

## Endbericht

Projekttitle: **Gutachterliche Bewertung der Prüfkriterien des KrWG zur getrennten Bioabfallerfassung im Zweckverband für Abfallwirtschaft in Nordwest-Oberfranken -Teilgutachten Landkreis Coburg-**

Auftraggeber: **Zweckverband für Abfallwirtschaft in Nordwest-Oberfranken  
von-Werthern-Str. 6  
96487 Dörfles-Esbach**

Projekt-Nr.: **950585**

Bearbeiter: **Sarah Meyer René  
Peché Johann  
Baumann Markus  
Hertel**

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>0</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Biomasse-Potenzialabschätzung für eine separate Erfassung von Bioabfall aus der Biotonne .....</b>	<b>7</b>
2.1	Organik im Restabfall .....	8
2.2	Organik aus der separaten Grünguterfassung .....	9
2.3	Organik aus der Eigenkompostierung und sonstigen Entsorgungswegen.....	10
<b>3</b>	<b>Ökobilanzielle Betrachtung.....</b>	<b>12</b>
3.1	Methodik.....	12
3.1.1	Ökobilanzielle Betrachtung .....	12
3.1.1.1	Zieldefinition .....	13
3.1.1.2	Sachbilanz .....	13
3.1.1.3	Wirkungsabschätzung.....	13
3.1.1.4	Aggregation .....	14
3.1.2	Untersuchungsrahmen.....	15
3.1.2.1	Untersuchungsgegenstand .....	15
3.1.2.2	Erkenntnisinteresse .....	15
3.1.2.3	Funktionelle Einheit .....	16
3.1.2.4	Systemgrenzen.....	16
3.2	<b>Aufteilung der berücksichtigten Bioabfallmenge auf die Entsorgungswege.....</b>	<b>19</b>
3.2.1	IST-Zustand: Bestehendes Abfallwirtschaftssystem für die biogenen Abfälle.....	19
3.2.2	Szenario A: Biotonne mit Anschlussgrad 40 % .....	20
3.2.3	Szenario B: Biotonne mit Anschlussgrad 55 % .....	20
3.2.4	Szenario C: Biotonne mit Anschlussgrad 70 % .....	21
3.3	<b>Umweltwirkungen .....</b>	<b>22</b>
3.3.1	Wirkungsabschätzung.....	22
3.3.1.1	Treibhauseffekt .....	22
3.3.1.2	Versauerung .....	24
3.3.1.3	Fotochemische Oxidantienbildung .....	26
3.3.1.4	Terrestrische Eutrophierung.....	28
3.3.1.5	Ressourcennutzung.....	30

3.3.1.6	Toxische Schädigung des Menschen und von Organismen .....	32
3.3.1.7	Toxische Schädigung von Organismen und Ökosystemen .....	33
3.3.2	Gesamtumweltwirkung (Ökologie-Index).....	33
3.4	<b>Fazit – Diskussion der Ergebnisse .....</b>	<b>34</b>
4	<b>Wirtschaftliche Betrachtung .....</b>	<b>42</b>
4.1	<b>Erläuterungen zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung .....</b>	<b>42</b>
4.2	<b>Kostenberechnung zur Einführung einer Biotonne .....</b>	<b>44</b>
4.3	<b>Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung.....</b>	<b>45</b>
5	<b>Bewertung der rechtlichen Rahmenbedingungen .....</b>	<b>47</b>
5.1	<b>Diskussion der rechtlichen Rahmenbedingungen .....</b>	<b>48</b>
5.1.1	Überlassungspflicht nach § 17 Abs. 1 KrWG .....	48
5.1.2	„technische Möglichkeit“ und „wirtschaftliche Zumutbarkeit“ nach § 7 Abs. 4 KrWG.....	48
5.1.3	Vorrang der hochwertigen Verwertung nach § 8 Abs. 1 KrWG.....	50
5.1.4	Umsetzung der Getrennthaltungspflicht für Bioabfälle nach KrWG in Bayern .....	51
5.2	<b>Akzeptanz der Getrenntsammlung und Ausgestaltung der Rahmenbedingungen .....</b>	<b>53</b>
5.3	<b>Fazit und bei der Entscheidungsfindung zu berücksichtigende Aspekte .....</b>	<b>53</b>
6	<b>Abschließende Empfehlungen .....</b>	<b>55</b>
7	<b>Literatur .....</b>	<b>56</b>
8	<b>Anhang .....</b>	<b>60</b>
	<b>Anhang A: Erläuterungen zur Darstellung der Ergebnisse.....</b>	<b>60</b>
	<b>Anhang B: Beschreibung der Wirkungskategorien.....</b>	<b>62</b>
	<b>Anhang C: Aggregation der Wirkungsindikator- bzw. Sachbilanzparameter zum Ökologie-Index .....</b>	<b>70</b>
	<b>Anhang D: Beschreibung der Entsorgungsmodelle.....</b>	<b>74</b>
	<b>Anhang E: Zusatznutzen aus der Behandlung von Bioabfällen .....</b>	<b>84</b>
	<b>Anhang F: Beschreibung der Äquivalenzsysteme .....</b>	<b>85</b>
	<b>Anhang G: Sensitivitätsbetrachtung .....</b>	<b>90</b>

## 0 Einleitung

Der Zweckverband für Abfallwirtschaft Nordwest-Oberfranken (ZAW Coburg) beschäftigt sich mit einer möglichen Einführung der Getrennterfassung von Bioabfällen. Grund dafür ist das KrWG mit der Pflicht zur Getrennterfassung von Bioabfällen ab 01.01.2015 und die unterschiedlichen Interpretationen der Getrennterfassungspflicht, die aktuell insbesondere hinsichtlich der „wirtschaftlichen Zumutbarkeit“ kontrovers diskutiert werden.

Der ZAW Coburg wurde als Körperschaft des öffentlichen Rechts von den Verbandsmitgliedern Landkreise Coburg, Kronach und Lichtenfels sowie der Stadt Coburg gegründet. Die Verbandsmitglieder sind für die abfallwirtschaftlichen Aufgaben wie die Abfallberatung der Haushalte, Grüngutkompostierung, Sammlung und Transport von Haus- und Sperrmüll, Wertstoffhöfe, Bauschuttentsorgung, etc. Dies verdeutlicht, dass eine einzuführende Getrennterfassung von Bioabfällen nicht nur den ZAW Coburg und sondern auch die vier Verbandsmitglieder mit ihren Aufgaben betrifft.

Der ZAW Coburg mit seinen vier Verbandsmitgliedern hat daher eine fachgutachterliche Bewertung beauftragt, um Kenntnisse über folgende Punkte zu erlangen:

- Ermittlung des Biomassepotenzials vor dem Hintergrund der Diskussion der Einführung einer getrennten Bioabfallerfassung
- Aussagen zur möglichen Einführung einer Biotonne ökologisch und ökonomisch
- Darstellung der rechtlichen Rahmenbedingungen (§ 11 KrWG) und Aufzeigen von Defiziten im Hinblick auf die gesetzlichen Forderungen zur Getrennterfassung von Bioabfall

Die Fachgutachterliche Stellungnahme dient als Entscheidungsgrundlage für die Gremien des Zweckverbandes und seiner Mitglieder. Gemeinsam mit der ÄU Consult GmbH hat das bifa Umweltinstitut ein Gutachten über die Getrennterfassung von Bioabfällen beim ZAW Coburg erarbeitet. Neben einer Potenzialanalyse wurde untersucht welche ökologischen und ökonomischen Auswirkungen die Einführung einer Biotonne im gesamten Gebiet des ZAW Coburg als auch Ebene der einzelnen Zweckverbandsmitglieder haben kann sowie einer Gesamtbewertung vor dem Hintergrund des rechtlichen Rahmens formuliert.

# 1 Zusammenfassung

Unter Bioabfall wird in der Bevölkerung meist der Inhalt einer Biotonne oder die Küchenabfälle im Restabfall verstanden. Im novellierten Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) von 2012 wird der Begriff Bioabfall jedoch für alle biologisch abbaubaren pflanzlichen, tierischen oder aus Pilzmaterialien bestehenden Abfälle verschiedener Herkunftsbereiche verwendet. Dazu zählen auch Grüngut und Mengen, die in die Eigenkompostierung oder sonstige Entsorgungswege gehen. Die exakten in diesem Gutachten verwendeten Definitionen sind zu Beginn von Kapitel 2 beschrieben.

## **Bewertung der Mengenströme zur Zusammensetzung einer Biotonne**

Durch die Einführung einer getrennten Bioabfallfassung im Holsystem mittels Biotonne werden die Mengenströme des Restabfalls, der Grünguterfassung und der Eigenkompostierung sowie der sonstigen Entsorgungswege beeinflusst.

Aus Restabfallanalysen vergleichbarer Landkreise mit hohem Anschlussgrad (70 %) der Biotonne und deren festgestelltem Organikpotenzial im Restabfall kann eine Reduzierung von max. 50 % bzw. durch eine Biotonne angenommen werden. Auch wird durch die Biotonne eine Reduzierung der Grüngutmengen, welche über die Sammelstellen im Bringsystem erfasst werden, um max. 30 % erwartet. Des Weiteren werden mittels Biotonne Mengen aus den privaten Haushalten und Gärten mobilisiert, die bislang hauptsächlich durch Eigenkompostierung verwertet und daher nicht in den offiziellen Entsorgungswegen des Landkreises erfasst wurden. Ein weiterer Anteil, insbesondere Gartenabfälle, verschiebt sich von den sonstigen Entsorgungswegen (z. B. Direktanlieferungen an Kompostanlagen und/oder Landwirte, wilde Ablagerungen) in eine Biotonne.

Es ist davon auszugehen, dass bei einem flächendeckenden Angebot der Biotonne im Landkreis Coburg und einem angestrebten Anschlussgrad der Haushalte von mindestens 70 % durch die separate Erfassung von Bioabfall über die Biotonne Mengen von ca. 80 kg/(Ew\*a) erfasst werden.

## **Ökobilanzielle Betrachtung**

In der Ökobilanz wurde untersucht, welche ökologischen Auswirkungen mit der Einführung einer Biotonne und anschließender Verwertung der erfassten Bioabfälle in einer (Trocken)Vergärungsanlage in Seßlach einhergehen. Um die Auswirkungen in Relation setzen zu können wurde zunächst die derzeitige Entsorgungspraxis für Bioabfälle im Landkreis Coburg untersucht und ökobilanziell abgebildet. Weiter wurden dann in drei unterschiedlichen Szenarien die ökologischen Auswirkungen und Unterschiede einer getrennten Erfassung von Bioabfällen aus der Biotonne zur derzeitigen Entsorgungspraxis (IST-Zustand) herausgearbeitet. Dabei waren alle Bioabfallstoffströme gemäß KrWG zu bilanzieren und deren Verschiebungen durch Einführung einer Biotonne darzustellen. Bei der Gestaltung der einzelnen Szenarien wurden die Veränderungen folgender unterschiedlicher Mengenströme betrachtet:

- Behandlung des separat erfassten Grünguts (Kompostierung, energetische Verwertung im Biomasse-HW/HKW)
- Stoffliche Behandlung von Abfällen aus Haus und Garten in der Eigenkompostierung und über sonstige Entsorgungswege
- Beseitigung des Organikpotenzials im Restabfall im Müllheizkraftwerk (MHKW) Coburg

Die untersuchten drei unterschiedlichen Szenarien definieren sich über den Anschlussgrad der Privathaushalte an die getrennte Bioabfallerrfassung mittels Biotonne wie folgt:

- Szenario A: Anschlussgrad der Biotonne bei ca. 40 %
- Szenario B: Anschlussgrad der Biotonne bei ca. 55 %
- Szenario C: Anschlussgrad der Biotonne bei ca. 70 %

Die über die Biotonne erfassbare Abfallmenge in den untersuchten Szenarien gestaltet sich dabei abhängig vom Anschlussgrad wie in Tabelle 1–1 dargestellt:

Tabelle 1–1: Darstellungen der Mengenszenarien (Mittelwerte)

	IST-Zustand	Szenario A	Szenario B	Szenario C
separat erfasstes Grüngut zur Kompostierung	132,1 kg/(Ew*a)	Reduktion um 15,9 kg/(Ew*a)	Reduktion um 21,8 kg/(Ew*a)	Reduktion um 27,7 kg/(Ew*a)
separat erfasstes Grüngut zur energetischen Verwertung	88,1 kg/(Ew*a)	Reduktion um 10,6 kg/(Ew*a)	Reduktion um 14,5 kg/(Ew*a)	Reduktion um 18,5 kg/(Ew*a)
Eigenkompostierung u. sonst. Entsorgungswege	100 kg/(Ew*a)	Reduktion um 3,3 kg/(Ew*a)	Reduktion um 4,6 kg/(Ew*a)	Reduktion um 5,8 kg/(Ew*a)
Organikpotenzial im Restabfall	56 kg/(Ew*a)	Reduktion um 16 kg/(Ew*a)	Reduktion um 22 kg/(Ew*a)	Reduktion um 28 kg/(Ew*a)
Summe separat erfassbarer Bioabfälle aus der Biotonne		45,7 kg/(Ew*a)	62,9 kg/(Ew*a)	80 kg/(Ew*a)

Das Portfolio in Abbildung 1–1 stellt die Umweltauswirkungen des IST-Zustandes den drei untersuchten Szenarien gegenüber. Eine detaillierte Erläuterung des Portfolios befindet sich im Anhang. . Das Portfolio drückt aus, welche Umweltwirkungen von der Einführung einer Biotonne und anschließenden Vergärung der Bioabfälle in einer Anlage in Seßlach, ausgehen.

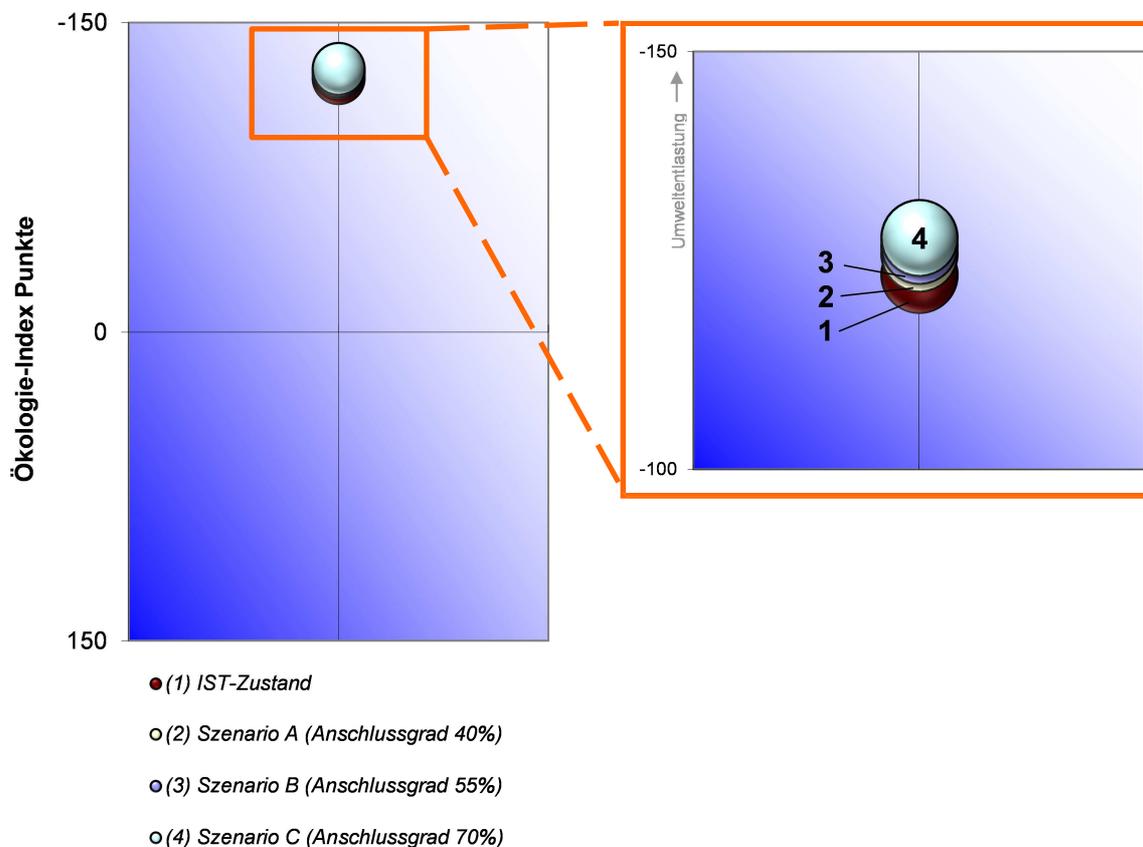


Abbildung 1–1: Portfolio mit Ökologie-Indices bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Bei der Betrachtung der gesamten Umweltwirkung schneidet das Szenario C (Anschlussgrad der Biotonne von 70 %) am besten ab. Der Ökologie-Index ist ca. 4 % niedriger als der des derzeit bestehenden Abfallwirtschaftssystems für Bioabfälle im Landkreis Coburg. Auch die Szenarien A und B führen gegenüber dem IST-Zustand insgesamt zu einer Umweltentlastung, allerdings in noch geringerer Größenordnung. Hier beträgt die Differenz der Ökologie-Index-Werte zu dem des Ist-Zustandes ca. 2 % bzw. 3 %.

### Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung liegen die gleichen Mengenszenarien wie der ökobilanziellen Betrachtung zugrunde. Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zur Einführung einer Biotonne im Landkreis Coburg ist eine rein betriebs- bzw. einzelwirtschaftliche Betrachtung unter den bestehenden Rahmenbedingungen der Abfallwirtschaft. Dabei wurde zum einen explizit Bezug auf geltende Entsorgungspreise genommen (z. B. derzeitige Kosten für die Entsorgung von Restabfall beim MHKW des ZAW Coburg). Zum anderen wurden z. B. bei Behältermiete, Bioabfallvergärung und Bioabfallkompostierung Durchschnittspreise angesetzt, die im Rahmen von öffentlichen Ausschreibungen in den letzten Jahren in vergleichbaren Landkreisen erzielt wurden. Anhand aktueller Ausschreibungsergebnisse wurden auch die

Kosten einer Bioabfallsammlung ermittelt. Für die Vergärung oder alternativ Kompostierung der Bioabfälle aus der Biotonne ergeben sich damit folgende Kosten bei einer ganzjährigen 14-tägigen Leerung der Biotonne:

Tabelle 1–2: Gesamtkosten einer separaten Erfassung von Bioabfall aus der Biotonne mit Vergärung der Bioabfälle

Vergärung des Bioabfalls aus der Biotonne	Szenario A	Szenario B	Szenario C
<b>jährliche Gesamtkosten - Einführung einer Biotonne (Vergärung)</b>	502.295 €	644.003 €	765.632 €
<b>Kostendeckende Gebühreneinnahmen pro Bioabfallbehälter jährlich</b>	55,96 €/Stk./a	52,18 €/Stk./a	48,75 €/Stk./a
<b>Kostendeckende Gebühreneinnahmen pro Einwohner im Jahr für eine Biotonne</b>	5,79 €/EW*a	7,42 €/EW*a	8,82 €/EW*a

Tabelle 1–3: Gesamtkosten einer separaten Erfassung von Bioabfall aus der Biotonne mit Kompostierung der Bioabfälle

Kompostierung des Bioabfalls aus der Biotonne	Szenario A	Szenario B	Szenario C
<b>jährliche Gesamtkosten - Einführung einer Biotonne (Kompostierung)</b>	438.801 €	556.698 €	654.517 €
<b>Kostendeckende Gebühreneinnahmen pro Bioabfallbehälter jährlich</b>	48,89 €/Stk./a	45,11 €/Stk./a	41,67 €/Stk./a
<b>Kostendeckende Gebühreneinnahmen pro Einwohner im Jahr für eine Biotonne</b>	5,05 €/EW*a	6,41 €/EW*a	7,54 €/EW*a

Bei einer ganzjährigen 14-tägigen Leerung der Biotonne ergibt sich Abhängig von der Behältergröße, der Anzahl der Leerungen des Restabfallbehälters (18 bis 26 Leerungen/a) und der Art der Bioabfallverwertung (Vergärung/Kompostierung) eine minimale Gebührensteigerung mit 25,3 % und eine maximale Gebührensteigerung mit 53,8 %.

Bei einer 7-tägigen Leerung der Biotonne während der wärmeren 6 Monate pro Jahr und 14-tägigen Leerung während den restlichen kälteren 6 Monate pro Jahr, ergibt sich abhängig von der Behältergröße, der Anzahl der Leerungen des Restabfallbehälters und der Art der Bioabfallverwertung eine minimale Gebührensteigerung mit 31,1 % und eine maximale Gebührensteigerung mit 64,2 %.

## **Bewertung der rechtlichen Rahmenbedingungen zur Erfordernis einer Getrennterfassung von Bioabfall**

Nach § 11 Abs. 1 KrWG sind Bioabfälle spätestens ab 01. Januar 2015 getrennt zu erfassen. Dabei sind diejenigen Bioabfälle, die gemäß § 17 Abs. 1 S. 1 KrWG einer Überlassungspflicht gegenüber dem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger unterliegen, unter dem Vorbehalt der technischen Möglichkeit und der wirtschaftlichen Zumutbarkeit getrennt zu erfassen und zu recyceln. Der Vorrang der stofflichen Verwertungspflicht entfällt dann, wenn die energetische Verwertung dem besseren Schutz von Mensch und Umwelt dient. Dies gilt es jedoch mittels Lebenszyklusanalyse der Erfassungs- und Verwertungswege nachzuweisen.

Die technische Möglichkeit ist auf Grund geeigneter technischer Behandlungsverfahren als auch vorhandene Behandlungskapazitäten in entsprechenden Anlagen gegeben. Die wirtschaftliche Zumutbarkeit wird momentan sehr kontrovers diskutiert und kann hier nicht abschließend beurteilt werden. Letztlich ist es eine Entscheidung des Landkreis Coburg auf Basis der im Gutachten erarbeiteten Entscheidungsgrundlagen für die Einzelsituation. Weitere Konkretisierungen von Seiten des Bundes oder des Landes in Form von Verordnungen sind nicht zu erwarten. Von der ursprünglich angedachten Festlegung von Kriterien wie Erfassungsmengen, Organikanteil im Restabfall oder Anschlussgrade auf Basis des Forschungsvorhabens „Verpflichtende Umsetzung der Getrenntsammlung von Bioabfällen“ im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit wird Abstand genommen, da die Einflussfaktoren vielfältig sind und bei den Gebietskörperschaften im Bundesgebiet sehr unterschiedlich zusammengesetzt sind und wirken. Daher wird es von Seiten des Bundes nur Handlungsempfehlungen geben. Die Entscheidung über die Art der getrennten Erfassung verbleibt beim öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger.

Im Falle der Einführung einer Biotonne sollte der Landkreis Coburg, neben verstärkter aufklärender Öffentlichkeitsarbeit zum Umgang mit der Biotonne für die privaten Haushalte, eine möglichst flächendeckende Einführung anstreben. Dies hat nicht nur wirtschaftliche, sondern auch ökologische Vorteile. Ein flächendeckendes Getrennterfassungssystem als Holsystem im gesamten Landkreis-Gebiet würde eine Erhöhung des Service für den Bürger darstellen.

## 2 Biomasse-Potenzialabschätzung für eine separate Erfassung von Bioabfall aus der Biotonne

Unter Bioabfall wird in der Bevölkerung meist der Inhalt einer Biotonne oder die Küchenabfälle im Restabfall verstanden. Im neuen Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) von 2012 wird der Begriff Bioabfall jedoch für alle biologisch abbaubaren pflanzlichen, tierischen oder aus Pilzmaterialien bestehenden Abfälle verschiedener Herkunftsbereiche verwendet. Daher werden folgende Definitionen in diesem Gutachten zur Abgrenzung von Begrifflichkeiten angewandt:

- **Organik im Restabfall:** Native Organik, die im Restabfall enthalten ist, bestehend aus den Fraktionen
  - Küchenabfälle,
  - Lebensmittel verpackt,
  - Gartenabfälle,
  - sonstige Organik,
  - native Organik im Mittelmüll,
  - native Organik im Feinmüll.
- **Bioabfall aus der Biotonne:** Mittels Biotonne/Biosack erfasste Abfälle, bestehend aus Anteilen der Stoffströme (native) Organik im Restabfall, Grüngut und Eigenkompostierung sowie sonstiger Entsorgungswege von Bioabfällen.
- **Grüngut:** Getrennt erfasste Gartenabfälle aus Privathaushalten
- **Bioabfall:** Zusammenfassung aus Bioabfall aus der Biotonne und Grüngut inkl. Mengen, die in die Eigenkompostierung und sonstige Entsorgungswege gehen. Nahrungs-, Küchen- und Gartenabfall aus Privathaushalten sowie Park- und Landschaftspflegeabfälle aus der kommunalen Pflege.

Durch die Einführung eines Holsystems für Bioabfälle (Biotonne) werden neben der Organik im Restabfall auch die Mengenströme des Grünguts aus der separaten Erfassung sowie Bioabfälle aus Küche und Garten die bislang über die Eigenkompostierung oder sonstige Entsorgungswege entsorgt wurden, beeinflusst. In Abbildung 2–1 ist anschaulich dargestellt, welche Abfallfraktionen unter den Begriff Bioabfall aus privaten Haushalten zu subsumieren sind und aus welchen Fraktionen sich der Inhalt einer Biotonne zusammensetzt.

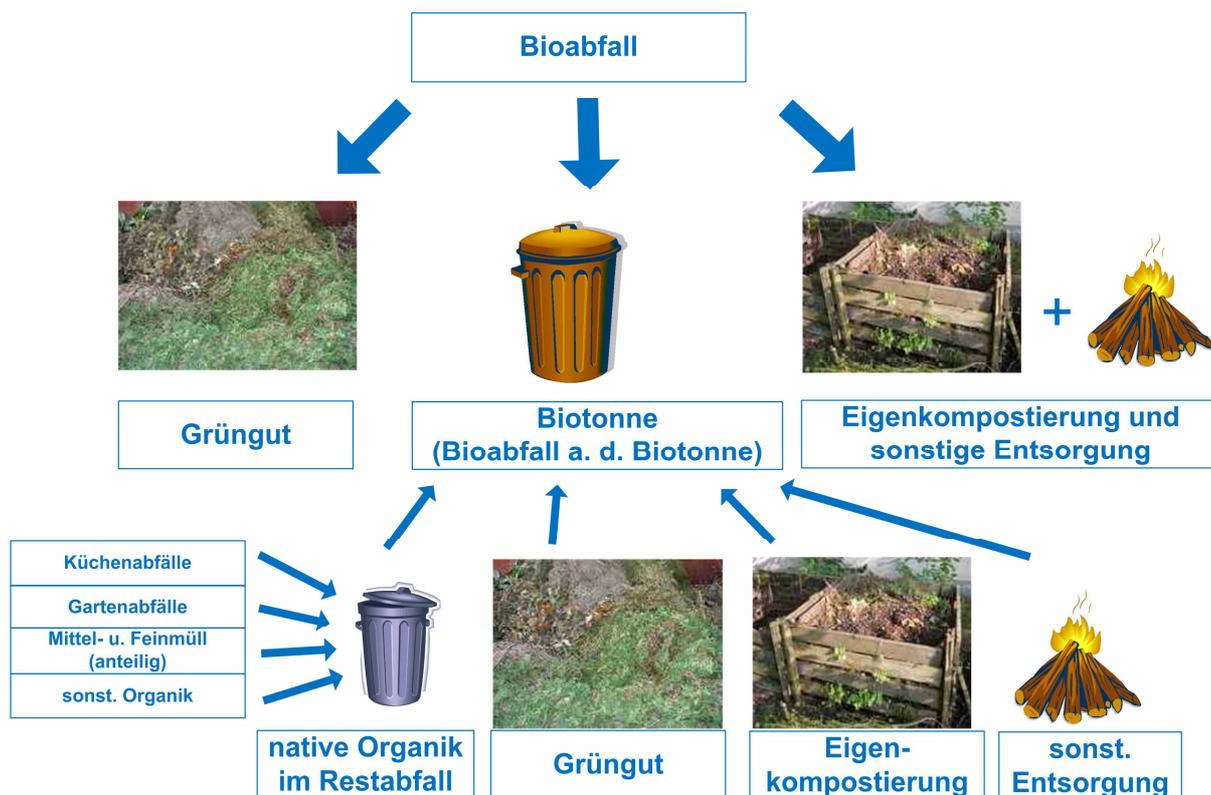


Abbildung 2–1: Zusammenhang der Mengenströme Bioabfall aus privaten Haushalten

## 2.1 Organik im Restabfall

Der Landkreis Coburg verfügt über keine aktuelle Auswertung der Restabfallzusammensetzung der Haushalte des Landkreises. Daher wurden Analyseergebnisse aus anderen, mit dem Landkreis Coburg im Erfassungssystem sowie Siedlungsstruktur vergleichbaren Kommunen herangezogen, um auf einen potenziellen nativen Organikgehalt im Restabfall des Landkreises Coburg zurückschließen zu können. [ARGUS, 2008], [bifa, 2014], [Fabion, 2007], [Fabion, 2011]

Die Auswertung dieser Analysen ergab einen durchschnittlichen Organikgehalt im Restabfall von ca. 32,2 %. Bezogen auf die Werte des Landkreises Coburg sind somit ca. 55,99 kg/(Ew\*a) native Organik im Restabfall des Landkreises enthalten.

Erfahrungsgemäß kann durch Einführung einer separaten Bioabfallerrfassung im Holsystem nicht das gesamte native Organikpotenzial im Restabfall abgeschöpft werden. Zahlreiche, in den vergangenen 3 Jahren von bifa und AU Consult durchgeführte Restabfallsortieranalysen in Landkreisen mit flächendeckend eingeführter Biotonne und hoher Anschlussquote weisen noch 10 - 30 kg/(Ew\*a) potenzielle native Organik im Restabfall aus. Daher kann davon ausgegangen werden, dass von dem festgestellten verfügbaren theoretischen Potenzial an nativer Organik im Restabfall des Landkreises Coburg von 56 kg/(Ew\*a) maximal 50 % über eine Biotonne erfasst werden könnten, sofern ein flächendeckendes Angebot und ein hoher Anschlussgrad der Biotonne angestrebt wird. Für den Landkreis Coburg bedeutet dies bei guter Abschöpfung eine Reduktion des Restabfallaufkommens von ca. **28 kg/(Ew\*a)**.

## 2.2 Organik aus der separaten Grünguterfassung

Erfahrungsgemäß setzt sich der Bioabfall aus der Biotonne, welcher im Holsystem bei privaten Haushalten erfasst wird, besonders in ländlichen und ländlich dichten Gebieten zu einem hohen Anteil aus Gartenabfällen zusammen. Dabei werden im Sommer hauptsächlich Rasenschnitt und in den Herbstmonaten Strauchschnitt und Laub über die Biotonne entsorgt.

In 2013 wurden im Landkreis Coburg 220,2 kg/(Ew\*a) Grüngut aus privaten Haushalten erfasst. Die Pro-Kopfmenge an separat erfasstem Grüngut aus privaten Haushalten liegt nicht nur weit über dem bayerischen Durchschnitt in 2013, sondern auch deutlich über dem Durchschnitt der Pro-Kopfmenge in ländlich dichten Landkreisen sowie dem des Regierungsbezirks Oberfranken (vgl. Abbildung 2–2).

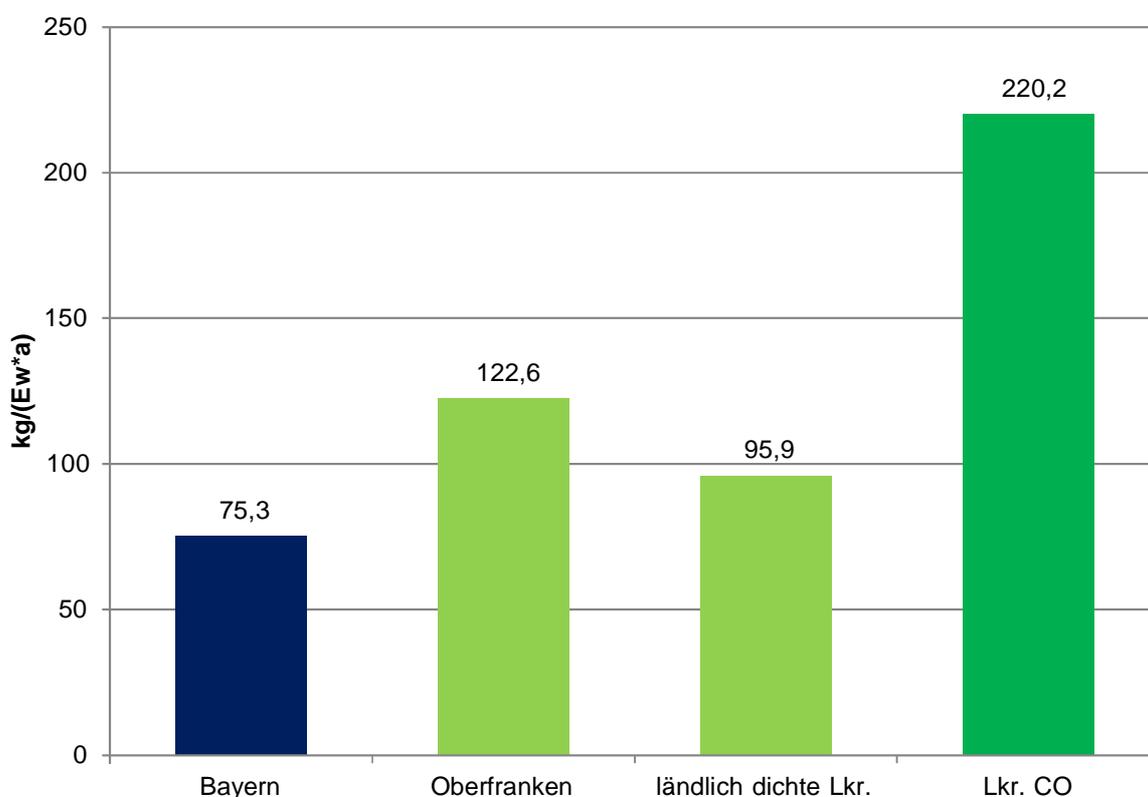


Abbildung 2–2: Separat erfasstes Grüngut aus privaten Haushalten im Vergleich, [LfU, 2014]

Die Autoren gehen davon aus, dass aufgrund des benutzerfreundlicheren Holsystems bei einer Anschlussquote einer Biotonne von ca. 70 %, ein Anteil aus der bisherigen Grünguterfassung im Bringsystem von ca. 30 % mit der Biotonne erfasst werden kann. Dieser Wert begründet sich zum einen durch die Zusammensetzung des Grünguts (ca. 30 % sind tonnengängiges Material) und weitere Erfahrungswerte welche gesammelt wurden im Zuge von Systemumstellungen mit Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit. Somit ergibt sich ein Potenzial von ca. **46,2 kg/(Ew\*a)** an Gartenabfällen, das aus der Grünguterfassung in eine flächendeckend eingeführte Biotonne umgelenkt werden könnte.

