3	0,3645 €/l	0,4023 €/l	0,8847 €/l
	3	1	0,9419 €/l	1,7586 €/l	
		2	0,9441 €/l	1,7609 €/l	
		3	0,9563 €/l	1,7861 €/l	
	4	1	0,4167 €/l	0,5270 €/l	1,0517 €/l
		2	0,4176 €/l	0,5279 €/l	1,0526 €/l
		3	0,4388 €/l	0,5562 €/l	1,1156 €/l

TABELLE 7 HERSTELLUNGSKOSTEN BIOKOHLE - OPTIMALES MENGENGERÜST

Prozess	Szenario	Variante	Benutzungsstunden		
			7.000 h	4.000 h	1.500 h
optimales Mengengerüst	0	1	0,2741 €/l	0,5319 €/l	2,9075 €/l
		2	0,2750 €/l	0,5328 €/l	2,9084 €/l
		3	0,2871 €/l	0,5580 €/l	3,0510 €/l
	1	1	1,5012 €/l	2,8355 €/l	
		2	1,5071 €/l	2,8413 €/l	
		3	1,5719 €/l	2,9754 €/l	
	2	1	1,5012 €/l	2,8359 €/l	
		2	1,5071 €/l	2,8413 €/l	
		3	1,5723 €/l	2,9754 €/l	
	3	1	1,2155 €/l	1,7586 €/l	
		2	1,2240 €/l	1,7609 €/l	
		3	1,2299 €/l	1,7861 €/l	
	4	1	3,4412 €/l	5,9148 €/l	
		2	3,4470 €/l	5,9207 €/l	
		3	3,4605 €/l	6,2843 €/l	

TABELLE 8 HERSTELLUNGSKOSTEN BIOKOHLE - HYPOTHETISCHES MENGENGERÜST

Prozess	Szenario	Variante	Benutzungsstunden		
			7.000 h	4.000 h	1.500 h
hypothetisches Mengengerüst	0	1	0,3375 €/l	0,6674 €/l	3,0587 €/l
		2	0,3452 €/l	0,6822 €/l	3,0753 €/l
		3	0,3506 €/l	0,6935 €/l	3,2027 €/l
	1	1			
		2			
		3			
	2	1			
		2			
		3			
	3	1	0,9419 €/l	2,3792 €/l	
		2	0,9441 €/l	2,3954 €/l	
		3	0,9563 €/l	2,4071 €/l	
	4	1			
		2			
		3			

Für die zusätzliche Betrachtung der Strom- und Wärmeauskopplung (Tabelle 9) werden Szenario 0 – Pyrolyse und Szenario 3 – Wirbelschichtvergaser mit Synthesegas-BHKW miteinander verglichen. Bei den anderen beiden Szenarien ist eine Strom- und Wärmeauskopplung technisch nicht möglich. Es werden die Herstellungskosten bei Auslastung einer Anlage mit unterschiedlichen Benutzungsstunden und bei maximaler Nutzung der Biomassen der Untersuchungsregion Uebigau-Wahrenbrück miteinander verglichen, um Potentiale der Strom- und Wärmeauskopplung in Abhängigkeit der Technologiewahl zu verdeutlichen. Die Region Uebigau-Wahrenbrück wurde als Beispielregion gewählt, da hier die Gespräche mit den Akteuren in Richtung Biokohleproduktion tendierten. In den anderen Regionen wurde die Herstellung von BKS favorisiert.

TABELLE 9 AUSGEWÄHLTE HERSTELLUNGSKOSTEN BIOKOHLE MIT STROM- UND WÄRMEAUSKOPPLUNG

Prozess Szenario Variante			Benutzungsstunden		
			7.000 h	4.000 h	1.500 h
Auslastung einer Anlage	0	1	0,3618 €/l	0,7137 €/l	3,0920 €/l
		2	0,3695 €/l	0,7286 €/l	3,1082 €/l
		3	0,3749 €/l	0,7394 €/l	3,2351 €/l
	3	1	0,1638 €/l	1,0319 €/l	8,5212 €/l
		2	0,1679 €/l	1,0368 €/l	8,5289 €/l
		3	0,1778 €/l	1,0593 €/l	8,6756 €/l
maximale Biomassenutzung	0	1	0,2898 €/l	0,5526 €/l	2,9223 €/l
		2	0,2925 €/l	0,5558 €/l	2,9255 €/l
		3	0,3029 €/l	0,5787 €/l	3,0663 €/l
	3	1	0,3767 €/l	1,5647 €/l	10,3374 €/l
		2	0,3843 €/l	1,5804 €/l	10,3824 €/l
		3	0,3906 €/l	1,5921 €/l	10,4918 €/l

Die Kosten in Szenario 0 steigen durch die Strom- und Wärmeauskopplung an. Dahingegen können die Herstellungskosten von Biokohle durch Strom- und Wärmeauskopplung bei Szenario 3 unter der Annahme gleicher Stoffmengen gesenkt werden. Durch diesen Vergleich wird deutlich, dass die ergänzende Strom- und Wärmeauskopplung nicht für jede Technologie als Option in Frage kommt. Gleichzeitig ist sehr gut zu erkennen, wie sehr die Kosten dann von der Auslastung der Anlage abhängen, da die Produktion von Synthesegas zur Verstromung im Vordergrund stehen und die Biokohle lediglich als Reststoff der Verwertung der Biomassen übrig bleibt.

Anzumerken ist, dass die Qualität der Biokohlen in den gesamten Berechnungen nicht vollständig simuliert werden kann, sodass neben der Untersuchung der Inputbiomassen auch noch eine Qualitätssicherung der Biokohlen durchgeführt werden muss.

#### SENSITIVITÄT DER AMORTISATION IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERKAUFSPREIS UND DER VOLLBENUTZUNGSSTUNDEN

Nachfolgend wird zusätzlich untersucht, welchen Einfluss die Parameter Kosten für die Biomasse (Abbildung 7) und Biokohleverkaufspreis (Abbildung 8) auf die Amortisationszeiten haben. Ziel dieser Untersuchung ist es zusätzliche Einsatzchancen aufzuzeigen, wenn sich die Rahmenbedingungen ändern. Positive Kosten der Biomasse sind mit einer Annahmegebühr gleichzusetzen. Der Abgebende muss Geld dafür bezahlen, dass er seine Biomasse abgibt. Dahingegen sind negative Kosten als Kaufpreis für Biomassen zu verstehen, d.h. der Annehmende bezahlt Geld dafür, dass er die Biomassen bekommt.

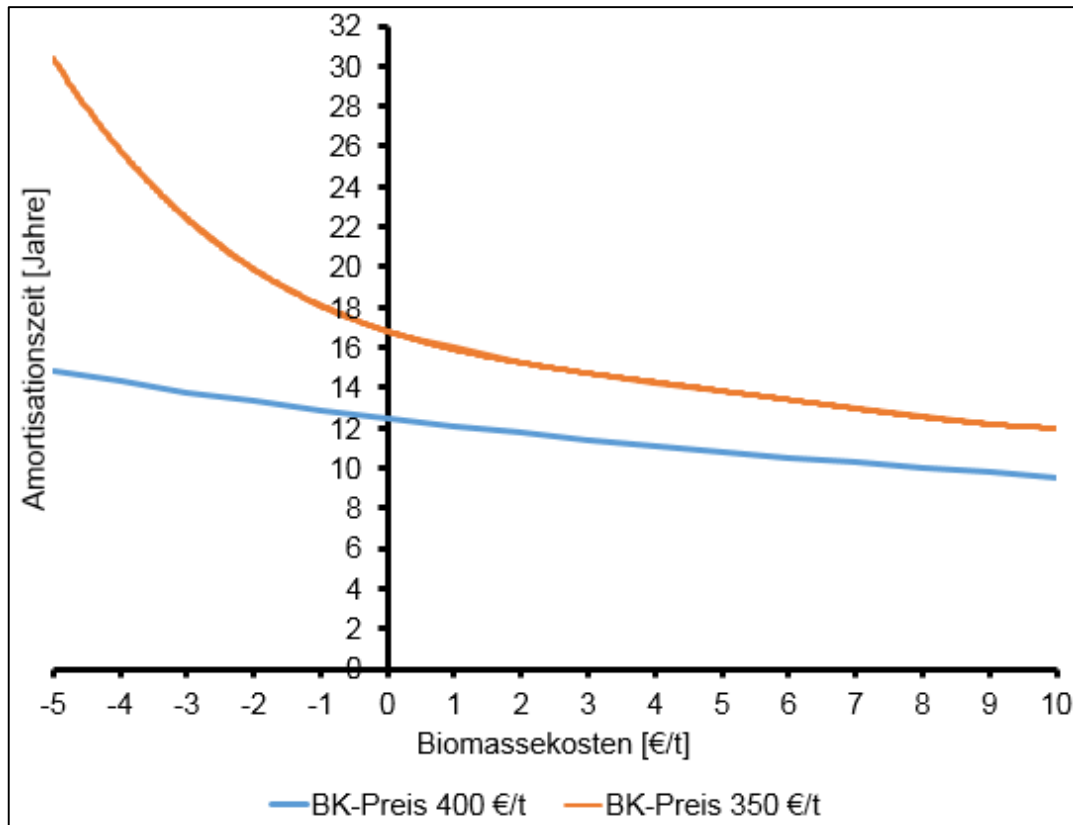


ABBILDUNG 7 SENSITIVITÄT DER AMORTISATIONZEIT BEI VARIATION DER BIOMASSEKOSTEN BEI AUSGEWÄHLTEN BK-VERKAUFSPREISEN

Bei einem Biokohle-Verkaufspreis von 400 €/t ist der Einfluss der Kosten für die Biomasse wesentlich geringer (4 Jahre bei einem Preisdifferential von 15€/t) als bei einem wesentlich geringeren Verkaufspreis von 350 €/t mit einer Differenz von 16 Jahren bei gleichem Preisdifferential. Es ist ersichtlich, dass insbesondere die Fixkosten der BK-Herstellung und nicht die Kosten für den Bezug der Biomasse einen hohen Einfluss auf die Amortisationszeit haben.

Diese Auswertung zeigt insbesondere, dass bei einem geringeren Verkaufspreis von Biokohle die Kosten für die Biomasse von besonderer Bedeutung sind. Ist jedoch der Preis für die Biokohle entsprechend hoch angesiedelt, sind die Einflüsse der Kosten für die benötigten Biomassen von viel geringerer Bedeutung. Demzufolge eröffnen sich weitere Einsatzchancen des Geschäftsfeldes Verkauf von Biokohle, wenn der Preis für Biokohle höher ist.

Eine weitere Untersuchung gibt den Zusammenhang von Amortisationszeit und BK-Verkaufspreis wieder (Abbildung 8). Den beispielhaft gewählten Rahmenbedingungen ist zu entnehmen, dass bei einer Verdoppelung des Verkaufspreises von 200 €/t auf 400 €/t die Amortisationszeit um über 20% (ca. 1,2 Jahre) verkürzt werden.

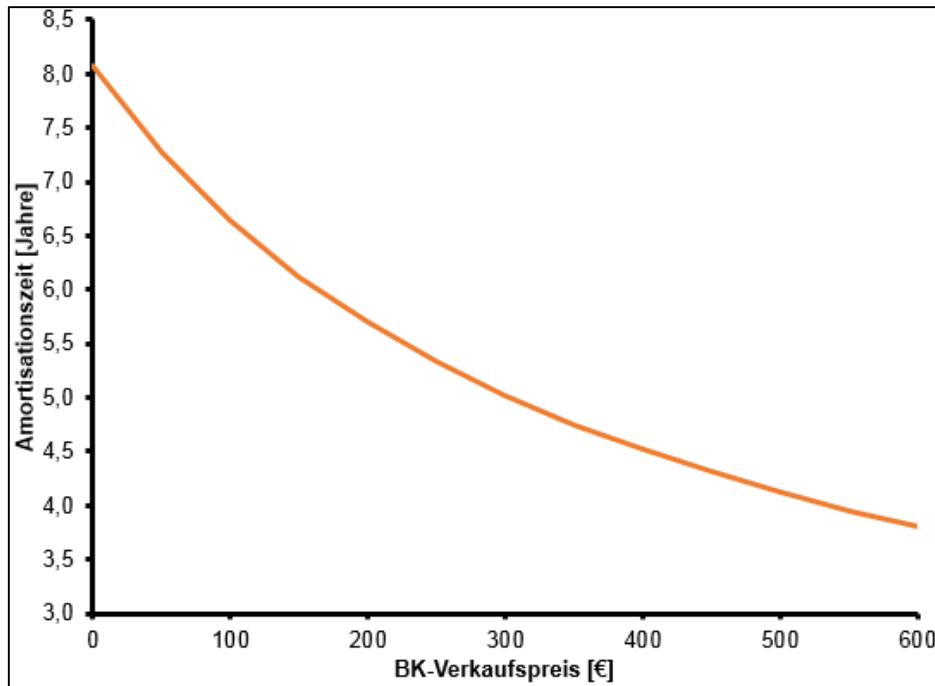


ABBILDUNG 8 SENSITIVITÄT DER AMORTISATIONSZEIT BEI VARIATION DES BK-VERKAUFSPREISES

### 2.3.2. VERKAUF VON BIOKOHLESUBSTRAT

Die erste betrachtete Art der Verwertung von BKS ist der freie Verkauf. Um den Verkauf von BKS durchzuführen sind entsprechende Vertriebswege notwendig und Marketingkampagnen zur Aufklärung erforderlich. Diese beiden ergänzenden Aufgaben sind in den Berechnungen des Basismodells nicht enthalten. Lediglich die reine Produktion wird betrachtet, um einen Überblick zu erhalten, welche Geschäftsfelder wirtschaftlich und technisch umsetzbar sind.

Beim reinen Verkauf von BKS gibt es drei limitierende Faktoren, um eine regionale Produktionsmenge ermitteln zu können. Wird eine bestimmte Produktionsmenge im Vorfeld angestrebt, baut sich die Berechnung an Hand des Outputs auf und es werden die Inputmengen ermittelt. Eine weitere Limitierung kann durch eine vorhandene Betonfläche (wie z.B. bei der Fläminger Genussland GmbH in Reinsdorf, Nuthe-Urstromtal) erfolgen. Die dritte Möglichkeit zur Bestimmung der Produktionsmengen kann durch eine Vorgabe von Inputmengen beschränkt werden (z.B. bei der Agrargenossenschaft Großräschen, Lausitz). Diese drei limitierenden Faktoren sollen im Folgenden anhand der regionalen Beispielregionen genauer betrachtet werden.

#### **VISUALISIERUNG DES GESCHÄFTSMODELLS**

Egal, um welche Produktionsmengen es sich bei dem freien Verkauf von BKS handelt, müssen bei der Herstellung immer die gleichen Verfahrensschritte durchgeführt werden. Hierfür werden immer feuchte Biomassen, Minerale und Multi-Mikrobenpräparate sowie Planen und Gerätschaften zur Zerkleinerung, Umschichtung etc. benötigt. Es ist jedoch zu unterscheiden zwi-

schen dem Kauf und der kurzzeitigen Miete eines Kompostwenders oder von Zerkleinerungsanlagen. Für die Produktion größerer Mengen erscheint der Erwerb von Gerätschaften sinnvoll. Sind nur kleine Mengen zu bearbeiten ist eine kurzzeitige Miete eine gute Alternative, um die Investitionen zu senken. Weiter kann bei kleineren Mengen ein Radlader zum Wenden des Biokohlesubstrates verwendet werden, während bei größeren Mengen ein Kompostwender durchaus sinnvoll ist. (zu Investitionsannahmen fehlen im Anhang C noch Zahlen, auf die man hier verweisen könnte) Auch muss unterschieden werden, ob die notwendige Biokohle zugekauft wird oder durch Erweiterung des Geschäftsfelds selbst hergestellt wird, um vom Markt und Marktpreis unabhängig zu sein. Den einzigen limitierenden Faktor stellt die Verfügbarkeit der Biomassen dar.

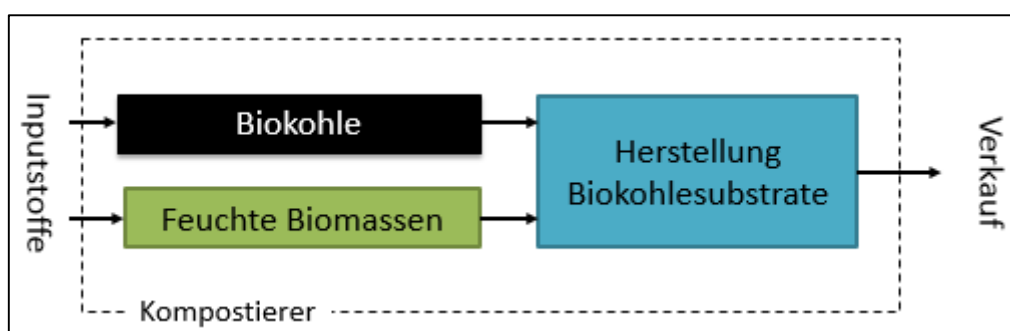


ABBILDUNG 9 SCHEMA DES BKS-VERKAUFS

### CHARAKTERISIERUNG DES GESCHÄFTSMODELLS

In der Modellrechnung wird immer die notwendige Eignung der Biomassen angenommen. Für das Geschäftsmodell in Großräschen werden 700 t/Jahr als Input angenommen. Die vorhandene Betonfläche hat eine geeignete Größe, um die gegebene Biomasse zu verwerten. Für die Berechnungen in Teltow-Fläming ist eine Betonfläche von 200 m<sup>2</sup> als limitierender Faktor vorgegeben. Die Qualität und Menge der Inputmaterialien ist vorhanden. Bei beiden eher kleinen Versuchsanlagen mit einem Pilot-Charakter kann auf eine Sickerwasseranlage verzichtet werden.