Nach Einführung einer Biotonne würden weiterhin rund 174 kg/(Ew\*a) Grüngut aus privaten Haushalten über das Bringsystem erfasst werden. Wie in Abbildung 2–3 dargestellt, würde der Landkreis Coburg mit flächendeckend eingeführter Biotonne weiterhin überdurchschnittlich viel Grüngut über das Bringsystem erfassen.

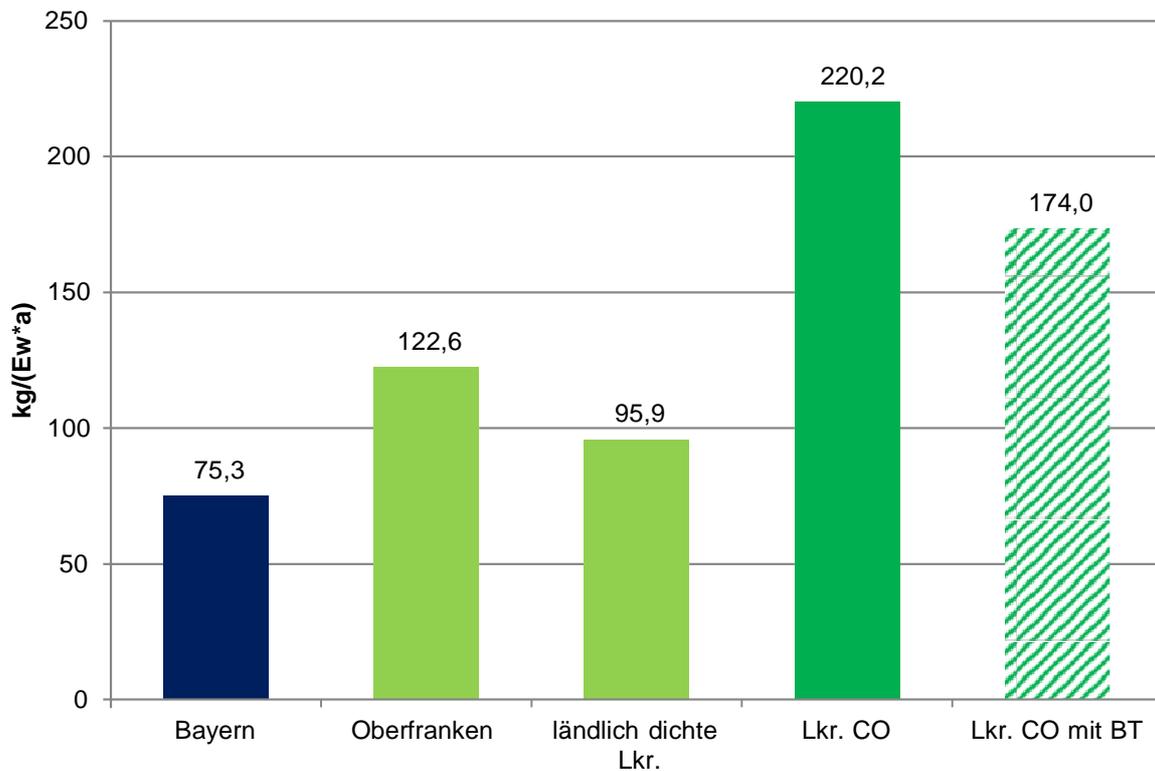


Abbildung 2–3: Separat erfasstes Grüngut aus privaten Haushalten im Vergleich zzgl. Auswirkung Biotonne (BT) im Landkreis Coburg, [LfU, 2014]

### 2.3 Organik aus der Eigenkompostierung und sonstigen Entsorgungswegen

Mit Einführung einer separaten Erfassung von Bioabfällen aus der Biotonne im Holsystem ist zu erwarten, dass ein gewisser Anteil Bioabfälle aus Haus und Garten, die bislang im Rahmen der Eigenkompostierung verwertet wurden, sodann über die Biotonne miterfasst werden. Wie hoch das gesamte Potenzial der Organik in der Eigenkompostierung ist, kann an dieser Stelle nicht abgeschätzt werden. Die organischen Abfälle aus der Eigenkompostierung setzen sich in Abhängigkeit der Witterungsperiode und der Praxis vor Ort aus einem Anteil an Gartenabfällen und einem anderen Anteil an Küchen- und Speiseabfällen zusammen.

Nach Betrachtung derjenigen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger in Bayern, die eine Biotonne mit einem Anschlussgrad von mindestens 70 % eingeführt haben, ergeben sich durchschnittliche Pro-Kopferfassungsmengen von ca. 80 kg/(Ew\*a). Ausgehend von einem flächendeckenden Angebot und Anschlussgrad der Biotonne von ca. 70 % kann daher auch beim Landkreis Coburg von einem Aufkommen an Bioabfall aus der Biotonne von ca.

**80 kg/(Ew\*a)** ausgegangen werden. Die fehlende Menge zu 80 kg/(Ew\*a) sind ca. **5,8 kg/(Ew\*a)**, die als Küchen- und Gartenabfälle aus der Eigenkompostierung und anderen, bislang über die offiziellen Entsorgungswege nicht erfassten Mengen (wilde Ablagerungen, Direktanlieferungen an Kompostierungsanlagen oder Landwirten) mit der Biotonne mobilisiert werden.

Daraus ergibt sich eine ermittelte Zusammensetzung der erfassbaren Bioabfälle über eine Biotonne (vgl. Abbildung 2–4).

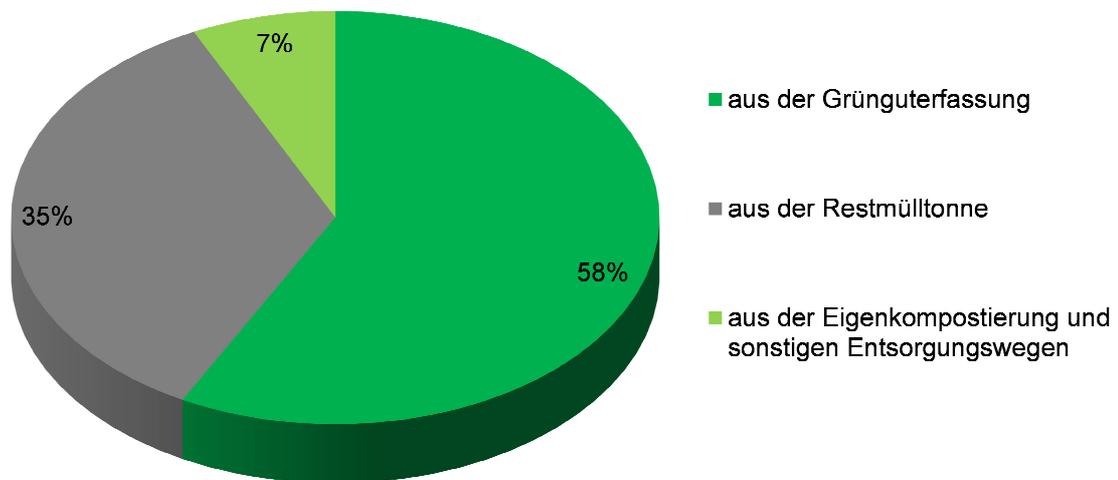


Abbildung 2–4: Ermittelte Zusammensetzung der Abfälle in der Biotonne

## 3 Ökobilanzielle Betrachtung

### 3.1 Methodik

#### 3.1.1 Ökobilanzielle Betrachtung

Bei einer Ökobilanz handelt es sich um eine systemanalytische Methode zur integrierenden, medienübergreifenden Erfassung und Auswertung umweltrelevanter Sachverhalte im Zusammenhang mit Produkten, Verfahren und Dienstleistungen. Ökobilanzen zeichnen sich dadurch aus, dass auch die Umweltbeeinflussungen, die mit vor- oder nachgelagerten Lebenswegstufen verbunden sind, erfasst und zusammengeführt werden. Dabei werden sowohl Rohstoffentnahmen als auch Stoff- und Energieeinträge in die Umweltmedien Wasser, Luft und Boden berücksichtigt. Ökobilanzen ermöglichen umfassende Aussagen über die Umweltwirkungen der untersuchten Systeme. Sie sind deshalb auch für den umweltbezogenen Vergleich verschiedener Produkte und Verfahren geeignet.

Die im Rahmen dieses Vorhabens durchgeführte ökobilanzielle Betrachtung<sup>1</sup> orientierte sich an den Normvorgaben zur Durchführung von Ökobilanzen DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 [DIN 2006, DIN 2009].



Abbildung 3–1: Vorgehensweise bei der ökobilanziellen Betrachtung

<sup>1</sup> Da im Rahmen dieses Vorhabens aus Effizienzgründen nicht vorgesehen war, alle in den Normen vorgeschriebenen Aspekte in vollem Umfang umzusetzen, wird im Weiteren von ökobilanziellen Betrachtungen in Anlehnung an DIN EN ISO 14040 ff. gesprochen.

Dabei wurden - ausgehend von der Zieldefinition im Rahmen der Sachbilanz - relevante Parameter erfasst und in der Wirkungsabschätzung hinsichtlich ihrer Umweltwirkung zusammengefasst. Anschließend wurden die Ergebnisse mit Hilfe einer am bifa entwickelten Methode aggregiert [BIFA 2003]. Die Vorgehensweise orientiert sich soweit wie möglich an den Vorgaben des Umweltbundesamtes (UBA) zur Bewertung in Ökobilanzen. Die Methode ist transparent und nachvollziehbar und liefert als Ergebnis einen numerischen Wert pro Szenario. Abbildung 3-1 stellt die Vorgehensweise bei der ökobilanziellen Betrachtung schematisch dar.

### **3.1.1.1 Zieldefinition**

Zur Zieldefinition gehören die Formulierung des Erkenntnisinteresses sowie die Festlegung der funktionellen Einheit und der Systemgrenzen.

### **3.1.1.2 Sachbilanz**

Die Erstellung der Sachbilanz beinhaltet das Sammeln, die Ableitung und die Aufbereitung prozessspezifischer In- und Outputdaten, die System- und Prozessmodellierung sowie die Berechnung der Sachbilanzen. Letztere quantifizieren In- und Outputflüsse des kompletten Bilanzierungssystems oder spezifischer Teil- und Äquivalenzsysteme. Die Sachbilanzen sind Grundlage für die Wirkungsabschätzung und die Auswertung.

Wesentlich für die Datenerhebung und die darauf basierende Bilanzierung ist die Modellierung der Entsorgungssysteme. Dafür ist es erforderlich, die für das jeweilige Systemmodell relevanten Prozesse zu identifizieren und die notwendigen Sachbilanzdaten zu erheben oder abzuleiten. Das Systemmodell bildet die Basis für die Datenerhebung, die Systemkalkulation, und alle anschließenden Auswertungsschritte. Die Modellierung und Bilanzierung erfolgte mit der Software UMBERTO®.

### **3.1.1.3 Wirkungsabschätzung**

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung werden die umfangreichen Ergebnisse der Sachbilanz komprimiert und für die Auswertung vorbereitet. Dazu werden die Sachbilanzergebnisse möglichst (potenziellen) Umweltwirkungen zugeordnet und innerhalb dieser Wirkungskategorien zu aggregierten Werten verrechnet.

Jede Wirkungskategorie bezieht sich auf einen mehr oder weniger komplexen Wirkungsmechanismus, an dessen Ende unerwünschte Auswirkungen auf ein oder mehrere Umweltschutzgüter stehen. Am Anfang stehen die Freisetzung bestimmter Stoffe aus dem untersuchten System oder ein durch das System bedingter Eingriff in die Umwelt.

Die Auswahl der verwendeten Wirkungskategorien orientierte sich an den aktuellen umweltbezogenen Kenntnissen sowie am projektspezifischen Erkenntnisinteresse, wobei von den vom Umweltbundesamt als relevant betrachteten Wirkungskategorien [PLINKE ET AL. 2000] ausgegangen wurde.

Den einzelnen Wirkungskategorien sind jeweils Sachbilanzparameter zuzuordnen. Die entsprechenden Sachbilanzergebnisse werden anschließend zu einem oder mehreren Wirkungsindikatorergebnissen verrechnet oder direkt als Wirkungsindikatorergebnis verwendet.

Tabelle 3–1 zeigt die ausgewählten Wirkungskategorien, die Zuordnung der Sachbilanzparameter sowie die den Wirkungsindikator kennzeichnende Einheit der Ergebnisse für die vorliegende Untersuchung.

Tabelle 3–1: Auswahl der Wirkungskategorien, Zuordnung der ergebnisbestimmenden Sachbilanzparameter zu den Wirkungskategorien und Einheit der Wirkungsindikatorergebnisse

Wirkungskategorie	Ergebnisbestimmende Sachbilanzparameter	Indikatorergebnisse jeweils bezogen auf die funktionelle Einheit <sup>1</sup>
Treibhauseffekt	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente
Fotochemische Oxidantienbildung	NM VOC, VOC un spez., C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , CH <sub>4</sub>	kg Ethen-Äquivalente
Versauerung	NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>	kg SO <sub>2</sub> -Äquivalente
Terrestrische Eutrophierung	NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -Äquivalente
Toxische Schädigung des Menschen und von Organismen	Einzelparameter	Angabe jeweils in kg
Toxische Schädigung von Organismen und Ökosystemen	Einzelparameter	Angabe jeweils in kg
Ressourcennutzung	Erdöl, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle und Phosphat	kg Eisen-Äquivalente

<sup>1</sup> Vergleichseinheit der ökobilanziellen Betrachtung

#### 3.1.1.4 Aggregation

Voraussetzung für einen geschlossenen ökologischen Vergleich ist, dass die Einzelaussagen zu den Umweltbe- und -entlastungen, die anhand der Wirkungskategorien und Sachbilanzparameter für jedes Szenario getroffen werden, zu einem einzigen aussagekräftigen Wert zusammengefasst werden können. bifa definiert hierzu einen Ökologie-Index. Es handelt sich um eine modifizierte und erweiterte Version der vom Umweltbundesamt vorgeschlagenen Methodik. Abbildung 3–2 veranschaulicht die Schritte zur Aggregation der Wirkungskategorien und Sachbilanzparameter.

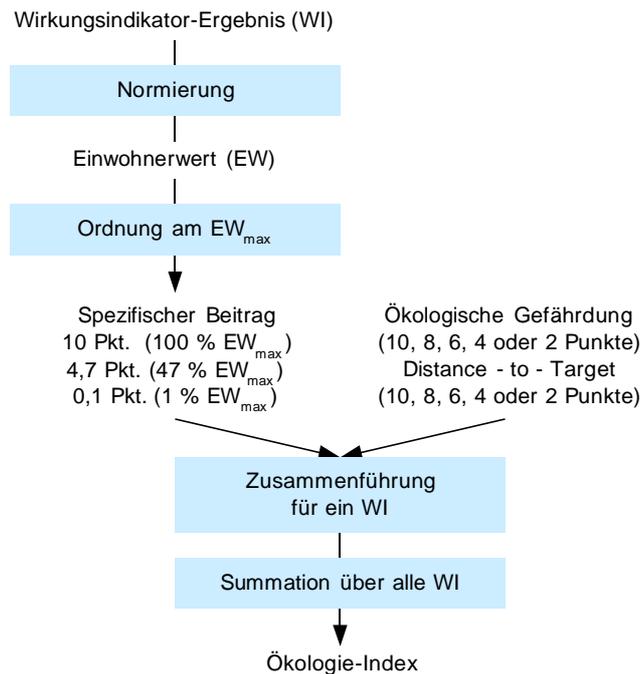


Abbildung 3–2: Aggregation der Wirkungsindikator- und Sachbilanzparameter zum Ökologie-Index eines Szenarios

### 3.1.2 Untersuchungsrahmen

#### 3.1.2.1 Untersuchungsgegenstand

Gegenstand dieser Untersuchung war die Entsorgung von Bioabfällen - die Bestandteil der Abfallwirtschaft des Landkreises Coburg sind - über verschiedene Entsorgungswege, die im Rahmen der Untersuchung als Szenarien bezeichnet werden. In dieser Studie werden die Ergebnisse für den Landkreis Coburg vorgestellt.

Das Szenario „IST-Zustand“ bildet die aktuelle Entsorgung der Bioabfälle im Landkreis Coburg ab und dient als Referenz für die Szenarien, in denen die getrennte Erfassung von Bioabfällen aus der Biotonne untersucht wurde.

Jedes der Szenarien wird charakterisiert durch die

- betrachteten Stoffströme (in Art und Menge),
- Entsorgungswege für die betrachteten Stoffströme und die
- mengenbezogene Aufteilung der Stoffströme auf die Entsorgungswege.

#### 3.1.2.2 Erkenntnisinteresse

Durch den ökobilanziellen Vergleich sollte die Fragestellung beantwortet werden, ob die getrennte Erfassung einer Teilmenge Bioabfälle über die Biotonne mit anschließender Behandlung in einer Vergärungsanlage gegenüber der bestehenden Abfallwirtschaft des Landkreises Coburg zu einer Entlastung der Umwelt beiträgt.

### 3.1.2.3 Funktionelle Einheit

Im Mittelpunkt eines ökobilanziellen Vergleichs steht die funktionelle Einheit, die in der DIN EN ISO 14040 als „Quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit“ definiert wird. Sie dient als Bezugsgröße sowohl für die Gegenüberstellung der betrachteten Szenarien als auch für die Normierung der in der Sachbilanz ermittelten In- und Outputdaten.

Für die Betrachtung im Rahmen dieser Untersuchung wurde als funktionelle Einheit die Entsorgung der im Jahr 2013 zur Beseitigung angefallenen nativen Organik im Hausmüll in Höhe von 56 kg/(Ew\*a) sowie des zur Behandlung angefallenen Grünguts in Höhe von 220,2 kg/(Ew\*a) zuzüglich einer Annahme von 100 kg/(Ew\*a) Bioabfällen, die in Eigenkompostierung und über sonstige Entsorgungswege verwertet wurden, festgelegt. Bei 86.809 Einwohnern im Landkreis Coburg (Stand 30.06.2013) ergibt das eine **biogene Abfallmenge (Bioabfall) in Höhe von ca. 32.657 t**.

### 3.1.2.4 Systemgrenzen

Um die Vergleichbarkeit der Entsorgungssysteme zu gewährleisten, müssen neben der Festlegung der funktionellen Einheit auch die Grenzen der Betrachtung für die zu vergleichenden Szenarien konsistent definiert sein. Entsprechend DIN EN ISO 14040 legt die Systemgrenze die Prozesse fest, die in das zu modellierende System aufgenommen werden. Im Idealfall sollte das System so modelliert werden, dass Inputs und Outputs an ihren Systemgrenzen Elementarflüsse sind. Da in vielen Fällen nicht ausreichend Zeit, Daten und Mittel zur Verfügung stehen, um eine derart umfassende Studie durchzuführen, müssen Entscheidungen darüber getroffen werden, welche Prozesse in die Untersuchung einbezogen bzw. welche Emissionen in die Umwelt berücksichtigt werden und mit welcher Detailgenauigkeit die Prozesse untersucht bzw. die Emissionen erfasst werden sollen.

#### Abfallströme und Entsorgungssysteme

Gegenstand der Modellbildung waren die Abfallfraktionen

- Grüngut,
- Bioabfall und
- native Organik im Restmüll.

Andere Abfallströme waren nicht Bestandteil dieser Untersuchung.

Folgende Prozesse werden innerhalb der Systemgrenzen berücksichtigt:

- alle Prozesse, beginnend beim Anfall der genannten Abfallfraktionen in den Privathaushalten bis zur eventuell notwendigen Behandlung der nach der Entsorgung anfallenden Rest- oder Wertstoffe und
- alle mit den genannten Prozessen verbundenen relevanten Stoff- und Energieflüsse von der Gewinnung und Aufbereitung von Rohstoffen bis zur Bereitstellung von Betriebsmitteln und, soweit als möglich, zur Entsorgung von Reststoffen. Im Idealfall umfassen die Systemgrenzen die Gewinnung der Rohstoffe aus den natürlichen Lagerstätten und deren Bereitstellung für technische Prozesse und die Abgabe von Elementarflüssen an die Umweltmedien Wasser, Luft und Boden.

Die „Herstellung“ der zu Abfall gewordenen Produkte liegt nicht innerhalb der Systemgrenzen und wird nicht betrachtet.

#### Datenlücken und Annahmen

Bei der Begrenzung der Komplexität der Modelle muss darauf geachtet werden, dass die Vergleichbarkeit der Szenarien erhalten bleibt. Dazu wurden die in diesem Abschnitt beschriebenen Kriterien für eine einheitliche Bestimmung der Systemgrenzen festgelegt. Die Vorgabe der DIN EN ISO 14040, dass der Stoff- und Energieeinsatz (Inputseite) sowie die Emissionen und Produkte (Outputseite) an ihren Systemgrenzen Elementarflüsse sein sollen, wurde bei der Modellierung soweit als möglich berücksichtigt. Für alle Input-Stoffe und Energieträger, die außerhalb der nachfolgend beschriebenen Detailgrenzen liegen, wurden Vorketten beginnend bei der Gewinnung aus natürlichen Lagerstätten bis hin zur Bereitstellung für den jeweiligen Prozess modelliert. Waren keine belastbaren Daten verfügbar, sind vergleichbare Prozesse herangezogen und Annahmen getroffen worden.

#### Abschneidekriterien vorgelagerter Prozesse (Vorketten)

Die Herstellung von Roh-, Betriebs- und Ausgangsstoffen in vorgelagerten Prozessen wurde nicht berücksichtigt, wenn die in diesem Abschnitt als Detailgrenzen definierten Abschneidekriterien zutrafen. In solchen Fällen wurde in der Sachbilanz anstelle des Elementarflusses der jeweilige Materialfluss ausgewiesen.

Die Detailgrenze für die Vernachlässigung der Modellierung der Vorketten von Input-Materialien wurde mit 3 Gew.-% eines Referenzflusses (meist gewünschter Output) festgelegt. Die Summe aller vernachlässigten Inputmaterialien eines Prozesses sollte jedoch nicht größer als jeweils 10 Gew.-% des Referenzflusses sein. Ausgenommen davon waren Materialien mit geringem Massenanteil, wenn in deren Vorkette Prozesse enthalten sind, die hinsichtlich toxischer oder energetischer Aspekte für die gesamte Ökobilanz bedeutsam sein konnten.

Die Bereitstellung ubiquitärer Ressourcen, z. B. Luft, sowie der Unterhalt der Infrastruktur (Bau, Wartung und Reparatur von Gebäuden, Maschinen, Industrieanlagen, Transportmittel und Verkehrswege) wurden grundsätzlich nicht berücksichtigt.

#### Abschneidekriterien nachgelagerter Prozesse (Nachketten)

Für Abfälle zur Beseitigung wie auch zur Verwertung galten gleiche Abschneidekriterien wie für vorgelagerte Prozesse, d. h. die Entsorgung wurde dann modelliert, wenn die Abschneidekriterien nicht ausreichten und wenn die Beschreibung verwendeter Module oder Datensätze aus Bibliotheken oder Datenbanken nicht schon auf eine Berücksichtigung hinwiesen.

#### Verrechnung von Gutschriften in Äquivalenzsystemen

Neben der Entsorgung der Abfälle als Hauptzweck eines Entsorgungssystems resultieren aus einem Teil der untersuchten Entsorgungswege zusätzliche Nutzen, wie z.B. Strom und Wärme aus der energetischen Abfallbehandlung oder Düngernährstoffe sowie organische Substanz aus der stofflichen Verwertung. Als Folge müssen die entsprechenden Energiemengen bzw. Produkte nicht auf konventionellem Weg aus Primärrohstoffen hergestellt werden (eine gleich bleibende Nachfrage wird unterstellt). Die Umweltauswirkungen, die mit der konventionellen Herstellung jedes einzelnen Zusatznutzens verbunden sind, werden somit

„eingespart“ bzw. „vermieden“. Um den Vergleich der Entsorgungssysteme zu vervollständigen, wurden diese „vermiedenen“ Umweltauswirkungen bilanziert und den Umweltauswirkungen des Entsorgungssystems gutgeschrieben<sup>2</sup>. Der konventionelle Herstellungs- bzw. Produktionsprozess eines Zusatznutzens wird als Äquivalenzprozess oder Äquivalenzsystem bezeichnet. Für jeden quantifizierbaren Zusatznutzen wurde ein spezifisches Äquivalenzsystem erstellt, das den gleichen bzw. einen vergleichbaren funktionsäquivalenten Nutzen erzeugt. Dabei ersetzen Zusatznutzen der Entsorgungssysteme aufgrund geringerer Qualität oder prozessbedingt nicht immer zu 100 % die Primärrohstoffe. Dieses Verhältnis wird durch einen so genannten Substitutionsfaktor beschrieben, der fall- bzw. stoffspezifisch angegeben wird. Abbildung 3–3 veranschaulicht grafisch die notwendige Berücksichtigung der Äquivalenzprozesse beziehungsweise Gutschriften in vereinfachender Weise am Beispiel der Abfallverbrennung.

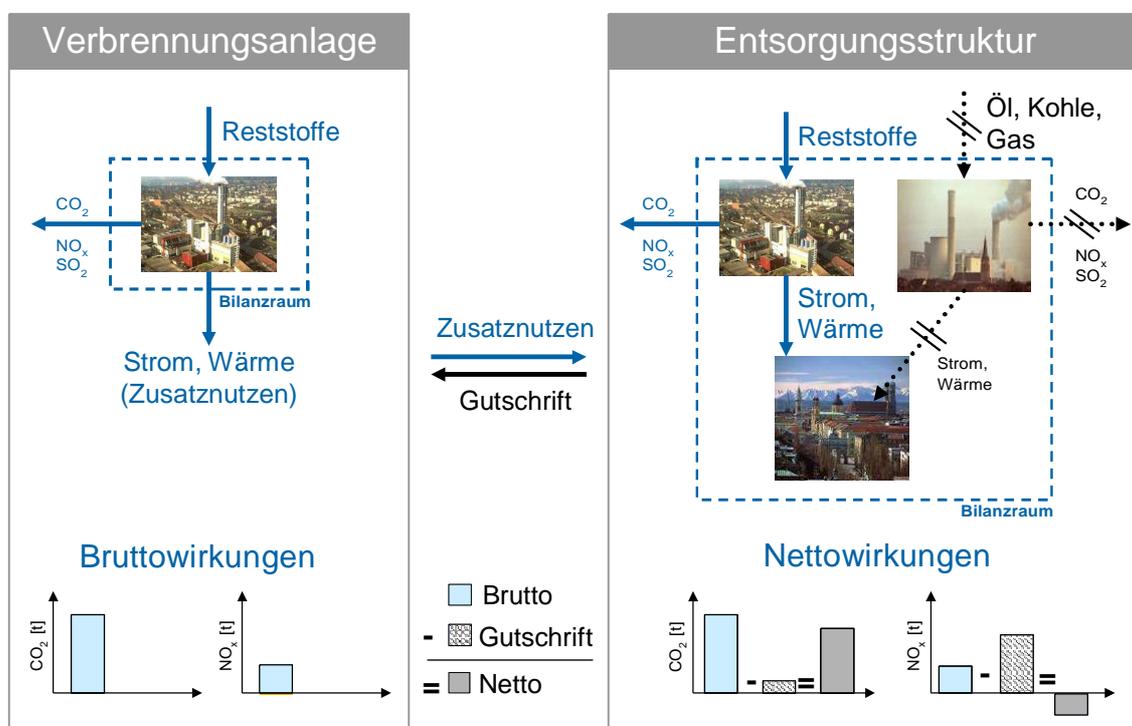


Abbildung 3–3: Berücksichtigung von Zusatznutzen der Entsorgung in Form von Gutschriften aus Äquivalenzsystemen am Beispiel der bei der energetischen Abfallbehandlung erzeugten Strom- und Wärmemenge

<sup>2</sup> Die mit die Bilanzierung der konventionellen Herstellung der Zusatznutzen erhaltenen Elementarflüsse (Gutschriften) werden von den Umweltauswirkungen des jeweiligen Entsorgungssystems (Bruttoergebnis) rechnerisch abgezogen, was zu einem Nettoergebnis führt. Damit können auch negative Nettoergebnisse auftreten.

## 3.2 Aufteilung der berücksichtigten Bioabfallmenge auf die Entsorgungswege

Die Betrachtung zur Aufteilung der Bioabfallmengen auf die jeweiligen Entsorgungswege gibt zunächst den derzeitigen IST-Zustand wieder. In der Szenarien-Darstellung wird ein zusätzlicher Entsorgungsweg abgebildet, welcher die Verwertung der über die Biotonne erfassten Bioabfallmengen in einer Vergärungsanlage bei Seßlach im Landkreis Coburg darstellt.

### 3.2.1 IST-Zustand: Bestehendes Abfallwirtschaftssystem für die biogenen Abfälle

Die 2013 erfassten Mengen an Bioabfällen gingen folgenden Entsorgungswegen zu:

- 132,1 kg/(Ew\*a) Grüngut zur stofflichen Behandlung in einer Kompostierungsanlage. Die Erfassung erfolgt im Bringsystem über Bodensammelstellen, Wertstoffhöfe und Containerstellplätze.
- 88,1 kg/(Ew\*a) Grüngut zur energetischen Behandlung in Biomasse-HW/HKW. Die Erfassung entspricht der Erfassung des Grünguts zur stofflichen Behandlung in der Kompostierungsanlage.
- 100 kg/(Ew\*a)<sup>3</sup> Bioabfall zur stofflichen Behandlung in der Eigenkompostierung und sonstige Entsorgungswege.
- 56 kg/(Ew\*a) native Organik im Restabfall zur Beseitigung im MHKW Coburg. Die Erfassung des Restabfalls mit der darin enthaltenen Organik erfolgt im Holsystem über Presswagen. Im Anschluss wurde eine Direktanlieferung an das Müllheizkraftwerk angenommen.

Abbildung 3–4 zeigt die Entsorgungswege der betrachteten 32.657 t Bioabfälle im bestehenden Abfallwirtschaftssystem des Landkreises Coburg.

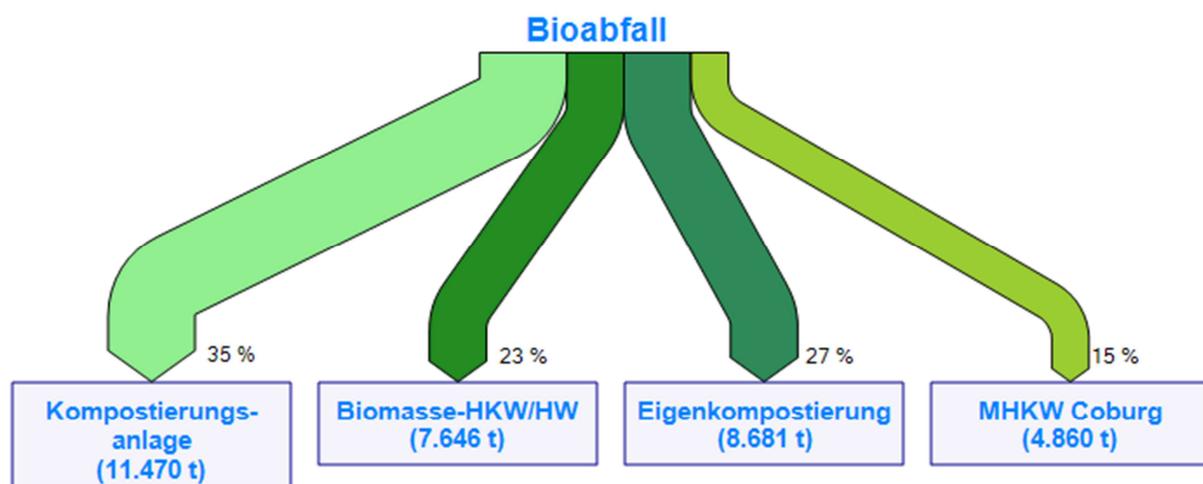


Abbildung 3–4: Entsorgungswege der Bioabfälle im Szenario IST-Zustand

<sup>3</sup> Da keine landkreisspezifischen Daten vorliegen, wurde die Menge zur Eigenkompostierung in den Landkreisen mit 150 l Küchenabfällen pro Person und Jahr [LFU 2011] zzgl. 5 bis 10 l zerkleinerter Gartenabfall pro m<sup>2</sup> Gartenfläche [WM 2012] angenommen.

### 3.2.2 Szenario A: Biotonne mit Anschlussgrad 40 %

Im Szenario A wird davon ausgegangen, dass die Biotonne mit einem Anschlussgrad von 40 % eingeführt ist. Dabei werden folgende Reduktionspotenziale für die bestehenden Behandlungswege hin zur Erfassung über die Biotonne mit anschließender Vergärung der darin gesammelten Abfälle prognostiziert:

- Reduktion des Grünguts zur stofflichen Behandlung in einer Kompostierungsanlage um 15,9 kg/(Ew\*a).
- Reduktion des Grünguts zur energetischen Behandlung im Biomasse-HW/HKW um 10,6 kg/(Ew\*a).
- Reduktion des Bioabfalls zur stofflichen Behandlung in Eigenkompostierung und über sonstige Entsorgungswege um 3,3 kg/(Ew\*a).
- Reduktion native Organik im Restmüll zur Beseitigung im MHKW Coburg um 16 kg/(Ew\*a).

Damit werden über die Biotonne ca. 45,7 kg/(Ew\*a) Bioabfall gesammelt. Für die Erfassung wurde ein Holsystem über Presswagen mit Direktanlieferung zu einer Vergärungsanlage in Seßlach (Annahme: Batch-Verfahren) angenommen.

Abbildung 3–5 zeigt die daraus resultierende Verteilung der anfallenden Bioabfälle auf die Entsorgungswege in Szenario A.

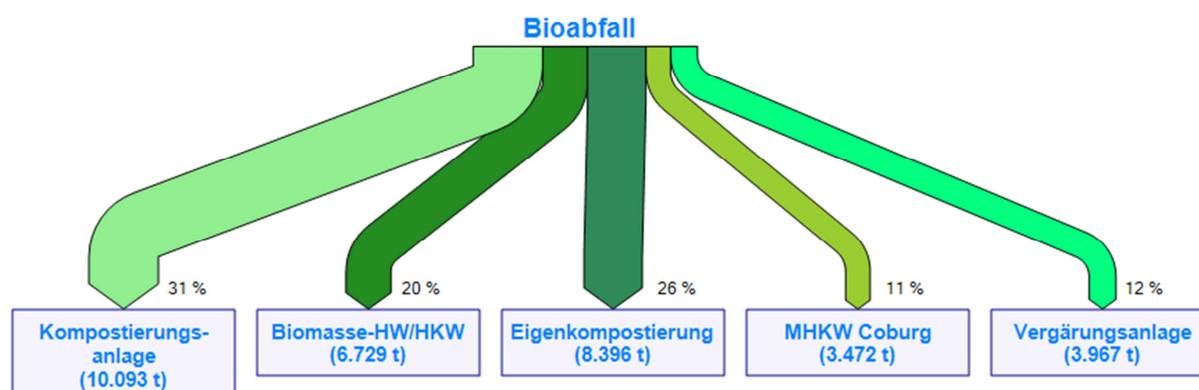


Abbildung 3–5: Entsorgungswege der Bioabfälle im Szenario A (Anschlussgrad 40 %)

### 3.2.3 Szenario B: Biotonne mit Anschlussgrad 55 %

Im Szenario B wird angenommen, dass 55 % aller Einwohner an die separate Erfassung von Bioabfällen aus der Biotonne angeschlossen sind. Es werden für dieses Szenario folgende Verschiebungen aus den bestehenden Behandlungswegen hin zur Erfassung über die Biotonne mit anschließender Vergärung der darin gesammelten Abfälle prognostiziert:

- Reduktion des Grünguts zur stofflichen Behandlung in einer Kompostierungsanlage um 21,8 kg/(Ew\*a).
- Reduktion des Grünguts zur energetischen Behandlung im Biomasse-HW/HKW um 14,5 kg/(Ew\*a).

- Reduktion des Bioabfalls zur stofflichen Behandlung in Eigenkompostierung und über sonstige Entsorgungswege um 4,6 kg/(Ew\*a).
- Reduktion native Organik im Restmüll zur Beseitigung im MHKW Coburg um 22 kg/(Ew\*a).

Damit werden über die Biotonne ca. 62,9 kg/(Ew\*a) Bioabfall gesammelt.

Abbildung 3–6 zeigt die daraus resultierende Verteilung der anfallenden Bioabfälle auf die Entsorgungswege in Szenario B.

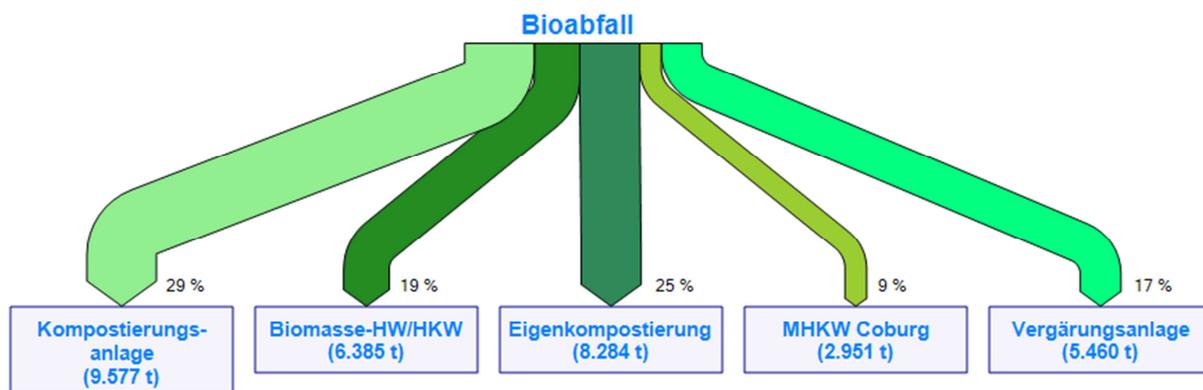


Abbildung 3–6: Entsorgungswege der Bioabfälle im Szenario B (Anschlussgrad 55 %)

### 3.2.4 Szenario C: Biotonne mit Anschlussgrad 70 %

Für einen Anschlussgrad von 70 % der Haushalte an die getrennte Bioabfallerrfassung mittels Biotonne werden folgende Verschiebungen aus den bestehenden Behandlungswegen hin zur Erfassung über die Biotonne mit anschließender Vergärung der darin gesammelten Abfälle prognostiziert:

- Reduktion des Grünguts zur stofflichen Behandlung in einer Kompostierungsanlage um 27,7 kg/(Ew\*a).
- Reduktion des Grünguts zur energetischen Behandlung im Biomasse-HKW um 18,5 kg/(Ew\*a).
- Reduktion des Bioabfalls zur stofflichen Behandlung in Eigenkompostierung und über sonstige Entsorgungswege um 5,8 kg/(Ew\*a).
- Reduktion native Organik im Restmüll zur Beseitigung im MHKW Coburg um 28 kg/(Ew\*a).

Damit werden über die Biotonne ca. 80 kg/(Ew\*a) Bioabfälle gesammelt.

Abbildung 3–7 zeigt die daraus resultierende Verteilung der anfallenden Bioabfälle auf die Entsorgungswege in Szenario C.

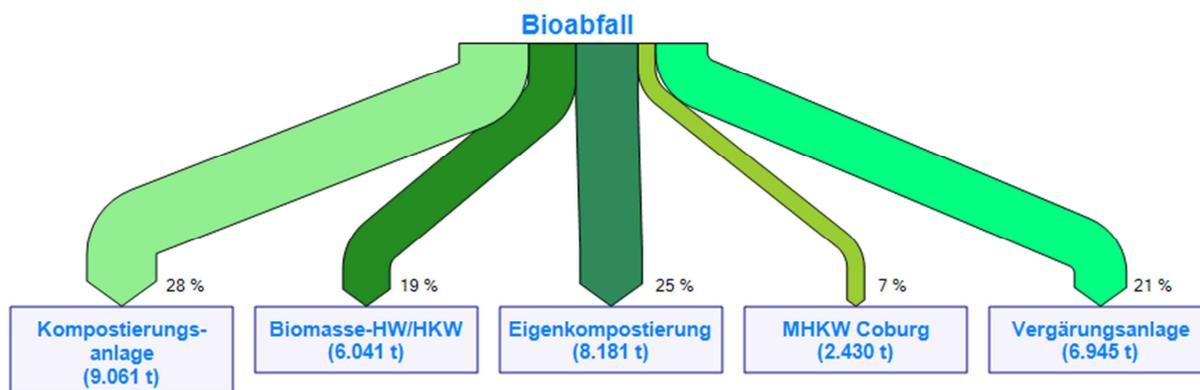


Abbildung 3–7: Entsorgungswege der Bioabfälle im Szenario C (Anschlussgrad 70 %)

### 3.3 Umweltwirkungen

#### 3.3.1 Wirkungsabschätzung

Die für die Auswertung der zu vergleichenden Verfahren verwendeten Darstellungen sind im Anhang erläutert.

##### 3.3.1.1 Treibhauseffekt

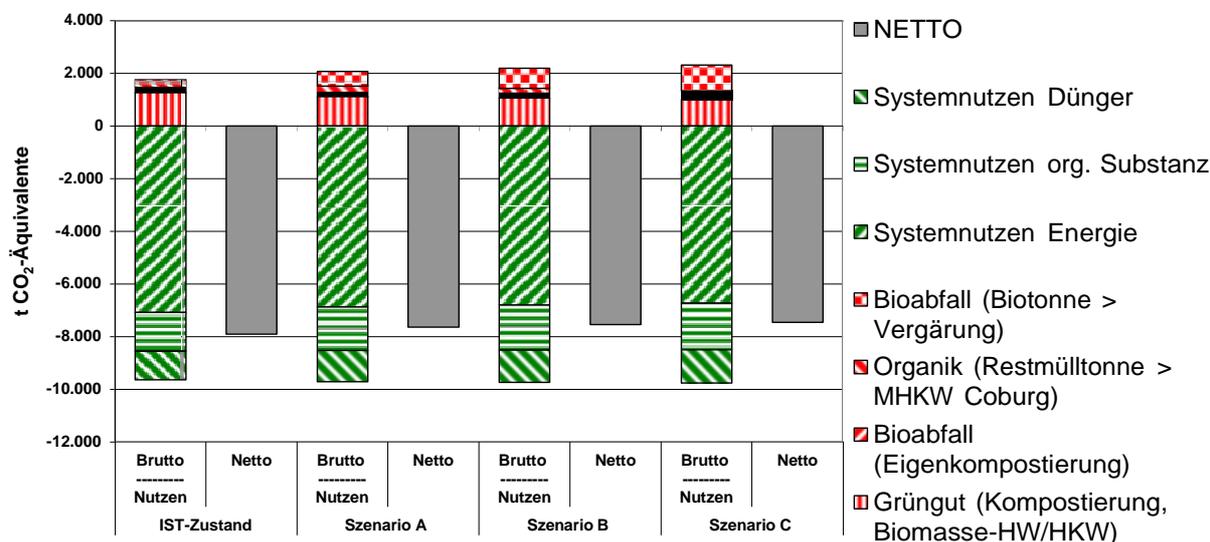


Abbildung 3–8: Treibhauseffekt – Vergleich der Szenarien bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Abbildung 3–8 zeigt, dass das bestehende Abfallwirtschaftssystem des Landkreises Coburg aufgrund von Systemnutzen mit einer Netto-Entlastung der Umwelt von treibhauswirksamen Gasen verbunden ist. Insgesamt beträgt der Beitrag zur Treibhausgasminderung im IST-Zustand netto ca. 7,91 Mio. kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente, was ungefähr dem von 696 Einwohnern pro Jahr verursachten Treibhauspotenzial entspricht.

Mit der Einführung der Biotonne reduziert sich dieser Beitrag zur Treibhausgasminderung um 3 % im Szenario A bis 6 % im Szenario C. Die Netto-Treibhauspotenziale liegen damit bei

- - 7,65 Mio. kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente im Szenario A,
- - 7,55 Mio. kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente im Szenario B und
- - 7,46 Mio. kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente im Szenario C.

Die Brutto-Ergebnisse werden hauptsächlich durch die Behandlung von Grüngut in der Kompostierungsanlage sowie in den Szenarien A bis C durch die Behandlung von Bioabfall aus der Biotonne in der Vergärungsanlage bestimmt. Transporte tragen zwischen 31 % im IST-Zustand und 17 % im Szenario C zum Treibhauseffekt bei. Wie Tabelle 3–2 zeigt, ist das vor allem auf die Anlieferung von Grüngut an Kompostplätze, Sammelstellen und Wertstoffhöfe sowie der Transport von holzigem, heizwertreichem Material zur energetischen Verwertung in Biomasse-HW/HKW zurückzuführen. Darüber hinaus stammt ein relevanter Teil der treibhauswirksamen Transportemissionen in den Szenarien A bis C auch aus der Sammlung von Abfällen über die Biotonne.

Tabelle 3–2: Anteile der Transporte an den Emissionen des Brutto-Ergebnisses zum Treibhauseffekt

Transport	IST-Zustand	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Anlieferung von Grüngut von den Haushalten zu den Kompostplätzen, Sammelstellen und Wertstoffhöfen mit Pkw	15 %	10 %	10 %	9 %
Sammlung von Organik im Restabfall über Restabfalltonnen mit Presswagen	4 %	2 %	2 %	2 %
Sammlung von Bioabfall über Biotonnen mit Presswagen	-	3 %	5 %	6 %
Transport von Organik im Restabfall zum MHKW Coburg sowie Bioabfall aus der Biotonne zur Vergärungsanlage in Seßlach	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %
Sonstige Transporte (vgl. Anhang D)	11 % <sup>1)</sup>	8 % <sup>1)</sup>	8 % <sup>1)</sup>	8 % <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>v.a. Transport von holzigem, heizwertreichem Material zur energetischen Verwertung in Biomasse-HW/HKW

Wie in Abbildung 3–8 weiterhin zu sehen ist, resultiert der Systemnutzen zum größten Teil aus der energetischen Behandlung der Bioabfälle, wodurch Emissionen vermieden werden, die mit der konventionellen Strom- und Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern verbunden sind. Die Substitution von Mineraldünger sowie Torf bzw. Rindenhumus durch die stofflichen Produkte der Kompostierungs- und Vergärungsanlage trägt in deutlich geringerer Größenordnung zum Systemnutzen bei.

Die Anteile der Behandlungswege am gesamten Systemnutzen sind in Tabelle 3–3 dargestellt.

Tabelle 3–3: Anteile der Behandlungswege am gesamten Systemnutzen (Energie, Düngemittel und organische Substanz) des Treibhauspotenzials

Behandlungsweg	IST-Zustand	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Grüngut (Sammelstellen $\rightarrow$ Kompostierung, Biomasse-HW/HKW)	91 %	79 %	75 %	71 %
Eigenkompostierung	6 %	6 %	6 %	6 %
Organik im Restabfall (Restabfalltonne $\rightarrow$ MHKW Coburg)	3 %	2 %	2 %	1 %
Bioabfall aus der Biotonne $\rightarrow$ Vergärung	-	13 %	17 %	22 %

### 3.3.1.2 Versauerung

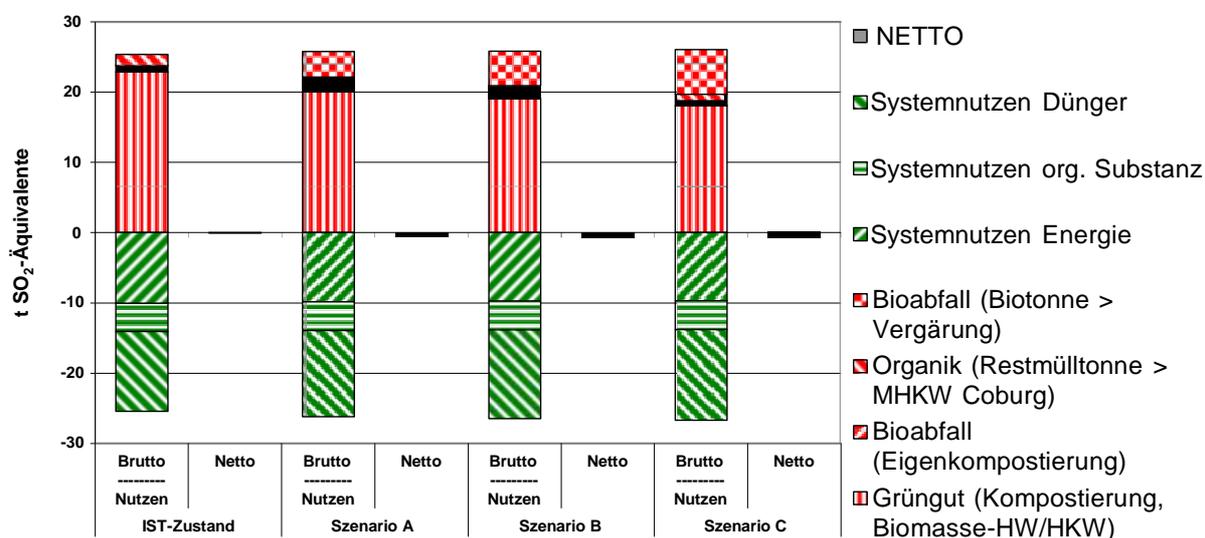


Abbildung 3–9: Versauerung – Vergleich der Szenarien bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Abbildung 3–9 zeigt, dass das bestehende Abfallwirtschaftssystem für Bioabfälle des Landkreises Coburg aufgrund von Systemnutzen mit einer Netto-Entlastung der Umwelt von versauerungswirksamen Emissionen verbunden ist. Insgesamt wird die Versauerung im IST-Zustand netto um ca. 40 kg SO<sub>2</sub>-Äquivalente entlastet. Das entspricht ungefähr dem von 1 Einwohner pro Jahr verursachten Versauerungspotenzial.

Mit der Einführung der Biotonne kann diese Umweltentlastung um weitere 387 kg SO<sub>2</sub>-Äquivalente im Szenario A bis 677 kg SO<sub>2</sub>-Äquivalente im Szenario C verbessert werden. Die Netto-Versauerungspotenziale liegen bei

- - 427 kg SO<sub>2</sub>-Äquivalente im Szenario A,
- - 569 kg SO<sub>2</sub>-Äquivalente im Szenario B und
- - 717 kg SO<sub>2</sub>-Äquivalente im Szenario C.

Die Brutto-Ergebnisse werden hauptsächlich durch die Behandlung von Grüngut in der Kompostierungsanlage sowie in den Szenarien A bis C durch die Behandlung von Bioabfall aus der Biotonne in der Vergärungsanlage bestimmt. Transporte spielen eine untergeordnete Rolle. Wie Tabelle 3–4 zeigt, tragen lediglich die Anlieferung von Grüngut an Kompostplätze, Sammelstellen und Wertstoffhöfe, die sonstigen Transporte sowie die Sammlung von Abfall über die Restmüll- bzw. Biotonne in geringer Größenordnung zur Versauerung bei.

Tabelle 3–4: Anteile der Transporte an den Emissionen des Brutto-Ergebnisses zur Versauerung

Transport	IST-Zustand	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Anlieferung von Grüngut von den Haushalten zu den Kompostplätzen, Sammelstellen und Wertstoffhöfen mit Pkw	3 %	2 %	2 %	2 %
Sammlung von Organik im Restabfall über Restabfalltonnen mit Presswagen	2 %	1 %	1 %	< 1 %
Sammlung von Bioabfall über Biotonnen mit Presswagen	-	2 %	2 %	3 %
Transport von Organik im Restabfall zum MHKW Coburg sowie Bioabfall aus der Biotonne zur Vergärungsanlage in Seßlach	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %
Sonstige Transporte (vgl. Anhang D)	3 % <sup>1)</sup>	3 % <sup>1)</sup>	3 % <sup>1)</sup>	3 % <sup>1)</sup>
<sup>1)</sup> v.a. Transport von Frisch- und Fertigungskompost zur stofflichen Verwertung sowie Transport von holzigem, heizwertreichem Material zur energetischen Verwertung in Biomasse-HW/HKW				

Wie in Abbildung 3–9 weiterhin zu sehen ist, ist der Systemnutzen zum einen auf die energetische Behandlung der Bioabfälle zurückzuführen. Dadurch wird der Einsatz fossiler Energieträger, vor allem Erdgas, für die konventionelle Strom- und Wärmeerzeugung vermieden. Zum anderen tragen in allen Szenarien die stoffliche Verwertung der erzeugten Komposte in größerem Maße zum Systemnutzen bei. Die Nährstoffe ersetzen konventionell hergestellte Mineraldünger aus Primärrohstoffen und vermeiden damit den Verbrauch an fossilen Energieträgern, die zur Herstellung der Mineraldünger notwendig wären.

Die Anteile der Behandlungswege am gesamten Systemnutzen sind in Tabelle 3–5 dargestellt.

Tabelle 3–5: Anteile der Behandlungswege am gesamten Systemnutzen (Energie, Düngemittel und organische Substanz) der Versauerung

Behandlungsweg	IST-Zustand	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Grüngut (Sammelstellen & Kompostierung, Biomasse-HW/HKW)	74 %	63 %	59 %	56 %
Eigenkompostierung	24 %	23 %	22 %	22 %
Organik im Restabfall (Restabfalltonne & MHKW Coburg)	2 %	1 %	< 1 %	< 1 %
Bioabfall aus der Biotonne & Vergärung	-	13 %	17 %	22 %

### 3.3.1.3 Fotochemische Oxidantienbildung

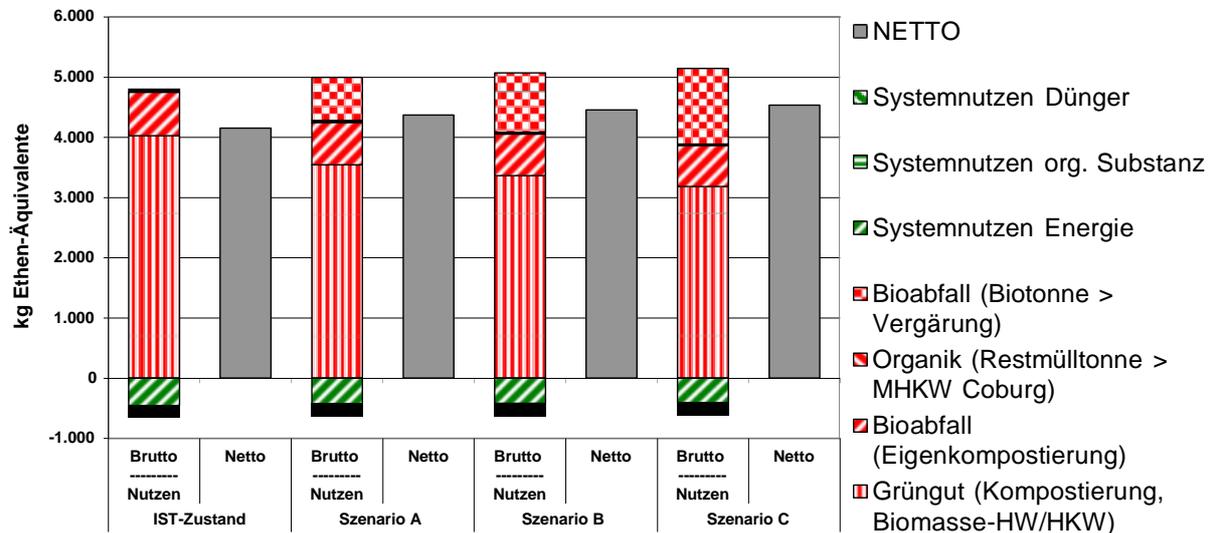


Abbildung 3–10: Fotochemische Oxidantienbildung - Vergleich der Szenarien bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Abbildung 3–10 zeigt, dass das bestehende Abfallwirtschaftssystem für Bioabfälle des Landkreises Coburg mit einer Netto-Belastung der Umwelt mit ozonbildenden Gasen verbunden ist. Insgesamt beträgt das Ozonbildungspotenzial im IST-Zustand netto ca. 4.150 kg Ethen-Äquivalente, was ungefähr dem von 264 Einwohnern verursachten Ozonbildungspotenzial entspricht.

Mit der Einführung der Biotonne verschlechtert sich diese Umweltbelastung um weitere 5 % im Szenario A bis 9 % im Szenario C. Die Netto-Ozonbildungspotenziale liegen damit bei

- 4.370 kg Ethen-Äquivalente im Szenario A,
- 4.450 kg Ethen-Äquivalente im Szenario B und
- 4.530 kg Ethen-Äquivalente im Szenario C.

Im IST-Zustand wird das Brutto-Ergebnis hauptsächlich durch die Behandlung von Grüngut in der Kompostierungsanlage sowie durch die Eigenkompostierung von Bioabfall bestimmt. In den Szenarien A bis C sind dagegen immer größere Teile des Brutto-Ergebnisses auf die Behandlung von Bioabfall aus der Biotonne in der Vergärungsanlage zurückzuführen. Wie Tabelle 3–6 zeigt, resultiert lediglich aus der Anlieferung von Grüngut an Kompostplätze, Sammelstellen und Wertstoffhöfe ein äußerst geringer Beitrag zum Ozonbildungspotenzial der Szenarien aus Transportvorgängen.

Tabelle 3–6: Anteile der Transporte an den Emissionen des Brutto-Ergebnisses zur Fotochemischen Oxidantienbildung

Transport	IST-Zustand	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Anlieferung von Grüngut von den Haushalten zu den Kompostplätzen, Sammelstellen und Wertstoffhöfen mit Pkw	2 %	2 %	2 %	2 %
Sammlung von Organik im Restabfall über Restabfalltonnen mit Presswagen	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %
Sammlung von Bioabfall über Biotonnen mit Presswagen	-	< 1 %	< 1 %	< 1 %
Transport von Organik im Restabfall zum MHKW Coburg sowie Bioabfall aus der Biotonne zur Vergärungsanlage in Seßlach	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %
Sonstige Transporte (vgl. Anhang D)	1 %	1 %	1 %	1 %

Wie in Abbildung 3–10 weiterhin zu sehen ist, resultiert der größere Teil der Systemnutzen aus der energetischen Behandlung der Bioabfälle, wodurch Emissionen vermieden werden, die mit der konventionellen Strom- und Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträger verbunden sind. Der kleinere Teil der Systemnutzen ist auf die Substitution von Torf und Rindenhumus durch die stofflichen Produkte der Kompostierungs- und Vergärungsanlagen zurückzuführen.

Alle Szenarien haben gemeinsam, dass die Substitution von Mineraldünger durch die Nährstoffe in den erzeugten Komposten und Gärprodukten eine untergeordnete Rolle spielt.

Die Anteile der Behandlungswege am gesamten Systemnutzen ist in Tabelle 3–7 dargestellt.

Tabelle 3–7: Anteile der Behandlungswege am gesamten Systemnutzen (Energie, Düngemittel und organische Substanz) der Fotochemischen Oxidantienbildung

Behandlungsweg	IST-Zustand	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Grüngut (Sammelstellen & Kompostierung, Biomasse-HW/HKW)	86 %	78 %	75 %	72 %
Eigenkompostierung	11 %	11 %	11 %	11 %
Organik im Restabfall (Restabfalltonne & MHKW Coburg)	3 %	2 %	2 %	2 %
Bioabfall aus der Biotonne & Vergärung	-	9 %	12 %	15 %

### 3.3.1.4 Terrestrische Eutrophierung

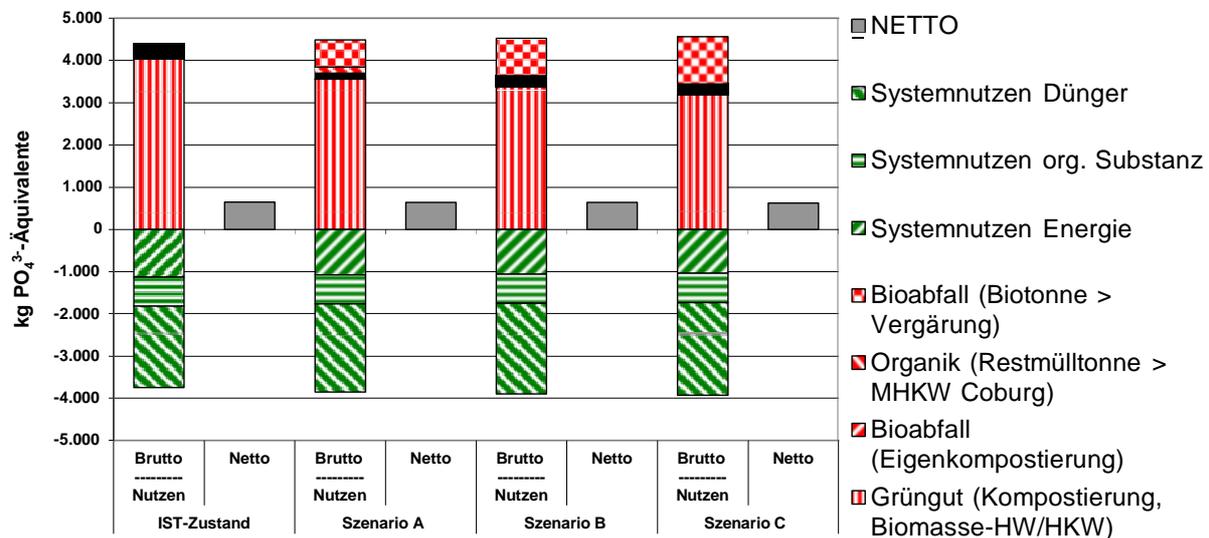


Abbildung 3–11: Terrestrische Eutrophierung - Vergleich der Szenarien bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Abbildung 3–11 zeigt, dass das bestehende Abfallwirtschaftssystem für Bioabfälle des Landkreises Coburg mit einer Netto-Belastung der Umwelt mit überdüngend wirksamen Emissionen verbunden ist. Insgesamt ist im IST-Zustand eine Netto-Belastung der Umwelt mit ca. 647 kg  $\text{PO}_4^{3-}$ -Äquivalenten zu verzeichnen. Das entspricht ungefähr dem von 122 Einwohnern pro Jahr verursachten Nährstoffeintrag in Böden.

Mit der Einführung der Biotonne verringert sich diese Umweltbelastung um 2 % im Szenario A bis 3 % im Szenario C. Die terrestrischen Eutrophierungspotenziale liegen netto damit bei

- 637 kg  $\text{PO}_4^{3-}$ -Äquivalente im Szenario A,
- 633 kg  $\text{PO}_4^{3-}$ -Äquivalente im Szenario B und
- 629 kg  $\text{PO}_4^{3-}$ -Äquivalente im Szenario C.

Die Brutto-Ergebnisse werden hauptsächlich durch die Behandlung von Grüngut in der Kompostierungsanlage sowie in den Szenarien A bis C durch die Behandlung von Bioabfall aus der Biotonne in der Vergärungsanlage bestimmt. Wie Tabelle 3–8 zeigt, tragen lediglich die Sammlung von Bioabfall über die Biotonne sowie sonstige Transporte in geringer Größenordnung zur terrestrischen Eutrophierung bei.

Tabelle 3–8: Anteile der Transporte an den Emissionen des Brutto-Ergebnisses zur Terrestrischen Eutrophierung

Transport	IST-Zustand	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Anlieferung von Grüngut von den Haushalten zu den Kompostplätzen, Sammelstellen und Wertstoffhöfen mit Pkw	2 %	1 %	1 %	1 %
Sammlung von Organik im Restabfall über Restabfalltonnen mit Presswagen	2 %	1 %	< 1 %	< 1 %
Sammlung von Bioabfall über Biotonnen mit Presswagen	-	1 %	2 %	3 %
Transport von Organik im Restabfall zum MHKW Coburg sowie Bioabfall aus der Biotonne zur Vergärungsanlage in Seßlach	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %
Sonstige Transporte (vgl. Anhang D)	3 % <sup>1)</sup>	3 % <sup>1)</sup>	3 % <sup>1)</sup>	2 % <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>v.a. Transport von holzigem, heizwertreichem Material zur energetischen Verwertung in Biomasse-HW/HKW

Wie in Abbildung 3–11 weiterhin zu sehen ist, resultiert der Systemnutzen zum größten Teil aus der Verwertung der stofflichen Produkte der Kompostierungs- und Vergärungsanlage. Die Nährstoffe in den erzeugten Komposten und Gärprodukten ersetzen konventionell hergestellte Mineraldünger aus Primärrohstoffen und vermeiden so mit deren Herstellung verbundene Emissionen. Die energetische Behandlung der Bioabfälle sowie die Substitution von Torf bzw. Rindenumus tragen in deutlich geringerer Größenordnung zum Systemnutzen bei.

Die Anteile der Behandlungswege am gesamten Systemnutzen sind in Tabelle 3–9 dargestellt.

Tabelle 3–9: Anteile der Behandlungswege am gesamten Systemnutzen (Energie, Düngemittel und organische Substanz) der Terrestrischen Eutrophierung

Behandlungsweg	IST-Zustand	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Grüngut (Sammelstellen $\rightarrow$ Kompostierung, Biomasse-HW/HKW)	70 %	60 %	57 %	53 %
Eigenkompostierung	28 %	27 %	26 %	25 %
Organik im Restabfall (Restabfalltonne $\rightarrow$ MHKW Coburg)	1 %	1 %	1 %	1 %
Bioabfall aus der Biotonne $\rightarrow$ Vergärung	-	12 %	17 %	21 %

### 3.3.1.5 Ressourcennutzung

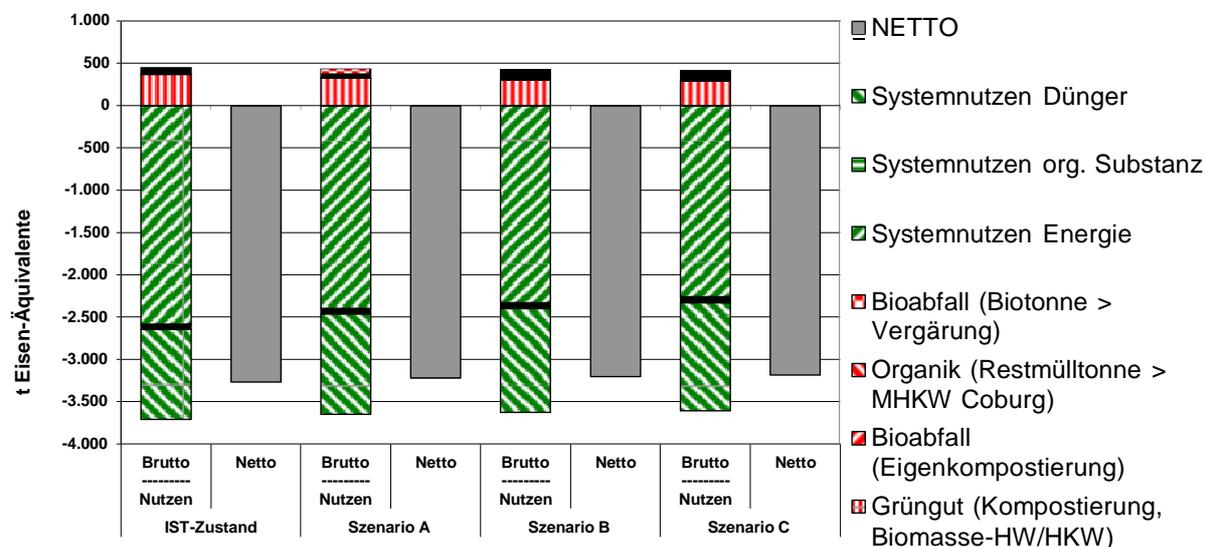


Abbildung 3-12: Ressourcennutzung – Vergleich der Szenarien bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Die im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführte Bewertung der Ressourcennutzung vereinigt die ressourcenzehrende Wirkung aus der Nutzung fossiler Energieträger und Phosphat in einer gemeinsamen Betrachtung. Der dafür von bifa entwickelte Indikator führt die Wirkung des Verbrauchs fossiler Energieträger und der mineralischen Ressource Phosphor durch die Analyse von Knappheit, Substituierbarkeit und Art der Nutzung dieser Rohstoffe zusammen.

Abbildung 3-12 zeigt, dass das bestehende Abfallwirtschaftssystem für Bioabfälle des Landkreises Coburg aufgrund von Systemnutzen mit einer Netto-Entlastung der Umwelt verbunden ist. Nach Verrechnung aller Systemnutzen beträgt die Einsparung an Ressourcen im IST-Zustand ca. 3,26 Mio. kg Eisen-Äquivalente. Das entspricht etwa der Ressourcenmenge, die 795 Einwohner pro Jahr verbrauchen.

Mit der Einführung der Biotonne verringert sich diese Energieeinsparung geringfügig um 1 % im Szenario A bis 2 % im Szenario C. Damit beträgt die Einsparung an Ressourcen netto

- - 3,22 Mio. kg Eisen-Äquivalente im Szenario A,
- - 3,2 Mio. kg Eisen-Äquivalente im Szenario B und
- - 3,19 Mio. kg Eisen-Äquivalente im Szenario C.

Die Brutto-Ergebnisse der Szenarien werden durch Transportvorgänge bestimmt. Auf Grund des Kraftstoffverbrauchs entfallen im IST-Zustand ca. 53 % der Ressourcennutzung darauf. Durch die Sammlung von Bioabfall über die Biotonne und dem Transport zur Vergärungsanlage steigt dieser Beitrag in den Szenarien A bis C auf ca. 60 % an.