Die dritte Betrachtungsvariante simuliert die Verwertung aller in der Stoffstromanalyse (vgl. Eidner 2011) erfassten Biomassen für die Herstellung von BKS. Eine passende Betonfläche muss gebaut oder gepachtet werden. Für diese große Produktionsmenge sind Bau und Genehmigung einer Sickerwasseranlage unumgänglich.

### MARKTANALYSE: MARKTPREISE FÜR DEN VERKAUF VON BIOKOHLESUBSTRAT

Die entscheidende Frage für einen Akteur, der Biokohlesubstrat verkaufen möchte, ist welcher Marktpreis zu erzielen ist. Hierbei gibt es zwei Optionen auf die Frage zu antworten. Wird der Vertrieb über das Internet beabsichtigt, muss der Markt möglicher Konkurrenzprodukte betrachtet werden. Eine entsprechende Auflistung verschiedener BKS-Produkte ist in Tabelle 10 aufgeführt. Der Preisvergleich zeigt, dass beim Internetvertrieb Verkaufspreise zwischen 0,35 €/l und 1,63 €/l vorhanden sind (vgl. Tränkner 2014).



TABELLE 10 PREISVERGLEICH VERSCHIEDENER BKS-PRODUKTE

Vertrieb/Produkt	Menge in l	Preis	Preis/l
Palaterra GmbH/Palaterra 1	20	9,95 €	0,49 €
Palaterra GmbH/Palaterra 2	20	12,95 €	0,64 €
Terra-Magica/Schwarze Erde	20	6,99 €	0,35 €
Horst Wagner Kompostbau, Terra Preta, Pflanzenkohle/TP-Kompost-Substrat	40	29,00 €	0,72 €
Horst Wagner Kompostbau, Terra Preta, Pflanzenkohle/Wagner's Pflanzenkohle-Substrat	40	65,00 €	1,63 €
Minimaler Marktpreis			0,35 €
Maximaler Marktpreis			1,63 €
<b>Durchschnittlicher Marktpreis</b>			<b>0,77 €</b>

Neben dem Internetverkauf ist auch ein regionaler Vertrieb in den Baumärkten der Betrachtungsregion vorstellbar. In diesem Fall müssen etwaige Konkurrenzprodukte berücksichtigt werden. Biokohlesubstrate sind vom Nährstoffgehalt allerdings nicht mit den günstigen Pflanzenerden vergleichbar. Auch die Nährstoffgehalte der Pflanzenerden im Baumarkt sind nicht direkt konkurrenzfähig zu den Substraten, da die Nährstoffe in den handelsüblichen Pflanzenerden lediglich für eine Vegetationsperiode ausreichend sind. Biokohlesubstrate haben einen mindestens um den Faktor 6 höheren Stickstoffgehalt, einen um den Faktor 3 höheren Kaliumgehalt und 30% mehr Phosphor-Gehalt als Pflanzenerden aus dem Baumarkt. Es muss in Folgeuntersuchungen allerdings noch die Zeitreihe der Verfügbarkeit der Nährstoffe untersucht werden. Tabelle 11 gibt einen Überblick über die Marktpreise verschiedener Pflanzenerden in regionalen Baumärkten (ergänzte Recherche nach Tränkner 2014).

TABELLE 11 PREISVERGLEICH VERSCHIEDENER PREMIUMPFLANZENERDEN

Vertrieb/Produkt	Menge in l	Preis	Preis/l
Ahrens und Siebertz / SUBSTRALERdenzauber	8	7,99 €	0,99 €
Flora Gard/Aktiv Pflanzenerde	20	6,95 €	0,35 €
Amazon/Compo Sana Universalerde Bio	40	12,00 €	0,30 €
Obi/Compo Sana Pflanzenerde	50	9,99 €	0,20 €
Marburger Entsorgungs GmbH/Premium Pflanzenerde	45	6,49 €	0,14 €
Minimaler Marktpreis			0,14 €
Maximaler Marktpreis			0,99 €
<b>Durchschnittlicher Marktpreis</b>			<b>0,40 €</b>

Der mittlere Marktpreis von Premiumpflanzenerden in Baumärkten der Region Lausitz liegt bei 0,40 €/l (siehe Tabelle 11).

#### KOSTENANALYSE BEI BETRACHTUNG VERSCHIEDENER SZENARIEN

In Anlehnung an die ermittelten Herstellungskosten für Biokohle wurden die Herstellungskosten für BKS unter verschiedenen Rahmenbedingungen simuliert. Es wurden dabei drei Ziele vordefiniert, um die Bandbreite der Herstellmöglichkeiten für BKS zu ermitteln: Herstellmenge



8.000 t/Jahr (Tabelle 12), Verwertung aller Biomassen der Untersuchungsregion (Tabelle 13) und Auslastung einer BK-Anlage (Tabelle 14). Berücksichtigt werden nur Herstellungskosten, die unter dem maximalen Marktpreis von 1,63 €/l (siehe Tabelle 10) für BKS-ähnliche Produkte liegen.

Die Bandbreite der Herstellungskosten bei unterschiedlichen Szenarien und Varianten reicht von 0,06 €/l bis hin zu 1,56 €/l unter den genannten Rahmenbedingungen. Es wird deutlich, wie spezifisch die Rahmenbedingungen vorgegeben und analysiert werden müssen, um die Vielfältigkeit der Herstellung von BKS zu simulieren und eine Aussage über deren Wirtschaftlichkeit treffen zu können.

Für die nachfolgenden Berechnungen der Geschäftsfelder werden die minimalen (0,06 €/l = 135 €/t) und die maximalen Herstellungskosten (1,56 €/l = 3.463 €/t) von BKS berücksichtigt, um die Wirtschaftlichkeit der Geschäftsfelder zu analysieren.

TABELLE 12 BKS- HERSTELLUNGSKOSTEN BEI VORGEGEBENER HERSTELLMENGE

Prozess	Szenario	Variante	Produktionsstunden		
			7.000 h	4.000 h	1.500 h
Herstellmenge von 8.000 t vorgegeben	0	1	0,0653 €/l	0,1269 €/l	0,6719 €/l
		2	0,0657 €/l	0,1274 €/l	0,6723 €/l
		3	0,0684 €/l	0,1332 €/l	0,7034 €/l
	1	1	0,0756 €/l	0,1251 €/l	0,6642 €/l
		2	0,0756 €/l	0,1251 €/l	0,6647 €/l
		3	0,0788 €/l	0,1310 €/l	0,6984 €/l
	2	1	0,0756 €/l	0,1251 €/l	0,6642 €/l
		2	0,0756 €/l	0,1251 €/l	0,6647 €/l
		3	0,0788 €/l	0,1310 €/l	0,6984 €/l
	3	1	0,1589 €/l	0,2957 €/l	1,5327 €/l
		2	0,1593 €/l	0,2961 €/l	1,5332 €/l
		3	0,1611 €/l	0,3002 €/l	1,5584 €/l
	4	1	0,0900 €/l	0,1566 €/l	0,7101 €/l
		2	0,0905 €/l	0,1566 €/l	0,7101 €/l
		3	0,0950 €/l	0,1652 €/l	0,7484 €/l

TABELLE 13 BKS- HERSTELLUNGSKOSTEN BEI VERWERTUNG ALLER BIOMASSEN

Prozess	Szenario	Variante	Produktionsstunden		
			7.000 h	4.000 h	1.500 h
Verwertung aller Biomassen der Untersuchungsregion	0	1	0,0653 €/l	0,1269 €/l	0,6719 €/l
		2	0,0657 €/l	0,1274 €/l	0,6723 €/l
		3	0,0684 €/l	0,1332 €/l	0,7034 €/l
	1	1	0,2547 €/l	0,4779 €/l	
		2	0,2556 €/l	0,4788 €/l	
		3	0,2057 €/l	0,5013 €/l	
	2	1	0,2547 €/l	0,4779 €/l	
		2	0,2556 €/l	0,4788 €/l	
		3	0,2057 €/l	0,5013 €/l	
	3	1	0,1589 €/l	0,2957 €/l	1,5327 €/l
		2	0,1593 €/l	0,2961 €/l	1,5332 €/l
		3	0,1611 €/l	0,3002 €/l	1,5584 €/l
	4	1	0,5796 €/l	1,3694 €/l	
		2	0,5805 €/l	1,3698 €/l	
		3	0,6147 €/l	1,4508 €/l	

TABELLE 14 BKS- HERSTELLUNGSKOSTEN BEI AUSLASTUNG EINER BK-ANLAGE

Prozess	Szenario	Variante	Produktionsstunden		
			7.000 h	4.000 h	1.500 h
Auslastung einer BK-Anlage (430 t/a) für BKS-Produktion	0	1	0,0608 €/l	0,1193 €/l	0,7007 €/l
		2	0,0617 €/l	0,1220 €/l	0,5234 €/l
		3	0,0626 €/l	0,1238 €/l	0,5445 €/l
	1	1	1,2389 €/l		
		2	1,2389 €/l		
		3	1,2879 €/l		
	2	1	1,2389 €/l		
		2	1,2389 €/l		
		3	1,2879 €/l		
	3	1	0,2079 €/l	0,4064 €/l	
		2	0,2093 €/l	0,4091 €/l	
		3	0,2102 €/l	0,4109 €/l	
	4	1			
		2			
		3			

### SENSITIVITÄT DER AMORTISATION IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERKAUFSPREIS

In Abbildung 10 wird untersucht, welchen Einfluss der direkte Verkaufsanteil von Biokohle auf die Amortisation der BKS-Herstellung hat. Es werden die zuvor ermittelten minimalen und maximalen Marktpreise bei 7.000 Stunden Grundverfügbarkeit berücksichtigt und eine Variation der Verkaufsanteile vorgenommen. Werden z. B. 100% der erzeugten Biokohle bei einem BK-Marktpreis von 600 €/t direkt verkauft, so amortisiert sich die BK-Herstellung nach 4 Jahren, es kann jedoch kein BKS verkauft werden. Liegt der BK-Preis jedoch bei 50 €/t, so wird erst nach 7 Jahren der Break-Even erreicht. Dann ist eine Herstellung von BKS bei einem maximalen Marktpreis von 225 €/t zu favorisieren, da nach fast 5 ½ Jahren die Amortisation erreicht werden kann. Liegt der Marktpreis für BKS jedoch nur bei 182 €/t und die komplette Biokohle wird für die Herstellung von BKS verwendet, so wird die Amortisation erst nach 7 ½ Jahren

erreicht. Die Analyse hat gezeigt, dass ein teilweiser Verkauf von Biokohle bei entsprechenden Marktpreisen die Amortisation der eigentlichen BKS-Produktion positiv beeinflussen kann.

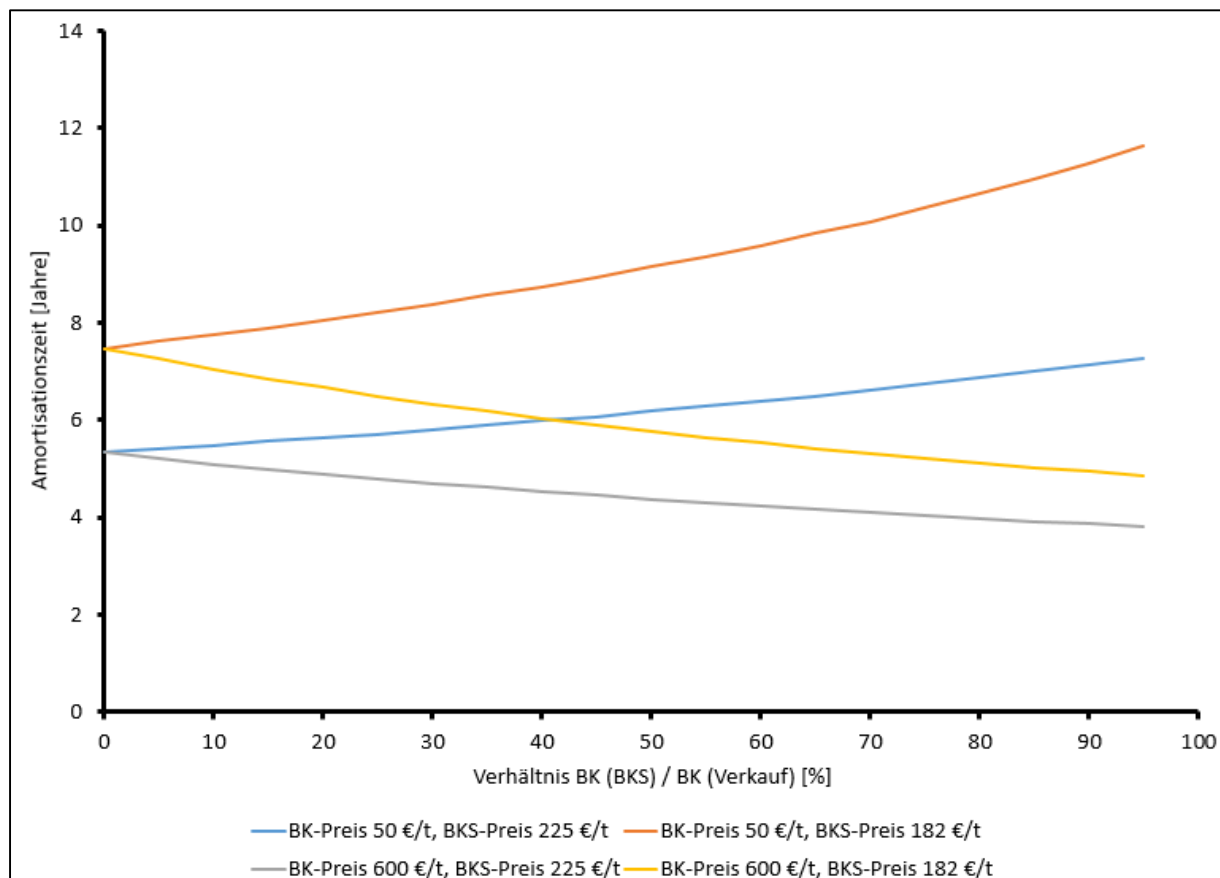


ABBILDUNG 10 SENSITIVITÄT DER AMORTISATIONSZEIT BEI VARIATION DES BK-VERKAUFS- UND BKS-NUTZUNGS-ANTEILS

### 2.3.3. LANDWIRTSCHAFTLICHE NUTZUNG

Die Anwendung von BKS auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ist ein ökologisches Vorhaben, da die mineralische Düngung teilweise substituiert werden kann. In der Beispielrechnung wird eine Gesamtfläche von 270 ha angenommen, die sich in drei Teilflächen zu je 90 ha unterteilen lässt. Die Wahl der Größe der landwirtschaftlichen Fläche ist rein zufällig und dient lediglich der Beispielrechnung. Im Drei-Jahres-Rhythmus werden die Teilflächen zeitversetzt mit BKS gedüngt, sofern BKS eine Menge von 30 t/ha alle 3 Jahre (nach DüngMV 2014) zugegeben werden darf.

Die landwirtschaftliche Nutzung von BKS wird an einem Fallbeispiel für die Region Nuthe-Urstromtal dargestellt. Dabei gilt als limitierender Faktor für die Produktion von BKS eine vordefinierte Produktionsmenge von knapp 2.800 t/Jahr. Vorhandene feuchte Biomassen der Region (Rindergülle, Grünschnitt etc.) werden mit der Biokohle zur Herstellung von BKS gemischt. Die Menge von BKS ist ausreichend für eine landwirtschaftliche Fläche von 90 ha (bei

30 t/ha alle 3 Jahre). Insgesamt kann so eine Gesamtfläche von 270 ha mittels BKS aufgewertet werden.

### VISUALISIERUNG DES GESCHÄFTSMODELLS

Die vermutlich günstigste Variante der Nutzung von BKS auf landwirtschaftlichen Flächen ist die Eigenherstellung durch Nutzung eigener Biomassen und/oder dem Zukauf von Biokohle bei kleineren Herstellmengen. Nach der Herstellung von BKS wird das Substrat auf die landwirtschaftliche Fläche aufgebracht und es wird eine simulierte Fruchtfolge auf dieser Fläche angebaut (siehe Abbildung 11).

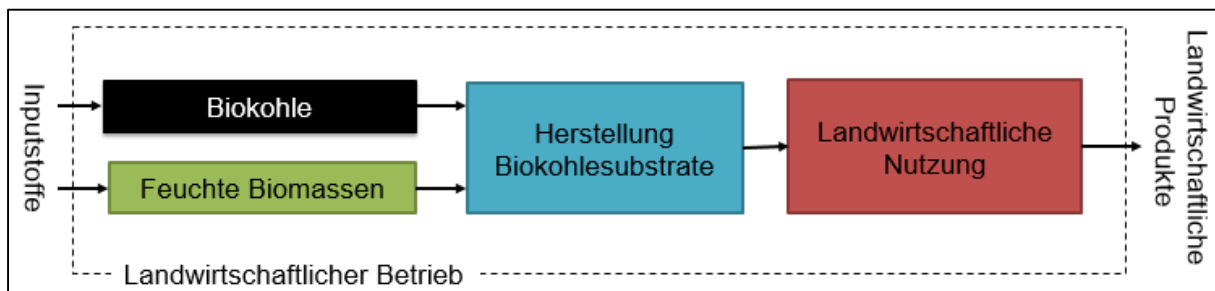


ABBILDUNG 11 SCHEMA DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN NUTZUNG VON BKS

Eine vordefinierte Fruchtfolge (siehe Tabelle 16) bei der Beispielrechnung sieht im 1. Jahr der BKS-Gabe Raps vor. Im darauffolgenden Jahr wird Winterweizen und anschließend Wintergerste angebaut. Im 4. und 7. Jahr wird wieder der Anbau von Raps mit einer BKS-Düngung (jetzt ohne N-Ergänzungsdüngung) kombiniert. Danach wird für weitere Jahre der Wegfall eines Düngebedarfs angenommen (siehe Tabelle 15).