Tabelle 3–10: Anteile der Transporte am der Ressourcennutzung

Transport	IST-Zustand	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Anlieferung von Grüngut von den Haushalten zu den Kompostplätzen, Sammelstellen und Wertstoffhöfen mit Pkw	26 %	20 %	23 %	22 %
Sammlung von Organik im Restabfall über Restabfalltonnen mit Presswagen	7 %	5 %	5 %	4 %
Sammlung von Bioabfall über Biotonnen mit Presswagen	-	7 %	11 %	14 %
Transport von Organik im Restabfall zum MHKW Coburg sowie Bioabfall aus der Biotonne zur Vergärungsanlage in Seßlach	< 1 %	1 %	1 %	1 %
Sonstige Transporte (vgl. Anhang D)	20 % <sup>1)</sup>	16 % <sup>1)</sup>	19 % <sup>1)</sup>	19 % <sup>1)</sup>
<sup>1)</sup> v.a. Transport von Frisch- und Fertigungskompost zur stofflichen Verwertung, Transport von holzigem, heizwertreichem Material zur energetischen Verwertung in Biomasse-HW/HKW und Transport des Grünguts von den Sammelstellen und Wertstoffhöfen zu den Kompostierungsanlagen				

Wie in Abbildung 3–12 weiterhin zu sehen ist, ist der Systemnutzen hauptsächlich auf die energetische Behandlung der Bioabfälle zurückzuführen. Dadurch wird der Einsatz fossiler Energieträger, vor allem Erdgas, für die konventionelle Strom- und Wärmeerzeugung vermieden. Darüber hinaus tragen in allen Szenarien die stoffliche Verwertung der erzeugten Komposte in größerem Maße zum Systemnutzen bei. Die Nährstoffe ersetzen konventionell hergestellte Mineraldünger aus Primärrohstoffen und vermeiden damit den Verbrauch an fossilen Energieträger, die zur Herstellung der Mineraldünger notwendig wären.

Alle Szenarien haben gemeinsam, dass die Substitution von Torf bzw. Rindenumus eine untergeordnete Rolle spielt.

Die Anteile der Behandlungswege am gesamten Systemnutzen ist in Tabelle 3–11 dargestellt.

Tabelle 3–11: Anteile der Behandlungswege am gesamten Systemnutzen (Energie, Düngemittel und organische Substanz) der Ressourcennutzung

Behandlungsweg	IST-Zustand	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Grüngut (Sammelstellen → Kompostierung, Biomasse-HW/HKW)	86 %	77 %	73 %	70 %
Eigenkompostierung	12 %	11 %	11 %	11 %
Organik im Restabfall (Restabfalltonne → MHKW Coburg)	3 %	2 %	2 %	1 %
Bioabfall aus der Biotonne → Vergärung	-	10 %	14 %	18 %

### 3.3.1.6 Toxische Schädigung des Menschen und von Organismen

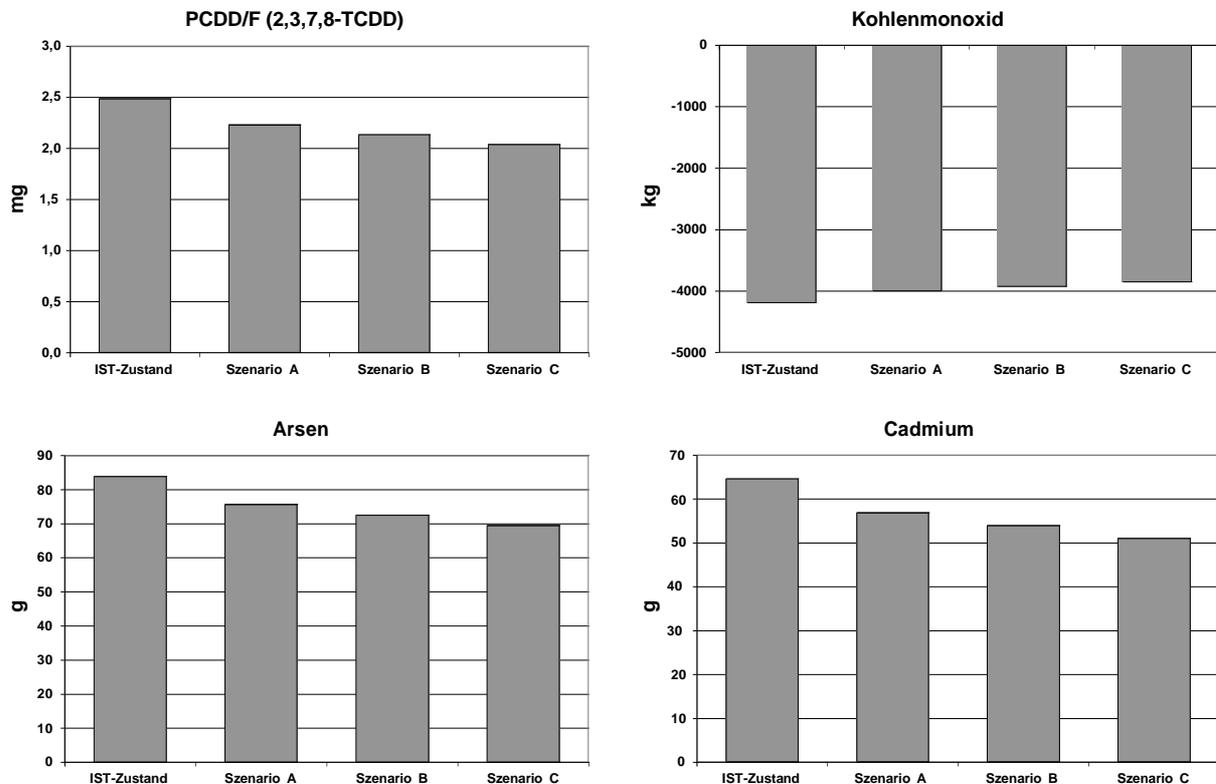


Abbildung 3–13: Humantoxizität (nur Netto-Ergebnisse) – Vergleich der Szenarien bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Abbildung 3–13 zeigt die Netto-Ergebnisse für vier Beispiele humantoxisch wirkender Einzelparameter. Wie zu sehen ist, können diese sowohl umweltbe- als auch –entlastend wirken.

Mit der Einführung der Biotonne sind gegenüber dem IST-Zustand höhere Kohlenmonoxid-Emissionen zu erwarten, wogegen die Umweltbelastung mit PCDD/F-, Arsen- und Cadmium-Emissionen verringert wird.

### 3.3.1.7 Toxische Schädigung von Organismen und Ökosystemen

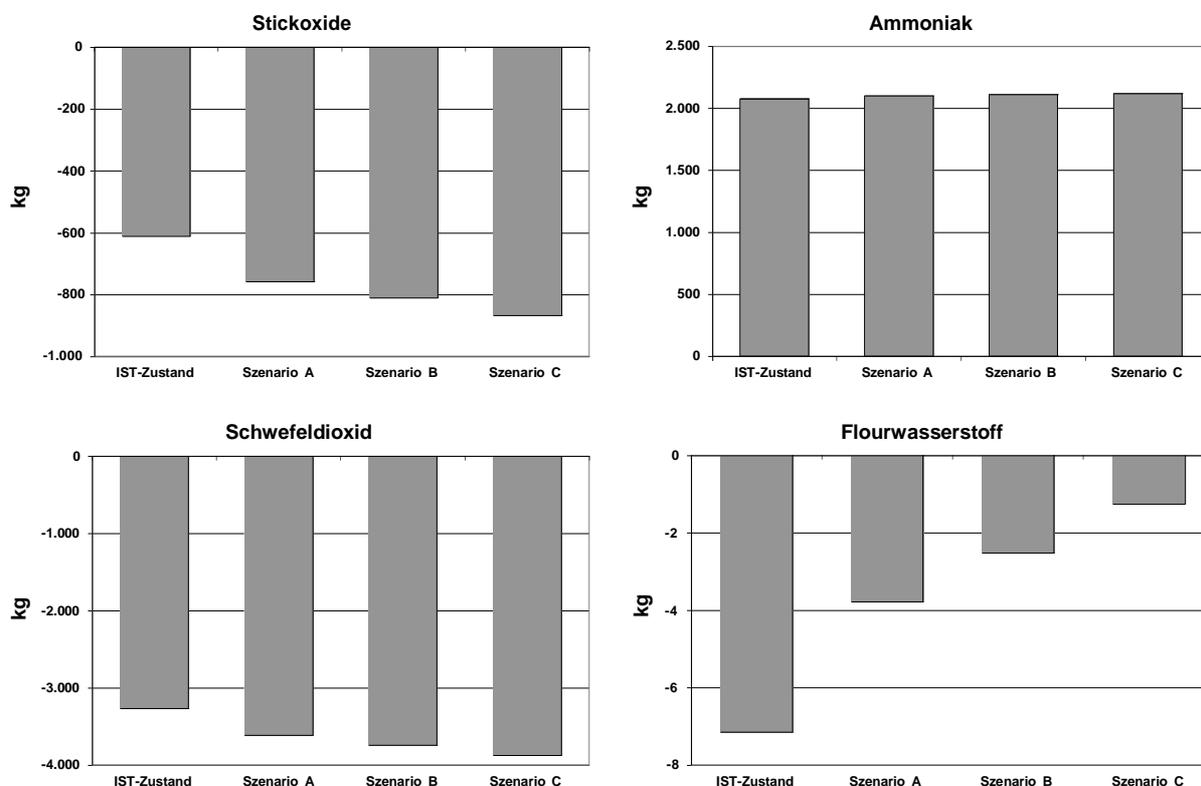


Abbildung 3–14: Ökotoxizität (nur Netto-Ergebnisse) – Vergleich der Szenarien bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Abbildung 3–14 zeigt die Netto-Ergebnisse für vier Beispiele ökotoxisch wirkender Einzelparameter. Wie zu sehen ist, können diese sowohl Umweltbe- als auch –entlastend wirken.

Mit der Einführung der Biotonne sind gegenüber dem IST-Zustand höhere Fluorwasserstoff-Emissionen sowie fast unveränderte Ammoniak-Emissionen zu erwarten, wogegen die Umweltentlastung von Stickoxid- und Schwefeldioxid-Emissionen erhöht wird.

### 3.3.2 Gesamtumweltwirkung (Ökologie-Index)

Das Portfolio in Abbildung 3–15 stellt die Umweltauswirkungen der vier untersuchten Szenarien gegenüber. Eine Erläuterung des Portfolios befindet sich im Anhang A.

Bei der Betrachtung der gesamten Umweltwirkung schneidet das Szenario C (Anschlussgrad der Biotonne von 70 %) am besten ab. Der Ökologie-Index ist ca. 4 % niedriger als der des derzeit bestehenden Abfallwirtschaftssystems für Bioabfälle des Landkreises Coburg. Auch die Szenarien A und B führen gegenüber dem IST-Zustand insgesamt zu einer Umweltentlastung, allerdings in noch geringerer Größenordnung. Hier beträgt die Differenz der Ökologie-Index-Werte zu dem des Ist-Zustandes ca. 2 % bzw. 3 %.

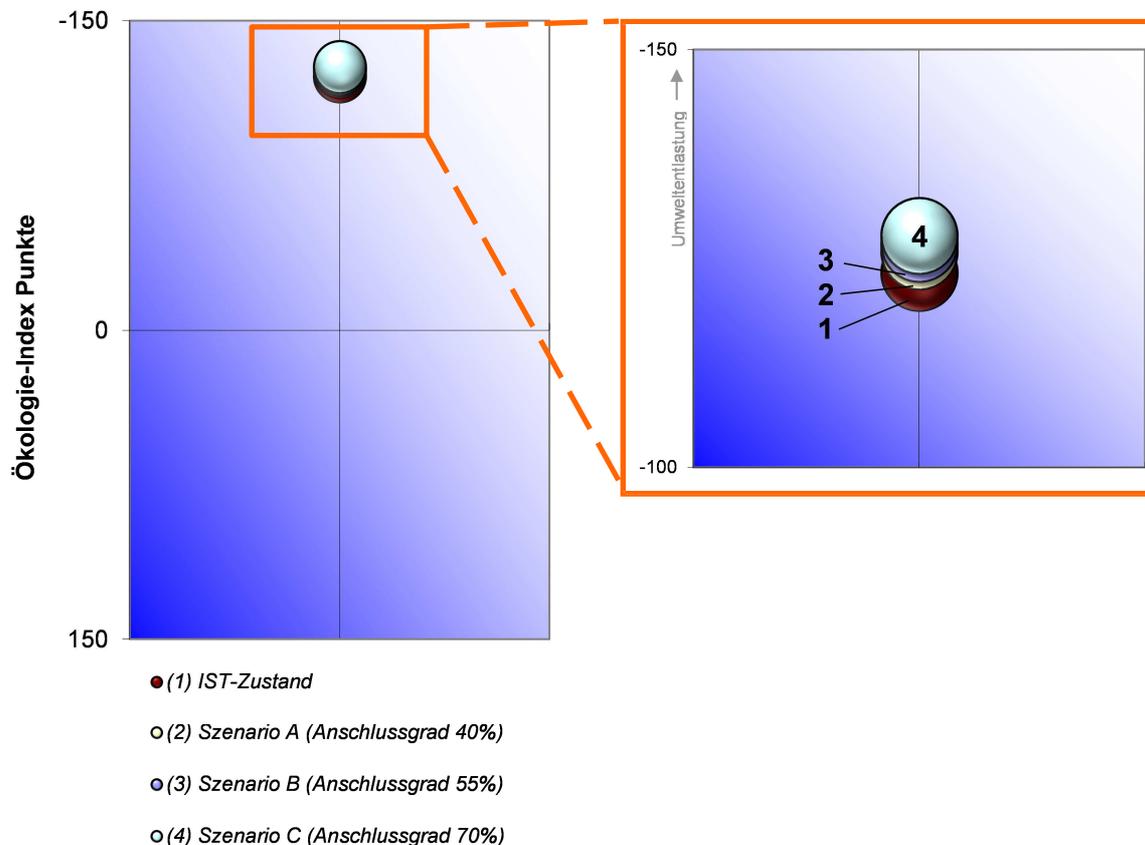


Abbildung 3–15: Portfolio mit den Ökologie-Indices bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

### 3.4 Fazit – Diskussion der Ergebnisse

Das Ziel dieser Untersuchung war die Beantwortung der Frage, ob die getrennte Erfassung der Teilmenge Bioabfall aus der Biotonne mit anschließender Behandlung in einer Vergärungsanlage in Seßlach (Annahme: Batch-Verfahren) gegenüber der derzeit bestehenden Abfallwirtschaft des Landkreises Coburg zu einer Entlastung der Umwelt beiträgt. Dafür wurden vier entsprechende Szenarien einer ökobilanziellen Betrachtung unterzogen.

#### **Wie groß sind die Umweltwirkungen des derzeit bestehenden Abfallwirtschaftssystems für Bioabfälle im Landkreis Coburg (IST-Zustand)?**

In Abbildung 3–16 sind die ermittelten Einwohnerwerte des IST-Zustands sowie der daraus berechnete Ökologie-Index (vgl. Anhang B) zusammengefasst.

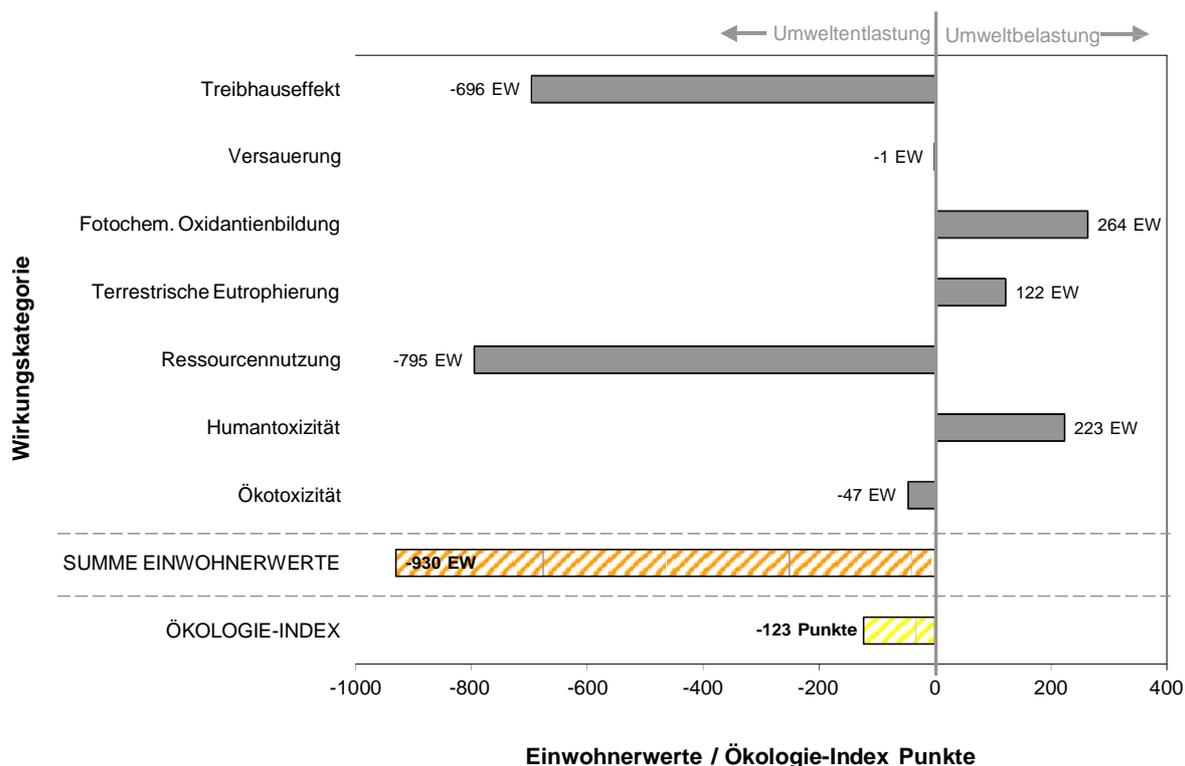


Abbildung 3–16: IST-Zustand: Einwohnerwerte und Ökologie-Index-Punkte bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Abbildung 3–16 zeigt, dass bereits das bestehende Abfallwirtschaftssystem für Bioabfälle des Landkreises Coburg in Summe über alle betrachteten Wirkungskategorien zu einer Entlastung der Umwelt beiträgt. Umweltbelastungen aus den Wirkungskategorien Photochemische Oxidantienbildung, Terrestrische Eutrophierung und Humantoxizität stehen größere Umweltentlastungen aus den übrigen Wirkungskategorien gegenüber.

**Was ist ökologisch durch die Biotonne mit einem Anschlussgrad von 40 % und der anschließenden Behandlung des Inhaltes in einer Vergärungsanlage im Batch-Verfahren (Szenario A) gegenüber dem derzeit bestehenden Abfallwirtschaftssystem (IST-Zustand) zu erwarten?**

Abbildung 3–15 zeigt, dass Szenario A insgesamt etwas besser abschneidet als der IST-Zustand. Die Differenz zwischen beiden Ökologie-Index-Werten beträgt ca. 2 %.

Wie in Tabelle 3–12 dargestellt, ist gegenüber dem IST-Zustand mit dem Szenario A für die Wirkungskategorien Versauerung und Terrestrische Eutrophierung eine weitere Umweltentlastung verbunden. Die Umweltentlastungspotenziale betragen 11 und 2 Einwohnerwerte. Die Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Fotochemische Oxidantienbildung und Ressourcennutzung führen dagegen zu Umweltbelastungen. Von den in Tabelle 3–12 nicht aufgenommenen humantoxisch und ökotoxisch wirkenden Einzelparametern sinken gegenüber dem IST-Zustand die Emissionen von fünf Parametern, wogegen für drei Parameter höhere Emissionen zu erwarten sind.

Tabelle 3–12: Gegenüberstellung der Umweltbe- und -entlastungen ausgewählter Wirkungskategorien des IST-Zustands und des Szenarios A bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Wirkungskategorie	IST-Zustand	Szenario A (Anschlussgrad 40 %)	Beitrag zur Umweltbe- und -entlastung durch das Szenario A
Treibhauseffekt [CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	- 7,91 Mio. kg	- 7,65 Mio. kg	Belastung um 0,26 Mio. kg ☝ 23 Einwohnerwerte
Versauerung [SO <sub>2</sub> -Äquivalente]	- 40 kg	- 427 kg	Entlastung um 387 kg ☝ 11 Einwohnerwerte
Fotochemische Oxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	4.150 kg	4.370 kg	Belastung um 220 kg ☝ 14 Einwohnerwerte
Terrestrische Eutrophierung [PO <sub>4</sub> -Äquivalente]	647 kg	637 kg	Entlastung um 10 kg ☝ 2 Einwohnerwerte
Ressourcennutzung [Eisen-Äquivalente]	- 3,26 Mio. kg	- 3,22 Mio. kg	Belastung um 0,04 Mio. kg ☝ 11 Einwohnerwerte

Die Einwohnerwerte und der daraus berechnete Ökologie-Index zeigen in Abbildung 3–17, dass die Wirkungskategorien, die zu einer Entlastung der Umwelt beitragen, überwiegen und der Ökologie-Index des IST-Zustands durch das Szenario A um 2,5 Punkte, was den bereits genannten ca. 2 % entspricht, verbessert werden kann.

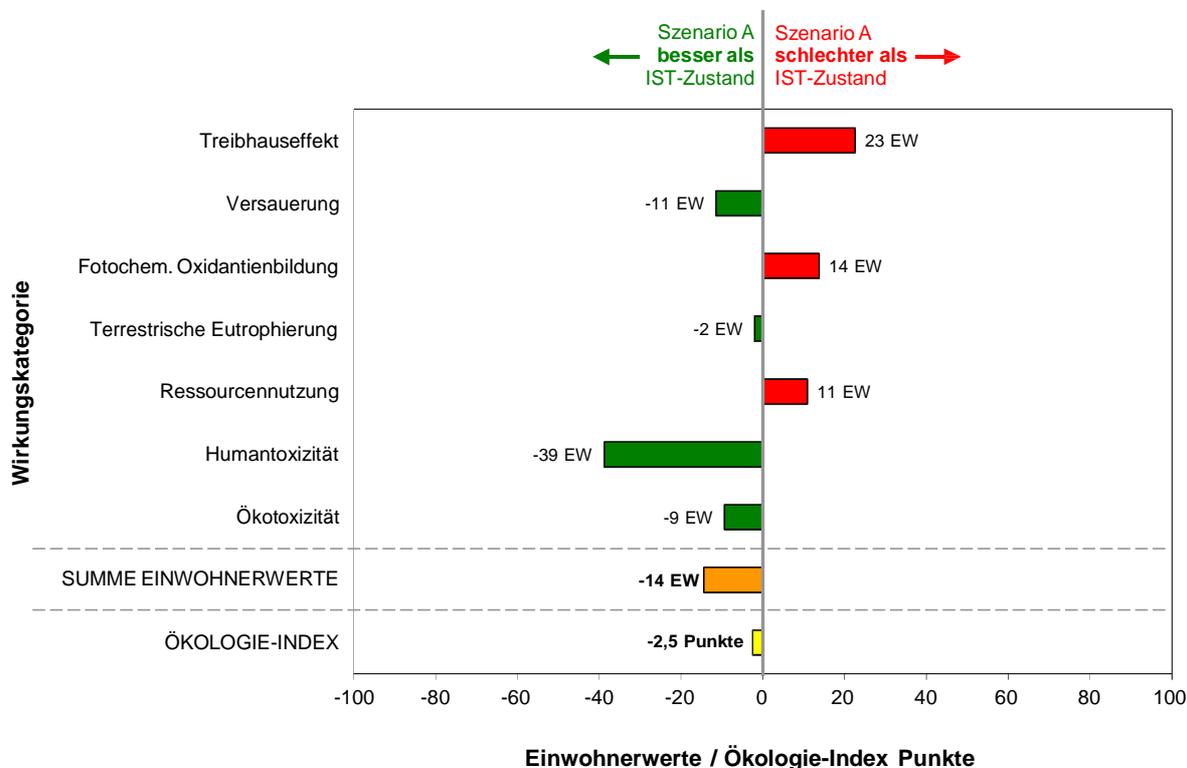


Abbildung 3–17: Differenz in den Einwohnerwerten sowie dem Ökologie-Index von IST-Zustand und Szenario A

Die leichte Verbesserung des Ökologie-Index ist auf einen – wenn auch geringfügig - gestiegenen Systemnutzen aus der Behandlung der Bioabfälle zurückzuführen. Tabelle 3–13 zeigt, dass im Szenario A ca. 2.170 kWh weniger Fernwärme/Prozessdampf als im IST-Zustand ausgekoppelt wird. Dem stehen allerdings eine um ca. 550 kWh höhere Strommenge aus der energetischen Abfallbehandlung sowie bis zu 12 % höhere erzeugte Mengen an Düngernährstoffen und ca. 15 % mehr organischer Substanz aus der stofflichen Verwertung der Komposte und Gärprodukte gegenüber.

Tabelle 3–13: Zusatznutzen aus der Behandlung von biogenen Abfällen im IST-Zustand und Szenario A bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Systemnutzen	Quellen	IST-Zustand	Szenario A (Anschlussgrad 40 %)
Strom	Biomasse-HW/HKW, MVA, MHKW, Vergärungsanlage	844 kWh	1.398 kWh
Fernwärme	Biomasse-HW/HKW, MVA, Vergärungsanlage	17.017 kWh	15.191 kWh
Prozessdampf	MVA, MHKW	2.842 kWh	2.501 kWh
MgO-Dünger	Kompostierungsanlage, Eigenkompostierung, Vergärungsanlage	69 t	75 t
Kalkdünger		394 t	443 t
K-Dünger		80 t	88 t
N-Dünger		78 t	85 t
P-Dünger		41 t	46 t
Organische Substanz	Kompostierungsanlage, Vergärungsanlage	568 t	652 t

**Was ist ökologisch durch die Biotonne mit einem Anschlussgrad von 55 % und der anschließenden Behandlung des Inhaltes in einer Vergärungsanlage im Batch-Verfahren (Szenario B) gegenüber dem derzeit bestehenden Abfallwirtschaftssystem (IST-Zustand) zu erwarten?**

Abbildung 3–15 zeigt, dass das Szenario B insgesamt besser abschneidet als der IST-Zustand. Die Differenz zwischen beiden Ökologie-Index-Werten beträgt ca. 3 %.

Wie in Tabelle 3–14 dargestellt, ist gegenüber dem IST-Zustand mit dem Szenario B für die Wirkungskategorien Versauerung und Terrestrische Eutrophierung eine weitere Umweltentlastung verbunden. Die Umweltentlastungspotenziale betragen 16 und 3 Einwohnerwerte. Die Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Fotochemische Oxidantienbildung und Ressourcennutzung führen dagegen zu Umweltbelastungen. Von den in die Tabelle 3–14 nicht aufgenommenen humantoxisch und ökotoxisch wirkenden Einzelparametern sinken gegenüber dem IST-Zustand die Emissionen von fünf Parametern, wogegen für drei Parameter höhere Emissionen zu erwarten sind.

Tabelle 3–14: Gegenüberstellung der Umweltbe- und -entlastungen ausgewählter Wirkungskategorien des IST-Zustands und des Szenarios B bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Wirkungskategorie	IST-Zustand	Szenario B (Anschlussgrad 55 %)	Beitrag zur Umweltbe- und -entlastung durch das Szenario B
Treibhauseffekt [CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	- 7,91 Mio. kg	- 7,55 Mio. kg	Belastung um 0,36 Mio. kg ☝ 31 Einwohnerwerte
Versauerung [SO <sub>2</sub> -Äquivalente]	- 40 kg	- 569 kg	Entlastung um 387 kg ☝ 16 Einwohnerwerte
Fotochemische Oxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	4.150 kg	4.450 kg	Belastung um 220 kg ☝ 19 Einwohnerwerte
Terrestrische Eutrophierung [PO <sub>4</sub> -Äquivalente]	647 kg	633 kg	Entlastung um 14 kg ☝ 3 Einwohnerwerte
Ressourcennutzung	- 3,26 Mio. kg	- 3,2 Mio. kg	Belastung um 0,06 Mio. kg ☝ 15 Einwohnerwerte

Die Einwohnerwerte und der daraus berechnete Ökologie-Index zeigen in Abbildung 3–18, dass die Wirkungskategorien, die zu einer Entlastung der Umwelt beitragen, überwiegen und der Ökologie-Index des IST-Zustands durch das Szenario B um 3,5 Punkte, was den bereits genannten ca. 3 % entspricht, verbessert werden kann.

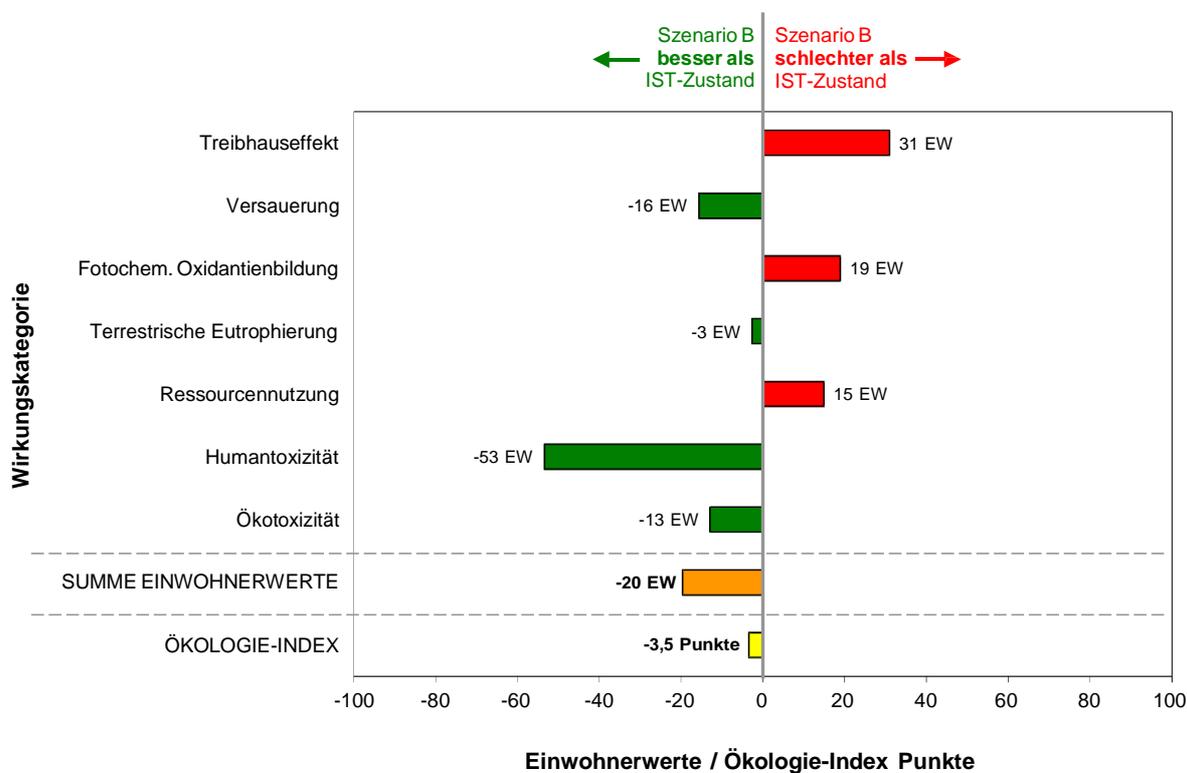


Abbildung 3–18: Differenz in den Einwohnerwerten sowie dem Ökologie-Index von IST-Zustand und Szenario B

Die leichte Verbesserung des Ökologie-Index ist auf einen – wenn auch geringfügig - gestiegenen Systemnutzen aus der Behandlung der Bioabfälle zurückzuführen. Tabelle 3–15 zeigt, dass im Szenario B ca. 2.980 kWh weniger Fernwärme/Prozessdampf als im IST-Zustand ausgekoppelt wird. Dem stehen allerdings eine um ca. 760 kWh höhere Strommenge aus der energetischen Abfallbehandlung sowie bis zu 17 % höhere erzeugte Mengen an Düngernährstoffen und ca. 20 % mehr organischer Substanz aus der stofflichen Verwertung der Komposte und Gärprodukte gegenüber.

Tabelle 3–15: Zusatznutzen aus der Behandlung von biogenen Abfällen im IST-Zustand und Szenario B bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Systemnutzen	Quellen	IST-Zustand	Szenario B (Anschlussgrad 55 %)
Strom	Biomasse-HW/HKW, MVA, MHKW, Vergärungsanlage	844 kWh	1.607 kWh
Fernwärme	Biomasse-HW/HKW, MVA, Vergärungsanlage	17.017 kWh	14.507 kWh
Prozessdampf	MVA, MHKW	2.842 kWh	2.373 kWh
MgO-Dünger	Kompostierungsanlage, Eigenkompostierung, Vergärungsanlage	69 t	78 t
Kalkdünger		394 t	462 t
K-Dünger		80 t	91 t
N-Dünger		78 t	87 t
P-Dünger		41 t	48 t
Organische Substanz	Kompostierungsanlage, Vergärungsanlage	568 t	684 t

**Was ist ökologisch durch die Biotonne mit einem Anschlussgrad von 70 % und der anschließenden Behandlung des Inhaltes in einer Vergärungsanlage im Batch-Verfahren (Szenario C) gegenüber dem derzeit bestehenden Abfallwirtschaftssystem (IST-Zustand) zu erwarten?**

Abbildung 3–15 zeigt, dass das Szenario C insgesamt besser abschneidet als der IST-Zustand. Die Differenz zwischen beiden Ökologie-Index-Werten beträgt ca. 4 %.

Wie in Tabelle 3–16 dargestellt, ist gegenüber dem IST-Zustand mit dem Szenario C für die Wirkungskategorien Versauerung und Terrestrische Eutrophierung eine weitere Umweltentlastung verbunden. Die Umweltentlastungspotenziale betragen 20 und 4 Einwohnerwerte. Die Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Fotochemische Oxidantienbildung und Ressourcennutzung führen dagegen zu Umweltbelastungen. Von den in die Tabelle 3–16 nicht aufgenommenen humantoxisch und ökotoxisch wirkenden Einzelparametern sinken gegenüber dem IST-Zustand die Emissionen von fünf Parametern, wogegen für drei Parameter höhere Emissionen zu erwarten sind.