TABELLE 15 ZEITREIHE DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN NUTZUNG VON BKS

Jahr	BKS-Variante		
	Feld 1	Feld 2	Feld 3
1	BKS-Gabe + red. N-Düngung	normale NPK-Düngung	normale NPK-Düngung
2	red. N- Düngung	BKS-Gabe + red. N-Düngung	normale NPK-Düngung
3	red. N- Düngung	red. N- Düngung	BKS-Gabe + red. N-Düngung
4	reine BKS-Gabe	red. N- Düngung	red. N- Düngung
5	keine Düngung erforderlich	reine BKS-Gabe	red. N- Düngung
6		keine Düngung erforderlich	reine BKS-Gabe
7	reine BKS-Gabe	keine Düngung erforderlich	keine Düngung erforderlich
8	keine Düngung erforderlich		reine BKS-Gabe
9	keine Düngung erforderlich	keine Düngung erforderlich	reine BKS-Gabe
10		keine Düngung erforderlich	keine Düngung erforderlich
11			
12			
13			
14			
15			

Weiter wird in der Beispielrechnung angenommen, dass eine Ertragssteigerung von 10% bis zum 10. Jahr durch die Freisetzung der BKS-Nährstoffe erreicht werden kann. Die 10% Ertragssteigerung werden als Maximum angenommen, jedoch sind diese Werte für mittlere Breitengrade, wie die Brandenburger Untersuchungsregion, noch nicht wissenschaftlich bestätigt (vgl. Jeffery 2011).

#### **CHARAKTERISIERUNG DES GESCHÄFTSMODELLS**

Das Schlüsselmerkmal von BKS stellt der hohe Anteil an stabiler organischer Substanz dar. Diese Substanz dient dem Aufbau einer Humusschicht. Dadurch besitzt der Boden langfristig ein höheres Nährstoffspeichervermögen sowie ein verbessertes Wasserhaltevermögen. Diese primären Eigenschaften sind besonders für trockene und nährstoffarme Böden, wie sie insbesondere in Brandenburg vorkommen, interessant, da durch die Gabe von BKS die Qualität der Böden langfristig gesteigert werden kann.

Neben dem besonderen Speichervermögen beinhaltet BKS viele Nährstoffe, weshalb durch die Gabe von BKS die konventionelle mineralische Düngung landwirtschaftlicher Böden teilweise substituiert werden kann. Wie eine Substitution der mineralischen Düngung durch die Gabe von BKS aussehen kann, soll die folgende kurz darstellen. Die auf diesem Geschäftsfeld basierende Annahme ist der Wegfall der Phosphor- und Kalium-Düngung und ein reduzierter Stickstoffbedarf (kurz: N-Bedarf) bei der Düngung von landwirtschaftlichen Flächen mit BKS. In den ersten Jahren der ersten BKS-Gabe ist mit einer reduzierten Stickstoffdüngung (kurz: N-Düngung) zu rechnen. Mittelfristig ist auch die komplette Substitution der N-Düngung vorstellbar, sodass nach ein paar Düngeperioden mit BKS die landwirtschaftliche Fläche genügend Nährstoffe enthält, um die Düngung für einen bestimmten Zeitraum komplett auszusetzen. Hierbei ist die grundlegende Annahme, dass die Fruchtfolge so abgestimmt wird, dass eine konstante Humusschicht durch humusnährende und –zehrende Früchte erhalten werden kann.

Die in der Beispielrechnung ausgewählte Fruchtfolge (Tabelle 16) ist rein zufällig und soll lediglich eine Beispielrechnung darstellen. Die zu erwartenden Erträge und Verkaufspreise der Früchte sind in Tabelle 17 (nach Proplanta 2012) kurz zusammengefasst und stellen lediglich eine kleine Auswahl dar.

TABELLE 16 FRUCHTFOLGE UND BKS-GABEN DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN VERGLEICHSRECHNUNG

Jahr	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3	
	Fruchtfolge	BKS-Gabe	Fruchtfolge	BKS-Gabe	Fruchtfolge	BKS-Gabe
1	Raps	30,0 t/ha	Wintergerste		Winterweizen	
2	Winterweizen		Raps	30,0 t/ha	Wintergerste	
3	Wintergerste		Winterweizen		Raps	30,0 t/ha
4	Raps	30,0 t/ha	Wintergerste		Winterweizen	
5	Winterweizen		Raps	30,0 t/ha	Wintergerste	
6	Wintergerste		Winterweizen		Raps	30,0 t/ha
7	Raps	30,0 t/ha	Wintergerste		Winterweizen	
8	Winterweizen		Raps	30,0 t/ha	Wintergerste	
9	Wintergerste		Winterweizen		Raps	30,0 t/ha
10	Raps		Wintergerste		Winterweizen	
11	Winterweizen		Raps		Wintergerste	
12	Wintergerste		Winterweizen		Raps	
13	Raps		Wintergerste		Winterweizen	
14	Winterweizen		Raps		Wintergerste	
15	Wintergerste		Winterweizen		Raps	

TABELLE 17 ERTRÄGE UND MARKTPREISE FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE FRÜCHTE

Frucht	Ertrag	Verkaufspreis
Winterweizen	7,3 t/ha	268,00 €/t
Wintergerste	6,7 t/ha	235,00 €/t
Mais	8,8 t/ha	248,00 €/t
Raps	3,9 t/ha	435,00 €/t
Leguminosengras	0,0 t/ha	0,00 €/t

#### KOSTENANALYSE BEI BETRACHTUNG VERSCHIEDENER SZENARIEN

Beim ersten Berechnungsschritt wird der BKS-Einsatz mit minimalen Herstellungskosten ohne Ertragssteigerung (Abbildung 12) dem BKS-Einsatz mit Ertragssteigerung (Abbildung 13) gegenübergestellt. Der Knick des kumulierten Jahresüberschusses zwischen dem 8. und 9. Jahr lässt sich durch das Aussetzen jeglicher Düngung erklären (siehe und Tabelle 16). Dadurch werden nur noch Aufwendungen für den Anbau und die Ernte der Früchte simuliert und es können weiter Erträge erzielt werden.

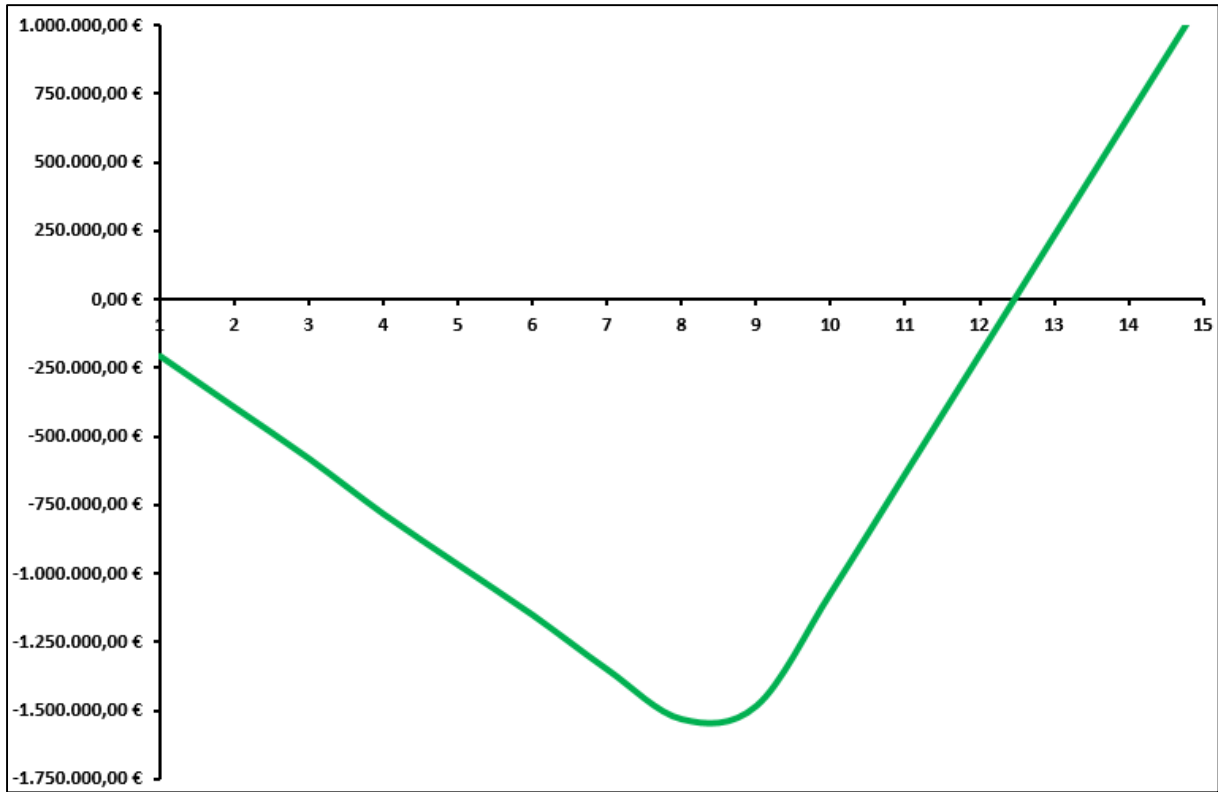


ABBILDUNG 12 KUMULIERTER JAHRESÜBERSCHUSS BEIM BKS-EINSATZ IN DER LANDWIRTSCHAFT (OHNE ERTRAGSSTEIGERUNG)

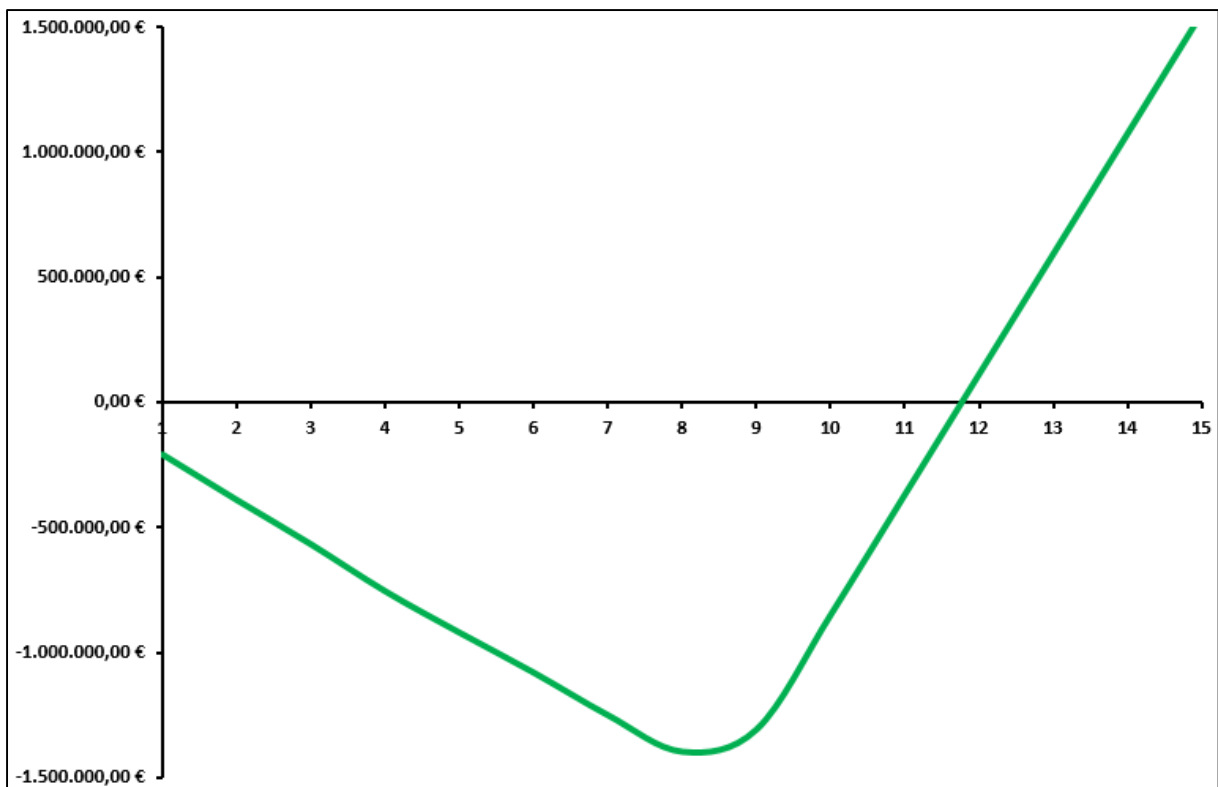


ABBILDUNG 13 KUMULIERTER JAHRESÜBERSCHUSS DES BKS-EINSATZES IN DER LANDWIRTSCHAFT (MIT 10% ERTRAGSSTEIGERUNG)

Besonders auffällig ist, dass der jährliche Ertrag vor Steuern erst eine positive Steigung erfährt, wenn der Einsatz von BKS beendet ist und die mineralische Düngung durch die BKS-Gaben der Jahre zuvor komplett substituiert werden kann. Da dieser Aspekt schon bei der Annahme der minimalen Herstellungskosten zu erkennen ist, wird keine Berechnung unter der Annahme der maximalen Herstellungskosten ergänzt.

In einem weiteren Schritt wird der BKS-Einsatz der konventionellen Landwirtschaft gegenübergestellt. (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)

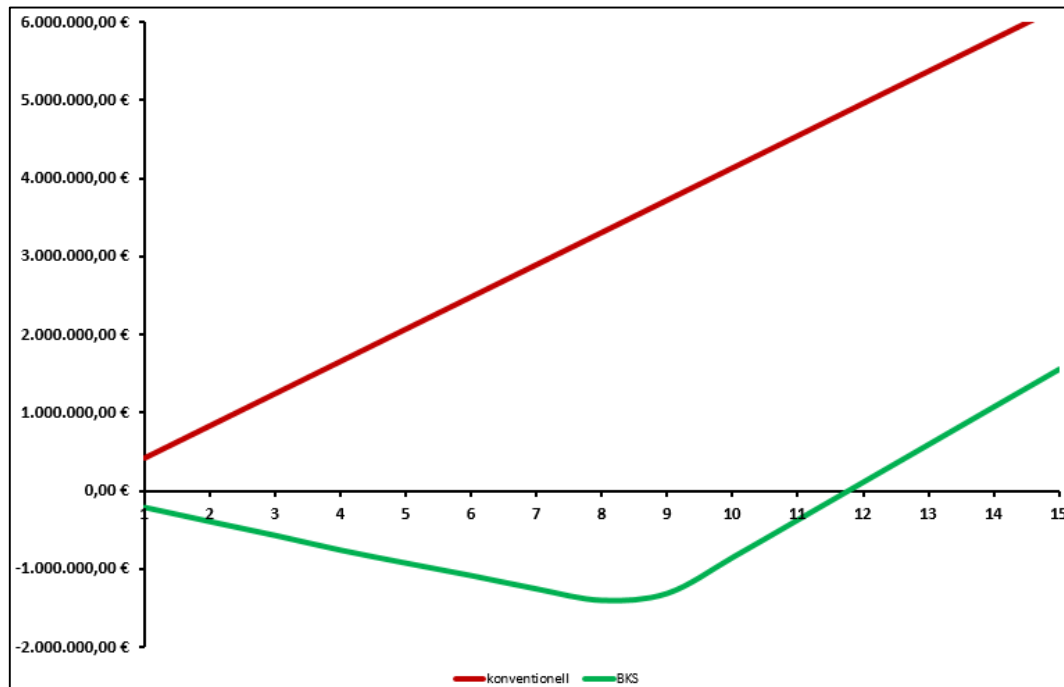


ABBILDUNG 14 VERGLEICH DER KUMULIERTEN JAHRESÜBERSCHÜSSE DER KONVENTIENELLEN LANDWIRTSCHAFT UND DEM BKS-EINSATZ

Bei Gegenüberstellung des kumulierten Jahresüberschusses des BKS-Einsatzes mit minimalen Herstellungskosten und der konventionellen Landwirtschaft wird ersichtlich, dass die angenommenen 10% Ertragssteigerung die zusätzlichen Kosten in den ersten 15 Jahren bei reinem BKS-Einsatz nicht decken können.

#### SENSITIVITÄT DER AMORTISATION IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERKAUFSPREIS

Nachfolgend werden durch Sensitivitätsanalysen der Einfluss des BKS-Preises (Abbildung 15) und der Ertragssteigerungen (Abbildung 16) auf die Wirtschaftlichkeit des BKS-Einsatzes in der Landwirtschaft untersucht.



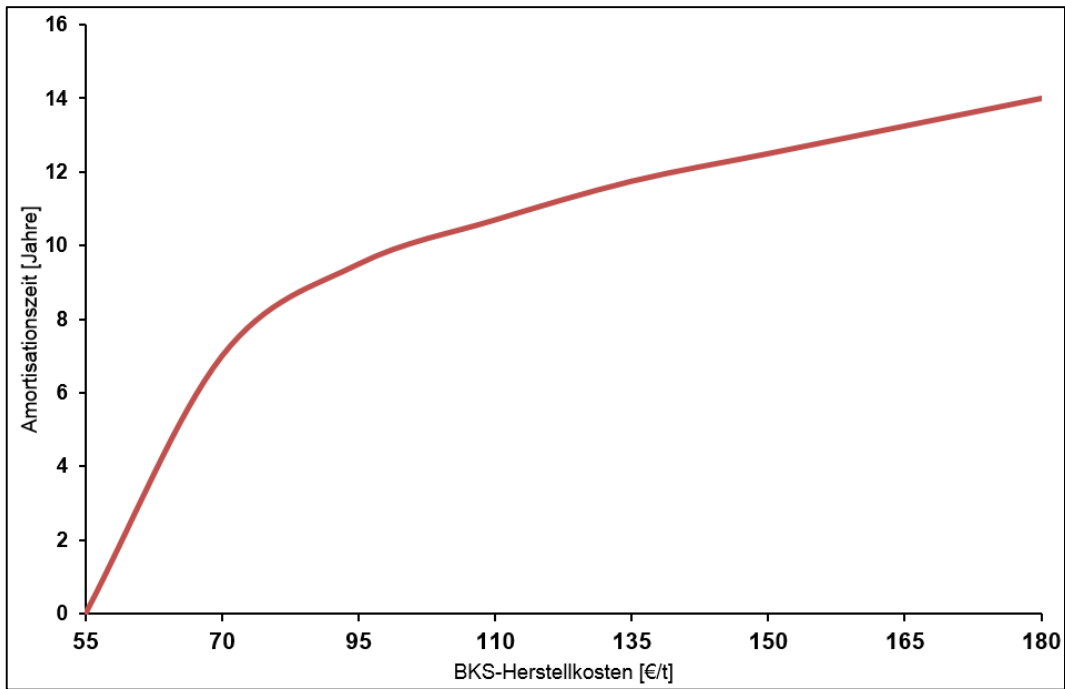


ABBILDUNG 15 SENSITIVITÄT DER ARMORTISATION BEI VARIATION DES BKS-PREISES

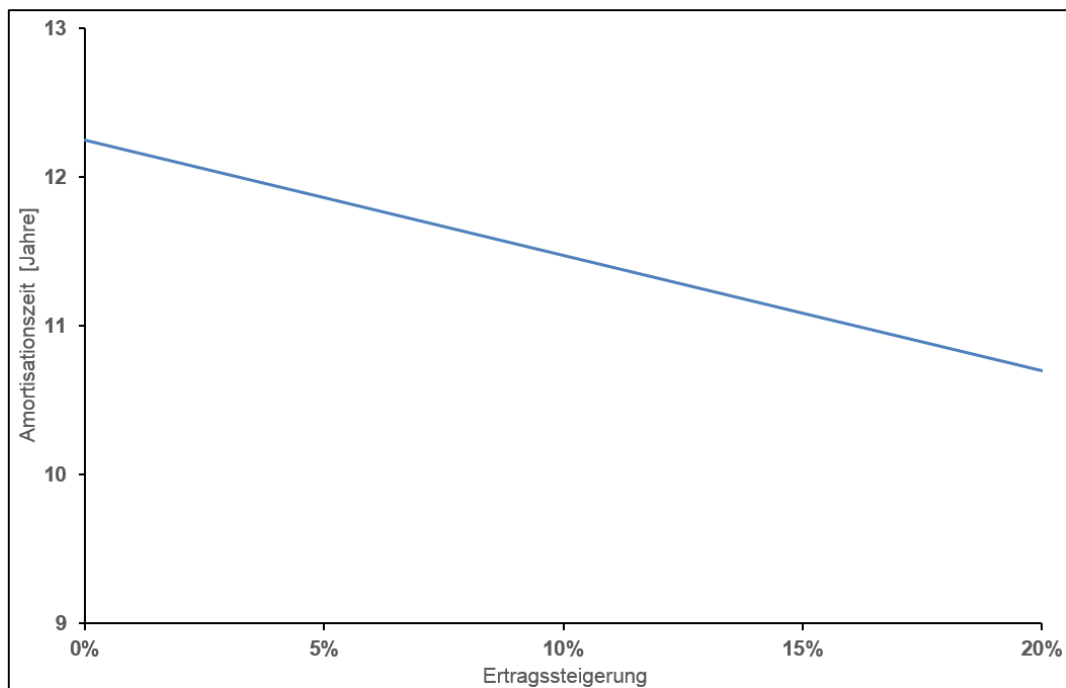


ABBILDUNG 16 SENSITIVITÄT BEI VARIATION DER ERTRAGSSTEIGERUNG

Es ist hervorzuheben, dass ab Herstellungskosten von 55 €/t eine Amortisation von BKS im ersten Jahr erreicht wird. Steigen die Herstellungskosten auf 70 €/t wird erst nach 8 Jahren, dem Ende der BKS-Gabe, die Amortisation erreicht. Die Analysen haben im Detail gezeigt, dass bei Herstellungskosten von 63 €/t BKS die Variante BKS bei der angenommenen Fruchtfolge mit der konventionellen Landwirtschaft konkurrieren kann. Diese niedrigen Herstellungs-

kosten wurden bei den Simulationsberechnungen nicht erreicht, sodass ein landwirtschaftlicher Einsatz aus rein ökonomischer Sicht schwer darzustellen ist. Im weiteren Projektverlauf werden allerdings noch externe Effekte von BKS erfasst, sodass ein Subventionsbedarf gerechtfertigt sein könnte. Dann könnte der Einsatz von BKS auf landwirtschaftlichen Flächen wiederum ökonomisch interessant werden.

Bei gleichbleibenden BKS- Herstellungskosten von 135 €/t kann die Amortisation bei 10% Ertragssteigerung lediglich 0,5 Jahre eher erreicht werden. In der Literatur konnte bisher nur der Wert von 10% in subtropischen Breitengraden bestätigt werden. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, dass eine Ertragssteigerung in der Landwirtschaft von über 10% möglich ist.

Die beiden Sensitivitätsanalysen zeigen, dass die Herstellungskosten von BKS die Amortisation des landwirtschaftlichen Geschäftsfeldes deutlicher beeinflussen als die zu erzielenden Ertragssteigerungen.

#### **2.3.4. REKULTIVIERUNG VON TAGEBAUFOLGELANDSCHAFTEN**

Für die Rekultivierung von Tagebaufolgelandschaften ist die Anwendung von BKS eine mögliche Alternative zur aktuell praktizierten mineralischen Düngung mit einer Fruchtfolge, die den Humus der Böden nur sehr langsam aufbaut. Wie im vorherigen Abschnitt zu landwirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten von BKS bereits erwähnt, besitzt BKS eine sehr stabile organische Substanz, die für den Humusaufbau von besonderer Bedeutung ist. Demzufolge kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Rekultivierung mittels BKS ein schnellerer Humusaufbau stattfindet, als mit einer konventionellen Rekultivierung. Entsprechend können die Flächen in der Folge schneller wieder veräußert werden, sogar zu einem höheren Preis.

#### **VISUALISIERUNG DES GESCHÄFTSMODELLS**

Die in der Region verfügbaren Biomassen werden verwendet um Biokohle und BKS in Eigenherstellung für die Rekultivierungsflächen bereit zu stellen. Als ergänzendes Geschäftsfeld ist die Energieerzeugung vorstellbar, da in den ersten Jahren wenig landwirtschaftliche Erträge zu erwarten sind. Die Erlöse sind bereits in der Berechnung der Herstellungskosten für BKS berücksichtigt und sind deshalb nicht in der Darstellung des Geschäftsmodells integriert. In Abbildung 17 ist das Schema der Rekultivierung einer Tagebaufolgelandschaft dargestellt. Dabei wird anfangs mit der vorgeschriebenen Fruchtfolge der Boden rekultiviert, bevor er einer landwirtschaftlichen Nutzung zugeführt werden kann.

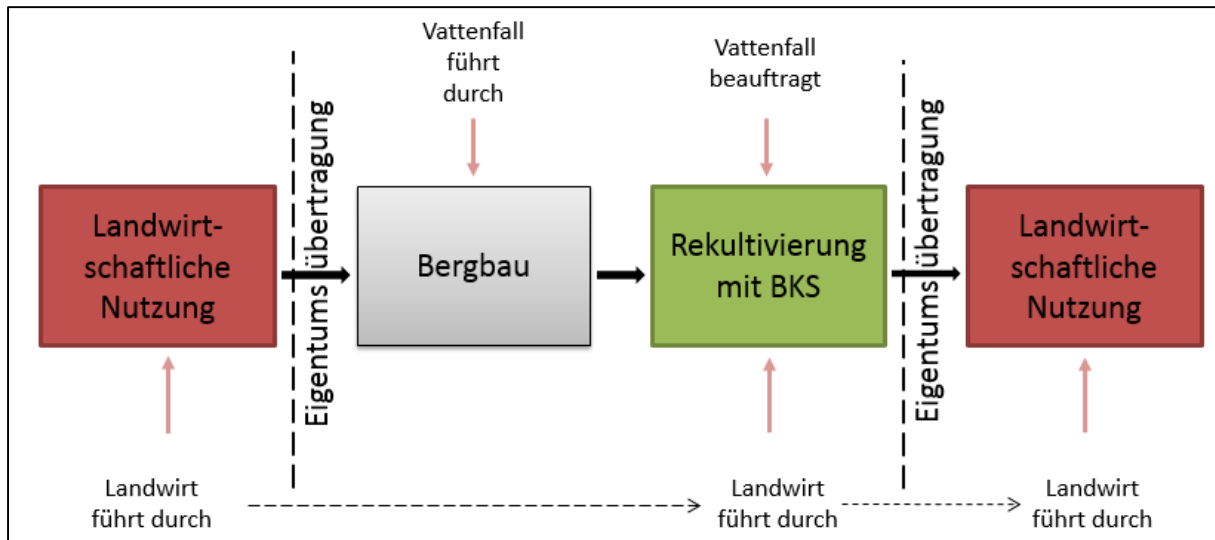


ABBILDUNG 17 SCHEMA DER REKULTIVIERUNG MIT BKS

### CHARAKTERISIERUNG DES GESCHÄFTSMODELLS

Das Geschäftsfeld der Rekultivierung wird am Beispiel der Region Welzow-Süd TA II Ausgleich NW mit einer Gesamtfläche von 150 ha betrachtet. Dabei werden regional verfügbare Biomassen genutzt, um sowohl Biokohle als auch BKS zu produzieren. Die Fruchtfolge und die Gaben der mineralischen Düngung unterscheiden sich trotz der landwirtschaftlichen Nachnutzung der Flächen erheblich von den Gegebenheiten in der Landwirtschaft (siehe Kapitel 2.3.3), da der zur Verfügung stehende Boden vor allem in den ersten Jahren nahezu ohne Nährstoffe und Humusschicht ist. Aus diesem Grund ist die Fruchtfolge auf einen Humusaufbau ausgelegt, was zur Folge hat, dass nicht in jedem Jahr ertragseinbringende Früchte, wie Mais, Winterroggen oder Winterweizen angebaut werden. Die betrachtete Fruchtfolge (für einen schwach bindigen Boden) ist wie folgt aufgebaut (vgl. Haubold-Rosar und Gunschera 2009):

- Jahr 1 (Voranbau): Felderbsen
- Jahre 2-8 (Anlaufrotation): 2 Winterroggen, 3-6 Luzerne, 7 Silomais, 8 Winterroggen
- Jahre 9-16 (Folgerotation): 9 Wintergerste, 10 Feldgras, 11 Winterweizen, 12 Wintergerste, 13-16 Luzerne

Die Gabe von BKS kann langfristig dazu führen, dass der Anteil von Luzerne und Feldgras erheblich gesenkt werden kann. Bisher fehlen jedoch die wissenschaftlichen Nachweise, wie sehr die Fruchtfolge variiert werden kann. Aus diesem Grund wird bei diesem Geschäftsfeld die Fruchtfolge der konventionellen Rekultivierung beibehalten und mit einer Ertragssteigerung von 10% bis zum 10. Jahr gerechnet.

## KOSTENANALYSE DER REKULTIVIERUNG MIT BKS UND DER KONVENTIONELLEN METHODE

Um eine Rekultivierung von Tagebaufolgelandschaften mit BKS durchzuführen, muss der betriebswirtschaftliche Aspekt betrachtet werden. Die konventionelle Sanierung basiert auf einer humusaufbauenden Fruchtfolge ergänzt um reine mineralische Ergänzungsdüngung. Diese Benchmark muss beim Vergleich betrachtet werden. In Abbildung 18 und in Abbildung 19 werden die kumulierten Free Cash Flows<sup>1</sup> der Rekultivierung mit BKS und angenommenen Kosten einer rein mineralischen Rekultivierung gegenübergestellt. Für das Beispiel Rekultivierung wird keine Betrachtung der Amortisationszeit, wie in den zuvor angestellten Untersuchungen durchgeführt, da diese im Betrachtungszeitraum von 15 Jahren nicht erreicht werden kann.

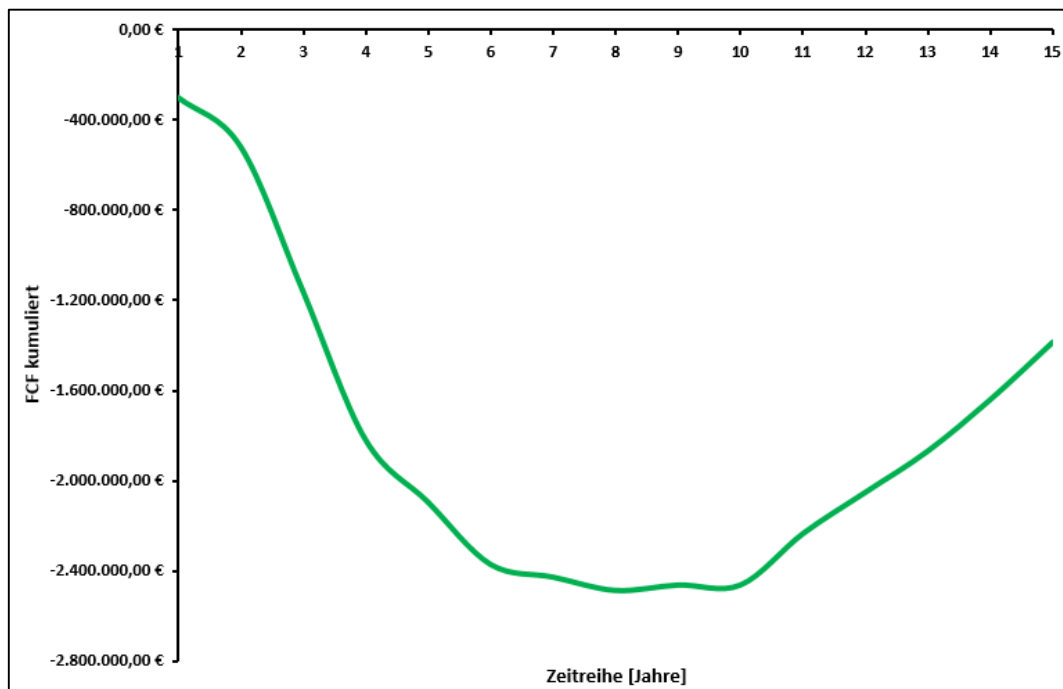


ABBILDUNG 18 JAHRESÜBERSCHUSS (KUMULIERT) DER REKULTIVIERUNG MIT BKS (135 €/T)

Der kumulierte Jahresüberschuss der Rekultivierung mit BKS in Abbildung 18 zeigt, dass trotz einer simulierten Ertragssteigerung und der Substitution der mineralischen Düngung durch BKS in den Jahren der BKS-Gabe (die ersten 9 Jahre) stark negativ ist. An der Stelle des 10. Jahres ist der gleiche „Jahresüberschuss-Knick“ zu erkennen, wie auch schon bei der Landwirtschaft, da die Berechnung auf den gleichen Annahmen der BKS-Gabe basiert.

<sup>1</sup> Kennzahl aus der Finanzanalyse, die eine Änderung der Zahlungsmittel einer Periode angibt. Dabei werden die Jahresüberschüsse, jährlichen Betriebsergebnisse und Abschreibungen berücksichtigt. (Wirtschaftslexikon 2014).