Tabelle 3–16: Gegenüberstellung der Umweltbe- und -entlastungen ausgewählter Wirkungskategorien des IST-Zustands und des Szenarios C bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Wirkungskategorie	IST-Zustand	Szenario C (Anschlussgrad 70 %)	Beitrag zur Umweltbe- und -entlastung durch das Szenario C
Treibhauseffekt [CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	- 7,91 Mio. kg	- 7,46 Mio. kg	Belastung um 0,45 Mio. kg ↕ 39 Einwohnerwerte
Versauerung [SO <sub>2</sub> -Äquivalente]	- 40 kg	- 717 kg	Entlastung um 677 kg ↕ 20 Einwohnerwerte
Fotochemische Oxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	4.150 kg	4.530 kg	Belastung um 380 kg ↕ 24 Einwohnerwerte
Terrestrische Eutrophierung [PO <sub>4</sub> -Äquivalente]	647 kg	629 kg	Entlastung um 18 kg ↕ 4 Einwohnerwerte
Ressourcennutzung [Eisen-Äquivalente]	- 3,26 Mio. kg	- 3,19 Mio. kg	Belastung um 0,07 Mio. kg ↕ 19 Einwohnerwerte

Die Einwohnerwerte und der daraus berechnete Ökologie-Index zeigen in Abbildung 3–19, dass die Wirkungskategorien, die zu einer Entlastung der Umwelt beitragen, überwiegen und der Ökologie-Index des IST-Zustands durch das Szenario C um 4,4 Punkte, was den bereits genannten ca. 4 % entspricht, verbessert werden kann.

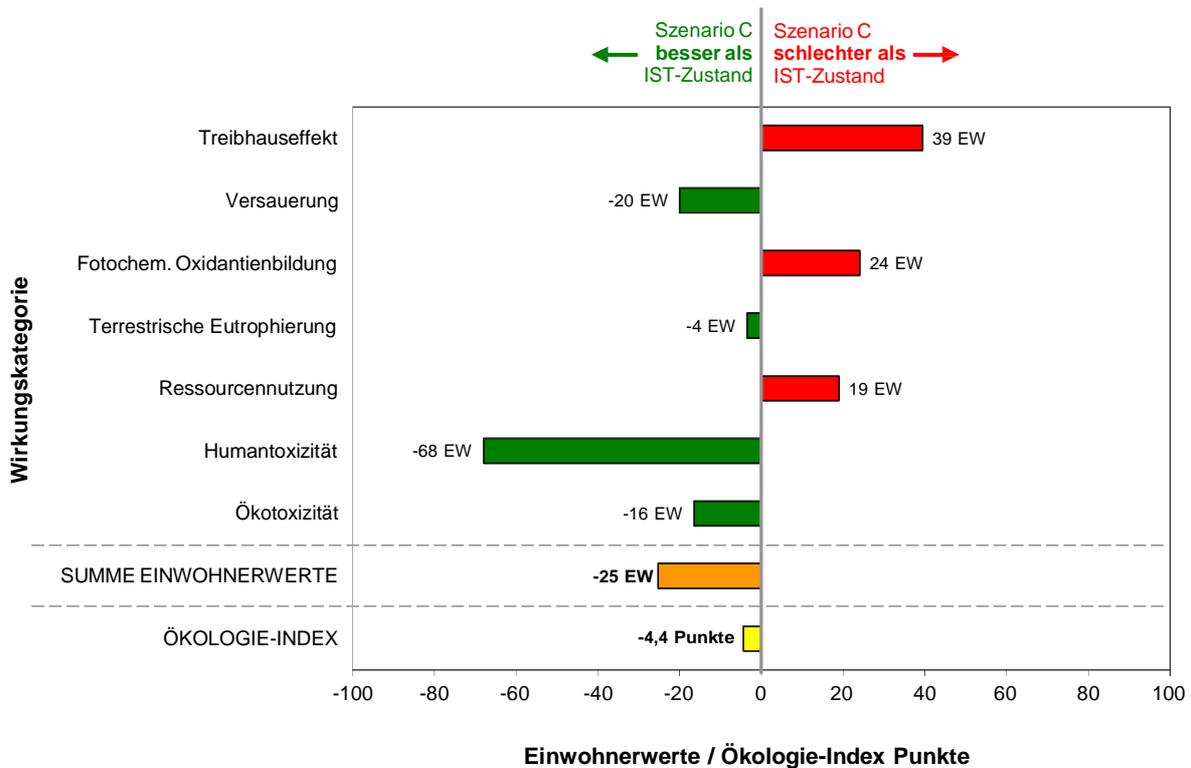


Abbildung 3–19: Differenz in den Einwohnerwerten sowie dem Ökologie-Index von IST-Zustand und Szenario C

Die leichte Verbesserung des Ökologie-Index ist auf einen – wenn auch geringfügig - gestiegenen Systemnutzen aus der Behandlung der Bioabfälle zurückzuführen. Tabelle 3–17 zeigt, dass im Szenario C ca. 3.790 kWh weniger Fernwärme/Prozessdampf als im IST-Zustand ausgekoppelt wird. Dem stehen allerdings eine um ca. 970 kWh höhere Strommenge aus der energetischen Abfallbehandlung sowie bis zu 22 % höhere erzeugte Mengen an Düngernährstoffen und ca. 26 % mehr organischer Substanz aus der stofflichen Verwertung der Komposte und Gärprodukte gegenüber.

Tabelle 3–17: Zusatznutzen aus der Behandlung von biogenen Abfällen im IST-Zustand und Szenario C bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Systemnutzen	Quellen	IST-Zustand	Szenario C (Anschlussgrad 70 %)
Strom	Biomasse-HKW, MVA, MHKW, Vergärungsanlage	844 kWh	1.314 kWh
Fernwärme	Biomasse-HKW, MVA, Vergärungsanlage	17.017 kWh	13.822 kWh
Prozessdampf	MVA, MHKW	2.842 kWh	2.245 kWh
MgO-Dünger	Kompostierungsanlage, Eigenkompostierung, Vergärungsanlage	69 t	80 t
Kalkdünger		394 t	480 t
K-Dünger		80 t	94 t
N-Dünger		78 t	89 t
P-Dünger		41 t	50 t
Organische Substanz	Kompostierungsanlage, Vergärungsanlage	568 t	715 t

## 4 Wirtschaftliche Betrachtung

### 4.1 Erläuterungen zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung im Rahmen der gutachterlichen Bewertung zur getrennten Bioabfallerfassung im Landkreis Coburg dient der Bewertung, in wie weit eine separate Erfassung von Bioabfällen aus der Biotonne im Sinne des § 7 Abs. 4 KrWG wirtschaftlich zumutbar wäre, bzw. welche Auswirkungen auf die Abfallgebühren durch die Biotonne zu erwarten sind. Dabei werden die gleichen drei Mengenszenarien (A, B und C) wie bei der ökobilanziellen Betrachtung verwendet.

Bei der Festlegung der Szenarien wurden vergleichbare „ländlich dichte“ Landkreise in Bayern mit Biotonne und deren Anschlussgrad (Verhältnis Bio- zu Restabfalltonnen) betrachtet. Extreme mit besonders hohen oder niedrigen Anschluss- und Erfassungsquoten aufgrund des Abfallwirtschafts- und/oder Gebührensystems sind dabei außer Acht gelassen worden. Landkreise mit normal hohem Anschlussgrad der Biotonne (ca. 65-75 %) erfassen durchschnittlich ca. 80 kg Bioabfall aus der Biotonne pro Einwohner im Jahr. Das Szenario C ist mit 70 %-igem Anschlussgrad und 80 kg/(Ew\*a) Bioabfallerfassungsmenge das Szenario mit der höchsten Bioabfallerfassungsquote. Die Szenarien A mit 40 % und B mit 55 % sind mit entsprechend geringeren Anschlussgraden gewählt worden.

Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ist eine betriebs- bzw. einzelwirtschaftliche Betrachtung einer getrennten Bioabfallerfassung im Holsystem mit einer flächendeckenden Biotonne unter den bestehenden Rahmenbedingungen der Abfallwirtschaft des Landkreises Coburg. Gegenstand sind die einzelwirtschaftlichen Kosten für die Erfassung (Primärlogistik) und Behandlung mit Verwertung von separat erfassten Bioabfällen aus der Biotonne, die sich im Gebührenhaushalt des Landkreises widerspiegeln würden.

Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung betrachtet somit die Einzelsituation des Landkreises Coburg, wenn dieser die Bioabfallverwertung als Dienstleistung zum einen beschränkt auf die Vergärung und zum anderen systemoffen (entspricht der Bioabfallkompostierung) aus-schreiben würden.

Die angesetzten Kosten in der Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Behältermiere, Bioabfallsammlung, Bioabfallvergärung und Bioabfallkompostierung sind durchschnittliche Marktpreise, die in den letzten Jahren bei Dienstleistungsausschreibungen vergleichbarer Landkreise in Bayern erzielt wurden.

Die Einsparung bei der Restabfallbeseitigung durch die Reduzierung der Menge ist mit Kosten ab 2015 von 133,00 € pro Tonne beim MHKW des ZAW Coburg angesetzt. Eine eventuelle Veränderung der Umlage - z. B. durch die geringere Restabfallmenge - wurde nicht berücksichtigt. Die Einsparungen bei der Grüngutentsorgung wurden spezifisch mit den derzeitigen Kosten berücksichtigt.

Die „Jahreskosten Verwaltungspersonal – Sachbearbeiter (Gr. 9)“ für die zentrale Verwaltung werden pauschal mit 55.000 € pro Jahr pro Mitarbeiter angesetzt und enthalten auch

die Lohnnebenkosten. Entsprechend dem Gebührensystem und Größe der Gebietskörperschaft wurde das erforderliche Personal für die Verwaltung der Biotonnen abgeschätzt.

Die Mengenansätze gehen i.d.R. vom Stand 2013 aus und sind unter Punkt 2 dargestellt.

Da die Biotonne ein wesentliches Serviceangebot für den einzelnen Bürger darstellt (Abholung am Haus), werden die Eigenkompostierung und die Abgabe der Grünabfälle zurückgehen. Wie weitreichend dies jedoch der Fall sein wird, hängt maßgebend von der Abfallwirtschafts- und Gebührensatzung der Biotonne (z. B. Gebühren- und Behälterstruktur, Anschluss- und Benutzungszwang bzw. Befreiung bei Eigenkompostierung etc.) ab.

## 4.2 Kostenberechnung zur Einführung einer Biotonne

### aktuelle Daten

Einwohner 30.06.2013 (Zensus 2011 berücksichtigt)	86.809 Einwohner	
Restabfallmenge 2013 (ohne Sperrmüll und Direktanlieferungen)	15.117 t	174,14 kg/EW
Organikpotential im Hausmüll (aus vergleichbaren Analysen)	32,15 %	55,99 kg/EW
Grüngutmenge 2013	19.116 t	220,21 kg/EW
Veranlagte Hausmüllbehälter (2013)	22.438 Stk. [80-l bis 1.100-l Behälter mit Identssystem]	

### Ansätze / Prognosen

Miete pro Ø-liche Biotonne (60- bis 240-l-Behälter)	0,65 €/Behälter monatlich (brutto)
Bioabfallsammlung ( <b>ganzjährig 14-tägig</b> = 26 Leerungen pro Jahr)	3,00 - 2,50 €/Behälter monatlich (brutto) - Anschlussquote 40-70%
Bioabfallvergärung (Ausschreibung Übernahme u. Vergärung)	72,00 €/t (brutto)
Bioabfallkompostierung (Ausschreibung Übernahme u. Kompostierung)	56,00 €/t (brutto)
Einsparung Grüngutverwertung	-24,33 €/t (brutto)
Einsparung Restmüllbeseitigung MHKW Coburg	-133,00 €/t
Jahreskosten Verwaltungspersonal - Sachbearbeiter (Gr. 9)	55.000 €/a

Vergärung des Bioabfalls	Szenario A	Szenario B	Szenario C
spezifische Bioabfallmenge aus der Biotonne	<b>45,7 kg/EW</b>	<b>62,9 kg/EW</b>	<b>80,0 kg/EW</b>
Bioabfallmenge aus der Biotonne	3.968 t	5.457 t	6.945 t
Anschlussgrad (Restabfalltonnen zu Biotonnen)	<b>40%</b>	<b>55%</b>	<b>70%</b>
Anzahl der Bioabfalltonnen	8.975 Stk.	12.341 Stk.	15.707 Stk.
Kosten für Gestellung pro Bioabfalltonne (brutto) monatlich	0,65 €/Stk.	0,65 €/Stk.	0,65 €/Stk.
<b>Jahreskosten für Behältergestellung</b>	<b>70.007 €</b>	<b>96.259 €</b>	<b>122.511 €</b>
Sammlung pro Bioabfallbehälter (brutto) monatlich	3,00 €/Stk.	2,75 €/Stk.	2,50 €/Stk.
<b>Jahreskosten für Bioabfallsammlung</b>	<b>323.107 €</b>	<b>407.250 €</b>	<b>471.198 €</b>
Kosten für Bioabfallvergärung (brutto)	72,00 €/t	72,00 €/t	72,00 €/t
<b>Jahreskosten für Bioabfallvergärung</b>	<b>285.726 €</b>	<b>392.873 €</b>	<b>500.020 €</b>
Reduktion Grüngut aus Erfassung	26,4 kg/EW	36,3 kg/EW	46,2 kg/EW
spez. Kosteneinsparung der Grüngutverwertung (brutto)	-24,33 €/t	-24,33 €/t	-24,33 €/t
<b>Jahreseinsparung durch Grüngutreduktion</b>	<b>-55.790 €</b>	<b>-76.716 €</b>	<b>-97.642 €</b>
Reduktion Hausmüll	16,0 kg/EW	22,0 kg/EW	28,0 kg/EW
Reduktion Hausmüll - Menge pro Jahr	1.389 t	1.910 t	2.430 t
Spez. Einsparung Restmüllentsorgungskosten	-133,00 €/t	-133,00 €/t	-133,00 €/t
<b>Jahreseinsparung durch Hausmüllreduktion</b>	<b>-184.730 €</b>	<b>-254.003 €</b>	<b>-323.161 €</b>
Verwaltungsaufwand Bioabfallerrfassung - Sachbearbeiter inkl. Reserve:	1,00	1,20	1,40
Anteilige sonstige Verwaltungskosten (1 € pro Behälter im Jahr)	8.975 €	12.341 €	15.707 €
<b>Jahreskosten der Verwaltung Bioabfallerrfassung und -verwertung</b>	<b>63.975 €</b>	<b>78.341 €</b>	<b>92.707 €</b>
<b>Jährl. Gesamtkosten - Einführung einer Biotonne (Vergärung)</b>	<b>502.295 €</b>	<b>644.003 €</b>	<b>765.632 €</b>
<b>Kostendeckende Gebühreneinnahmen pro Bioabfallbehälter jährlich</b>	<b>55,96 €/Stk./a</b>	<b>52,18 €/Stk./a</b>	<b>48,75 €/Stk./a</b>
<b>Kostendeckende Gebühreneinnahmen pro Einwohner im Jahr der Biotonne</b>	<b>5,79 €/EW*a</b>	<b>7,42 €/EW*a</b>	<b>8,82 €/EW*a</b>

Kompostierung des Bioabfalls	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Kosten für Bioabfallkompostierung (brutto)	56,00 €/t	56,00 €/t	56,00 €/t
<b>Jahreskosten für Bioabfallkompostierung</b>	<b>222.231 €</b>	<b>305.568 €</b>	<b>388.904 €</b>
<b>Jährl. Gesamtkosten - Einführung einer Biotonne (Kompostierung)</b>	<b>438.801 €</b>	<b>556.698 €</b>	<b>654.517 €</b>
<b>Kostendeckende Gebühreneinnahmen pro Bioabfallbehälter jährlich</b>	<b>48,89 €/Stk./a</b>	<b>45,11 €/Stk./a</b>	<b>41,67 €/Stk./a</b>
<b>Kostendeckende Gebühreneinnahmen pro Einwohner im Jahr (Kompostierung)</b>	<b>5,05 €/EW*a</b>	<b>6,41 €/EW*a</b>	<b>7,54 €/EW*a</b>

Zur Information : Bioabfall aus Eigenkompostierung und sonst. Entsorgung	3,3 kg/EW/a	4,5 kg/EW/a	5,8 kg/EW/a
--	-------------	-------------	-------------

Bei der Hausmüllabfuhr ergibt sich durch eine Biotonne i.d.R. nur ein sehr geringes Einsparpotential, da der Volumenanteil des Bioabfalls sehr gering ist und daher der Restabfallbehälter volumenbezogen kaum weniger oft entleert werden muss. Vorbehaltlich bestehender Regelungen in laufenden Verträgen kann es zu Kosteneinsparungen der Hausmüllabfuhr kom-

men, die jedoch spätestens bei einer Neuausschreibung wieder weitgehend entfallen. Daher wurde bei der oben dargestellten Kostenberechnung keine Kosteneinsparung bei der Hausmüllabfuhr berücksichtigt.

### 4.3 Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Der Landkreis Coburg hat seit 01.01.2011 sein Gebührensystem umgestellt und rechnet nun nach Behältergröße und Anzahl der Leerungen (Identsystem) ab. Maximal können durch die 14-tägige Abfuhr 26 Leerungen pro Jahr anfallen. Minimal werden 18 Leerungen pro Jahr abgerechnet. Bei der Biotonne wird von einer 14-tägigen Leerung mit Identsystem zur Behälterverwaltung (ohne Gebührenrelevanz) ausgegangen.

Die nachfolgende Tabelle 4–1 zeigt die Gebührensteigerungen in Abhängigkeit des vorhandenen Restabfallgefäßes bei Einführung einer Biotonne im Falle eines hohen Anschlussgrades C (70 %) bei 26 Leerungen des Restabfallbehälters pro Jahr und Verwertung in einer Vergärungsanlage.

Tabelle 4–1: Gebührensteigerung durch Biotonne bei Szenario C mit Vergärung bei 26 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 26 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bioabfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	85,30 €/a	80-I-MGB	26,92 €/a	<b>31,6%</b>	131.986 €/a
120-I-MGB	42,1%	121,70 €/a	120-I-MGB	40,38 €/a	<b>33,2%</b>	266.742 €/a
240-I-MGB	25,6%	206,60 €/a	240-I-MGB	80,75 €/a	<b>39,1%</b>	324.850 €/a
1100-I-MGB	1,1%	818,40 €/a	3x240-I-MGB	242,25 €/a	<b>29,6%</b>	42.055 €/a
	100,0%					765.632 €/a

Die nachfolgende Tabelle 4–2 zeigt die Gebührensteigerungen in Abhängigkeit des vorhandenen Restabfallgefäßes bei Einführung einer Biotonne im Falle eines niedrigen Anschlussgrades A (40 %) bei 18 Leerungen des Restabfallbehälters pro Jahr und Verwertung in einer Vergärungsanlage.

Tabelle 4–2: Gebührensteigerung durch Biotonne bei Szenario A mit Vergärung bei 18 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 18 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bioabfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	70,50 €/a	80-I-MGB	30,90 €/a	<b>43,8%</b>	86.590 €/a
120-I-MGB	42,1%	100,50 €/a	120-I-MGB	46,35 €/a	<b>46,1%</b>	174.997 €/a
240-I-MGB	25,6%	172,20 €/a	240-I-MGB	92,71 €/a	<b>53,8%</b>	213.119 €/a
1100-I-MGB	1,1%	679,20 €/a	3x240-I-MGB	278,13 €/a	<b>40,9%</b>	27.590 €/a
	100,0%					502.295 €/a

Die nachfolgende Tabelle 4–3 zeigt die Gebührensteigerungen in Abhängigkeit des vorhandenen Restabfallgefäßes bei Einführung einer Biotonne im Falle eines hohen Anschlussgrades C (70 %) bei 26 Leerungen des Restabfallbehälters pro Jahr und Verwertung in einer Kompostierungsanlage.

Tabelle 4–3: Gebührensteigerung durch Biotonne bei Szenario C mit Kompostierung bei 26 Leerungen pro Jahr

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 26 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bioabfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	85,30 €/a	80-I-MGB	23,01 €/a	<b>27,0%</b>	112.831 €/a
120-I-MGB	42,1%	121,70 €/a	120-I-MGB	34,52 €/a	<b>28,4%</b>	228.030 €/a
240-I-MGB	25,6%	206,60 €/a	240-I-MGB	69,03 €/a	<b>33,4%</b>	277.705 €/a
1100-I-MGB	1,1%	818,40 €/a	3x240-I-MGB	207,09 €/a	<b>25,3%</b>	35.951 €/a
	100,0%					654.517 €/a

Die nachfolgende Tabelle 4–4 zeigt die Gebührensteigerungen in Abhängigkeit des vorhandenen Restabfallgefäßes bei Einführung einer Biotonne im Falle eines niedrigen Anschlussgrades A (40 %) bei 18 Leerungen des Restabfallbehälters pro Jahr und Verwertung in einer Kompostierungsanlage.

Tabelle 4–4: Gebührensteigerung durch Biotonne bei Szenario A mit Kompostierung bei 18 Leerungen pro Jahr

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 12 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bioabfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	70,50 €/a	80-I-MGB	27,00 €/a	<b>38,3%</b>	75.644 €/a
120-I-MGB	42,1%	100,50 €/a	120-I-MGB	40,49 €/a	<b>40,3%</b>	152.876 €/a
240-I-MGB	25,6%	172,20 €/a	240-I-MGB	80,99 €/a	<b>47,0%</b>	186.179 €/a
1100-I-MGB	1,1%	679,20 €/a	3x240-I-MGB	242,97 €/a	<b>35,8%</b>	24.102 €/a
	100,0%					438.801 €/a

Bei einer ganzjährigen 14-tägigen Leerung der Biotonne ergeben sich abhängig von der Behältergröße, der Anzahl der Leerungen des Restabfallbehälters und der Art der Bioabfallverwertung eine minimale Gebührensteigerung mit 25,3 % und eine maximale Gebührensteigerung mit 53,8 %.

Bei einer 7-tägigen Leerung der Biotonne während der wärmeren 6 Monate pro Jahr und 14-tägigen Leerung während den restlichen kälteren 6 Monate pro Jahr, ergibt sich abhängig von der Behältergröße, der Anzahl der Leerungen des Restabfallbehälters und der Art der Bioabfallverwertung eine minimale Gebührensteigerung mit 31,1 % und eine maximale Gebührensteigerung mit 64,2 % (vgl. Anhang G).

## 5 Bewertung der rechtlichen Rahmenbedingungen

Das neue KrWG fordert spätestens zum 01.01.2015 die getrennte Sammlung von Bioabfällen (§ 11 Abs. 1 KrWG): „(1) Soweit dies zur Erfüllung der Anforderungen nach § 7 Abs. 2 bis 4 und § 8 Abs. 1 erforderlich ist, sind Bioabfälle, die einer Überlassungspflicht nach § 17 Abs. 1 unterliegen, spätestens ab dem 1. Januar 2015 getrennt zu sammeln.“ **Dabei sind die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger die Adressaten der Verpflichtung.**

Der Begriff Bioabfall wurde in der Novelle des KrWG definiert. Gemäß § 3 Abs. 7 KrWG gelten alle biologisch abbaubaren pflanzlichen, tierischen oder aus Pilzmaterialien bestehenden

- Garten- und Parkabfälle
- Landschaftspflegeabfälle
- Nahrungs- und Küchenabfälle aus Haushalten, aus dem Gaststätten und Cateringgewerbe, aus dem Einzelhandel und vergleichbare Abfälle aus Nahrungsmittelverarbeitungsbetrieben sowie
- Abfälle aus sonstigen Herkunftsbereichen, die den oben genannten Abfällen nach Art, Beschaffenheit oder stofflichen Eigenschaften vergleichbar sind

als Bioabfälle. Abfälle aus der Biotonne und separat erfasstes Grüngut werden demnach unter dem Begriff Bioabfälle zusammengefasst.

Bei der Ausgestaltung zur möglichen Einführung einer getrennten Bioabfallerrfassung gilt es dabei folgende Aspekte aus der aktuellen Diskussion und im speziellen aus dem neuen KrWG in die Überlegungen mit einzubeziehen:

- Eine Eigenkompostierung von Bioabfällen ist weiterhin zulässig. Sofern eine Verwertung auf den eigenen, privat genutzten Grundstücken nicht möglich ist bzw. nicht beabsichtigt wird, unterliegen die Bioabfälle der Überlassungspflicht an den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (vgl. § 17 Abs. 1 S. 1 KrWG).
- Ausdrückliche Bezugnahme auf technische Möglichkeit und wirtschaftliche Zumutbarkeit bei Einführung einer Getrennterrfassung (vgl. § 7 Abs. 4 KrWG).
- Durch Bezugnahme auf § 8 Abs. 1 KrWG scheint eine Gesamtabwägung hinsichtlich Rangfolge und Hochwertigkeit der Verwertungsmaßnahmen nach erfolgter Prüfung gemäß § 6 Abs. 2 KrWG, möglich.
- Eine Konkretisierung durch Landesabfallgesetze/Abfallwirtschaftspläne ist momentan in Bayern nicht abzusehen.
- Die Bestimmungen des § 11 Abs. 1 KrWG werden in Art. 4 Abs. 1 BayAbfG umgesetzt, demnach sind seitens der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger Erfassungssysteme für Bioabfälle, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist, zur stofflichen Verwertung vorzuhalten
- Weitergehende Rechtsverordnungen gem. § 11 Abs. 2 (speziell Nr. 2) KrWG sind seitens der Bundesregierung nicht geplant.

## 5.1 Diskussion der rechtlichen Rahmenbedingungen

### 5.1.1 Überlassungspflicht nach § 17 Abs. 1 KrWG

Ausgenommen von Stadtrandgebieten, in denen oftmals eine Einzelhausbebauung mit privat genutzten Haus- und Ziergärten vorherrscht, haben die Einwohner im Innenstadtbereich und städtischen Gebieten von größeren Ortschaften kaum eine Möglichkeit, anfallenden Bioabfall auf den privaten Grundstücken ordnungsgemäß und schadlos zu verwerten. Der Bioabfall aus Gebieten, welcher nicht gemäß den Vorgaben des § 17 Abs. 1 S. 1 KrWG auf den eigenen Grundstücken verwertet werden kann, unterliegt daher der Überlassungspflicht gemäß § 17 Abs. 1 S. 1 KrWG [Queitsch, 2012].

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) vertritt bzgl. der Umsetzung der Getrenntsammlungspflicht die Auffassung, dass ein Anschluss- und Benutzungszwang an das Getrenntsammlensystem Biotonne mit Vorgaben eines Mindestbehältervolumens erforderlich sein wird. Ferner vertritt das BMUB die Auffassung, dass die Einrichtung eines Getrenntsammlensystems mit einer Beteiligung auf freiwilliger Basis sowie die Einführung von Getrenntsammlensystemen für Bioabfall nur in Teilgebieten des Entsorgungsgebiets eines öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgers nicht den Forderungen des KrWG entsprechen [BMUB, 2014].

### 5.1.2 „technische Möglichkeit“ und „wirtschaftliche Zumutbarkeit“ nach § 7 Abs. 4 KrWG

Entsprechend den Vorgaben des neuen Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist die flächendeckende getrennte Erfassung der Bioabfälle nur dann verpflichtend einzuführen, wenn dies technisch und wirtschaftlich umsetzbar ist. In § 7 Abs. 4 KrWG ist die Begriffsbestimmung „technisch möglich“ aufgeführt. Dabei wird in Kommentaren zum KrW- und AbfG die technische Unmöglichkeit mit „nicht verfügbarer Technik“ oder „Nichteinsetzbarkeit vorhandener Technik“ beschrieben [Fluck; KrW-/AbfG]. In Deutschland besteht ein „leistungsfähiger Wirtschaftszweig zum Bioabfallrecycling“ und jeder öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger kann sich im Rahmen von öffentlichen Ausschreibungen Kapazitäten in Behandlungsanlagen sichern. Fehlende Planungen für eigene Anlagen können den Vorrang der Verwertung des Bioabfalls in entsprechenden Anlagen nicht aushebeln und eine integrierte energetische Verwertung in einer MVA automatisch als mit den abfallrechtlichen Pflichten vereinbar machen [Henssen, 2013]. Da sowohl die Kompostierung als auch die Vergärung „bewährte Verwertungsverfahren“ darstellen und eine Vielzahl von Kommunen die Biotonne bereits erfolgreich eingeführt haben, wird der Nachweis der technischen Unmöglichkeit nur schwer zu führen sein [VKU, 2013].

Technische Restriktionen scheiden nach Auffassung der Autoren als Ausschlusskriterium für die Nichtumsetzung der Getrennterfassung von Bioabfällen im Gebiet des ZAW Coburg aus, zumal mittlerweile eine große Bandbreite an technischen Optionen zur hochwertigen Behandlung von Bioabfällen am Markt verfügbar ist. Ebenfalls befinden sich in Bayern in einem Umkreis von ca. 100 km um den ZAW Coburg 18 biologische Behandlungsanlagen (Kom-

postierungs- und Vergärungsanlagen) für Bioabfall aus der Biotonne mit einer Anlagenkapazität von mindestens 117.000 t/a [LfU, 2014].

Die Begriffsbestimmung „wirtschaftlich zumutbar“ ist ebenfalls in § 7 Abs. 4 Satz 1 KrWG beschrieben und zwar mit dem Vorhandensein eines Marktes oder mit der Tatsache, dass ein Markt geschaffen werden kann. In Satz 3 ist beschrieben, dass eine wirtschaftliche Zumutbarkeit dann gegeben ist, wenn die mit der Verwertung verbundenen Kosten nicht außer Verhältnis zu den Kosten einer Abfallbeseitigung stehen. „Höhere Kosten für eine Verwertungsmaßnahme im Vergleich zur Beseitigung begründen keine Unzumutbarkeit. Vielmehr muss das Missverhältnis schon ganz entscheidend ins Gewicht fallen“ [Bechtolsheim et al., 2011]. Auch bei einer argumentierten wirtschaftlichen Unzumutbarkeit gilt nicht automatisch, dass die Maßnahme nicht durchzuführen ist. Die wirtschaftliche Zumutbarkeit gilt es in die Entscheidung mit einfließen zu lassen, sie aber nicht davon abhängig zu machen [Schink, 2012]. In einem weiteren Kommentar von Fluck zu § 5 Abs. 4 KrW-/AbfG wird ein betriebswirtschaftlicher Kostenvergleich (mittel-/langfristig) vorgeschlagen. Soweit die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) die Mehrkosten in abgabenrechtlich zulässiger Weise auf ihre Gebührenschuldner transferieren können, ist das Tragen von Mehrkosten als wirtschaftlich zumutbar einzustufen. Angesichts der erfolgreichen separaten Erfassung von Bioabfall aus der Biotonne in weiten Teilen Deutschlands erscheint eine stichhaltige Argumentation, dass die getrennte Erfassung und Verwertung von Bioabfällen aus der Biotonne für einen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger wirtschaftlich grundsätzlich unzumutbar ist, schwer darstellbar (siehe auch [VKU, 2013]). Hinzu kommt, dass die reinen Verwertungskosten von Bioabfall in der Regel kostengünstiger als die Beseitigung von Hausmüll sind. Ebenfalls implizieren im Einzelfall höhere Entsorgungskosten, bedingt durch kostenungünstige Entsorgungs- oder Sammelverträge, nicht unbedingt eine wirtschaftliche Unzumutbarkeit. Vielmehr wurde im vergangenen Jahr durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energienutzung des Landes Baden-Württemberg auch eine Gebührenerhöhung von 10 bis 20 Prozent, bedingt durch die Einführung einer Getrennterfassung von Bioabfällen aus der Biotonne, als noch in den Grenzen der wirtschaftlichen Zumutbarkeit erachtet [Landtag BW, 2012]. Weiterhin wird die Meinung vertreten, dass der Anfall von Mehrkosten, bedingt durch die Einführung einer getrennten Bioabfallsammlung, nicht als Argument herangezogen werden sollte, die Entscheidung des Gesetzgebers, die dazu dient, europäisches Recht umzusetzen, auszuhebeln [Gaßner, 2013]. Eine klare Festlegung hinsichtlich wirtschaftlicher Zumutbarkeit gibt es bislang nicht, da die Einflusskriterien auf eine getrennte Erfassung von Bioabfällen aus der Biotonne vielfältig und das gesamte System der Bioabfälle (inkl. Grünguterfassung und –verwertung) in den Gebietskörperschaften sehr unterschiedlich ausgestaltet sind. Daher wird die wirtschaftliche Zumutbarkeit nach wie vor sehr kontrovers diskutiert.

Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung für den Landkreis Coburg hat ergeben, dass für das ökologisch günstigere Vergärungsverfahren abhängig vom Anschlussgrad und der Anzahl der Behälterleerungen der Biotonnen bezogen auf die Jahresgebühr einer Restmülltonne (80- bis 1.100-Litergefäße) eine zusätzliche Gebühr für eine kostendeckende Biotonne zwischen 25,3 % und 53,8 % erforderlich wäre.

### **5.1.3 Vorrang der hochwertigen Verwertung nach § 8 Abs. 1 KrWG**

Voraussetzung einer hochwertigen stofflichen Verwertung des Bioabfalls aus der Biotonne ist die Getrennterfassung von gemischtem Siedlungsabfall, da dieser zur Herstellung von Kompost- oder Gärprodukten nicht zulässig ist (vgl. § 4 Abs. 1 BioabfV). Gemäß § 8 Abs. 1 in Verbindung mit § 7 Abs. 2 S. 2 KrWG hat diejenige Verwertungsmaßnahme Vorrang, die zur Erfüllung der Verwertungspflicht gemäß § 7 Abs. 2 S. 1 KrWG und zur Einhaltung der Rangfolge aus § 6 Abs. 1 Nr. 2 bis 4 KrWG unter Berücksichtigung der in § 6 Abs. 2 S. 2 und 3 KrWG definierten Kriterien dient. Der Vorrang der energetischen Verwertung im MHKW Coburg zum Recycling - also der stofflichen Verwertung - besteht dann, wenn die energetische Verwertung der Abfälle dem (besseren) Schutz von Mensch und Umwelt dient. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Ausnahme von der Rangfolge nach § 6 Abs. 1 KrWG vom öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger nachzuweisen ist. Daher wurde unter Punkt 3 entsprechend der Forderung des § 6 Abs. 2 S. 2 KrWG eine ökobilanzielle Betrachtung nach DIN EN ISO 14040 und 14044 durchgeführt und die aktuelle Entsorgungspraxis einer möglichen Biotonne gegenüber gestellt.

Eine Kaskadennutzung der Bioabfälle aus der Biotonne in einer Vergärungsanlage mit anschließender stofflicher Nutzung des Kompostes, unter Berücksichtigung der spezifischen Bedingungen für den Landkreis Coburg, erbringt eine ökologische Verbesserung der IST-Situation. Entsprechend den Vorgaben aus § 6 Abs. 2 S. 1 KrWG wurde damit die ökologische Vorteilhaftigkeit der getrennten Erfassung der Bioabfälle mittels Biotonne und anschließender Kaskadennutzung unter den modellierten Voraussetzungen nachgewiesen (im besten Fall ca. 4 Ökologieindexpunkte). Ein Maß für die ökologische Vorteilhaftigkeit ist im Gesetz und den Kommentaren dazu nicht vorgegeben.

Die Verbesserung ist gering und beläuft sich im besten Fall (Szenario C) auf gut 4,4 Ökologie-Index-Punkte, welche dem jährlichen ökologischen Rucksack von 25 durchschnittlichen Bundesbürgern entspricht.