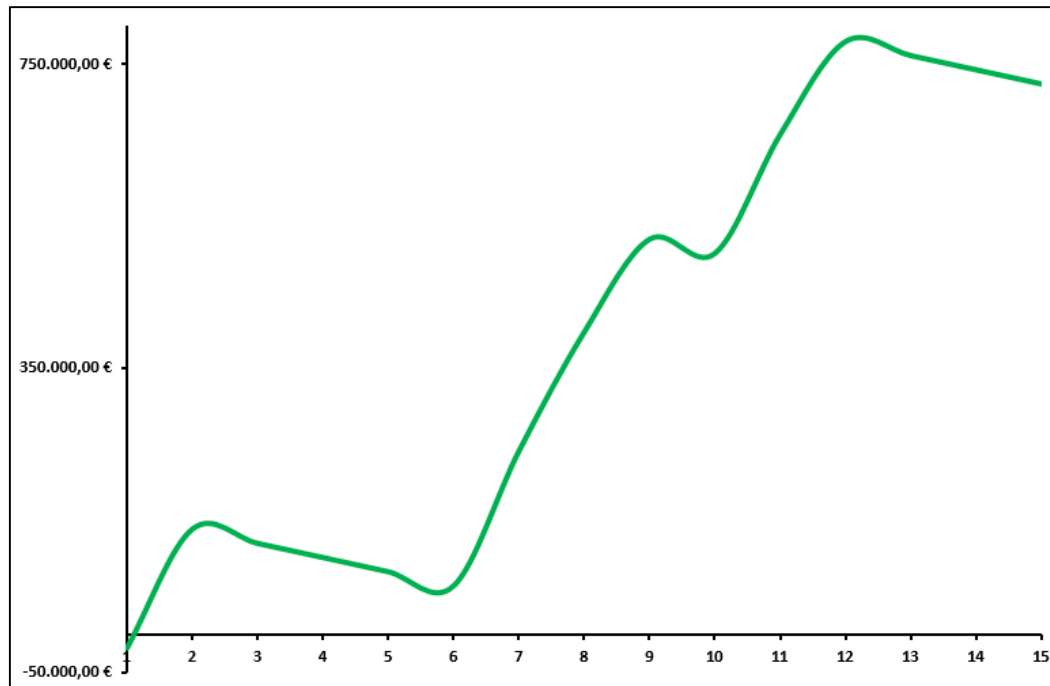


ABBILDUNG 19 JAHRESÜBERSCHUSS (KUMULIERT) DER MINERALISCHEN REKULTIVIERUNG

Vergleicht man diesen negativen kumulierten Jahresüberschuss bei gleicher Fruchtfolge mit der mineralischen Rekultivierung (Abbildung 19), wird schnell deutlich, dass eine Sanierung mit BKS eine sehr kostenintensive Variante darstellt und folglich schwer zu realisieren sein wird. Der Kurvenverlauf bei der mineralischen Rekultivierung lässt sich mit der gewählten Variation von ertragsbringenden und den Früchten zum reinen Humusaufbau (wie Luzerne) erklären. Ist der Anstieg der Kurve negativ, wird immer Luzerne auf der Fläche angebaut. Da das Gras nach der Vegetationsperiode auf der Fläche verbleibt, können keine Erträge verzeichnet werden. Eine mineralische Düngung muss dennoch in jedem Jahr vorgenommen werden.

#### **SENSITIVITÄT DER REKULTIVIERUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON BKS-PREIS UND ERTRAGS-STEIGERUNG**

Für einen finalen Vergleich einer Rekultivierung mit BKS mit einer konventionellen Rekultivierung müssen weitere Parameter betrachtet werden: Zum einen muss untersucht werden, ab welchen BKS- Herstellungskosten (Abbildung 20) eine Rekultivierung nach 15 Jahren einen positiven Cashflow erreicht und welchen Einfluss eine höhere Ertragssteigerung (Abbildung 21) auf eben diesen kumulierten Jahresüberschuss hat.

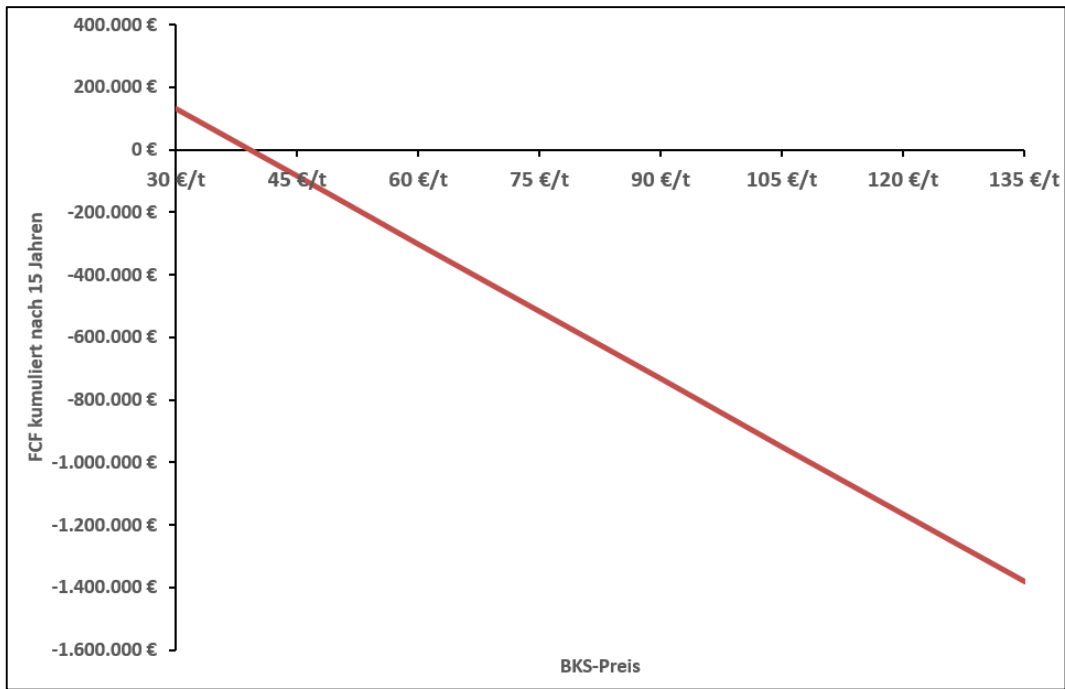


ABBILDUNG 20 EINFLUSS DER BKS-HERSTELLUNGSKOSTEN AUF DEN KUMULIERTEN JAHRESÜBERSCHUSS DER REKULTIVIERUNG

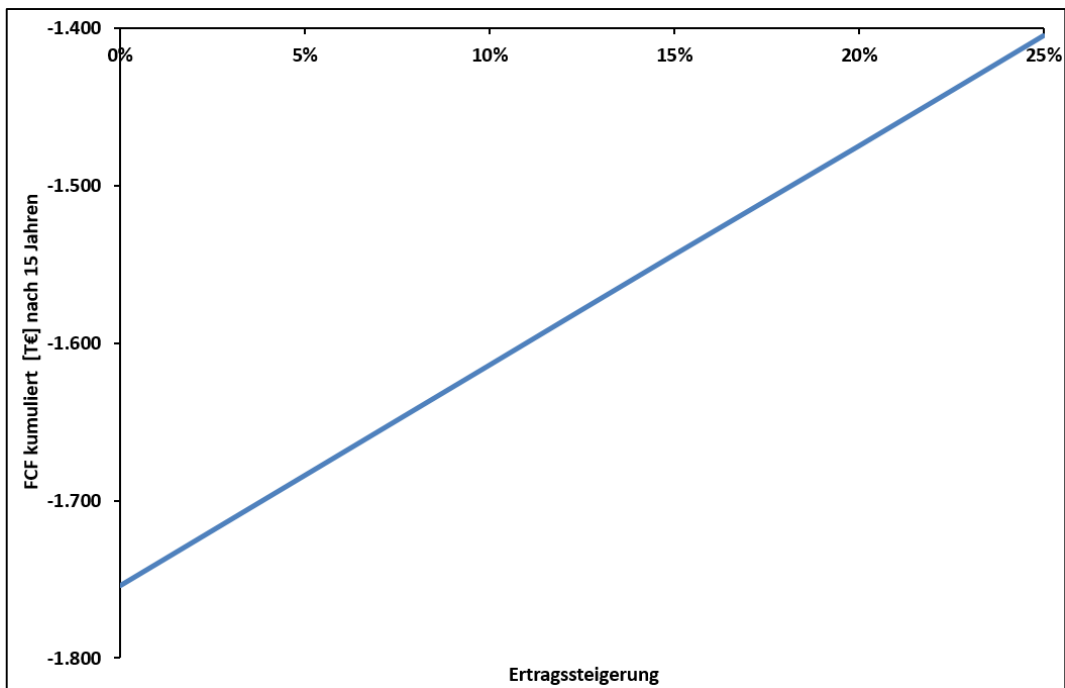


ABBILDUNG 21 EINFLUSS DER ERTRAGSSTEIGERUNGEN AUF DEN KUMULIERTEN JAHRESÜBERSCHUSS DER REKULTIVIERUNG

Die beiden Abbildungen zeigen, ähnlich wie bei der landwirtschaftlichen Sensitivitätsanalyse, dass vor allem die BKS- Herstellungskosten sehr großen Einfluss auf den Jahresüberschuss haben. Die Ertragssteigerung wirkt sich zwar auch auf den Jahresüberschuss aus, jedoch nicht in der gleichen Größenordnung, wie die BKS- Herstellungskosten. Durch eine Ertragssteigerung von 25% kann der Jahresüberschuss der ersten 15 Jahre bei gleichbleibender Frucht-

folge um fast 350 T€ bei dem Untersuchungsszenario gesteigert werden. Ab BKS- Herstellungskosten von 40 €/t erreicht auch die BKS-Rekultivierungsvariante einen positiven Cash-flow im Betrachtungszeitraum.

#### **SONSTIGE BEMERKUNGEN:**

Die Sensitivitätsanalyse hat gezeigt, dass eine Rekultivierung mit BKS aus betriebswirtschaftlicher Perspektive nicht zu favorisieren ist. Da BKS jedoch viele positive Effekte auf den Boden hat, die allerdings noch wissenschaftlich belegt werden müssen, repräsentiert diese betriebswirtschaftliche Sicht noch kein abschließendes Urteil. In der vorliegenden betriebswirtschaftlichen Betrachtung sind lediglich zwei Eigenschaften von BKS, nämlich die Substitution mineralischen Düngers und eine moderate Ertragssteigerung von 10%, berücksichtigt. Da BKS jedoch wesentlichen Einfluss auf den Humusaufbau und das Bodenleben hat, muss nachfolgend noch untersucht werden, wie die Fruchtfolge der konventionellen Rekultivierung durch eine Rekultivierung mit BKS so variiert werden kann, dass die Phasen des Humusaufbaus durch Früchte verkürzt werden können. Sind hier deutliche Effekte nachweisbar, kann die Fruchtfolge so variiert werden, dass ein erheblicher Mehrerlös durch ertragssteigernde Früchte zu erwarten ist.

Ein weiterer Aspekt der BKS-Variante ist die C-Speicherung im Boden. Wenn für diese Speicherung durch den volkswirtschaftlichen Nutzen ein monetärer Anreiz geschaffen werden kann, stellt sich die Rekultivierung mit BKS wiederum deutlich positiver dar. Hinzu kommt, dass durch den Humusaufbau auch der Wert des Bodens gesteigert werden kann.

#### **2.3.5. SANIERUNG VON KONVERSIONSFLÄCHEN<sup>2</sup>**

Biokohlesubstrate sind geeignet, um mit Mineralölkohlenwasserstoff (kurz: MKW) versetzte Böden von ihrer Verunreinigung zu befreien. Die Anwendung von BKS zur Sanierung ist möglich, wenn eine Bodensanierung mit dem Ziel der Bodenverbesserung angestrebt wird.

#### **VISUALISIERUNG DES GESCHÄFTSMODELLS**

Als Sanierungsbeispiel wird eine Eignungsfläche in Kummersdorf / Sperenberg in Teltow-Fläming mit einer Gesamtgröße von 550 ha betrachtet. Auf dieser Sanierungsfläche ist eine Fläche von 110.000 m<sup>2</sup> am Standort Innentanklager kontaminiert. Die Kontaminierung hat eine geschätzte Tiefe von 2,0 m. In diesem einfachen Sanierungsbeispiel wird der kontaminierte Boden mit BKS gemischt und folglich von den Schadstoffen befreit. Nach der Bearbeitung des Bodens mit BKS kann jener einer langfristigen land- oder forstwirtschaftlichen Nutzung zugeführt werden (siehe Abbildung 22).

---

<sup>2</sup> Die Berechnungen und Annahmen der Sanierung basieren auf den Ausarbeitungen von Macholz (2013). Die Ausarbeitungen wurden nur teilweise ergänzt.

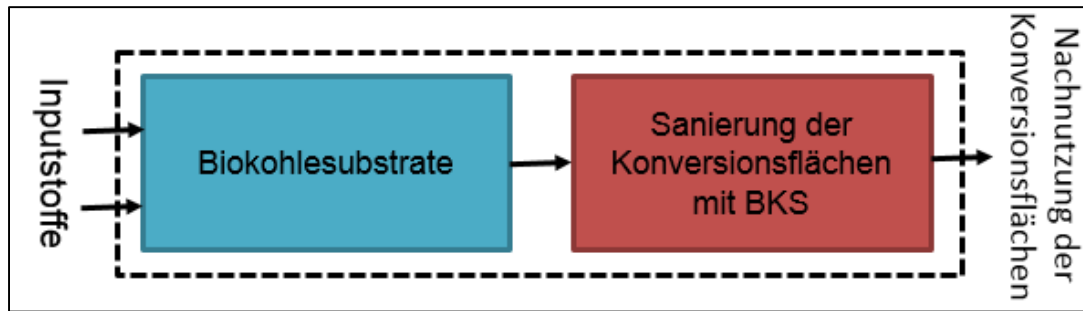


ABBILDUNG 22 SCHEMA DES EINSATZES VON BKS AUF KONVERSIONSFLÄCHEN

### CHARAKTERISIERUNG DES GESCHÄFTSMODELLS

Im Anschluss an die Bodensanierung sollte eine land- oder forstwirtschaftliche Nutzung der zu sanierenden Böden angedacht sein, damit der Schadstoffabbau durch die Pflanzen weiter unterstützt werden kann. Hierfür kommen z.B. Kurzumtriebsplantagen (kurz: KUPs) in Frage. Um die Verwendung von BKS zur Konversionsflächensanierung wirtschaftlich und ökologisch darzustellen ist die Nutzung lokaler Stoffkreisläufe für den Bezug von Biomassen, Biokohle oder BKS zu favorisieren. In der Beispielrechnung wird mit den Ergebnissen der vorherigen Geschäftsfelder und den ermittelten Kostenspannen für die Herstellung von BKS gearbeitet.

### KOSTENANALYSE DER SANIERUNGSVERFAHREN MIT BKS UND DER KONVENTIONELLEN METHODE

Zur Sanierung kontaminierter Böden existieren verschiedene Sanierungsverfahren: Die Off-site-Variante und die On-site-Variante. Die Off-Site-Variante stellt dabei die unwirtschaftlichste und ökologisch fragwürdigste Variante dar. Beim Off-Site-Verfahren wird der kontaminierte Boden komplett ausgehoben und zu einem Bodensanierungszentrum zur mikrobiologischen Sanierung gebracht. In dem Beispiel Kummersdorf befindet sich die nächste Bodenwaschanlage in Berlin (einfache Entfernung 60 km). Da pro LKW-Ladung lediglich 20 m<sup>3</sup> Boden abtransportiert werden können, sind für den Abtransport der 236.000 m<sup>3</sup> kontaminierter Boden rund 23.000 LKW-Fahrten (Hin- und Rückfahrten) notwendig. Dabei würden zwischen 1.500 und 1.800 t CO<sub>2</sub> emittiert werden (vgl. Tränkner 2014).

Bei der On-Site-Variante wird der kontaminierte Boden ausgehoben und auf eine untergrundgedichtete und abgedeckte Bodenmiete in der Nähe der Sanierungsfläche transportiert. Hier wird der Boden mikrobiologisch saniert und nach der Sanierung wieder in den Entnahmebereich zurück gebracht. In Tabelle 18 sind die einzelnen Kostenpositionen der konventionellen Sanierung mittels On- und Off-Site-Varianten, die für die Fläche in Sperenberg in Frage kommen, gegenüber gestellt.



TABELLE 18 KOSTENAUFSTELLUNG KONVENTIONELLER SANIERUNGSVERFAHREN

	1. Variante (On-Site, Tiefe: 3,0 m)	2. Variante (On-Site, Tiefe: 1,5 m)	4. Variante (Off-Site, Tiefe 3,0 m)
Analytik	14.800 €	7.400 €	Inkl.
Bodenaushub + Transport	944.000 €	377.600 €	2.218.400 €
Marktpreis Sanierung	5.664.000 €	2.832.000 €	9.440.000 €
Wiedereinbau	283.200 €	141.600 €	entfällt
<b>Summe</b>	<b>6.906.000 €</b>	<b>3.358.600 €</b>	<b>11.658.400 €</b>

Je nach Wahl der konventionellen Sanierungsvariante entstehen unterschiedlich hohe Sanierungskosten, die stark abhängig von der Sanierungstiefe sind. Die Kostenaufstellung (Tabelle 18) zeigt das Off-Site-Verfahren als das teuerste Sanierungsverfahren. Die On-Site-Varianten sind auf Grund geringerer Marktpreise der Sanierung wesentlich günstiger. Ebenso fallen die Transportkosten weg. Lediglich die Analytik und der Bodenaushub sind bei beiden Sanierungsvarianten enthalten.

Für die Anwendung von BKS ist ausschließlich die Sanierung mit der On-Site-Variante vorstellbar. Zusätzlich wird eine bisher noch nicht praktizierte Sanierungsvariante, bei der BKS mit einem Tiefpflug (bis zu 2m Bodentiefe) direkt in die Sanierungsfläche eingepflügt wird, berechnet. Eine Übersicht der Kostenpositionen ist der Tabelle 19 zu entnehmen. Bei diesem Beispiel wird mit den zuvor genannten minimalen Herstellungskosten von BKS in Höhe von 135 €/t in allen Varianten und einem BKS-Anteil von 25 Vol.-% gerechnet.

TABELLE 19 KOSTENAUFSTELLUNG DER SANIERUNG MIT BKS (135 €/T)

	1. Variante (3m)	2. Variante (1,5m)	3. Variante (Einpflügen 2,0m – 60 t/ha)
Analytik	14.800 €	7.400 €	62.000 €
Bodenaushub + Transport	944.000 €	377.600 €	Entfällt
Kosten BKS (Anteil 25 Vol%), 135 €/t	4.720.000 €	2.360.000 €	3.146.667 €
Wiedereinbau / <u>Einpflügen</u>	283.200 €	141.600 €	654.192 €
<b>Summe</b>	<b>6.324.800 €</b>	<b>3.068.000 €</b>	<b>3.862.859 €</b>

Tabelle 20 stellt die Sanierungskosten der konventionellen Sanierung der BKS-Sanierung gegenüber.

TABELLE 20 VERGLEICH DER KOSTEN DER SANIERUNGSVERFAHREN

Variante (Sanierungsansatz)	Konventionell	BKS-Sanierung
1. Variante (On-Site, 3m, 25 Vol.%)	6.906.000 €	6.324.800 €
2. Variante (On-Site, 1,5m, 25 Vol.%)	3.358.600 €	3.068.000 €
3. Variante (Einpflügen 2,0 m, 60 t/ha)		3.862.859 €
4. Variante (Off-Site)	11.658.400 €	

Die Gegenüberstellung der Sanierungskosten des konventionellen und des BKS-Verfahrens (Tabelle 20) zeigt, dass die Sanierung mit BKS eine sinnvolle Alternative ist, wenn die Ergebnisse der FU Berlin bestätigen, dass eine Zumischung von 25 Vol.-% BKS geeignet ist.

### SENSITIVITÄT DER SANIERUNGSKOSTEN IN ABHÄNGIGKEIT VON BKS- HERSTELLUNGS- KOSTEN, BKS-ANTEIL UND SANIERUNGSTIEFE

Um den Einfluss einzelner wichtiger Faktoren auf die Sanierungskosten zu ermitteln, wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Zuerst wird der BKS-Anteil (Abbildung 23) variiert. Danach werden die BKS- Herstellungskosten und deren Einfluss auf die Sanierungskosten analysiert (Abbildung 24), um zum Schluss den Einfluss der Sanierungstiefe auf die Sanierungskosten (Abbildung 25) zu betrachten.

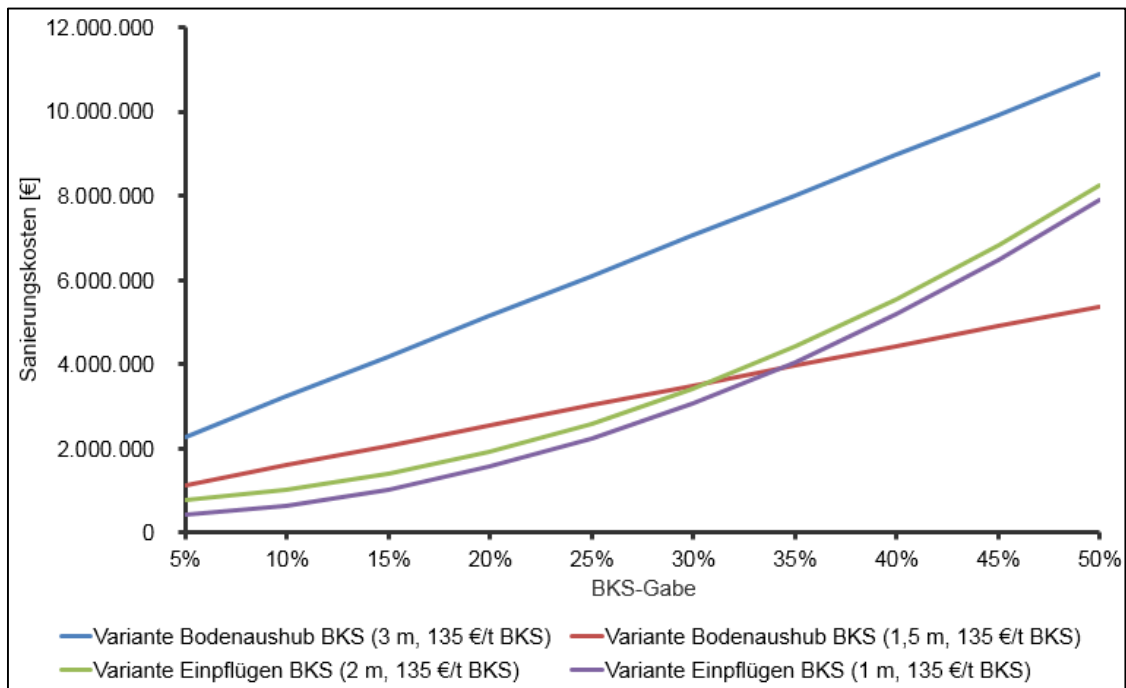


ABBILDUNG 23 EINFLUSS DER BKS-GABE AUF DIE SANIERUNGSKOSTEN

Abbildung 23 verdeutlicht, dass das Einpflügen bis 2m Tiefe bis zu einem BKS-Anteil zwischen 30 und 35% eine günstigere Alternative darstellt, als der Bodenaushub von 1,5m Tiefe. Wird ein höherer BKS-Anteil auf Grund stärkerer Kontamination des Bodens benötigt, ist der Bodenaushub bis 1,5m Tiefe das günstigere Sanierungsverfahren. Der Bodenaushub bis 3m ist stets die teuerste Sanierungsvariante und sollte nur bei sehr extremer Kontamination in Betracht gezogen werden.

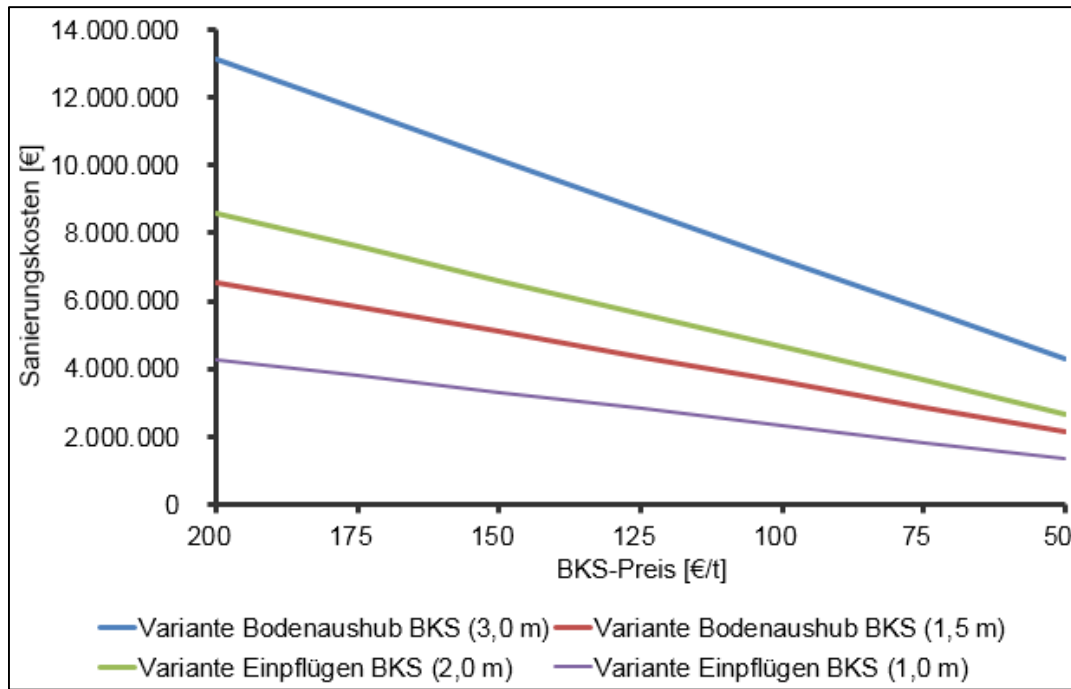


ABBILDUNG 24 EINFLUSS DER BKS- HERSTELLUNGSKOSTEN AUF DIE SANIERUNGSKOSTEN

Abbildung 24 zeigt, dass die Herstellungskosten die größte Kostenposition darstellt und einen erheblichen Einfluss auf die Sanierungskosten hat. Je größer das Sanierungsvolumen ist, desto größer ist die Ersparnis bei geringeren Herstellungskosten. Gleichzeitig muss die Sanierungstiefe berücksichtigt werden, um zu entscheiden, ob ein Einpflügen in den Boden eine Alternative zu dem Bodenaushub darstellt.

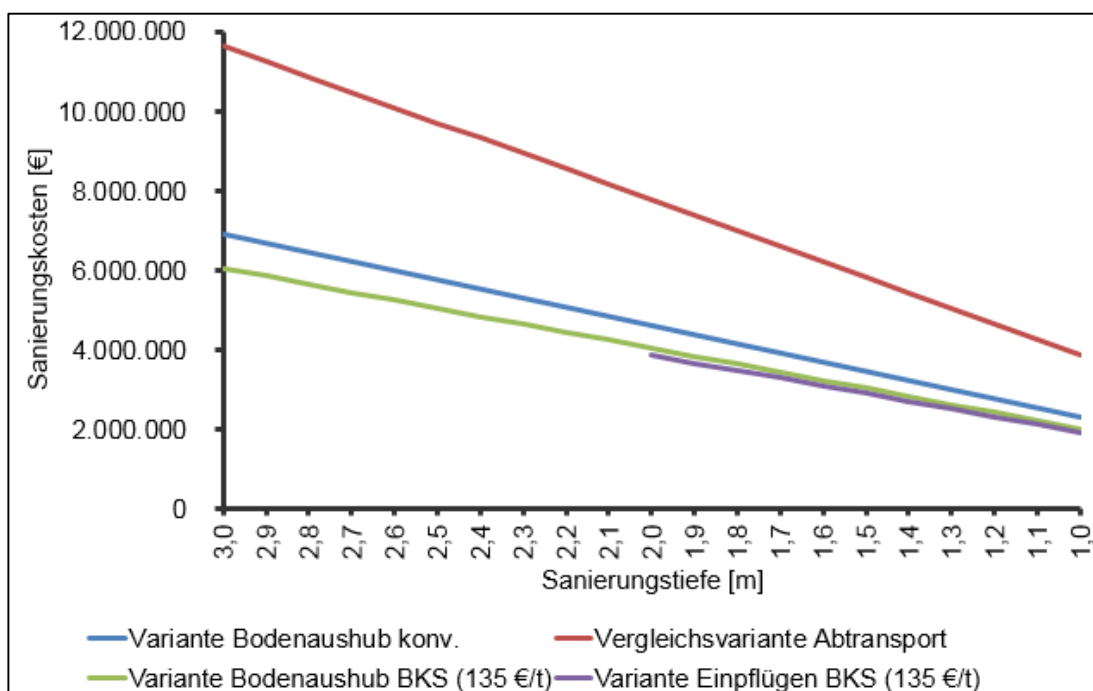


ABBILDUNG 25 EINFLUSS DER SANIERUNGSTIEFE AUF DIE SANIERUNGSKOSTEN

In Abbildung 25 wird deutlich, dass der Abtransport des Sanierungsbodens keine Alternative ist, da er unabhängig von der Sanierungstiefe immer die teuerste Option darstellt. Je geringer die Sanierungstiefe ist, desto geringer wird die Kostendifferenz zwischen dem Bodenaushub und der konventionellen Sanierung sowie der Sanierung mittels BKS. Unter bestimmten Bedingungen (großzügige Sanierungsdauer, land- und forstwirtschaftliche Nachnutzung) stellt die Variante des Einpflügens von BKS in den Boden daher eine ernstzunehmende Alternative dar.

#### **SONSTIGE BEMERKUNGEN**

Die Sanierung von Konversionsflächen mit BKS ist, wie die beispielhaften Untersuchungen gezeigt haben, eine mögliche Alternative zur herkömmlichen mikrobiologischen Sanierung. Dieses Verfahren kann in Betracht gezogen werden, unter der Bedingung, dass der zu sanierende Boden nur Mineralölkohlenwasserstoffe (kurz: MKW) und keine polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (kurz: PAK) enthält. Weiter sollte das Grundstück günstig zu erwerben sein und eine langfristige Bodensanierung mit dem Ziel der Bodenverbesserung beabsichtigt werden. Ein großer Vorteil der Sanierung mit BKS ist auch, dass das BKS mit den lokal verfügbaren und ungenutzten Biomassen hergestellt werden kann. So erfährt diese Biomasse eine Nutzung und muss nicht unter Umständen sogar kostenpflichtig entsorgt werden.

### 3. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Attraktivität von Biokohle und Biokohlesubstraten liegt in erster Näherung darin, dass Biomassen, die sich ansonsten nur schwer verwerten ließen, durch die Verarbeitung einer (womöglich rentablen) Verwertung zugeführt werden können. In den Untersuchungsregionen des FuE-Projekts LaTerra (Teltow-Fläming und Lausitz) hat sich gezeigt, dass es entgegen der verbreiteten Meinung durchaus in nennenswertem Umfang Biomassen gibt, die bislang keiner Nutzung unterliegen. Für diese Biomassen sind die Beschaffungspreise weitgehend identisch mit den Transportkosten zum Ort der Verarbeitung. Sofern der Gesetzgeber den Eigentümern solcher Biomassen neue (und ökologische) Entsorgungspflichten auferlegt, kann sogar mit einer Annahmegebühr gerechnet werden.

Gegenüber den Beschaffungs- und Transportkosten sind die Investitionen für eine Anlage zur Erzeugung von Biokohle deutlich höher. Bei der Erzeugung von Biokohle sind es 4 - 20 % (2-10km Transportentfernung); bei der Erzeugung von Biokohlesubstraten sind es ca. 3 - 13 % (2-10 km Transportentfernung). Vor diesem Hintergrund ist auch nicht weiter verwunderlich, dass der Umfang der jährlichen Betriebsstunden der Anlage, also ihre Auslastung, den größten Einfluss auf die Rentabilität hat. Bei den Technologievarianten zeigt sich, dass die Pyrolyse der Biomasse unter sehr vielen verschiedenen Bedingungen eine Vorzugsvariante gegenüber der Festbett- und Wirbelschichtvergasung darstellt.

Angesichts dieser Kostenstruktur ist es naheliegend, zunächst einmal eine Verwertung der Biokohle und der Biokohlesubstrate in hochpreisigen Marktsegmenten anzustreben. Dies ist insbesondere dort der Fall, wo die Biokohle an private Endverbraucher verkauft werden kann (zum Beispiel über den Internetvertrieb) oder wo Biokohlesubstrate in Baumärkten womöglich ein neues Marktsegment für hochwertige Pflanzenerde, die sich für mehr als eine Vegetationsperiode eignet, bilden. In diesen beiden Fällen zeigen die exemplarischen Berechnungen, dass die Herstellungskosten je nach gewählter Technologie und nach gewählttem Szenario, mehr oder minder deutlich unter den Verkaufspreisen liegen können, die sich auf den konkurrierenden Zielmärkten realisieren lassen. Die Amortisationszeiten schwanken je nach gewählten Bedingungen von 5 bis 12 Jahren. Dieser Befund widerspricht deutlich dem Vorurteil, dass sich mit Biokohle und Biokohlesubstraten kein Geschäft machen lässt. Sind die konkreten Umstände vor Ort noch einmal günstiger gegenüber den teilweise konservativ gewählten Modellannahmen, lassen sich die Amortisationszeiten ebenfalls noch einmal deutlich verkürzen.

Allerdings muss in Rechnung gestellt werden, dass Handelsspannen, die jenseits eines Direktvertriebes anfallen, in den Modellberechnungen ebenfalls nicht berücksichtigt wurden. Es muss ferner einschränkend festgehalten werden, dass die ermittelte Rentabilität zu gering ist, um einen Risikoaufschlag abzubilden, der eigentlich aus betriebswirtschaftlicher Sicht für ein

neues Verfahren mit teilweise noch unbekanntem Wirkungen zu fordern wäre. Ein privater Investor, der nicht gleichzeitig auch ein (ökologischer) Überzeugungstäter ist, wird mit einer solchen Rendite bzw. mit Amortisationszeiten von 5 bis 12 Jahren nicht zufrieden sein. Insofern kommt dem praktischen Einsatz von Biokohlesubstraten und den dort gemachten Erfahrungen eine große Bedeutung für die Überwindung solcher Unsicherheiten zu. Je belastbarer die Aussagen zu den vermuteten Vorteilswirkungen von Biokohlesubstraten sind, desto geringer sind auch die Erwartungen an die Höhe eines solchen Risikoaufschlages.

Dieses Bild ändert sich zwar, wenn eine Kuppelproduktion von Wärme und Strom mitgedacht wird. Die Rentabilität verbessert sich und dies umso mehr, je mehr die Wärme- und Stromerzeugung in den Vordergrund gerückt wird. Angesichts der deutlich höheren Erträge, die auf der Wärme- und Stromstrecke zu erzielen sind, ändert sich damit womöglich aber auch die technische Natur der Anlage. Die Erzeugung der Biokohle wird zu einer Art Nebenprodukt, das durch eine geschickte Anlagensteuerung auch noch abfällt. Zu beachten ist hier vor allem zweierlei: Der C-Gehalt der Biomassen kann nur einmal genutzt werden, entweder zur Energieerzeugung oder zur Biokohleproduktion. Mit anderen Worten, es gibt hier einen Trade-off. Und zweitens: Pyrolyse-Anlagen, die auf die Erzeugung von Biokohle abzielen, haben den Vorteil, sehr unterschiedliche Biomassen verarbeiten zu können. Dieser Vorteil geht teilweise verloren, wenn das technische Ziel vorrangig die Wärme- und Stromerzeugung ist, für das sich andere Techniken, wie die in der Analyse zusätzlich betrachteten Wirbelschicht- und Festbettvergaser, besser eignen.