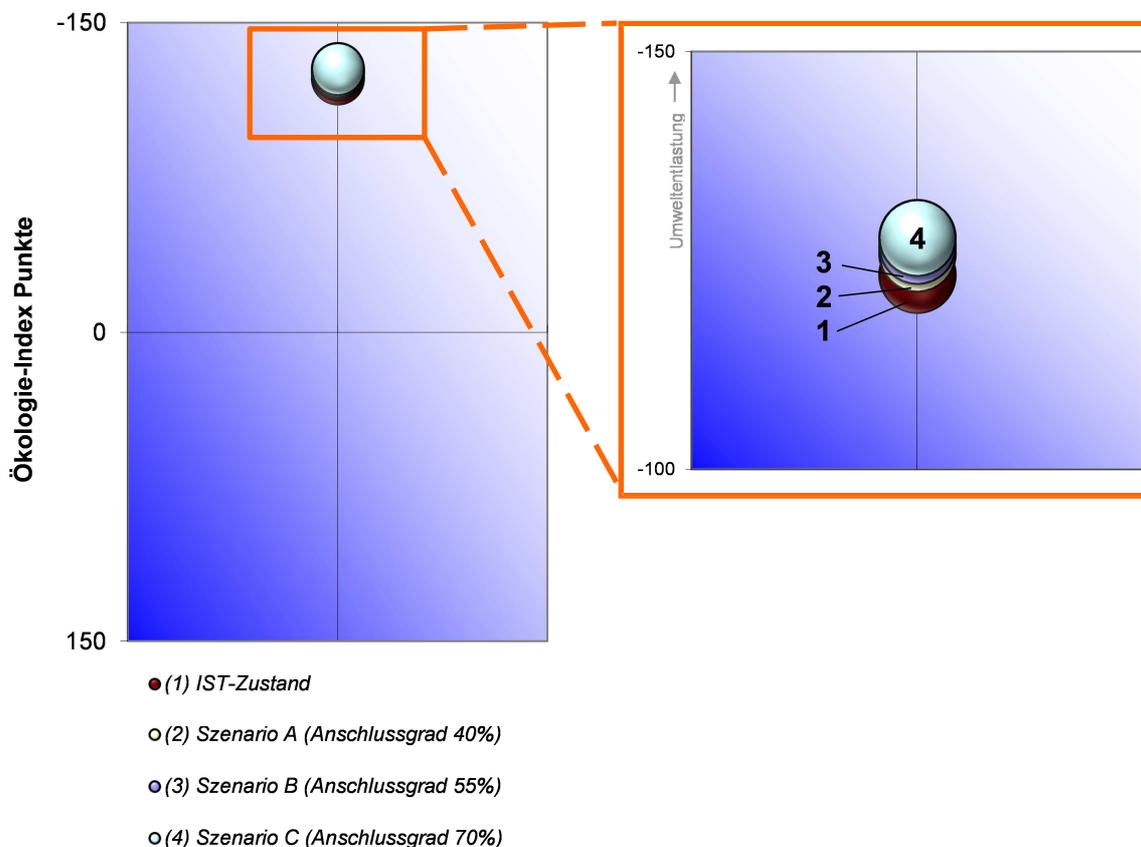


Abbildung 5–1: Portfolio mit den Ökologie-Indices bezogen auf die Entsorgung von ca. 32.657 t Bioabfall

Bei einer Verwertung des Bioabfalls aus der Biotonne durch eine alleinige Kompostierung ergeben sich noch geringere Verbesserungen oder gar eine Verschlechterung gegenüber der ökologischen IST-Situation. Dabei ist jedoch zu beachten, dass eine offene Kompostierung von Bioabfällen aus der Biotonne regelmäßig nicht einer hochwertigen Verwertung entspricht [BMUB, 2014].

Die Eigenkompostierung von Bioabfällen galt bisher in der Abfallwirtschaft als Abfallvermeidung und stand damit in der Abfallhierarchie vor der Verwertung. Diese Einschätzung hat sich in Zeiten der Energiewende verändert. Mit Inkrafttreten des KrWG gilt die Eigenkompostierung offiziell als Abfallverwertung [LfU 2013].

#### 5.1.4 Umsetzung der Getrennthaltungspflicht für Bioabfälle nach KrWG in Bayern

Das BMUB hat mehrmals darauf hingewiesen, dass von Seiten der Bundesregierung hinsichtlich der Umsetzung der Getrennterfassungspflicht kein Gebrauch von der Verordnungsermächtigung im KrWG geplant ist und auf die Länder verwiesen. Die Bayerische Staatsregierung hat zu Anfragen von Gebietskörperschaften bzw. den zuständigen Behörden zur

Umsetzungspflicht bzgl. der im KrWG verankerten Getrennterfassungspflicht von Bioabfällen mehrmals Stellung genommen sowie zu den einzelnen Aspekten der getrennten Erfassung von Bioabfällen Standpunkte formuliert:

- Die Getrennterfassungspflicht gilt für alle nach KrWG an den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger überlassungspflichtigen Bioabfälle.
- Die Getrennterfassungspflicht steht unter dem Vorbehalt der technischen Möglichkeit und wirtschaftlichen Zumutbarkeit.
- Die technische Möglichkeit wird grundsätzlich gegeben sein, das schließt auch eng bebaute Innenstadtbereiche regelmäßig mit ein.
- In der Regel wird auch die wirtschaftliche Zumutbarkeit einer getrennten Bioabfall-Sammlung für den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger gegeben sein; für eine wirtschaftliche Unzumutbarkeit reicht das bloße Aufkommen von Mehrkosten nicht aus, vielmehr müssten die Kosten für eine getrennte Bioabfallerrfassung außer Verhältnis zu den Kosten der gemeinsamen Erfassung (bspw. über die Restmülltonne) von Abfällen stehen.
- Die Umsetzung der Getrennterfassungspflicht kann durch das Einrichten von Hol- und Bringsystemen erreicht werden, dabei gibt es weder die Vorgabe zu Flächendeckung noch zur Implementierung desjenigen Systems, das die höchsten Erfassungsmengen erwarten lässt.
- Für die Umsetzung der getrennten Erfassung von Bioabfällen können verschiedene Systeme zum Einsatz kommen:
  - Erfassung über dezentrale Sammelstellen in zumutbarer Entfernung zur Anfall-Stelle bspw. durch Bioabfall-Container, am Wertstoffhof oder auf den Bauhöfen
  - Erfassung direkt bei der Anfall-Stelle über Biotonnen, entsprechende Säcke, grundstücksbezogene Abfuhr von sperrigen Grünabfällen
- Der öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger ist weiterhin frei in der Wahl des Erfassungssystems. In die Entscheidung sind neben systemischen Überlegungen auch die Akzeptanz bei den Bürgern (Geruchs- bzw. Ungeziefer-Problematik an bestimmten Standorten) sowie Qualitätsansprüche (Vermeidung von Fehlwürfen durch Auslassen von Problemstandorten) mit einzubeziehen. Eine möglichst verbraucherfreundliche Lösung sollte gefunden werden (Verweis auf das Stichwort „Dienstleistungsgedanke“).
- Bei einem rechtssicheren Getrennterfassungssystem müssen grundsätzlich alle Teilströme, die zum Begriff des Bioabfalls dazugehören getrennt erfasst werden, eine Aufrechnung einzelner Teilströme ist nicht möglich.

## 5.2 Akzeptanz der Getrenntsammlung und Ausgestaltung der Rahmenbedingungen

Eine getrennte Sammlung kann sowohl im Bring- als auch im Holsystem erfolgen. Hierbei sind die Besonderheiten der aus privaten Haushalten stammenden Bioabfallfraktionen „Nahrungs- und Küchenabfälle“ und „Garten- und Parkabfälle“ zu beachten. Ist eine getrennte Erfassung von „Garten- und Parkabfällen“ auch im Bringsystem möglich, so ist die Erfassung von „Nahrungs- und Küchenabfällen“ aus Haushaltungen über eine Biotonne und damit im Holsystem sinnvoll. Bisherige Erfahrungen zeigen, dass die alleinige Erfassung von „Nahrungs- und Küchenabfällen“ im Bringsystem zwar die Getrennterfassungspflicht aller Voraussetzungen nach erfüllen wird, die Erfolge hinsichtlich der erfassten Mengen im Verhältnis zu den entstehenden Kosten jedoch zu hinterfragen sind. Als zusätzliche Ergänzung zur Bioabfallerrfassung mittels Biotonne im Holsystem kann jedoch die Erfassung von Bioabfällen im Bringsystem durch entsprechende Abgabemöglichkeiten an Wertstoffhöfen und/oder Bauhöfen für spezielle saisonale Teilmengen (bspw. Fallobst) dazu dienen, erhebliche Erfassungsquoten zu erreichen [Queitsch, 2012].

Eine grundsätzliche Verpflichtung zur Einführung eines getrennten Erfassungssystems das die größten Sammelerfolge bzw. Bioabfallmengen verspricht, ist für die entsorgungspflichtige Körperschaft nach § 11 Abs. 2 KrWG nicht gegeben. Zu bedenken bei der Wahl des Sammelsystems ist jedoch, dass mit zunehmender Flächendeckung nicht nur die Wirtschaftlichkeit sondern auch die Akzeptanz für eine separate Bioabfallerrfassung steigt. Daher sollte bei Einführung eines Sammelsystems für Bioabfälle aus der Biotonne eine umfassende Öffentlichkeitsarbeit zum Thema „getrennte Bioabfallerrfassung“ stattfinden. Oftmals scheitert eine breite Akzeptanz an nicht ausreichender Aufklärung der Bevölkerung zur Nutzung der und zum Umgang mit den neuen Sammelgefäßen.

## 5.3 Fazit und bei der Entscheidungsfindung zu berücksichtigende Aspekte

Nach § 11 Abs. 1 KrWG sind Bioabfälle spätestens ab 01. Januar 2015 getrennt zu erfassen. Dabei sind diejenigen Bioabfälle, die gemäß § 17 Abs. 1 S. 1 KrWG einer Überlassungspflicht gegenüber dem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger unterliegen, unter dem Vorbehalt der technischen Möglichkeit und der wirtschaftlichen Zumutbarkeit getrennt zu erfassen und zu recyceln. Der Vorrang der stofflichen Verwertungspflicht entfällt dann, wenn die energetische Verwertung dem besseren Schutz von Mensch und Umwelt dient. Dies gilt es jedoch mittels Lebenszyklusanalyse der Erfassungs- und Verwertungswege nachzuweisen.

Die technische Möglichkeit ist auf Grund geeigneter technischer Behandlungsverfahren als auch vorhandenen Behandlungskapazitäten in entsprechenden Anlagen gegeben. Die wirtschaftliche Zumutbarkeit wird momentan sehr kontrovers diskutiert und kann hier nicht abschließend beurteilt werden. Letztlich ist es eine Entscheidung der einzelnen Gebietskörperschaft auf Basis der im Gutachten erarbeiteten Entscheidungsgrundlagen für die Einzelsituation des Landkreises Coburg. Weitere Konkretisierungen von Seiten des Bundes oder des

Landes in Form von Verordnungen sind nicht zu erwarten. Von der ursprünglich angedachten Festlegung von Kriterien wie Erfassungsmengen, Organikanteil im Restabfall oder Anschlussgrade auf Basis des Forschungsvorhabens „Verpflichtende Umsetzung der Getrennsammlung von Bioabfällen“ im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit wird Abstand genommen, da die Einflussfaktoren vielfältig sind und bei den Gebietskörperschaften im Bundesgebiet sehr unterschiedlich ausgestaltet sind und wirken. Daher wird es von Seiten des Bundes nur Handlungsempfehlungen geben. Die Entscheidung über die Art des einzuführenden Getrennterfassungssystems verbleibt beim öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger.

Sollte sich der Landkreis Coburg für die Einführung einer Biotonne entscheiden, werden folgende Aspekte zur Beachtung empfohlen:

- **Organisatorische und rechtliche Aspekte:** Die Erfassung und Verwertung von Bioabfällen ist nach den geltenden Abfallwirtschaftssatzungen Aufgabe der Mitglieder des ZAW Coburg. Der Landkreis Coburg definiert unter § 13 Abs. 2 der Satzung über die Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen im Landkreis Coburg (Abfallwirtschaftssatzung) die dem Holsystem unterliegenden Abfälle. Im Falle der Einführung einer Biotonne sollte diese Liste um Bioabfälle erweitert werden und der Punkt e) in der Liste der Abfälle die dem Bringsystem unterliegen unter § 11 Abs. 2 Nr. Abfallwirtschaftssatzung in „Bioabfälle“ umformuliert werden.
- **Ökobilanzielle Betrachtung:** Hinsichtlich ökologischer Aspekte ist eine Kaskadennutzung der Bioabfälle aus der Biotonne erstrebenswert. In einer ersten Stufe sollten die Bioabfälle aus der Biotonne einer anaeroben Behandlung (Vergärung) zur Erzeugung von Biogas zugeführt werden. In der zweiten Stufe sollten die Gärreste durch eine geschlossene Nachkompostierung umweltschonend so aufbereitet werden, dass diese stofflich als Kultursubstrate im Erwerbsgartenbau, in Erdenwerken, Hobbygärten und GaLaBau Anwendung finden. Diese kombinierte Verwertungsart entspricht den Forderungen des Ressourcenschutzes und wird durch aktuelle Ökobilanzierungen gestützt [Knappe, 2013] und [bifa 2013]. Bei der ökobilanziellen Betrachtung wurde mit einer hochwertigen Vergärung, hohem energetischen Wirkungsgrad und geschlossener Nachrotte mit Kompostverwertung als Kultursubstrat eine ökologische Verbesserung der IST-Situation (2 bis 4 %) erreicht. Eine ökobilanziell minderwertigere Bioabfallbehandlung (z. B. Kompostierung) führt ökobilanziell wegen des geringen Vorteils zur Gleichwertigkeit oder Verschlechterung gegenüber der Ist-Situation.
- **Akzeptanz:** Zur Akzeptanz der Einführung einer Biotonne bei Bürgern und kommunalen Gremien im Landkreis Coburg kann keine Einschätzung gegeben werden. Gründe für eine Ablehnung können liegen in einem hohen Anteil an Eigenkompostierung, an notwendigerweise zusätzlichen Behälterstellplätzen sowie befürchteten Geruchs- und Hygieneproblemen durch eine Biotonne. Die Akzeptanz seitens der Bürger zu den vorgenannten Aspekten wird sich erfahrungsgemäß nach einer Eingewöhnungsphase und dem Erkennen des Servicevorteiles verändern. Zur Steigerung der Akzeptanz empfiehlt es sich bei Einführung einer Biotonne die Umsetzung mit umfassender Öffentlichkeitsarbeit zu begleiten.
- **Wirtschaftliche Aspekte:** Eine Biotonne mit ganzjähriger 14-tägiger Abfuhr wäre mit zusätzlichen Kosten von ca. (25,3 bis 47,0 %) (bei einer Kompostierung) bzw. (29,6

bis 53,8 %) (bei einer Vergärung der erfassten Bioabfallmengen) der derzeitigen Müllgebühr verbunden. Die Ergebnisse der ökonomischen Betrachtung zeigen, dass mit steigender Anschlussquote der ökonomische Nutzen steigt und die spezifische finanzielle Belastung der Privathaushalte sinkt. Daher sollte im Falle der Einführung einer Getrennterfassung seitens des Landkreises Coburg darauf hingearbeitet werden, die getrennte Bioabfallerrfassung nicht nur in verdichteten Gebieten einzuführen, sondern den flächendeckenden Ausbau anzustreben. Ebenfalls wurde darauf hingewiesen, dass der vermutlich überwiegende Anteil des Inhalts einer Biotonne aus Bioabfällen besteht, die momentan über die Grüngutentsorgung oder nicht offiziellen Entsorgungsstrukturen der Mitglieder erfasst werden.

## 6 Abschließende Empfehlungen

Im vorliegenden Gutachten wurden die Auswirkungen der Einführung einer Biotonne hinsichtlich der Verschiebung von Stoffströmen aus dem derzeitigen Erfassungs- und Verwertungssystem in ein Erfassungssystem mit Biotonne untersucht. Weiter wurde ermittelt, welche ökobilanziellen Auswirkungen damit einhergehen würden sowie die dabei entstehenden Kosten und welche kostendeckenden Gebühren für eine Biotonne zu erheben wären. Nach der Betrachtung der rechtlichen Rahmenbedingungen bleibt festzuhalten, dass die getrennte Erfassung und separate Verwertung nach dem derzeitigen Stand der Technik möglich ist und ökobilanzielle Vorteile mit sich bringt. Der Erforderlichkeitsvorbehalt der wirtschaftlichen Unzumutbarkeit wird kontrovers diskutiert und das Gutachten zeigt, dass die Einführung einer Biotonne mit erheblichen Kosten verbunden ist. Eine Auslegung inwiefern eine Einführung der Getrennterfassung wirtschaftlich unzumutbar ist und ob dies im Zusammenhang mit den ökologischen Unterschieden zur IST-Situation zu sehen ist, kann hier nicht abschließend geklärt werden.

Aktuelle Auslegung von Seiten der Behörden in Bayern ist, dass ein getrenntes Erfassungssystem für alle Bioabfälle einzuführen ist, also auch für den Anteil Küchenabfälle im Restabfall. Die Art der Getrennterfassung (Hol- oder Bringsystem) entscheiden die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger dabei selbst.

Es wird empfohlen, auf Basis der Ergebnisse dieses Gutachtens durch die Entscheidungsträger in den Gremien des Landkreises Coburg, das Gespräch mit der Regierung von Oberfranken zu suchen und die bisherigen Überlegungen rund um das Thema Getrennterfassung von Bioabfall darzulegen. Es wird weiter empfohlen für den Austausch mit der Regierung von Oberfranken ein Konzept für alle Bioabfälle in der jeweiligen Gebietskörperschaft auf Basis dieses Gutachtens vorzulegen.

## 7 Literatur

### **Abschnitt: Biomasse-Potenzialabschätzung für eine separate Erfassung von Bioabfall aus der Biotonne**

- [ARGUS, 2008] ARGUS – Statistik und Informationssysteme in Umwelt und Gesundheit GmbH: Durchführung einer Restabfallanalyse in der Landeshauptstadt München 2007, Auftraggeber Abfallwirtschaftsbetrieb München (AWM), Berlin
- [bifa, 2014] Auswertung der Ergebnisse eigener Wertstoffpotenzialanalysen von Kommunen die in Siedlungs- und Erfassungsstruktur mit dem Landkreis Coburg vergleichbar sind
- [Fabion, 2007] FABION GbR: Untersuchung des Restabfalls aus Haushalten in der Stadt Schweinfurt (Ziel-2-Gebiet) – Endbericht 2007, Auftraggeber Bayerisches Landesamt für Umwelt, Josef-Vogel-Technikum, Augsburg
- [Fabion, 2011] FABION GbR: Durchführung einer Hausmüllanalyse in der Stadt Würzburg, Auftraggeber Stadt Würzburg – die Stadtreiniger, Würzburg
- [LfU, 2014] Informationen aus der Abfallwirtschaft. Hausmüll in Bayern - Bilanzen 2013, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg

### **Abschnitt: Ökobilanzielle Betrachtung**

- [AGEB 2010] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V.: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2009. Download von <http://www.ag-energiebilanzen.de> am 24.11.2010
- [BGK 2011] Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.: Jahresmedianwerte gütegesicherter Komposte und Gärprodukte für das Jahr 2011
- [BIFA 2003] Pitschke, T.; Roth, U.; Hottenroth, S.; Rommel, W.: Optimierung von Entsorgungsstrukturen. Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und -technik GmbH (bifa) im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Augsburg 2003
- [BIFA 2013] Informationen entnommen aus dem laufenden Projekt „Kompendium zur ökoeffizienten Verwertung von Bioabfall in Bayern: Aktualisierung und Fortführung der Basisstudie“. Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und -technik GmbH (bifa) im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Augsburg 2013
- [BIFA 2014] Eigene Recherchen im Zuge der Projektbearbeitung
- [BMWi 2011] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Stromerzeugungskapazitäten, Bruttostromerzeugung und Bruttostromverbrauch". Download unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/Energiedaten> (04.05.2011)
- [CML 1992] Center of Environmental Science; Netherlands Organisation for Applied Scientific Research; Fuels and Raw Materials Bureau: Environmental life cycle assessment of products - Guide and Backgrounds, Leiden 1992
- [CUHLS ET AL. 2012] gewitra mbH - Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer. Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. Gefördert durch das Umweltbundesamt. Förderkennzeichen (UFOPLAN) 206 33 326. und 3709 44 320. Abschlussbereich im Entwurf, Bearbeitungsstand 8.12.2011.

- [DIN 2006] Deutsches Institut für Normung DIN e. V.: DIN EN ISO 14044 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Beuth Verlag, Berlin 2006
- [DIN 2009] Deutsches Institut für Normung DIN e. V.: DIN EN ISO 14040 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth Verlag, Berlin 2006
- [EdDE 2007] Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V: Grünabfälle besser kompostieren oder energetisch verwerten? Vergleich unter den Aspekten der CO<sub>2</sub>-Bilanz und der Torfsubstitution. EdDE-Dokumentation 11. Köln. Dezember 2007.
- [FBK 2011] Fachvereinigung Bayerischer Komposthersteller e.V.: Jahresmittelwerte gütegesicherter Komposte sowie von gütegesicherten „Kompost flüssig“ für das Jahr 2011
- [FRITSCH 2011] Fritsche, U. R. et al.: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.6. Institut für angewandte Ökologie e. V. im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Wiesbaden, 2011
- [JUNGBLUTH 2007] Jungbluth, N. et al.: Ecoinvent Report No.17 Life Cycle Inventories of Bioenergy. Swiss Center für Life Cycle Inventories. Dübendorf Dezember 2007.
- [IPCC 1995] Intergovernmental Panel on the Climatic Change: Climate change 1994. University Press, Cambridge 1995
- [IPCC 2001] Intergovernmental Panel on the Climatic Change: Climate change 2001. University Press, Cambridge 2001
- [IPCC 2007] Intergovernmental Panel on the Climatic Change: Climate change 2007. University Press, Cambridge, 2007
- [KAUERTZ ET AL. 2010] Kauertz, B.; Döhner, A.; Detzel, A.: PET Ökobilanz 2010 - Ökobilanzielle Untersuchung verschiedener Verpackungssysteme für kohlesäurehaltige Mineralwässer und Erfrischungsgetränke sowie stille Mineralwasser. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH im Auftrag der Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V, Heidelberg 2010
- [KLÖPFFER & GRAHL 2009] Klöpffer, W.; Grahl, B.: Ökobilanz (LCA). Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2009
- [KLÖPFFER & RENNER 1995] Klöpffer, W.; Renner, I.: Methodik der Wirkungsbilanz im Rahmen von Produkt-Ökobilanzen unter Berücksichtigung nicht oder nur schwer quantifizierbarer Umwelt-Kategorien. UBA-Texte 23/95, Umweltbundesamt, Berlin 1995
- [KOLSHORN & FEHRENBACH 2000] Kolshorn, K.-U.; Fehrenbach H.: Ökologische Bilanzierung von Altöl-Verwertungswegen. Ufoplan-Nr. 29792382/01, Umweltbundesamt, Berlin 2000
- [LFU 2004] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Ammoniak und Ammonium. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Augsburg 2006. Download (09.04.2009): [http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu\\_luft\\_00129.htm](http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_luft_00129.htm)
- [LFU 2008] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Restmüllzusammensetzung, Einflussfaktoren, Abhängigkeit von lokalen abfallwirtschaftlichen Zusammenhängen (EFRE-Ziel-2-Gebiete in Bayern). Augsburg November 2008.
- [LFU 2011] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Kompostierung – hygienische Aspekte. Augsburg 2011. Download: [http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw\\_30\\_kompostierung\\_hygiene.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_30_kompostierung_hygiene.pdf)
- [PLINKE ET AL. 2000] Plinke, E.; Schonert, M.; Meckel, H.; Detzel, A.; Giegrich, J.; Fehrenbach, H.; Ostermayer, A.; Schorb, A.; Heinisch, J.; Luxenhofer, K.; Schmitz, S.:

Ökobilanz für Getränkeverpackungen II - Hauptteil. UBA-Texte 37/00, Umweltbundesamt, Berlin 2000

[REINHOLD 2009] Arbeiten von Dr.Reinhold übermittelt am 18.03.2009

[SCHMITZ ET AL. 1995] Schmitz, S.; Oels, H.-J.; Tiedemann, A.: Ökobilanz für Getränkeverpackungen I. UBA-Texte 52/95, Umweltbundesamt, Berlin 1995

[UBA 2009] Memmler, M.; Mohrbach, E.; Schneider, S.; Dreher, M.; Herbener, R.: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Umweltbundesamtes 12/2009. Dessau-Roßlau, Oktober 2009

[VOGT ET AL. 2002] Vogt, R.; Knappe, F.; Giegrich, J.; Detzel, A.: Ökobilanz Bioabfallverwertung. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2002

[WM 2011] Ministerium für Wirtschaft, Bau und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern: Bioabfallbewirtschaftung in Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin 2012

### **Abschnitt: Bewertung der rechtlichen Rahmenbedingungen**

[Bechtolsheim et al, 2011]: Bechtolsheim, C. v., Charlier, I-K., Wagner, J.: REKrWG - Neuorganisation der Bioabfallentsorgung erforderlich? Teil 2: Prüfungsprogramm des öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgers für die Organisationsentscheidung über eine getrennte Bioabfallsammlung, in Müll und Abfall Heft 43 (2011), S. 180 – 184, 2011

[BMUB, 2014]: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – Referat WR II 4 -: Fachliche Schlussfolgerungen aus dem F + E-Vorhaben zur Getrenntsammlung von Bioabfällen, 03.04.2014

[BIFA 2013] „Kompendium zur ökoeffizienten Verwertung von Bioabfall in Bayern: Aktualisierung und Fortführung der Basisstudie“. Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und -technik GmbH (bifa) im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Augsburg 2013

[Fricke, 2013] Fricke, K., Siederer, W.: Auf dem Weg zur hochwertigen Verwertung von Bioabfall? – Editorial, in Müll und Abfall Heft 12/13 (2013), S. 625, 2013

[Fluck, Krw-/AbfG]: Fluck, J. in Fluck, J. (Hrsg.): Kreislaufwirtschafts-, Abfall- und Bodenschutzrecht, Kommentar, Heidelberg, München, Landsberg, Frechen, Hamburg; 1995ff, Stand 108. Ergänzungslieferung September 2012

[Gaßner, 2013]: Gaßner, H.: Erforderlichkeit der Intensivierung der Bioabfallerrfassung nach § 11 Abs. 1 KrWG, in Kranert, M. Sihler, A. (Hrsg.) : Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 110 (Bioabfallforum 2013 – Baden-Württemberg), Stuttgart 2013

[Henssen, 2012]: Henssen, D. gab Designer und Ingenieure GmbH: Die neue Vorschrift zur getrennten Sammlung von Bioabfällen - Kommentierung zu § 11 Abs. 1 KrWG, Aachen, März 2012

[Henssen, 2013]: Henssen, D., Schneider, M.: Getrennte Sammlung on Bioabfall in Deutschland – Umsetzung der Vorgabe des § 11 Abs. 1 KrWG, Müll und Abfall 02/2013, S. 60 – 73

[Knappe, 2012]: Knappe, F., Vogt, R., Lazar, Dr. S., Hölke, Dr. S.: Optimierung der Verwertung organischer Abfälle, Umweltbundesamtes 01/2012, Dessau-Roßlau, Juli 2009

[Kunig, 2003]: Kunig, P. in Kunig P., Paetow, S., Versteyl, A., L.-A.: Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, Kommentar, 2. Auflage, München, 2003

[Landtag BW, 2012]: Landtag von Baden-Württemberg, Drucksache 15/2440, Kleine Anfrage des Abgeordneten Andreas Glück FDP/DVP und Antwort des Ministeriums für Um-

- welt, Klima und Energiewirtschaft zur Wirtschaftlichkeit und ökologischen Auswirkungen der Biotonne im Landkreis Lörrach, 05.10.2012
- [LfU, 2011]: Kompostierung – hygienische Aspekte, UmweltWissen, Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2011
- [LfU, 2012]: Informationen aus der Abfallwirtschaft. Hausmüll in Bayern - Bilanzen 2011, Hrsg Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2012
- [LfU, 2013]: Abfall – vermeiden, trennen, verwerten oder beseitigen, UmweltWissen, Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2012
- [Queitsch, 2012]: Queitsch, Dr. P.: Bioabfallerrfassung/-verwertung nach dem KrWG und der neuen Bioabfall-Verordnung, AbfallR 4/2012, S. 182-187
- [Schink, 2012]: in Schink, A. Versteyl, A. (Hrsg.): KrWG Kommentar zum Kreislaufwirtschaftsgesetz, Berlin 2012
- [UEC, 2014]: Endbericht im Entwurf, 06. Mai 2014; Verpflichtende Umsetzung der Getrenntsammlung von Bioabfällen, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, 2014
- [UM, 2012]: Optimierung des Systems der Bio- und Grünabfallverwertung, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2012
- [VKU, 2013]: Positionspapier – Ausbau der getrennten Bioabfallsammlung - Chancen für die kommunale Abfallwirtschaft, Verband kommunaler Unternehmen e.V., Berlin, 25.01.13

## 8 Anhang

### Anhang A: Erläuterungen zur Darstellung der Ergebnisse

#### Wirkungsabschätzung in Abschnitt 3.3.1

Für die Auswertung der zu vergleichenden Verfahren werden Darstellungen verwendet, wie in Abbildung A-1 erläutert.

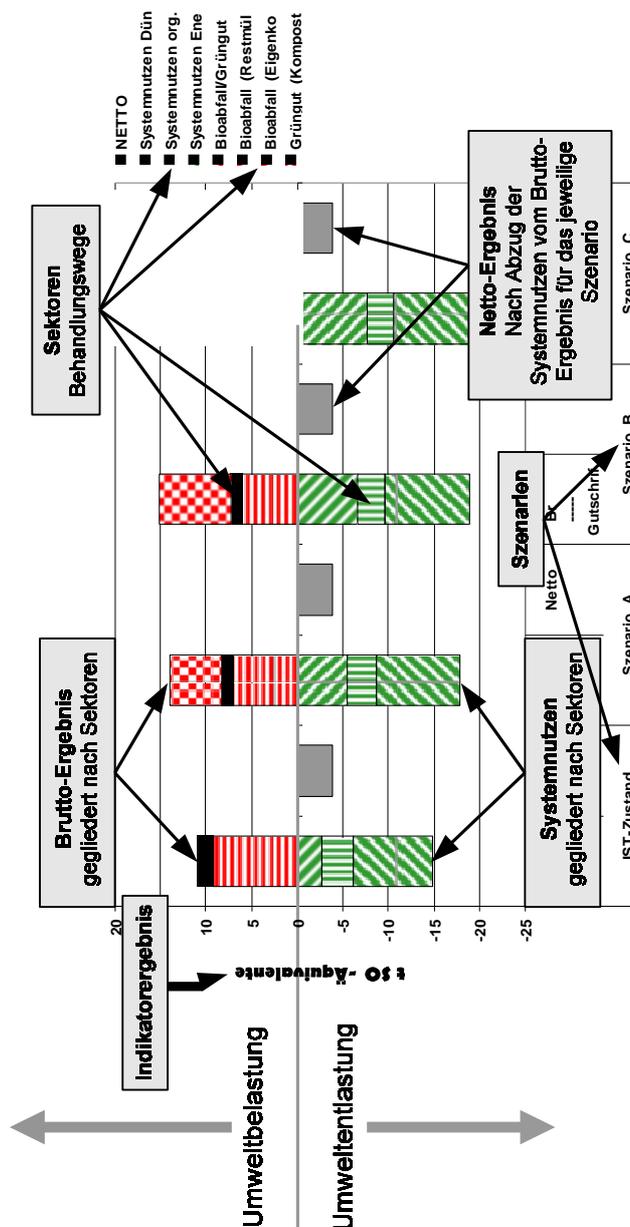


Abbildung A-1: Erläuterung der graphischen Darstellung zur Bewertung der Beiträge der untersuchten Szenarien zu den betrachteten Wirkungskategorien



## Anhang B: Beschreibung der Wirkungskategorien

### Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt steht für die negative Umweltwirkung der Erwärmung der Erdatmosphäre und ist in entsprechenden Referenzen bereits eingehend beschrieben worden [IPCC 1995, IPCC 2001, IPCC 2007]. Aus wissenschaftlicher Sicht sind die Ursachen für den Treibhauseffekt allgemein bekannt. Eine Diskussion besteht jedoch hinsichtlich des Einflusses des Menschen auf diese Ursachen, dem so genannten anthropogen verursachten Treibhauseffekt. Der bisher in Ökobilanzen zumeist angewandte Indikator ist das Strahlungspotential [CML 1992, KLÖPFFER UND RENNER 1995] und wird in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. Diese Charakterisierungsmethode gilt als allgemein anerkannt.

Mit dem Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) besteht zudem ein internationales Fachgremium, das sowohl die Methode als auch die entsprechenden Kennzahlen für jede klimawirksame Substanz errechnet und fortschreibt. Die vom IPCC fortgeschriebenen Berichte sind als wissenschaftliche Grundlage zur Instrumentalisierung des Treibhauseffektes in ihrer jeweils neuesten Fassung heranzuziehen.

In stofflich genutzten Pflanzen ist Kohlenstoff aus der Atmosphäre gebunden, der im Laufe der Zeit durch Verrottung oder Verbrennung wieder frei gesetzt wird. Diese CO<sub>2</sub>-Emissionen werden per Konvention des IPCC nicht dem Treibhauseffekt zugerechnet, da hierbei genau so viel CO<sub>2</sub> freigesetzt wird, wie zuvor der Atmosphäre beim Wachstum der Pflanze entzogen wurde. Die zeitweilige Bindung von CO<sub>2</sub> in der Pflanze bzw. dem daraus produzierten Stoff ist in der Regel auf maximal einige Jahrzehnte beschränkt und erfordert aufgrund der langen Integrationszeiträume beim Treibhauseffekt keine Berücksichtigung.

Bei der Berechnung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten wird die Verweilzeit der Gase in der Troposphäre berücksichtigt. Daher stellt sich die Frage, welcher Zeitraum der Klimamodellrechnung für die Zwecke der Ökobilanz verwendet werden soll. Es existieren Modellierungen für 20, 50 und 100 Jahre. Die Modellrechnungen für 20 Jahre beruhen auf der sichersten Prognosebasis. Das Umweltbundesamt empfiehlt die Modellierung auf der 100-Jahrebasis, da diese am ehesten die langfristigen Auswirkungen des Treibhauseffektes widerspiegelt. Sie wurde auch in diesem Vorhaben verwendet. Es wurden neben den direkten Effekten auch indirekte Effekte berücksichtigt, wenn z.B. Methan in der Atmosphäre zu Kohlendioxid abgebaut wird.

In Tabelle A-1 sind die für die Berechnungen des Treibhauspotentials herangezogenen Parameter mit ihren CO<sub>2</sub>-Äquivalenzwerten aufgelistet.

Tabelle A-1: Treibhauspotentiale der im Rahmen dieses Vorhabens betrachteten Parameter

Parameter	Treibhauspotential (GWP) - 100 Jahre [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente/kg]
Perfluorethan	12.200
Perfluormethan	7.390
Methan fossil	27,25
Methan regenerativ	25
Kohlendioxid fossil	1
Halon1301	7.140

Parameter	Treibhauspotential (GWP) - 100 Jahre [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente/kg]
Distickstoffmonoxid	298
R11	4.750
R113	6.130
R114	10.000
R115	7.370
R12	10.900
R123	77
R141	725
R142	2.310
R22	1.810
R134a	1.430
R404a	3.784
R407c	1.652
R410a	1.975
R417a	2.234
R10	1.400
R140	30

Der Beitrag zum Treibhauseffekt wird durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Mengen der einzelnen treibhausrelevanten Gase ( $m_i$ ) und dem jeweiligen GWP<sup>4</sup> (GWP<sub>i</sub>) nach folgender Formel berechnet:

$$GWP = \sum_i (m_i \times GWP_i)$$

## Fotochemische Oxidantienbildung

Die Wirkungskategorie Fotochemische Oxidantienbildung<sup>5</sup>, ausgedrückt in Ethen-Äquivalenten, beschreibt die Bildung von bodennahem Ozon, das als schädliches Spurengas einzuordnen ist und im Verdacht steht, zu Vegetations- und Materialschäden zu führen sowie Gesundheitsbeschwerden hervorzurufen.

In Tabelle A-2 sind die in diesem Vorhaben berücksichtigten Parameter mit ihrem jeweiligen Ozonbildungspotentialen aufgeführt. Es wurden nur die Einzelsubstanzen herangezogen, die einen definierten Äquivalenzfaktor zu Ethen aufweisen. Für die stofflich nicht präzise spezifi-

<sup>4</sup> Global Warming Potential

<sup>5</sup> auch Ozonbildungspotenzial [CML 1992]

zierten Kohlenwasserstoffe, die in Literaturdatensätzen häufig angegeben werden, wurden aus CML 1992 und SCHMITZ ET AL. 1995 entnommene mittlere Äquivalenzwerte verwendet. Für Stickoxide gibt es keinen Äquivalenzfaktor, da diese bei der Bildung von Ozon unter Sonneneinstrahlung nur als Katalysator dienen.

Tabelle A-2: Ozonbildungspotenziale der im Rahmen dieses Vorhabens betrachteten Parameter

Parameter	Ozonbildungspotenzial [kg Ethen-Äquivalente/kg]
Acetylen	0.168
Benzol	0.22
Ethanol	0.268
Ethylacetat	0.218
Ethylen	1
Formaldehyd	0.52
Methan	0.006
Propan	0.42
NMVOC un spez.	1
VOC un spez.	0.377

Das Ozonbildungspotential wird durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Menge der einzelnen Parameter ( $m_i$ ) und dem jeweiligen POCP ( $POCP_i$ ) nach folgender Formel berechnet:

$$POCP = \sum_i (m_i \times POCP_i)$$

## Versauerung

Eine Versauerung kann sowohl bei terrestrischen als auch bei aquatischen Systemen eintreten. Verantwortlich ist die Emission säurebildender Substanzen. Der bei CML 1992 sowie KLÖPFER & RENNER 1995 gewählte Wirkungsindikator Säurebildungspotential wird als adäquat für diese Umweltwirkung angesehen. Die Abschätzung des Säurebildungspotentials erfolgt üblicherweise in der Maßeinheit der  $SO_2$ -Äquivalente.

In Tabelle A-3 sind die in diesem Vorhaben erfassten Parameter mit ihren Versauerungspotentialen in Form von  $SO_2$ -Äquivalenten aufgelistet.

Tabelle A-3: Versauerungspotenziale der im Rahmen dieses Vorhabens betrachteten Parameter

Parameter	Versauerungspotenzial [kg $SO_2$ -Äquivalente/kg]
Stickoxide	0,7
Chlorwasserstoff	0,88
Schwefeldioxid	1

Fluorwasserstoff	1,6
Ammoniak	1,88
Schwefelwasserstoff	1,88

Der Beitrag zum Versauerungspotential wird durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Menge der einzelnen Parameter ( $m_i$ ) und dem jeweiligen  $AP^6$  ( $AP_i$ ) nach folgender Formel berechnet:

$$AP = \sum_i (m_i \times AP_i)$$

## Terrestrische Eutrophierung

Die Wirkungskategorie Eutrophierung steht für eine Nährstoffzufuhr im Übermaß, sowohl für Gewässer als auch für Böden. Da zwei unterschiedliche Umweltmedien auf sehr unterschiedliche Weise betroffen sind, wird auch eine Unterteilung in Gewässer- und Boden-Eutrophierung vorgenommen. Dabei wird vereinfachend davon ausgegangen, dass alle luftseitig emittierten Nährstoffe eine Überdüngung des Bodens darstellen und alle wasserseitig emittierten Nährstoffe zur Überdüngung der Gewässer beitragen. Da der Nährstoffeintrag in Gewässer über Luftemissionen im Vergleich zum Nährstoffeintrag über Abwässer gering ist, stellt diese Annahme keinen nennenswerten Fehler dar.

In diese Ökoeffizienzanalyse geht nur die Wirkungskategorie terrestrische Eutrophierung ein. Die primäre Wirkung der Eutrophierung ist die stetige Steigerung der biologischen Produktion von Biomasse (z.B. Algen, Pflanzen). Durch das Absterben der Biomasse steht organisches Material zur Verfügung, das mikrobielle, zunächst aerobe, Abbauprozesse fördert.

Zur Berechnung der unerwünschten Nährstoffzufuhr wird der Indikator Eutrophierungspotenzial mit der Maßeinheit Phosphat-Äquivalente verwendet [CML 1992, KLÖPFFER UND RENNER 1995]. Es ist ein relatives Maß für die Fähigkeit einer Substanz, Biomasse zu bilden.

In Tabelle A-4 sind die für die Berechnungen der Eutrophierungspotenziale herangezogenen Parameter mit ihrem jeweiligen Charakterisierungsfaktor aufgeführt.

Tabelle A-4: Eutrophierungspotenziale der im Rahmen dieses Vorhabens betrachteten Parameter

Parameter	Versauerungspotenzial [kg PO <sub>4</sub> -Äquivalente/kg]
Stickoxide	0,13
Ammoniak	0,35

Für die Nährstoffzufuhr in den Boden wird der Beitrag zum Eutrophierungspotenzial durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Menge der einzelnen Parameter ( $m_i$ ) und dem jeweiligen  $NP^7$  ( $NP_i$ ) berechnet:

<sup>6</sup> Acidification Potential

$$NP = \sum_i (m_i \times NP_i)$$

## **Toxische Schädigung des Menschen und von Organismen (Human-toxizität)**

Die in der Sachbilanz erhobenen Daten zu toxischen Emissionen stellen Schadstofffrachten dar. Die Schadstofffrachten werden in einer Ökobilanz nicht in Bezug zu einer konkreten räumlichen Einheit erhoben. Die Sachbilanzdaten sind daher nicht mit einer konkreten Expositionsbeurteilung verbunden. Die klassischen Instrumente zur toxikologischen Bewertung wie z.B. die Risikoanalyse oder die Umweltverträglichkeitsuntersuchung sind somit nicht unmittelbar innerhalb einer Ökobilanz anwendbar.

Eine methodische Vorgehensweise, die Vielfalt an toxikologischen Wirkungen, die von einzelnen toxischen Stoffen ausgeht, zu beschreiben und zusammenzufassen, ist bisher nicht allgemein akzeptiert. Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob ein Ansatz mit dem Anspruch, die gesamte Breite der Toxikologie belastbar abzudecken, überhaupt realisierbar ist.

Aus diesem Grund wurde in dieser Studie zur Bewertung der Humantoxizität der Mittelwert mehrerer Einzelparameter herangezogen.

## **Toxische Schädigung von Organismen und Ökosystemen (Ökotoxizität)**

Im Prinzip stößt man hier auf die gleiche Problematik wie im Falle der Humantoxizität. Daher wurde ebenfalls der Mittelwert mehrerer ökotoxisch wirkender Einzelparameter verwendet.

## **Ressourcennutzung**

Für die Beurteilung der Ressourcennutzung sind grundsätzlich die folgenden Aspekte zu berücksichtigen:

- die langfristige Verfügbarkeit für die menschliche Nutzung (Schutzgut „Ressourcen“)
- die mit der Gewinnung und Nutzung von Ressourcen verbundene Umweltbelastung und die mit abnehmender Verfügbarkeit drohende Zunahme der Umweltbelastung (Schutzgüter „Struktur und Funktion von Ökosystemen“ und „Menschliche Gesundheit“)

Die Bewertung der realen und potenziellen Umweltbelastungen bezogen auf die Schutzgüter „Ökosysteme“ und „Menschliche Gesundheit“ kann prinzipiell anhand etablierter Indikatoren zur Beschreibung von Umweltwirkungen erfolgen. Dagegen existieren für die Bewertung der Verfügbarkeit zwar Ansätze, die allerdings einer integrierten, das heißt über die ausschließliche Betrachtung von Reichweiten hinausgehenden Bewertung der Ressourcennutzung, nur bedingt gerecht werden oder nicht als geschlossener Indikator angewendet werden können. Aus diesen Gründen entwickelte bifa ein Raster zur Bewertung der Verfügbarkeit energetischer und abiotischer Rohstoffe. Die Bewertung der Verfügbarkeit eines Rohstoffs erhält man im Rahmen einer Nutzwertanalyse für die folgenden 3 Zielkriterien:

- Reichweite

---

<sup>7</sup> Nitrification Potential

- Überwiegende Art der Nutzung
- Substituierbarkeit

Zweifellos ist es notwendig, neben der Bewertung von Reichweiten von Rohstoffen auf die Optionen der „Streckung“ der Verfügbarkeit von Primärrohstoffen durch effizientere Nutzung, Substitution durch weniger knappe Rohstoffe, Recycling und generell auf technische Innovationen hinzuweisen<sup>8</sup>. Nicht die Rohstoffknappheit ist die einzige Herausforderung, sondern der Umgang mit Rohstoffen.

Für die im Rahmen dieser Untersuchung relevanten Rohstoffe und Energieträger sind in Tabelle A-5 die Zielgrößen für jedes der genannten Kriterien dargestellt.

Tabelle A-5: Charakterisierung von Rohstoffen und Energieträgern anhand der Zielkriterien

Ressource	Statische Reichweite [a] [DERA 2011, BGR 2007 bzw. USGS 2012]	Überwiegende Art der Nutzung bifa Einschätzungen und [EC 2010]	Substituierbarkeit bifa Einschätzungen und [EC 2010]	Reserve [Mio. t] [DERA 2011, BGR 2007 und USGS 2012]
Steinkohle	95 <sup>1)</sup>	Destruktive Nutzung	Grundsätzlich substituierbar	605.000 <sup>1)</sup>
Braunkohle	375 <sup>1)</sup>	Destruktive Nutzung	Grundsätzlich substituierbar	375.000 <sup>1)</sup>
Erdgas	58 <sup>1)</sup>	Destruktive Nutzung	Grundsätzlich substituierbar	158.760 <sup>1)</sup>
Erdöl	43 <sup>1)</sup>	Destruktive Nutzung	Grundsätzlich substituierbar	169.000 <sup>1)</sup>
Aluminium	142 <sup>2)</sup>	Recycling etabliert EU-Quote 35 %	Grundsätzlich substituierbar	6.250 <sup>2)</sup>
Eisen	100 <sup>2)</sup>	Recycling etabliert EU-Quote 22 %	Grundsätzlich substituierbar	79.000 <sup>2)</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	372 <sup>3)</sup>	Dissipative Nutzung	Keine, mit gravierenden Folgen für Befriedigung der Grundbedürfnisse zukünftiger Generationen	17.488 <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Quelle [DERA 2011] <sup>2)</sup> [BGR 2007], <sup>3)</sup> [USGS 2012]

Anschließend werden die Zielgrößen klassiert und mit Punkten bewertet. Man erhält so die Zielwerte. Die Bewertung innerhalb der Punkte-Skala der Zielgrößen erfolgt dergestalt, dass Zielgrößen-Ausprägungen, die eine Verschärfung der Ressourcenverknappung beschreiben, einer höheren Punktezahl zugeordnet werden. Für die gewichtete Summation der Zielwerte nimmt bifa an, dass alle Zielkriterien gleichen Einfluss auf die Bewertung der langfristigen Verfügbarkeit haben und dementsprechend gleich zu gewichten sind. Tabelle A-6 veranschaulicht die Zuordnung der Zielgrößen zur Punkteskala.

<sup>8</sup> Vergleiche [MaRes; S.17]

Tabelle A-6: Bewertung der langfristigen Verfügbarkeit von Rohstoffen und Energieträgern. Ermittlung der Zielwerte aus Zielgrößen und Zuordnung in der Punkteskala.

Statische Reichweite	Überwiegende Art der Nutzung	Substituierbarkeit (Substitutability Index - SI)	Punkteskala
Nahezu erschöpft (<25 Jahre)	Destruktive Nutzung	Keine, mit gravierenden Folgen für Befriedigung der Grundbedürfnisse zukünftiger Generationen (SI=3)	10
Sehr gering (<50 Jahre)	Dissipative Nutzung / kaum Recycling	Keine, mit deutlichen Folgen für Befriedigung der Grundbedürfnisse zukünftiger Generationen (SI=2)	8
Gering (<75 Jahren)			6
Mittel (<100 Jahren)	Recycling etabliert (EU-Quote größer 20 %)	Keine, ohne gravierenden Folgen für Befriedigung der Grundbedürfnisse zukünftiger Generationen (SI=1)	4
hoch (< 125 Jahre)			2
Sehr hoch (>125 Jahre)			0
25 %	25 %	50 %	Gewichtung

Für jeden Rohstoff und Energieträger erfolgt anschließend eine gewichtete Summierung der Zielwerte zu einer dimensionslosen Kennzahl für die Bewertung der langfristigen Verfügbarkeit (vgl. Tabelle A-7). Je höher die gewichte Summe der drei Zielwerte ist, desto höher ist die resultierende Knappheit mit Blick auf die langfristige Verfügbarkeit dieses Rohstoffs beim Abbau einer Masseneinheit aus der Lagerstätte.

Tabelle A-7: Bewertung der langfristigen Verfügbarkeit von Rohstoffen und Energieträgern. Zielwerte

Ressource	Statische Reichweite	Überwiegende Art der Nutzung	Substitutability Index [EC 2010] und bifa Einschätzungen	Summe
Steinkohle	4	10	0	3,5
Braunkohle	0	10	0	2,5
Erdgas	6	10	0	4
Erdöl	8	10	0	4,5
Aluminium	0	2	0	0,5
Eisen	4	2	0	1,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	8	10	7,0
Gewichtung	0,25	0,25	0,5	

Die Summe aus den gewichteten Beiträgen der 3 Zielkriterien wird im Folgenden als Ressourcenverknappungspotenzial bezeichnet. Die dimensionslose Formulierung des Ressourcenverknappungspotenzials lässt die absolut verfügbare Menge einer Ressource außer Acht<sup>9</sup>. bifa berücksichtigt deshalb, in Analogie zum Vorgehen in [Guineé 1995, S.97], zusätzlich als reziproke Gewichtung den Vorrat eines Rohstoffs beziehungsweise Energieträgers quantifiziert als Tonnage der jeweiligen Reserve. Die Gewichtung des Ressourcenverknappungspotenzials mit der vorhandenen Reserve ist in Tabelle A-8 dargestellt. Durch die Normierung der gewichteten Ressourcenverknappungspotenziale am gewichteten Ressourcenverknappungspotenzial für Eisen erhält man als Einheit für das Ressourcenverknappungspotenzial Eisen-Äquivalente.

Tabelle A-8: Gewichtung des Ressourcenverknappungspotenzials mit der vorhandenen Reserve.

Ressource	Ressourcenverknappung	Reserve nach [DERA 2011, BGR 2007 USGS 2012] [Mio. t]	Gewichtetes Ressourcenverknappungspotenzial <u>normiert auf Eisen</u> [Fe-Äquivalente]
Steinkohle	3,5	605.000	0,30
Braunkohle	2,5	375.000	0,35
Erdgas	4,0	158.760	1,3
Erdöl	4,5	169.000	1,4
Aluminium	0,5	6.250	4,2
Eisen	1,5	79.000	1,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7,0	17.488	21,1

Der Verbrauch von Phosphat weist für die im Rahmen dieser Untersuchung weiteren relevanten Ressourcen das höchste Ressourcenverknappungspotenzial auf. Die Ursache, die trotz der hohen Reichweite zu einem hohen Ressourcenverknappungspotenzial führt, ist die fehlende Substituierbarkeit von Phosphat in der überwiegenden Anwendung (Düngemittel).

<sup>9</sup> Vergleiche [Guineé 1995, S.97]: „A more sophisticated problem is that the share in the reserve is not assessed. Suppose that for fulfilling a particular function there is a choice between applying 1 kg of resource A or 1 kg of resource B, both of which have an R/P of 20 years. So only on the basis of these data, resource A and B appear to be equally attractive in terms of depletion. However, closer inspection of the R/P data might show that for resource A R=10<sup>9</sup> kg (and P=5x10<sup>7</sup> kg/yr) and for resource B R=100 kg (and P=5 kg/yr). It is now readily seen that for fulfillment of the specified function resource A is to be preferred, as the reserve of A is affected far less by 1 kg of extraction.

## **Anhang C: Aggregation der Wirkungsindikator- bzw. Sachbilanzparameter zum Ökologie-Index**

### **Prinzipielles Vorgehen nach DIN EN ISO 14040/14044**

#### Allgemeines

Zum verbesserten Verständnis der Strategie zur Berechnung des Ökologie-Index wird zunächst das norm-konforme Auswerten von Ökobilanzen und die darauf aufbauende UBA-Methodik skizziert.

Am Ende der Ökobilanz steht der Schritt der Auswertung, der gemäß DIN EN ISO 14040/14044 [DIN 2006, DIN 2009] verbal-argumentativ durchzuführen ist. Ausgehend von den Ergebnissen der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung sowie in Übereinstimmung mit dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen sind die Ergebnisse der Ökobilanz nachvollziehbar, anschaulich und verständlich darzustellen. Über die graphische Aufbereitung der Ergebnisse und deren Beschreibung und Analyse werden die für die umweltbezogene Beurteilung der untersuchten Analysensysteme signifikanten Parameter identifiziert. Dazu werden die verschiedenen Szenarien anhand ihrer Ergebnisse verglichen, die Herkunft der Ergebnisse untersucht sowie Sektoral- und Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Zusätzlich wird bei der Auswertung die Vollständigkeit und Konsistenz der relevanten Informationen und der für die Auswertung zur Verfügung stehenden Daten geprüft. Auf dieser Basis werden die untersuchten Systeme hinsichtlich ihrer Umweltrelevanz bewertet und Schwachstellen sowie Optimierungspotentiale aufgezeigt.

Als optionale Bestandteile werden in der Norm weiter die Schritte der Normierung, der Ordnung und der Gewichtung beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass die Gewichtung, also „die Umwandlung der Indikatorergebnisse unter Verwendung numerischer Faktoren, die auf Werthaltungen beruhen“, nicht für vergleichende Ökobilanzen angewendet werden darf, die zur Veröffentlichung vorgesehen sind. Die Modifizierung, die bifa vorgenommen hat, besteht darin, dass der nicht norm-konforme, optionale Schritt der Gewichtung zur Aggregation der ökologischen Einzelergebnisse angewandt wird.

Für die norm-konforme Auswertung der Ökobilanz ist die Methodik des Umweltbundesamtes hilfreich. Nach dem Vorliegen belastbarer normierter Wirkungsindikatorergebnisse werden die Wirkungskategorien hinsichtlich ihrer Priorität für das konkrete Projekt eingestuft und in eine Rangfolge gebracht. Dabei werden die Wirkungskategorien - über eine projektunabhängige, in der Tabelle A-10 abgebildete, allgemeine Hierarchisierung (Ordnung) hinaus – im Schritt der Normierung auch in ihrer Relevanz bezüglich des konkreten Projektes gewürdigt.

Die Ordnung wird anhand der allgemeinen Kriterien Ökologische Gefährdung und distance-to-target durchgeführt. Zur Normierung wird jeweils das Verhältnis zwischen Wirkungsindikatorergebnis und einem Referenzwert für die Wirkungskategorien berechnet. Der Referenzwerte sind die mit Charakterisierungsfaktoren aggregierten Jahreswerte der entsprechenden Stoffe in Deutschland. Durch Verknüpfung der allgemeinen Kriterien Ökologische Gefährdung und distance-to-target sowie den projektspezifischen Einwohnerwerten ergibt sich die projektspezifische Ökologische Priorität der betrachteten Wirkungskategorien [vgl. KOLSHORN & FEHRENBACH 2000]. Sowohl die Normierung als auch die Ordnung stellen wichtige Vorbereitungsschritte für die abschließende Auswertung der Ökobilanzergebnisse dar. Unterstützt wird diese ferner durch systematische Analyse der Ergebnisse hinsichtlich der Signifikanz, Vollständigkeit und Sensitivität der Ergebnisse.

### Normierung: Spezifischer Beitrag der Wirkungskategorien

Die im Rahmen der Normierung für jede Wirkungskategorie berechneten so genannten Einwohnerwerte erlauben einen größenordnungsbezogenen Vergleich der verschiedenen Wirkungsindikatorergebnisse. Je größer die Anzahl der Einwohnerwerte ist, desto bedeutender ist diese Wirkungskategorie für die ökologieorientierte Beurteilung der betrachteten Systeme hinsichtlich ihres relativen Beitrages zur Umweltbelastung. Die für die Normierung der Ergebnisse dieses Vorhabens verwendeten Referenzwerte sind in Tabelle A-9 dargestellt.

Tabelle A-9: Grundlagen zur Ermittlung des spezifischen Beitrags – Gesamtemissionen und -verbräuche in Deutschland und mittlere Belastung durch einen Einwohner pro Jahr

Parameter	Deutschland	Quelle	Belastung je Einwohner <sup>1</sup>
Treibhauseffekt	930.287.431 t CO <sub>2</sub> -Äqu./a	KAUERTZ ET AL. 2010	11,3 t CO <sub>2</sub> -Äqu./a
Fotochemische Oxidantienbildung	1.291.900 t Ethen-Äqu./a	KAUERTZ ET AL. 2010	15,8 kg Ethen-Äqu./a
Versauerung	2.771.501 t SO <sub>2</sub> -Äqu./a	KAUERTZ ET AL. 2010	33,8 kg SO <sub>2</sub> -Äqu./a
Terrestrische Eutrophierung	435.403 t PO <sub>4</sub> -Äqu./a	KAUERTZ ET AL. 2010	5,3 kg PO <sub>4</sub> -Äqu./a
Ammoniakemissionen	624.230 t/a	KAUERTZ ET AL. 2010	7,6 kg/a
Arsenemissionen	5 t/a	KAUERTZ ET AL. 2010	0,061 g/a
Cadmiumemissionen	11 t/a	KLÖPFFER & GRAHL 2009	0,13 g/a
Flourwasserstoffemissionen	124.000 t/a	KLÖPFFER & GRAHL 2009	1,5 kg/a
Kohlenmonoxidemissionen	3.736.373 t/a	KAUERTZ ET AL. 2010	45,6 kg/a
PCDD/F-Emissionen	0,00125 t/a	KLÖPFFER & GRAHL 2009	0,015 ng/a
Quecksilberemissionen	31 t/a	VOGT ET AL. 2002	0,38 g/a
Schwefeldioxidemissionen	493.563 t/a	KAUERTZ ET AL. 2010	6,0 kg/a
Stickoxidemissionen	1.294.266 t/a	KAUERTZ ET AL. 2010	125,8 kg/a
Kumulierter Energieaufwand (KEA <sub>gesamt</sub> )	13.341.000 TJ/a	AGEB 2010	162,8 GJ/a

<sup>1</sup> Basis: 81.946.000 Einwohner (Stand 31.08.2012)

### Ordnung: Hierarchisierung von Wirkungskategorien

Tabelle A-10 zeigt die Beurteilung der einzelnen Kategorien nach den Kriterien „Ökologische Gefährdung“ und „distance-to-target“ durch das Umweltbundesamt.

- Ökologische Gefährdung: Welche Bedeutung ist den einzelnen Kriterien nach Stand der Wissenschaft wie auch der Sensibilität der Bevölkerung oder der Politik zuzumessen?

- Abstand zum Schutzziel („distance to target“): Wie weit entfernt ist die derzeitige Umweltsituation gegenüber den von umweltpolitischer Seite gesetzten Zielvorgaben (Umweltziele, Umweltqualitätsziele, Reduktionsziele u.ä.)?

Tabelle A-10: Hierarchisierung von Wirkungskategorien nach „Ökologischer Gefährdung“ und „distance-to-target“ durch das Umweltbundesamt [KOLSHORN & FEHRENBACH 2000].

Wirkungskategorie	Ökologische Gefährdung	distance-to-target
Treibhauseffekt	A	A
Fotochemische Oxidantienbildung	D	B
Versauerung	B	B
Terrestrische Eutrophierung	B	B
Kumulierter Energieaufwand (KEA)	C	B
Verbrauch fossiler Energieträger	C	B
Toxische Schädigung von Menschen und Organismen (Humantoxizität)	Auswertung anhand einzelner Sachbilanzparameter	
Toxische Schädigung von Organismen und Ökosystemen (Ökotoxizität)	Auswertung anhand einzelner Sachbilanzparameter	
A = höchste Priorität D = niedrigste Priorität		

## Berechnung des Ökologie-Index

### Schritt 1 - Normierung

Ausgangspunkt für die Aggregation der einzelnen Wirkungsindikator-/Sachbilanzergebnisse eines Szenarios sind die Einwohnerwerte (EW), die sich aus den jeweiligen Wirkungsindikator-/Sachbilanzergebnissen und den entsprechenden Gesamtemissionen in der Bundesrepublik errechnen (vgl. Tabelle A-9). Man erhält den spezifischen Beitrag der jeweiligen Wirkungskategorie. Positive Einwohnerwerte repräsentieren eine Umweltbelastung, während negative Einwohnerwerte Umweltentlastungen bedeuten.

### Schritt 2 - Ordnung

Durch erneute Normierung der erhaltenen Einwohnerwerte auf den maximalen Einwohnerwert ( $EW_{max}$ ) aller Szenarien werden die spezifischen Beiträge geordnet. Für die anschließende Rangbildung werden die am maximalen Einwohnerwert normierten spezifischen Beiträge entsprechend ihres prozentualen Anteils am  $EW_{max}$  Punktzahlen zugeordnet. Negative Punkte repräsentieren dabei Umweltentlastungen. Beispiele sind in Tabelle A-11 dargestellt.

Tabelle A-11: Beispiele für die Punktevergabe bei der Ordnung der Einwohnerwerte

Anteil $EW_{max}$	Punktzahl	Anteil $EW_{max}$	Punktzahl
100 %	10	-3,7 %	- 0,37
79,5 %	7,95	-39,1 %	- 3,91
15,7 %	1,57	-82,4 %	- 8,24

Anteil $EW_{max}$	Punktzahl	Anteil $EW_{max}$	Punktzahl
0,6 %	0,06	-100 %	-10

Über den spezifischen Beitrag hinaus gibt es nach der UBA-Methode zur Bewertung in Öko-bilanzen für jede Wirkungskategorie zwei weitere, projektunabhängige Kriterien, die für die Rangbildung herangezogen werden. Diese Kriterien sind „ökologische Gefährdung (ÖkG)“ und „distance-to-target (DtT)“. Die Ordnung anhand dieser projektunabhängigen Kriterien erfolgt in einer 5-stufigen Skala (vgl. Tabelle A-10). Im Rahmen dieses Vorhabens werden den Prioritäten der projektunabhängigen Kriterien ebenfalls feste Punktzahlen zugeordnet (siehe Tabelle A-12). Dies ermöglicht die anschließend durchzuführende Zusammenführung mit den normierten spezifischen Beiträgen.

Tabelle A-12: Punktevergabe bei den projektunabhängigen Kriterien ökologische Gefährdung (ÖkG)“ und „distance-to-target (DtT)“

Priorität ÖkG bzw. DtT	Punktzahl
A	10
B	8
C	6
D	4
E	2

### Schritt 3 - Zusammenführung

Die Zusammenführung des vom bilanzierten System abhängigen Kriteriums „normierter spezifischer Beitrag“ (NSB) mit den beiden systemunabhängigen Kriterien „ökologische Gefährdung“ (ÖkG) und „distance-to-target“ (DtT) für jede Wirkungskategorie erfolgt durch die Multiplikation der ermittelten Punktzahlen für den absoluten Betrag des NSB mit der Summe der festgelegten Punktzahlen von ÖkG und DtT.

### Schritt 4 - Summation

Durch Summation aller so erhaltenen Teilsummen für jede betrachtete Wirkungskategorie bzw. Sachbilanzparameter eines Szenarios erhält man den Ökologie-Index. Je höher der Ökologie-Index eines Szenarios, desto höher sind die mit diesem Szenario verbundenen Umweltwirkungen. Negative Ökologie-Indizes stehen für Umweltentlastungen.



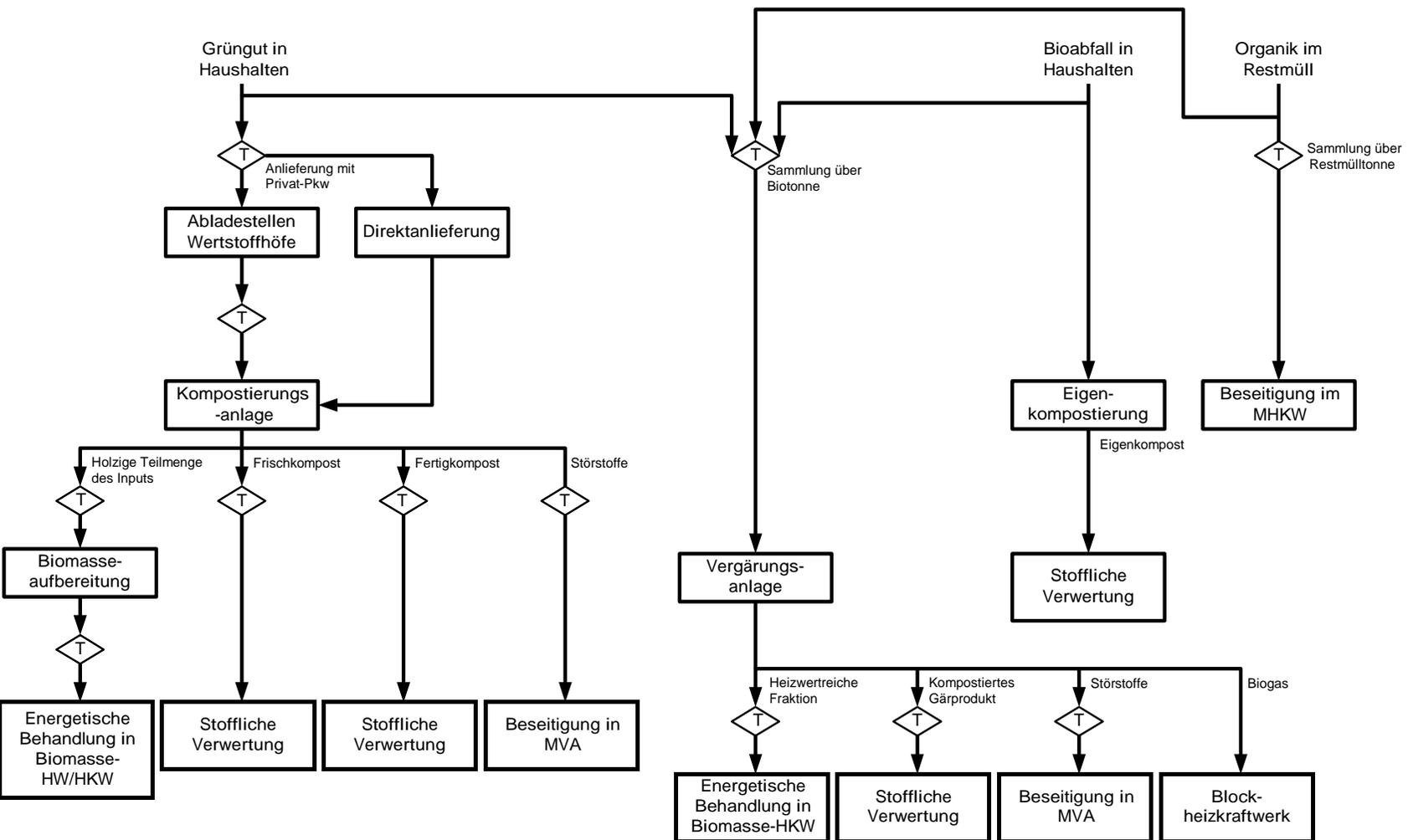


Abbildung A-4: Stoffstrommodell für die Behandlung von Bioabfällen in den Szenarien A, B und C

Abbildung A-3 und Abbildung A-4 stellen die Stoffstrommodelle für die Behandlung von Bioabfällen im IST-Zustand bzw. in den Szenarien A, B und C schematisch dar. In Tabelle A-13 bis Tabelle A-24 sind die wichtigsten zugehörigen Parameter und Annahmen zusammengefasst.