Im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung ist der Einsatz von Biokohlesubstraten aus betriebswirtschaftlicher Sicht nur in einer langfristigen Perspektive angezeigt. Die unterstellten Ertragszuwächse durch den Einsatz von BKS können den finanziellen Mehraufwand gegenüber einer konventionellen Düngung erst nach 12 Jahren kompensieren. Hier muss dann die Voraussetzung erfüllt werden, dass die ergänzende mineralische Düngung und Biokohlesubstratgabe nach dem 8. Jahr dauerhaft ausgesetzt werden kann. Das ist vielleicht möglich, aber bedarf sicher noch einer Überprüfung. Entscheidend ist jedoch etwas anderes: Ein derartig langer Vergleichszeitraum unterstellt einen Planungshorizont eines Investors in der Landwirtschaft, der gegenüber den aktuellen Gewinn- und Amortisationserwartungen vermutlich zu lange ist.

Dieser Befund gilt im Prinzip auch für einen Ansatz, wonach BKS für die Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften eingesetzt werden könnte. Da in diesem Fall im Zeitverlauf weniger physische Erträge anfallen und folglich auch physische Mehrerträge durch den Einsatz von BKS gegenüber einer konventionellen Rekultivierung weniger finanziell ins Gewicht fallen, rechnet sich der Einsatz von BKS innerhalb eines überschaubaren Zeitraums (15 Jahre) gegenüber einer konventionellen Behandlung der Böden nicht. Dieses Ergebnis hängt allerdings von der Annahme ab, dass sich die Fruchtfolge, die bislang für eine konventionelle Sanierung

---

angenommen wurde, nicht ändert, und dass die Qualität der Böden im gleichen Tempo wie bei konventionellen Methoden, also sehr langsam, wiederhergestellt wird. Wenn sich schneller ertragsbringende Nutzpflanzen anbauen lassen und/oder das Rekultivierungstempo schneller wird, kann sich das Bild stärker zu Gunsten von BKS ändern. Angesichts des großen Kostendifferentials in der Modellberechnung muss aber einstweilen davon ausgegangen werden, dass BKS auch unter deutlich günstigeren Annahmen aus rein betriebswirtschaftlicher Sicht nicht die Vorzugsvariante bei der Rekultivierung von Tagebaufolgelandschaften sein kann.

Zu den eher überraschenden Resultaten der Modellierung gehört der Befund, dass die Sanierung von Konversionsflächen durch den Einsatz von Biokohlesubstraten in einer Reihe von interessanten Konstellationen kostenseitig mit konventionellen Sanierungsverfahren mithalten kann. Die Zahlen würden sich noch einmal verbessern, wenn die im Gefolge durch den Einsatz von Biokohlesubstraten verbesserten Böden auch „bestimmungsgemäß“ zur Herstellung von Biomasse genutzt werden und dadurch Mehranträge generiert werden, die bei konventionellen Sanierungsmethoden in dieser Form nicht anfallen würden.

Ob und unter welchen Umständen sich die Herstellung von Biokohle bzw. der Einsatz von Biokohlesubstraten lohnt, lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abschließend beurteilen. Die hier angestellten Berechnungen haben einen exemplarischen Charakter und nähern lediglich Einsatzbedingungen an, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt prima facie sinnvoll erscheinen. Trotz dieser Einschränkungen zeichnet sich ein Bild der betriebswirtschaftlich darstellbaren Einsatzbedingungen ab, das allerdings noch durch weitere Untersuchungen u.a. zu den Herstellungstechniken, der Qualitätssicherung und den vermuteten Wirkungen der Biokohlesubstrate erhärtet werden muss.



## LITERATURVERZEICHNIS

Böttcher, J. (2013): Schriftliche Mitteilung zur praktischen Umsetzung der regionalen Wertschöpfungsketten - Fragen von Herrn Rüdiger zum Berechnungstool für regionale Szenarien zur gekoppelten Produktion von Biokohle mit Strom und Wärme, areal Gesellschaft für nachhaltige Wasserwirtschaft mbH, Hengstbacherhof.

Dunst, G. (2011): Humusaufbau. Chance für Landwirtschaft und Klima. Verein Ökoregion Kaindorf.

EEG (2014): „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien“. Online verfügbar unter: [http://www.gesetze-im-internet.de/eeg\\_2009/](http://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2009/), zuletzt abgerufen am 26.02.2014.

EEWärmeG (2014): „Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich“. Online verfügbar unter: [http://www.gesetze-im-internet.de/eew\\_rmeg/index.html](http://www.gesetze-im-internet.de/eew_rmeg/index.html), zuletzt abgerufen am 26.02.2014.

Eidner, F. (2011): Arbeitspapier Stoffstromanalyse Teltow-Fläming & Niederlausitz, Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld, PDF.

DüMV (2014): „Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln“. Online verfügbar unter: [http://www.gesetze-im-internet.de/d\\_mv\\_2012/index.html](http://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/index.html), zuletzt abgerufen am 26.02.2014.

Flesch, F. et al. (2013): Arbeitspapier zum Arbeitspaket 1.3 - Ökologische Bewertung der Stoffszenerarien, Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld, PDF.

Flesch, F. et al. (2013): Arbeitspapier zum Querschnittsprojekt 1 - Der Einsatz von Terra Preta in ausgewählten Regionen – Analysen, Bewertungen und Empfehlungen für ein regionales Stoffstrommanagement im Rahmen des Verbundvorhabens LaTerra, Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld, PDF.

Glaser, B. (2010): Biokohle in Böden: CO<sub>2</sub>-Senke und Bodenverbesserung. In: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit und Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): 6. Marktredwitzer Bodenschutztag. Bodenschutz in Europa - Ziele und Umsetzung, Bd. 6. Informations- und Diskussionsforum für Wissenschaftler und Anwender mit Tätigkeiten im Bodenschutz. Marktredwitz, 06.-08.10 2010, PDF.

Haubold-Rosar, M.; Gunschera, G. (2009): „Düngeempfehlungen für die landwirtschaftliche Rekultivierung von Kippenflächen“. Schriftenreihe des Forschungsinstituts für Bergbaufolgelandschaften e.V., Band 1.

Haubold-Rosar, M. (2012): Schriftliche Mitteilung zur Wirkung von Biokohlesubstrat auf Rekultivierungsböden, Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V., Finsterwalde.

Hildebrandt, J. (2012): Regionally specified concepts of production facilities for soil amendments with properties of BKS – Assessment of the process chains by carbon foot print and energy flow analysis. Master Thesis, University of applied Sciences Trier, Environmental Campus Birkenfeld, Institute for applied Material Flow Management (IfaS), PDF.



Jeffery, S. et al (2011): A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. In: Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 144, Issue 1, November 2011, Pages 175-187.

Krause, Daniel, Krause, Dennis (2014): „La-Terra-Biokohlesubstrate – Excel (VBA)- basiertes Simulationstool zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung“. Studienarbeit im Modul Fachübergreifende Projektarbeit, BTU Cottbus-Senftenberg, 16.01.2014, PDF.

Macholz, R. (2013): Schriftliche Mitteilung Kostenkalkulation (Netto) für eine in-situ-Bodensanierung eines militärischen Altlasten-Standortes, Umweltprojekte Macholz GmbH, Stahnsdorf.

Proplanta (2012): „Agrarmarkt-Informationen: Mitteldeutsche Produktenbörse – Dresden Großhandelspreise 2012“. Online verfügbar unter: [http://www.proplanta.de/Markt-und-Preis/Mitteldeutsche-Produktenboerse-Dresden/Dresden-Grosshandelspreise-20-11-2012\\_notierungen1353449459.html](http://www.proplanta.de/Markt-und-Preis/Mitteldeutsche-Produktenboerse-Dresden/Dresden-Grosshandelspreise-20-11-2012_notierungen1353449459.html), zuletzt geprüft am 26.02.2014.

Restemeyer, O. (2002): „Entwicklung eines Verfahrens zur Geschäftsfeldanalyse und –entwicklung in kleinen und mittleren Unternehmen“. Dissertation zur Erlangung des Grades Doktoringenieur des Fachbereichs Bauingenieurwesne der Bergischen Universität Wuppertal. Stamwede 2002. Online verfügbar unter: <http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/edocs/dokumente/fb11/diss2002/restemeyer;internal&action=dialog.choosetarget.list.wo.border.action>, zuletzt geprüft am 26.02.2014.

Ronsse, F. (2013): Commercial biochar production and its certification, Vortrag auf der Interreg Conference am 10.12.2013 in Groningen, Department of Biosystems Engineering Faculty of Bioscience Engineering Ghent University, PDF.

Rüdiger, J. (2013): Kurzstudie – Bewertungen und Empfehlungen für Anlagen zur gekoppelten Kohleproduktion mit Wärme- und Stromauskopplung, Fakultät 5 – Ingenieurwissenschaften und Informatik Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Campus Senftenberg, PDF.

Schatz, K. (2012): Arbeitspapier Akteursanalyse Teltow-Fläming und Niederlausitz im Rahmen des Verbundvorhabens La Terra, Querschnittsprojekt 1: Der Einsatz von Biokohlesubstraten in ausgewählten Regionen – Analysen, Bewertungen und Empfehlungen für ein regionales Stoffstrommanagement, Fakultät 5 – Ingenieurwissenschaften und Informatik Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Campus Senftenberg, PDF.

Schmidt, H.-P., Niggli, C. (2011): Pflanzenkohle in Kleingärten. Resultate. Delinat-Institut für Agroökologie und Klimaforschung, Ithaka Journal, PDF.

Tränkner, Karsten (2014): „Zusammenfassung ausgewählter Ergebnisse im Projekt LaTerra“. Studienarbeit im Fach Anwendungsorientierte Forschung, BTU Cottbus-Senftenberg, 20.02.2014, PDF.

### **Mündliche Mitteilungen:**

J. Böttcher (2013): Geschäftsführer areal GmbH, Expertengespräche

M. Haubold-Rosar (2012): Direktor Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V., Expertengespräche

R. Macholz (2013): Geschäftsführer Umweltprojekte Macholz GmbH, Expertengespräche

J. Rüdiger (2013): Wissenschaftlicher Mitarbeiter Fakultät 5 – Ingenieurwissenschaften und Informatik Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Expertengespräche

F. Worzyk (2013): Projektleiter Verbundvorhaben LaTerra, Freie Universität Berlin Fachbereich Geowissenschaften Institut für Geographische Wissenschaften Organische Umweltchemie, Expertengespräche

### **Weiterführende Literatur:**

Asmus, F.; Hermann, V.: Reproduktion der organischen Substanz des Bodens. In: Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft (Heft 11). Online verfügbar unter [http://www.humusnetzwerk.de/uploads/media/Asmus\\_Herrmann\\_Fortschrittsberichte-Band15.pdf](http://www.humusnetzwerk.de/uploads/media/Asmus_Herrmann_Fortschrittsberichte-Band15.pdf), zuletzt geprüft am 13.03.2012.

Agrarbericht (2011): Agrarpolitischer Bericht 2011 der Bundesregierung. Online verfügbar unter <http://berichte.bmelv-statistik.de/DFB-0010010-2011.pdf>, zuletzt geprüft am 13.01.2014.

Breitschuh, Thorsten; Gernand, Ulrich (2011): Humusbilanzierung in landwirtschaftlichen Betrieben. Bericht zur Teilaufgabe 7 für den VDLUFA-F&E-Bericht „Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen“. BLE-Forschungsprojekt. Verband für Agrarforschung und Bildung (VAFB) e.V. Jena. Online verfügbar unter [http://www.humusnetzwerk.de/fileadmin/Humusnetzwerk/PDF/VDLUFA/Breitschuh\\_Gernand\\_BLE\\_2010\\_Humusbilanzierung.pdf](http://www.humusnetzwerk.de/fileadmin/Humusnetzwerk/PDF/VDLUFA/Breitschuh_Gernand_BLE_2010_Humusbilanzierung.pdf), zuletzt aktualisiert am 21.02.2011, zuletzt geprüft am 13.03.2012.

Dekra (2013): Dekra-Informationen zum Thema CO<sub>2</sub>. Online verfügbar unter [http://www.dekra-online.de/co2/co2\\_rechner.html](http://www.dekra-online.de/co2/co2_rechner.html), zuletzt geprüft am 14.01.2014).

Leithold, Günter; Brock, Christopher (2006): Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Justus-Liebig-Universität Gießen. Gießen. Online verfügbar unter <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2006/3134/pdf/LeitholdGuenter-2006-07-28.pdf>, zuletzt aktualisiert am 28.07.2006, zuletzt geprüft am 13.03.2012.

Leithold, Günter; Hülsbergen, Kurt-Jürgen; Michel, Dieter; Schönmeier, Heinz (1997): Humusbilanzierung - Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. Hg. v. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Leipzig. Online verfügbar unter [http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/HumusbilanzierungAgrarUmweltindikator\\_Kennwortschutz.pdf](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/HumusbilanzierungAgrarUmweltindikator_Kennwortschutz.pdf), zuletzt aktualisiert am 11.06.2007, zuletzt geprüft am 13.03.2012.

Proplanta (2012): Das Informationszentrum für die Landwirtschaft. Großhandelspreise vom 20.11.2012 – Getreide, Mühlenprodukte, Futtermittel und Ölsaaten, Dresden, zuletzt geprüft am 20.11.2012.

VDLUFA (2004): Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Bonn. Online verfügbar unter <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-humusbilanzierung.pdf>, zuletzt aktualisiert am 08.10.2004, zuletzt geprüft am 13.03.2012.

Wasserwissen (2013): Das Internetportal für Wasser und Abwasser – Mineralölkohlenwasserstoffe. Online verfügbar unter <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/m/mkw.htm>, zuletzt geprüft am 15.01.2014.

---

Wirtschaftslexikon (2014): Cashflow, online verfügbar unter: <http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/cash-flow/cash-flow.htm>, zuletzt geprüft am 02.04.2014.

## ANHANG A – RESSOURCENKONZENTRATION

	technisch vorhandenes Potenzial [t/a]	Jahres- zeit	Uebigau- Wahrenbrück Jahres- menge	Lauchhammer Jahres- menge	Finsterwalde Jahres- menge	Großräschen Jahres- menge	Nuthe-Urstromtal Jahres- menge	Niedergörsdorf/Oehna Jahres- menge	Rangsdorf Jahres- menge	Gesamtmenge			
										Wahrenbrück saisonal verteilt	Lauchhammer saisonal verteilt	Finsterwalde saisonal verteilt	Großräschen saisonal verteilt
Biomasse X	1 Biomasse	Winter	47.940	940	235	85	51.200				100.310	0	
		Frühling	11.985		115	340	12.800				12.420	12.420	
		Sommer	17.978		115	128	19.200				18.573	18.573	
Biomasse Y	2 Biomasse	Herbst	17.978	353	115	128	19.200				37.658	0	
		Winter	105.800	400	100	125	16.000				170.400	26.775	
		Frühling	26.450		100	188	24.000				40.113	40.113	
	3 Biomasse	Sommer	39.675	150	100	188	24.000				64.013	64.013	
		Herbst	39.675	150	100	188	24.000				518	518	
		Winter		2.070							2.070	518	
Biomasse Z	4 Biomasse	Sommer											
		Herbst											
		Winter											
	5 Biomasse	Frühling	27	4.186	90	27	133	67	533	250	10.109	0	
		Sommer			45	13	67	178	178	83	5.246	1.714	
		Herbst			45	14	67	178	178	83	1.742	1.742	
	6 Biomasse	7 Biomasse	Winter		8.187	375	53	267	533				
			Frühling	53		375	27	267	178				
			Sommer			375	27	267	178				
8 Biomasse		Herbst			750								
		Winter			750								
		Frühling			750								
9 Biomasse	Sommer			3.000									
	Herbst			750									
	Winter			750									
Biomasse Z	7 Biomasse	Frühling	714	714	183	108	285	6.000			2.161	540	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	8 Biomasse	Winter			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Herbst			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Sommer			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Frühling			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Winter			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Herbst			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Sommer			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Frühling			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Winter			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Herbst			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Sommer			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Frühling			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Winter			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Herbst			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Sommer			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Frühling			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Winter			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Herbst			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Sommer			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Frühling			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Winter			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Herbst			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Sommer			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Frühling			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Winter			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Herbst			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Sommer			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Frühling			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Winter			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
		Sommer			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Herbst			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Winter			183	108	71	1.500			469	469	
		Frühling			183	108	71	1.500			469	469	
Biomasse Z	9 Biomasse	Sommer			183	108	71	1.500			2.161	540	
		Herbst			183	108	71	1.500			469	469	
		Winter			183	108							

## ANHANG B – WIRTSCHAFTLICHE RAHMENDATEN

Annahmen	
Betrachtungszeitraum [a]	15
Steuersatz	30%
Anteil Fremdkapital	70%
Fremdkapitalzins	6%
Eigenkapitalzins	2%
Kalkulationszins	4%
Umsatz t = 1	0
Umsatz ab t = 2	100%
Umsatzwachstum t = 2...5	0%
Umsatz t = 6 +	100%
Subventionen	15.000

	Pyrolyse	FBV	WBSV	Klein-FBVSt	Klein-FBV
<b>Grundverfügbarkeit der Anlagen [h/a]:</b>	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
<b>Wartungsplanung:</b> täglich (1h)	700	700	700	0	0
wöchentlich (4 h)	208	208	208	0	0
halbjährlich (8h)	16	16	16	20	20
jährlich	16	16	16	60	30
alle 4 Jahre	12	12	12	350	280
Gesamt-Wartung	952	952	952	430	330
Gesamt-Verfügb.	6.048	6.048	6.048	6.570	6.670
Anteilige Verfügb.	86,40%	86,40%	86,40%	93,86%	95,29%

## ANHANG C – TECHNISCHE DATEN

Unterer Heizwert	kJ/kg (absolut trocken ohne Fremdstoffe):	17.300
	kJ/kg (lufttrocken ohne Fremdstoffe):	5.500
Feuchtegehalt:	% TS ohne Fremdstoffe:	44,00
Wassergehalt:	% Ges-Mat.:	31,00

Prozessübersicht Pyrolyse						
Pos.	Benennung	Medium	Mengenstrom	Einheit	Energiestrom	Einheit
1.0	Biomasse	naturbelassenes Restholz	260,00	[kg/h]	397,22	[kW]
2.0	Biomasse	naturbelassenes Restholz	135,00	[kg/h]	535,61	[kW]
3.0	Biomasse	vorkompostiertes Restholz	135,00	[kg/h]	535,61	[kW]
4.0	Pyrolysegas	Synthesegas	141,75	[m³/h]	159,46	[kW]
4.1	Förderschnecke	vorkompostiertes Restholz	135,00	[kg/h]	1,50	[kW]
4.2	Zellradialschleuse	vorkompostiertes Restholz	135,00	[kg/h]	0,60	[kW]
4.3	2 Förderschnecken Pyrolyse	Reaktorinhalt	-	-	3,00	[kW]
4.4	Zellradialschleuse	Biokohle, heiß	40,00	[kg/h]	0,60	[kW]
5.1	Rauchgas	Rauchgas	279,25	[m³/h]	156,29	[kW]
5.2	Pyrolysegas-Brennergebläse	Synthesegas	141,75	[m³/h]	0,60	[kW]
5.3	Verbrennungsluftgebläse	Luft	2.501,78	[m³/h]	0,60	[kW]
5.4	Startbrenner	Erdgas	120,00	[m³/h]	0,60	[kW]
5.5	Erdgas	Erdgas	120,00	[m³/h]	-	-
6.0	Biokohle	Biokohle, gelbscht	40,00	[kg/h]	300,00	[kW]
7.0	Rauchgas	Rauchgas	279,25	[m³/h]	33,92	[kW]
8.0	Kühlwasser (Rücklauf)	Wasser	1,00	[m³/h]	11,59	[kW]
9.0	Heißwasser	Wasser	1,00	[m³/h]	34,76	[kW]
9.1	Wärmezufuhr, von Wärmeauskoppelung	-	-	-	21,68	[kW]
10.0	Rauchgas	Rauchgas	279,25	[m³/h]	16,63	[kW]
11.0	Saugzuggebläse	Rauchgas	-	-	1,50	[kW]
12.0	Kaltwasser	Wasser	1,00	[m³/h]	-	-
13.1	Trocknungszuluft	Luft	2.501,78	[m³/h]	2,08	[kW]
13.2	Trocknungsabluft	Luft	2.501,78	[m³/h]	-	-
14.0	Nebenprodukte	(Pyrolyseöle etc.)	k.A.	-	k.A.	-

Prozessdatenübersicht Festbettvergaser								
Pos.	Benennung	Medium	Mengenstrom	Einheit	Energiestrom	Einheit	Art/Basis	Quellen
1.0	Biomasse	Biomasse X	390,00	[kg/h]	714,95	[kW]	Energieinhalt	Stoffstromanalyse
2.0	Biomasse	Biomasse X	248,40	[kg/h]	1.068,80	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert (landwirtschaftliche Trockner)
3.0	Biomasse	Biomasse X	235,98	[kg/h]	1.015,36	[kW]	Energieinhalt	berechnet mit variablem Zersetzungsgang
4.0	Synthesegas	Synthesegas	280,91	[m <sup>3</sup> /h]	495,83	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
4.1	Eintragsmechanik	Biomasse X, getrocknet / vorkompostiert	235,98	[kg/h]	1,50	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
4.2	Zellradtschleuse	Biomasse X, getrocknet / vorkompostiert	235,98	[kg/h]	0,60	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
-	-	-	-	-	0,00	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
4.4	Austragsmechanik	Biokohle, heiß	1,96	[kg/h]	1,50	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
5.1	Motorabgas	Rauchgas	828,68	[m <sup>3</sup> /h]	74,12	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
5.2	Turbolader / Pyrolysegasgebläse	Synthesegas	280,91	[m <sup>3</sup> /h]	5,24	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
5.3	Generator	-	-	-	140,32	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
6.0	Biokohle	Biokohle, gekühlt	1,96	[kg/h]	14,69	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
7.0	Rauchgas	Rauchgas	828,68	[m <sup>3</sup> /h]	20,62	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
8.0	Kühlwasser (Rücklauf)	Wasser	1,00	[m <sup>3</sup> /h]	0,00	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
9.0	Heißwasser	Wasser	1,00	[m <sup>3</sup> /h]	17,38	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
9.1	Wärmezufuhr, von Wärmeaustauskopplung	-	-	-	39,63	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
10.0	Rauchgas	Rauchgas	828,68	[m <sup>3</sup> /h]	16,63	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
-	-	-	-	-	-	-	-	Erfahrungswert
12.0	Kaltwasser	Wasser	10,00	[m <sup>3</sup> /h]	-	-	sonstige Ressource	-
13.1	Trocknungszuluft	Luft	3.767,10	[m <sup>3</sup> /h]	-	-	elektrisch	Erfahrungswert (landwirtschaftliche Trockner)
13.2	Trocknungsabluft	Luft	3.767,10	[m <sup>3</sup> /h]	-	-	Energieinhalt	Erfahrungswert (landwirtschaftliche Trockner)
14.0	Nebenprodukte	(Pyrolyseöle etc.)	k.A.	-	k.A.	-	-	-



Prozessdatenübersicht Wirbelschichtvergaser						
Pos.	Benennung	Medium	Mengenstrom	Einheit	Energiestrom	Einheit
1.0	Biomasse	Biomasse X	600,00	[kg/h]	1.979,69	[kW]
2.0	Biomasse	Biomasse X	476,10	[kg/h]	2.048,53	[kW]
3.0	Biomasse	Biomasse X	452,30	[kg/h]	1.946,10	[kW]
4.0	Synthesegas	Synthesegas	1.393,25	[m <sup>3</sup> /h]	891,63	[kW]
4.1	Eintragsmechanik	Biomasse X, getrocknet/vorkompostiert	452,30	[kg/h]	15,00	[kW]
4.2	WBS-Luftgebläse	Biomasse X, getrocknet/vorkompostiert	452,30	[kg/h]	1,17	[kW]
-	-	-	-	-	0,00	[kW]
4.3	Feinkokspneumatik/Austragsmechanik	Fein-Biokohle, heiß	37,26	[kg/h]	5,00	[kW]
5.1	Motorabgas	Rauchgas	4.110,10	[m <sup>3</sup> /h]	367,64	[kW]
5.2	Synthesegaskompressor	Synthesegas	1.393,25	[m <sup>3</sup> /h]	15,00	[kW]
5.3	Generator	-	-	-	401,24	[kW]
5.4	Luko-Gebläse	-	-	-	15,00	[kW]
5.5	Abwärme Luko	-	-	-	589,35	[kW]
6.0	Biokohle	Biokohle, gekühlt	37,26	[kg/h]	279,45	[kW]
7.0	Rauchgas	Rauchgas	4.110,10	[m <sup>3</sup> /h]	253,26	[kW]
8.0	Kühlwasser	Wasser	10,00	[m <sup>3</sup> /h]	0,00	[kW]
9.0	Niederdruck-Dampf BHKW	Wasserdampf	-	[m <sup>3</sup> /h]	76,80	[kW]
9.1	Mitteldruck-Dampf	Wasserdampf	-	[m <sup>3</sup> /h]	215,00	[kW]
9.2	Wärmezufuhr aus Wärmeauskoppelung	Wasserdampf	-	-	76,75	[kW]
10.0	Rauchgas	Rauchgas	4.110,10	[m <sup>3</sup> /h]	16,63	[kW]
11.0	Sagzuggebläse	Rauchgas	-	-	25,00	[kW]
12.0	Kesselwasserbereitung	Wasser	10,00	[m <sup>3</sup> /h]	-	-
13.1	Trocknungszuluft	Luft	5.836,09	[m <sup>3</sup> /h]	4,86	[kW]
13.2	Trocknungsabluft	Luft	5.836,09	[m <sup>3</sup> /h]	-	[kW]
14.0	Nebenprodukte	(Pyrolyseöle etc.)	k.A.	-	k.A.	-

Prozessdatenübersicht Klein-Festbrettervergaser mit Stromauskopplung								
Pos.	Benennung	Medium	Mengenstrom	Einheit	Energiestrom	Einheit	Art/Basis	Quellen
1.0	Biomasse	naturbelassenes Restholz	90,00	[kg/h]	137,50	[kW]	Energieinhalt	Stoffstromanalyse
2.0	Biomasse	naturbelassenes Restholz	49,73	[kg/h]	213,95	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert (landwirtschaftliche Trockner)
3.0	Biomasse	trocken gelagertes Restholz	47,24	[kg/h]	203,26	[kW]	Energieinhalt	berechnet mit variablem Zersetzungsgrad
4.0	Synthesegas	Synthesegas	76,08	[m³/h]	134,29	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
4.1	Eintragsmechanik	vorkompostiertes Restholz	47,24	[kg/h]	1,50	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
4.2	Zellradtschleuse	vorkompostiertes Restholz	47,24	[kg/h]	0,60	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
-	-	-	-	-	0,00	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
4.4	Austragsmechanik	Biokohle, heiß	0,53	[kg/h]	1,50	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
5.1	Rauchgas	Rauchgas	224,43	[m³/h]	21,95	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
-	Produktgas im Holzvergaserkessel	Synthesegas	76,08	[m³/h]	0,00	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
5.3	Generator	-	-	-	29,54	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert
6.0	Biokohle	Biokohle, gekühlt	0,53	[kg/h]	2,06	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
7.0	Rauchgas	Rauchgas	224,43	[m³/h]	20,62	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
8.0	Kühlwasser (Rücklauf)	Wasser	0,20	[m³/h]	0,00	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
9.0	Heißwasser	Wasser	0,20	[m³/h]	12,75	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
9.1	Wärmezufuhr, von Wärmeauskopplung	-	-	-	7,25	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
10.0	Rauchgas	Rauchgas	224,43	[m³/h]	16,63	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
-	-	-	-	-	-	-	-	Erfahrungswert
12.0	Kaltwasser	Wasser	10,00	[m³/h]	-	-	sonstige Ressource	-
13.1	Trocknungszuluft	Luft	681,98	[m³/h]	0,57	[kW]	elektrisch	Erfahrungswert (landwirtschaftliche Trockner)
13.2	Trocknungsabluft	Luft	681,98	[m³/h]	-	[kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert (landwirtschaftliche Trockner)
14.0	Nebenprodukte	(Pyrolyseöle etc.)	k.A.	-	k.A.	-	-	-

Prozessdatenübersicht Klein-FBV						
Pos.	Benennung	Medium	Mengenstrom Einheit	Energiestrom Einheit	Art/Basis	Quellen
1.0	Biomasse	naturbelassenes Restholz	90,00 [kg/h]	137,50 [kW]	Energieinhalt	Stoffstromanalyse
2.0	Biomasse	naturbelassenes Restholz	49,73 [kg/h]	213,95 [kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert (landwirtschaftliche Trockner)
3.0	Biomasse	trocken gelagertes Restholz	47,24 [kg/h]	203,26 [kW]	Energieinhalt	berechnet mit variablem Zersetzungsgang
4.0	Synthesegas	Synthesegas	76,08 [m <sup>3</sup> /h]	134,29 [kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
4.1	Eintragsmechanik	vorkompostiertes Restholz	47,24 [kg/h]	1,50 [kW]	elektrisch	Erfahrungswert
4.2	Zellradtschleuse	vorkompostiertes Restholz	47,24 [kg/h]	0,60 [kW]	elektrisch	Erfahrungswert
4.4	Austragsmechanik	Biokohle, heiß	0,53 [kg/h]	1,50 [kW]	elektrisch	Erfahrungswert
5.1	Rauchgas	Rauchgas	224,43 [m <sup>3</sup> /h]	49,88 [kW]	elektrisch	Erfahrungswert
6.0	Biokohle	Biokohle, gekühlt	0,53 [kg/h]	2,06 [kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
7.0	Rauchgas	Rauchgas	224,43 [m <sup>3</sup> /h]	43,23 [kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
8.0	Kühlwasser (Rücklauf)	Wasser	0,20 [m <sup>3</sup> /h]	0,00 [kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
9.0	Heißwasser	Wasser	0,15 [m <sup>3</sup> /h]	9,56 [kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
9.1	Wärmezufuhr, von Wärmeaustauschung	-	-	7,25 [kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
10.0	Rauchgas	Rauchgas	224,43 [m <sup>3</sup> /h]	16,63 [kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert
-	-	-	-	-	-	-
12.0	Kaltwasser	Wasser	10,00 [m <sup>3</sup> /h]	-	sonstige Ressource	-
13.1	Trocknungsluft	Luft	681,98 [m <sup>3</sup> /h]	0,57 [kW]	elektrisch	Erfahrungswert (landwirtschaftliche Trockner)
13.2	Trocknungsabluft	Luft	681,98 [m <sup>3</sup> /h]	- [kW]	Energieinhalt	Erfahrungswert (landwirtschaftliche Trockner)
14.0	Nebenprodukte	(Pyrolyseöle etc.)	k.A.	-	-	-

## ANHANG D – INVESTITIONEN

<b>Pyrolyse</b>	
Unterstand / Container [€/Einheit]	12.000
Shredder / Sieb [€/Einheit]	48.000
Trockner [€/Einheit]	50.000
Pyrolyse [€/Einheit]	360.000
Wärmeauskopplung [€/Einheit]	2.000
Aufbauarbeiten [€/Einheit]	15.000
Peripherie / Anschlussarbeiten [€/Einheit]	2.000
Planung [€/Einheit]	15.000
Transport [€/Einheit]	5.000
Elektroarbeiten [€/Einheit]	2.000
Reserve [€/Einheit]	12.000
Beratungshonorar Gesamtplanung [€]	10.000

<b>Festbettvergaser (FBV)</b>	
Unterstand / Container [€/Einheit]	40.000
Shredder / Sieb [€/Einheit]	48.000
Trockner [€/Einheit]	50.000
Holzvergaser SJG [€/Einheit]	140.000
Gasmotor/Generator 255kWel. [€/Einheit]	95.000
Aufbauarbeiten [€/Einheit]	15.000
Peripherie / Anschlussarbeiten [€/Einheit]	2.000
Planung [€/Einheit]	15.000
Transport [€/Einheit]	25.000
Elektroarbeiten [€/Einheit]	8.000
Reserve [€/Einheit]	12.000
Beratungshonorar Gesamtplanung [€]	10.000

<b>Wirbelschichtvergaser (WBSV)</b>	
Gebäude [€/Einheit]	400.000
Shredder / Sieb [€/Einheit]	200.000
Trockner [€/Einheit]	150.000
WBS-Vergaser incl. Maschinenpark [€/Einheit]	1.550.000
Turbine/Generatorblock [€/Einheit]	500.000
Aufbauarbeiten [€/Einheit]	100.000
Peripherie (Luko, Wasseraufbereitung, etc.) [€/Einheit]	225.000
Planung / Ingenieurleistungen [€/Einheit]	167.000
Transport [€/Einheit]	40.000
Elektroarbeiten [€/Einheit]	125.000
Reserve [€/Einheit]	30.000
Beratungshonorar Gesamtplanung [€]	10.000

<b>Klein-Wirbelschichtvergaser mit Stromauskopplung</b>	
Unterstand / Container [€/Einheit]	36.000
Shredder [€/Einheit]	30.000
Trockner / Schubbodencontainer [€/Einheit]	23.000
Holzvergaser-Heizkessel BioMaCon [€/Einheit]	148.000
Stirlingmotor/Generator 35kWel. [€/Einheit]	70.000
Aufbauarbeiten [€/Einheit]	15.000
Peripherie / Anschlussarbeiten [€/Einheit]	22.780
Planung [€/Einheit]	70.000
Kamin, Brandschutz, Transport [€/Einheit]	33.000
Elektroarbeiten / EDV [€/Einheit]	20.000
Reserve [€/Einheit]	3.000
Beratungshonorar Gesamtplanung [€]	10.000

<b>allgemeine BKS-Investitionen</b>	
Neubau Lagerstätte [€/m <sup>2</sup> ]	45,00
Kompostflies [€/m <sup>2</sup> ]	1,20
Kompostwender [€]	20.000,00
Beratungshonorar [€]	5.000,00
Sickerwasseranlage [€]	5.000,00

## ANHANG E – ALLGEMEINE ÜBERSICHT DER CASH FLOW-BE- RECHNUNG

<b>Erlöse</b>
- Aufwendungen für RHB, bezogene Waren und Leistungen
- Löhne und Gehälter
- Abschreibungen
= <b>EBIT</b>
- Kapitalzinsen
= <b>Ergebnis der gewöhnlichen Geschäftstätigkeit</b>
- Grundsteuer
- Grunderwerbssteuer
- Gewerbesteuer
- KFZ-Steuer
= <b>Jahresüberschuss</b>
→ Jahresüberschuss (abgezinst)
→ Jahresüberschuss (kumuliert)