Tabelle A-13: Spezifikation des Moduls „Abladestellen/Wertstoffhöfe“ [BIFA 2013, BIFA 2014]

Parameter	Wert
Dieselbedarf	- Annahme: 1 l/t Grüngut
Angelieferte Grüngutmengen	- 1.171 t an 5 Wertstoffhöfen - 468 t an 2 Containerstellplätzen - 15.292 t an 8 Abladestellen

Tabelle A-14: Spezifikation des Moduls „Direktanlieferung“ [BIFA 2014]

Parameter	Wert
Angelieferte Grüngutmengen	- 2.185 t zur Kompostierungsanlage Fa. Panzer, Rödetal-Blumenrod

Tabelle A-15: Spezifikation des Moduls „Kompostierungsanlagen“ [BIFA 2013, BIFA 2014, CUHLS ET AL. 2012]

Parameter	Wert
Verwertungsanlage	- Kompostierungsanlage Fa. Panzer, Rödetal-Blumenrod
Verfahren	- Offene Miete, ohne Abluftreinigung
Behandlungswege einer t Grüngut	- 400 kg holzige Teilmenge des in die Kompostierungsanlage angelieferten Grünguts zur energetischen Behandlung im Biomasse-HKW - 120 kg Frischkompost zur stofflichen Verwertung - 246 kg Fertigkompost zur stofflichen Verwertung - 20 kg Störstoffe zur Beseitigung in einer MVA
C-/N -Emissionen bei der Kompostierung von Grünabfällen	- Methan: 850 g/t Grünabfall - Lachgas: 72 g/t Grünabfall - Ammoniak: 350 g/t Grünabfall - NMVOC: 490 g/t Grünabfall
Dieselbedarf	- 2,1 l/t Grünabfall
Strombedarf	- 0,08 kWh/t Grüngut

Tabelle A-16: Spezifikation des Moduls „Biomasseaufbereitung“ [BIFA 2013]

Parameter	Wert
Dieselbedarf	- 2,9 l/t Grüngut

Tabelle A-17: Spezifikation des Moduls „Energetische Behandlung in Biomasse-HW/HKW“ für die holzige Teilmenge des in die Kompostierungsanlagen angelieferten Grünguts [BIFA 2013]

Parameter	Wert
Aufteilung auf Verwertungsanlagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 59 % ZHT Friesau</li> <li>- 25 % Tea-Therm</li> <li>- 8 % BHKW Ilmenau</li> <li>- 8 % Binderholz</li> </ul>
Heizwert	- Holzige Teilmenge des an Bodensammelstellen angelieferten Grünguts: 11 MJ/kg
Nutzungsgrade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ZHT Friesau <ul style="list-style-type: none"> <li>• 85 % thermisch</li> </ul> </li> <li>- Tea-Therm (BHW) <ul style="list-style-type: none"> <li>• 85 % thermisch</li> </ul> </li> <li>- BHKW Ilmenau <ul style="list-style-type: none"> <li>• 17,16 % elektrisch</li> <li>• 28,08 % thermisch</li> </ul> </li> <li>- Binderholz (Annahme: BHW) <ul style="list-style-type: none"> <li>• 85 % thermisch</li> </ul> </li> </ul>
Zusatznutzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ZHT Friesau <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fernwärme (abgegebene Menge: 100 % der erzeugten thermischen Energie)</li> </ul> </li> <li>- Tea-Therm (BHW) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fernwärme (abgegebene Menge: 100 % der erzeugten thermischen Energie)</li> </ul> </li> <li>- BHKW Ilmenau <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strom</li> <li>• Fernwärme (abgegebene Menge: 100 % der erzeugten thermischen Energie)</li> </ul> </li> <li>- Binderholz (Annahme: BHW) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fernwärme (abgegebene Menge: 100 % der erzeugten thermischen Energie)</li> </ul> </li> </ul>

Tabelle A-18: Spezifikation des Moduls „Eigenkompostierung“ [BIFA 2013, BGK 2011, CUHLS ET AL. 2012, FBK 2011]

Parameter	Wert
Verfahren	- Offene Miete
Erzeugte Kompostmenge	- 430 kg Fertigkompost <sup>1</sup>
C-/N -Emissionen bei der Kompostierung von Bioabfällen <sup>1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Methan: 730 g/t Bioabfall</li> <li>- Lachgas: 2,1 g/t Bioabfall</li> <li>- Ammoniak: 12 g/t Bioabfall</li> <li>- NMVOC: 190 g/t Bioabfall</li> </ul>

<sup>1</sup> Da für Eigenkompostierung keine Literaturwerte recherchiert werden konnten, wurden die Kompostierungsprozess durch

Parameter	Wert
	eine gute offene Bioabfallkompostierung und der daraus resultierende Eigenkompost durch einen Fertigungskompost angenehmer.

Tabelle A-19: Spezifikation des Moduls „Beseitigung im MHKW“ [BIFA 2013, BIFA 2014]

Parameter	Wert
Anlage	- MHKW Coburg
Heizwert	- Bioabfall: 3,0 MJ/kg
Betriebsmittel pro 1 t Abfall	- Kalk: 12,3 kg - Ammoniakwasser: 3,1 kg - Aktivkohle: 0,4 kg - Natronlauge: 1 kg - Prozesswasser: 504 l - Heizöl, leicht: 2.54 kg
Wirkungsgrade	- Elektrisch: 10,87 % - Thermisch: 18,89 %
Zusatznutzen (Gutschriften)	- Strom - Fernwärme

Tabelle A-20: Spezifikation des Moduls „Vergärungsanlage“ [BIFA 2013, CUHLS ET AL. 2012]

Parameter	Wert
Verwertungsanlage	- Vergärungsanlage in Seßlach
Verfahren	- Batch-Verfahren: Geschlossene Ausführung der Fermenter; Nachbehandlung der festen Gärprodukte mit geschlossener Ausführung der emissionsrelevanten Bereiche; Abluftreinigung mit Biofilter
Gasertrag	- 80 m <sup>3</sup> /t Bioabfall (55 Vol.% CH <sub>4</sub> )
Menge zur energetischen Behandlung im Biomasse-HKW	- 5 % des Bioabfalls als heizwertreiche Fraktion (Siebüberläufe aus der Zerkleinerung und Klassierung bzw. Siebreste aus der Konfektionierung der Endprodukte)
Menge zur Beseitigung in MVA	- 2 % des Bioabfalls als Störstoffe
C-/N -Emissionen bei der Kompostierung von Grünabfällen	- Methan: 3.000 g/t Bioabfall - Lachgas: 72 g/t Bioabfall - Ammoniak: 130 g/t Bioabfall - NMVOC: 360 g/t Bioabfall
Dieselbedarf	- 1 l/t Bioabfall
Strombedarf	- 14 kWh/t Bioabfall
Wärmebedarf	- 30 kWh/t Bioabfall

Tabelle A-21: Spezifikation des Moduls „Stoffliche Verwertung“ [BIFA 2013, BIFA 2014, BGK 2011, CUHLS ET AL. 2012, FBK 2011]

Parameter	Wert
Vermarktungsweg Frischkompost	- 100 % Landwirtschaft
Vermarktungsweg Fertigungskompost	- 50% Erdenwerke - 50% Garten- und Landschaftsbau
Vermarktungsweg Eigenkompost	- 100 % Hobbygartenbau
Vermarktungsweg kompostiertes Gärprodukt	- 20,4 % Landwirtschaft - 48,8 % Erdenwerke - 15,7 % Hobbygartenbau - 9 % Garten- und Landschaftsbau - 6,1 % Erwerbsgartenbau
C-/N -Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung der stofflichen Produkte	- Frischkompost <ul style="list-style-type: none"> <li>• Methan: &lt; 1 g/ t Grüngut</li> <li>• Lachgas: 4 g/ t Grüngut</li> <li>• Ammoniak: 49 g/ t Grüngut</li> </ul> - Fertigungskompost <ul style="list-style-type: none"> <li>• Methan: &lt; 1 g/ t Grüngut</li> <li>• Lachgas: 8 g/ t Grüngut</li> <li>• Ammoniak: 8 g/ t Grüngut</li> </ul> - Eigenkompost <sup>1</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Methan: &lt; 1 g/ t Bioabfall</li> <li>• Lachgas: 15 g/ t Bioabfall</li> <li>• Ammoniak: 28 g/ t Bioabfall</li> </ul> - Kompostiertes Gärprodukt <ul style="list-style-type: none"> <li>• Methan: 3 g/ t Bioabfall</li> <li>• Lachgas: 43 g/ t Bioabfall</li> <li>• Ammoniak: 152 g/ t Bioabfall</li> </ul>
Gehalt an Nährstoffen	- Frisch- und Fertigungskompost (Summe) <ul style="list-style-type: none"> <li>• N: 2,41 kg/t Grüngut</li> <li>• K<sub>2</sub>O: 2,54 kg/t Grüngut</li> <li>• P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1,23 kg/t Grüngut</li> <li>• CaO: 10,89 kg/t Grüngut</li> <li>• MgO: 2,14 kg/t Grüngut</li> </ul> - Eigenkompost <sup>1</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>• N: 3,9 kg/t Bioabfall</li> <li>• K<sub>2</sub>O: 3,4 kg/t Bioabfall</li> <li>• P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1,9 kg/t Bioabfall</li> <li>• CaO: 20,3 kg/t Bioabfall</li> <li>• MgO: 3,1 kg/t Bioabfall</li> </ul> - Kompostiertes Gärprodukt <ul style="list-style-type: none"> <li>• N: 3,32 kg/t Bioabfall</li> </ul>

Parameter	Wert
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• K<sub>2</sub>O: 3,65 kg/t Bioabfall</li> <li>• P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 2,09 kg/t Bioabfall</li> <li>• CaO: 20,5 kg/t Bioabfall</li> <li>• MgO: 3,05 kg/t Bioabfall</li> </ul>
Gehalt an organischer Substanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frisch- und Fertigkompost (Summe) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Torf/Rindenumus: 33,1 kg/t Grüngut</li> <li>• Humus-C: 12,3 kg/t Grüngut</li> <li>• Sequestrierter Kohlenstoff: 2,17 kg/t Grüngut</li> </ul> </li> <li>- Eigenkompost<sup>1)</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Torf/Rindenumus: 39,5 kg/t Bioabfall</li> <li>• Humus-C: 68 kg/t Bioabfall</li> </ul> </li> <li>- Kompostiertes Gärprodukt <ul style="list-style-type: none"> <li>• Torf/Rindenumus: 38,4 kg/t Bioabfall</li> <li>• Humus-C: 5,75 kg/t Bioabfall</li> <li>• Sequestrierter Kohlenstoff: 2,64 kg/t Bioabfall</li> </ul> </li> </ul>
Zusatznutzen (Gutschriften)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nährstoffe</li> <li>- Organische Substanz</li> </ul>
<p><sup>1)</sup> Da für Eigenkompostierung keine Literaturwerte recherchiert werden konnten, wurden die Kompostierungsprozess durch eine gute offene Bioabfallkompostierung und der daraus resultierende Eigenkompost durch einen Fertigkompost angenähert.</p>	

Tabelle A-22: Spezifikation des Moduls „Energetische Behandlung in Biomasse-HKW“ für heizwertreiche Fraktion aus Vergärungsanlage [BIFA 2013, BIFA 2014]

Parameter	Wert
Heizwert	- Heizwertreiche Fraktion: 13 MJ/kg (Siebüberläufe aus der Zerkleinerung und Klassierung bzw. Siebreste aus der Konfektionierung der Endprodukte)
Wirkungsgrade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektrisch: 17,55 %<sup>1</sup></li> <li>- Thermisch: 51 %<sup>1</sup></li> </ul>
Wärmeabgabe an externe Abnehmer	- Annahme: 25 % der erzeugten thermischen Energie <sup>1</sup>
Zusatznutzen (Gutschriften)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Strom</li> <li>- Fernwärme</li> </ul>
<p><sup>1</sup> Da keine Prozessparameter zum Biomasseheizkraftwerk zur Verfügung standen, wurden - als konservative Näherung - die in BIFA 2013 ermittelten durchschnittlichen Wirkungsgrade sowie die tatsächlich abgegebene Fernwärmemenge entsprechender bayerischer Anlagen (Mittelwert) angenommen.</p>	

Tabelle A-23: Spezifikation des Moduls „Beseitigung in MVA“ [BIFA 2013]

Parameter	Wert
Heizwert	- Störstoffe: 8,5 MJ/kg
Nutzungsgrade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektrisch: 10 %</li> <li>- Thermisch: 30 %</li> </ul>

Parameter	Wert
Zusatznutzen (Gutschriften)	- Strom - Fernwärme und Prozessdampf (100 % der erzeugten thermischen Energie)

Tabelle A-24: Spezifikation des Moduls „Blockheizkraftwerk“ [BIFA 2013, BIFA 2014, KRONER & BAUER 2012]

Parameter	Wert
Wirkungsgrade	- Elektrisch: 38% <sup>1</sup> - Thermisch: 49% <sup>1</sup>
Wärmeabgabe an externe Abnehmer	- Annahme: 25% der erzeugten thermischen Energie <sup>1</sup>
Zusatznutzen (Gutschriften)	- Strom - Fernwärme

<sup>1</sup> Da keine Prozessparameter zum Blockheizkraftwerk zur Verfügung standen, wurden - als konservative Näherung - die in BIFA 2013 ermittelten durchschnittlichen Wirkungsgrade sowie die tatsächlich abgegebene Fernwärmemenge entsprechender bayerischer Anlagen (Mittelwert) angenommen.

In Tabelle A-25 sind alle berücksichtigten Transporte mit den wichtigsten Parametern spezifiziert.

Tabelle A-25: Charakteristische Parameter der berücksichtigten Transporte

Transport	Fahrzeugtyp	Transportmenge pro Fahrt	Entfernung	Anmerkungen
<b>Grüngut</b>				
Grüngut von Haushalten zu Wertstoffhöfen, Containerstellplätzen und Ablagestellen	Pkw	66 kg	4 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>Annahmen:               <ul style="list-style-type: none"> <li>4 Fahrten im Jahr</li> <li>28 % Dieselfahrzeuge</li> <li>Rückfahrt nicht angerechnet</li> </ul> </li> </ul>
Grüngut von Wertstoffhöfen, Containerstellplätzen und Ablagestellen zur Kompostierungsanlage	Lkw	11 t	5 km bis 29 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entfernungen ermittelt</li> <li>Transportmenge abgeschätzt</li> </ul>
Holzige Teilmenge des angelieferten Grünguts von Kompostierungsanlage zu Biomasse-HW/HKW	Lkw	13,8 t	64 km bis 213 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>Annahmen</li> </ul>
Frisch- und Fertigkompost von Kompostierungsanlagen zur landwirtschaftlichen Ausbringung	Lkw	17,5 t	6 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>BIFA 2013</li> </ul>
Fertigkompost von Kompostie-	Lkw	17,5 t	60 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>BIFA 2013</li> </ul>

Transport	Fahrzeug- typ	Transportmenge pro Fahrt	Entfernung	Anmerkungen
rungsanlagen zu Erdenwerken				
Fertigkompost von Kompostie- rungsanlagen zum Garten- und Landschaftsbau	Lkw	17,5 t	12 km	• BIFA 2013
Störstoffe von Kompostie- rungsanlagen zur MVA	Lkw	16,8 t	50 km	• BIFA 2013
Betriebsmittel vom Hersteller zur MVA	Lkw	17,5 t	100 km	• BIFA 2013
Aschen und Schlacken von Biomasse-HKW und MVA zur Inertstoffdeponie	Lkw	24 t	100 km	• BIFA 2013
<b>Organik im Restmüll</b>				
Sammlung von Organik über die Restmülltonne und Trans- port zum MHKW Coburg	Sammel- fahrzeug	11 t	Über Die- selbedarf spezifiziert	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dieselbedarf: 4,7 l/t Hausmüll [BIFA 2014]</li> <li>• Aufteilung der Tour (Annahme): <ul style="list-style-type: none"> <li>- 33,7 % Leerfahrt zum Tourbeginn</li> <li>- 50 % Stopp and Go</li> <li>- 16,3 % Vollfahrt zum MHKW</li> </ul> </li> </ul>
Betriebsmittel vom Hersteller zum MHKW Coburg	Lkw	17,5 t	100 km	• BIFA 2013
Aschen und Schlacken vom MHKW Coburg zur Inert- stoffdeponie	Lkw	24 t	100 km	• BIFA 2013
<b>Bioabfall (Biotonne)</b>				
Sammlung von Bioabfall über die neu eingeführte Biotonne	Sammel- fahrzeug	11 t	Über Die- selbedarf spezifiziert	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dieselbedarf pro t Bio- und Grünabfall [BIFA 2014]: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Szenario A: 6 l</li> <li>- Szenario B: 5,5 l</li> <li>- Szenario C: 5 l</li> </ul> </li> <li>• Aufteilung der Tour (Annahme): <ul style="list-style-type: none"> <li>- 33,7 % Leerfahrt zum Tourbeginn</li> <li>- 50 % Stopp and Go</li> <li>- 16,3 % Vollfahrt zum MHKW</li> </ul> </li> </ul>
Transport des Bioguts nach Sammlung zur Vergärungsan- lage in Seßlach	Lkw	13,45 t	20 km	• Entfernung und Transportmenge er- mittelt

Transport	Fahrzeug- typ	Transportmenge pro Fahrt	Entfernung	Anmerkungen
Heizwertreiche Fraktion von Vergärungsanlage zum Biomasse-HKW	Lkw	20 t	50 km	• Annahmen
Betriebsmittel vom Hersteller zur Vergärungsanlage	Lkw	17,5 t	100 km	• BIFA 2013
Kompostiertes Gärprodukt von Vergärungsanlage zur landwirtschaftlichen Ausbringung	Lkw	17,5 t	12,5 km	• BIFA 2013
Kompostiertes Gärprodukt von Vergärungsanlage zu Erdenwerken	Lkw	17,5 t	60 km	• BIFA 2013
Kompostiertes Gärprodukt von Vergärungsanlage zum Erwerbsgartenbau	Lkw	17,5 t	10 km	• BIFA 2013
Kompostiertes Gärprodukt von Vergärungsanlage zum Garten- und Landschaftsbau	Lkw	17,5 t	12 km	• BIFA 2013
Kompostiertes Gärprodukt von Vergärungsanlage zum Hobbygartenbau	Pkw	0,4 t	15 km	• BIFA 2013
Störstoffe von Vergärungsanlage zur MVA	Lkw	16,8 t	50 km	• BIFA 2013
Betriebsmittel vom Hersteller zur MVA	Lkw	17,5 t	100 km	• BIFA 2013
Aschen und Schlacken von Biomasse-HKW und MVA zur Inertstoffdeponie	Lkw	24 t	100 km	• BIFA 2013

## Anhang E: Zusatznutzen aus der Behandlung von Bioabfällen

Neben der Behandlung von Bioabfällen resultieren aus den Behandlungsverfahren zusätzliche Nutzen, wie Mineral- und Wirtschaftsdünger, organische Substanz sowie Energie. Tabelle 8–1 benennt die resultierenden energetischen und stofflichen Zusatznutzen und die dadurch substituierten Materialien und Energien aus Primärrohstoffen. Dabei wird angenommen, dass zwischen Sekundär- und Primärrohstoffen eine funktionelle Gleichwertigkeit gegeben ist.

Tabelle 8–1: Zusatznutzen, die mit den Behandlungsverfahren verbunden sind und zugehörige Äquivalenzsysteme

Zusatznutzen (Gutschrift)	Äquivalenzsystem (Systemnutzen)
Elektrische Energie aus der energetischen Verwertung von Biogas	Elektrische Energie aus einem fossilen Energieträgermix mit Braunkohle, Steinkohle, Erdgas und Mineralöl entsprechend dem Marginalansatz aus [UBA 2009]
Elektrische Energie aus der energetischen Behandlung von heizwertreichem Material sowie der energetischen Behandlung von Bioabfall in MVA	Elektrische Energie aus einem fossilen Energieträgermix mit Braunkohle, Steinkohle und Erdgas entsprechend dem Marginalansatz aus [UBA 2009]
Elektrische Energie aus der energetischen Behandlung von Störstoffen	Elektrische Energie aus dem Strommix Deutschland entsprechend der Durchschnittsbewertung (fossile und erneuerbare Energieträger)
Fernwärme aus der energetischen Verwertung von Biogas	Wärme aus Steinkohle, Erdgas und Erdöl entsprechend dem Marginalansatz aus [UBA 2009]
Fernwärme und Prozessdampf aus der energetischen Behandlung von Bioabfall in MVA	Fernwärme und Prozessdampf aus einem repräsentativen deutschen Erzeugungsmix entsprechend dem Marginalansatz aus [UBA 2009]
Fernwärme und Prozessdampf aus der energetischen Behandlung von Störstoffen	Fernwärme und Prozessdampf aus einem repräsentativen deutschen Erzeugungsmix entsprechend der Durchschnittsbewertung
Nährstoffgehalt der Komposte bzw. Gärprodukte (N, P, K, Ca, Mg)	Herstellung von Stickstoffdünger, Phosphordünger, Düngekalk, Kaliumdünger und Magnesiumdünger
Organische Substanz zur Substitution von Torf und/oder Rindenumus	Substrat aus der organischen Masse von Torf und/oder Rindenumus
Organische Substanz zur Reproduktion von Humus	Humus-C aus der organischen Substanz von Ackergras, bereitgestellt durch landwirtschaftliche Produktion

Dem Zusatznutzen kommt im Rahmen der Bilanzierung der Umweltwirkungen eine besondere Bedeutung zu. Durch die Vermeidung der Belastungen aus den konventionellen Herstellungsprozessen reduzieren die Zusatznutzen die Umweltbelastungen bei der Behandlung von Bioabfall. Der Quantifizierung liegen für alle Vergleichsverfahren dieselben konventionellen Herstellungsprozesse zugrunde.

## Anhang F: Beschreibung der Äquivalenzsysteme

### Erzeugung elektrischer und thermischer Energie

Für die konventionelle Erzeugung von Strom, Fern- und Prozesswärme wird ein Äquivalenzsystem betrachtet, in dem der Zusatznutzen aus

- der energetischen Verwertung von Biogas in Blockheizkraftwerken,
- der energetischen Behandlung von heizwertreichem Material in Biomasseheizkraftwerken sowie
- der thermischen Behandlung von Bioabfall aus der Biotonne als Teil des Restabfalls in Müllverbrennungsanlagen

nach dem Marginalansatz verrechnet wird [UBA 2009]. Diese methodische Neuentwicklung entspricht dem grundlegenden Vorgehen in der Gutschriftenverrechnung, detaillierte Information so weit vorliegend zu verwenden anstatt auf durchschnittliche Ansätze zurückzugreifen.

In Tabelle A-26 und Tabelle A-27 sind die berücksichtigten Energieträger zusammengefasst.

Tabelle A-26: Äquivalenzsysteme für die Verrechnung des Zusatznutzens elektrische Energie aus der energetischen Verwertung biogener Energieträger

Energieträger	Elektrische Energie aus der energetischen Verwertung von		
	Biogas in Blockheizkraftwerken	heizwertreichem Material im Biomasseheizkraftwerken	von Biogut in Müllverbrennungsanlagen
Steinkohle	66 %	73 %	73 %
Braunkohle	1 %	2 %	2 %
Erdgas	32 %	25 %	25 %
Mineralöl	1 %	-	-

Tabelle A-27: Äquivalenzsysteme für die Verrechnung der Zusatznutzen Fernwärme und Prozessdampf aus der energetischen Verwertung biogener Energieträger

Energieträger	Fernwärme aus der energetischen Verwertung von Biogas in Blockheizkraftwerken	Fernwärme und Prozessdampf aus der energetischen Behandlung von	
		Heizwertreichem Material im Biomasseheizkraftwerken	von Biogut in Müllverbrennungsanlagen
Steinkohle	6 %	-	-
Erdgas	46 %	-	-
Mineralöl	48 %	-	-
Fernwärme	-	100 %	100 %

Für die Verrechnung der Zusatznutzen aus der thermischen Behandlung von Störstoffen in Müllverbrennungsanlagen liegen keine Informationen über Marginalansätze vor. Als Äquiva-

lenzprozess für die bereitgestellte Energie wird weiterhin die durchschnittliche Strom-, Fernwärme und Prozesswärmeerzeugung in der Bundesrepublik entsprechend den in Tabelle A-28 genannten Energieträgern betrachtet.

Tabelle A-28: Durchschnittliche Strom-, Fernwärme- und Prozessdampferzeugung in der Bundesrepublik [BMWl 2011,FRITSCH 2011]

Energieträger	Durchschnittliche Stromerzeugung	Durchschnittliche Fernwärmeerzeugung		Durchschnittliche Prozessdampferzeugung
		Heizkraftwerke	Heizwerke	
Steinkohle	18,7 %	34,4 %	1 %	22 %
Braunkohle	23,7 %	10,9 %	0,1 %	4 %
Erdgas	13,6 %	36,6 %	9,1 %	61,5 %
Heizöl, schwer	1,2 %	-	-	6,5 %
Heizöl L	-	-	1,1 %	6 %
Kernkraft	22,6 %	-	-	-
Wasser	4,2 %	-	-	-
Wind	5,9 %	-	-	-
Holz	2,4 %	-	-	-
Solar	1,9 %	-	-	-
Abfall	0,8 %	5,4 %	-	-
Gichtgas	2,4 %	-	-	-
Biogas	2,1 %	-	-	-
Sonstiges	0,5 %	-	1,3 %	-

## Torfgewinnung

Wertgebende Eigenschaft des Torfs ist ausschließlich der hohe Anteil an organischer Substanz (100 % der Trockenmasse). Nährstoffzusammensetzungen werden nicht berücksichtigt. Die Bereitstellung von Torf gliedert sich in die in folgender Tabelle dargestellten Schritte. Dabei wird angenommen, dass 50-75 % (modelliert 62,5 %) des in Deutschland genutzten Torfs aus inländischer Produktion stammen [EDDE 2007]. Für die verbleibenden Mengen wird ein Import von Weißtorf aus dem Baltikum angenommen. Alle relevanten Annahmen und Parameter sind in Tabelle A-29 zusammengefasst.

Tabelle A-29: Bereitstellung von Torf

	Annahmen	Parameter [EdDE 2007]
Torfgewinnung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Berücksichtigt sind die Energieaufwendungen für:</li> <li>Erschließung, Drainage, Abbagern der Deckschicht (1/2 Vorbe-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trockenmasse: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 31 % Mischtorf</li> <li>- 58 % Weißtorf</li> </ul> </li> <li>Organische Substanz:</li> </ul>

	Annahmen	Parameter [EdDE 2007]
	<ul style="list-style-type: none"> <li>reitung)</li> <li>- Fräsen, Stechen, Trocknen (♣♣Torfgewinnung)</li> <li>• Mischtorf Inland:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1,14 l Diesel/m<sup>3</sup> Torf</li> <li>- Weißtorf Baltikum: 3,1 l Diesel/m<sup>3</sup> Torf</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 95-99 % der Trockenmasse (modelliert 100 %)</li> <li>• Rohdichten:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mischtorf: 543 kg/m<sup>3</sup> (trocken: 168 kg/m<sup>3</sup>)</li> <li>- Weißtorf: 172 kg/m<sup>3</sup> (trocken: 100 kg/m<sup>3</sup>)</li> <li>- Mittlere, gewichtete Dichten: 406 kg/m<sup>3</sup> (trocken: 144 kg/m<sup>3</sup>)</li> </ul> </li> </ul>
Transport des abgebauten Torfs zur Substratherstellung (Erdenwerk)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importmenge: 37,5 % (Transportdistanz 2.000 km)</li> <li>• Inlandsmenge: 62,5 % (Transportdistanz 100 km)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittlere, gewichtete Transportentfernung: 813 km</li> </ul>
Substratherstellung (Erdenwerk)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigt sind die Energieaufwendungen für:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Weiterverarbeitung Torf,</li> <li>- Mischen und Düngung,</li> <li>- Transport lose Ware,</li> <li>- Absacken,</li> <li>- Transport in Zwischenlager und</li> <li>- Verladen</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,96 l Diesel/m<sup>3</sup>Torf</li> <li>• 1,72 kWh/m<sup>3</sup> Torf</li> </ul>
Distribution		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transportentfernung 200 km</li> </ul>
Einsatz / Verwendung des Komposts	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollständiger Abbau der organischen Substanz zu fossilem Kohlendioxid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mischtorf Inland:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 330 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> Torf</li> </ul> </li> <li>• Weißtorf Baltikum:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 187 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> Torf</li> </ul> </li> <li>• Mittlere, gewichtete CO<sub>2</sub>-Emissionen:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1,95 kg CO<sub>2</sub>/kg Torf</li> </ul> </li> </ul>

Bei Komposten, die in Erdenwerken weiter verarbeitet werden, sind die Aufwendungen zur Veredelung zu berücksichtigen. Es wird angenommen, dass der Aufwand für die Veredelung nur aus Energieaufwendungen besteht. Diese betragen 0,86 kg Diesel und 0,53 kWh elektrische Energie pro Tonne Trockenmasse [VOGT ET AL. 2002].

## Erzeugung von Rindenhumus

Zur Bilanzierung der Bereitstellung von Rindenhumus werden die Aufwendungen und Umweltauswirkungen aus der Kompostierung der Rinden und dem Ausbringen berücksichtigt. Rinden sind Neben- und Abfallprodukte der Forstwirtschaft. Ein Kilo Trockenmasse Rindenhumus substituiert ein Kilo organische Masse.

Rindenhumus wird durch Rotte auf Freilandmieten hergestellt. Die Rottedauer für Rindenhumus liegt bei 6 Monaten Die Aufwendungen zum Zerkleinern und Umsetzen liegen bei 5 l Diesel / t Rinden. Der Stickstoffgehalt beträgt 4,36 kg/t Trockenrinden [VOGT ET AL. 2002].

Für Emissionen C-/N-haltiger Verbindungen werden näherungsweise die Emissionen aus der offenen Kompostierung von Grüngut übernommen. Die N-haltigen Emissionen beim Ausbringen von Rindenhumus betragen als Anteil von N-Gesamt 4,9 % als  $\text{NH}_3$  und 1,5 % als  $\text{N}_2\text{O}$ .

Der Abbau der organischen Substanz erfolgt analog zur Ausbringung von Komposten vollständig zu  $\text{CO}_2$ .

## Herstellung von Mineraldüngern

Der Äquivalenzprozess zur Herstellung der betrachteten Düngemittel berücksichtigt den Rohstoffabbau, die Energiebereitstellung, die Herstellung der Düngemittel und den Transport zum Ackerrand. Die Aufwendungen zur Aufbringung der Düngemittel können nicht belastbar berücksichtigt werden.

Die Energie- und Stoffstrombilanzen für die Bereitstellung der durchschnittlich in der Bundesrepublik eingesetzten N-, P-, K-Dünger beziehungsweise von Düngerkalk (Ca-Dünger) wurden [PATYK 1997] entnommen.

Die Zufuhr an Calcium und je nach Düngerkalksorte Magnesium ist unter dem Aspekt der Pflanzenernährung meist nicht erforderlich, da diese Hauptnährelemente im Boden ausreichend verfügbar sind. Kalk beziehungsweise Magnesiumverbindungen sind keine Düngemittel im eigentlichen Sinne, sondern Bodenverbesserer [PATYK 1997]. Magnesium-Dünger werden meist mit Calciumdüngern gemeinsam betrachtet, da die beiden Elemente in den dolomitischen Kalken vergesellschaftet vorkommen [WINNACKER 1982]. Da außerdem keine spezifischen Informationen vorliegen, wird deshalb stellvertretend für die Herstellung von Mg-Dünger die Herstellung von Düngerkalk betrachtet.

## Humus-C Reproduktion durch den Anbau von Ackergras

Die Humus-C Menge, die aus der Verwertung einer Tonne Bioabfall (Bioabfall aus der Bio-tonne oder Grüngut) bereitgestellt wird, vermeidet die landwirtschaftlichen Aufwendungen zur Erzeugung einer Ackergrasmenge, die eine äquivalente Humus-C Menge bereitstellt.

Die Einfügung von Ackergras in Ackerbaufruchtfolgen als Beitrag zur Humusreproduktion erfolgt als Sommerblanksaat. Die Humusreproduktionsleistung für Ackergras ergibt sich nach dessen Umbruch aus den im Boden verbleibenden Wurzelmassen und den Resten der oberirdischen Stoppelrückstände. Für eine Sommerblanksaat wird nach Abschluss des zweiten Anbaujahres mit einer Humusreproduktionsleistung von 600 kg Humus-C/ha gerechnet. Der humusreproduktionswirksame Anteil der Wurzel- und Stoppelrückstände von Ackergras kann zu 25 % des organischen Kohlenstoffgehaltes angenommen werden. Dies entspricht einer Menge von 2.400 kg organischem Kohlenstoff beziehungsweise 4.800 kg organischer Substanz oder 6.000 kg Ackergras-Trockenmasse bzw. 40.000 kg Frischmasse je ha [REINHOLD 2009]. Der Ackergrasanbau ist mit den Aufwendungen für die landwirtschaftliche Produktion verbunden, die im Folgenden beschrieben werden.

Die landwirtschaftliche Produktion von Ackergras wird näherungsweise durch die Angaben in [JUNGBLUTH 2007] und zusätzlichen, eigenen Abschätzungen quantifiziert. [JUNGBLUTH 2007] beschreibt die Aufwendungen zum Anbau von Dauergrünland durch Eggen, Grubbern, Säen und Wälzen. Dabei wird eine Stickstoffdüngung nur mit Jauche und Stallmist angenommen. Für den Ackergrasanbau sind im Vergleich zum Anbau von Dauergrünland höhere Aufwen-

dungen zur Bodenbearbeitung (Saatbettbereitstellung und Umbruch) erforderlich. Deshalb wurden die Aufwendungen für das Eggen (Faktor 3) und Grubbern (Faktor 2) erhöht und das Pflügen des Ackerbodens zum Umbruch zusätzlich berücksichtigt.

Für die Düngung wird eine Menge von 30 kg N/ha ausgebracht. Die NH<sub>3</sub>-Emissionen werden zu 5,5 % und die N<sub>2</sub>O Emissionen zu 1,25 % des ausgebrachten Stickstoffs (vergleiche [LFU 2004] und [VOGT ET AL. 2002]) angenommen.

## Anhang G: Sensitivitätsbetrachtung

### Sensitivitätsbetrachtung „Blockheizkraftwerk mit vollständiger Wärmeabnahme“

Aufgrund fehlender realer Prozessdaten zur Vergärungsanlage in Seßlach wurde für alle Basis-Szenarien von der in bifa 2013 erarbeiteten konservativer Näherung, dass im bayerischen Anlagendurchschnitt lediglich 25 % der erzeugten Abwärme als Fernwärme an Dritte abgegeben werden, ausgegangen. Quantitative Aussagen zu den tatsächlich in Blockheizkraftwerken ausgekoppelten Wärmemengen sind mit großen Unsicherheiten verbunden, da durchaus die Möglichkeit besteht, dass nicht ausreichend Wärmeabnehmer im Nahbereich von Vergärungsanlagen angesiedelt sind bzw. der Bedarf nicht gegeben ist.

Um den Einfluss einer besseren externen Wärmenutzung auf die ökobilanzielle Betrachtung für den Landkreis Coburg zu bewerten, wurde eine Sensitivitätsbetrachtung durchgeführt:

- vollständige Abnahme der im Blockheizkraftwerk der Vergärungsanlage für eine externe Nutzung zur Verfügung stehenden Wärme.

In Tabelle A-30 sind die Modellparameter zusammengefasst, die sich in der Sensitivitätsbetrachtung vom Basis-Szenario Vergärung unterscheiden.

Tabelle A-30: Fernwärmenutzung

Parameter	Basis-Szenario Vergärung	Sensitivitätsbetrachtung „Vergärung mit vollständiger Wärmeabnahme“
Externer, thermischer Nutzungsgrad BHKW	12,2% (25% der erzeugten thermischen Energie)	49% (100% der erzeugten thermischen Energie)

In Abbildung A-5 sind für die Basis-Szenarien als auch für die Sensitivitätsbetrachtung die Differenz in den Einwohnerwerten sowie dem Ökologie-Index von IST-Zustand und Szenario C gegenübergestellt.

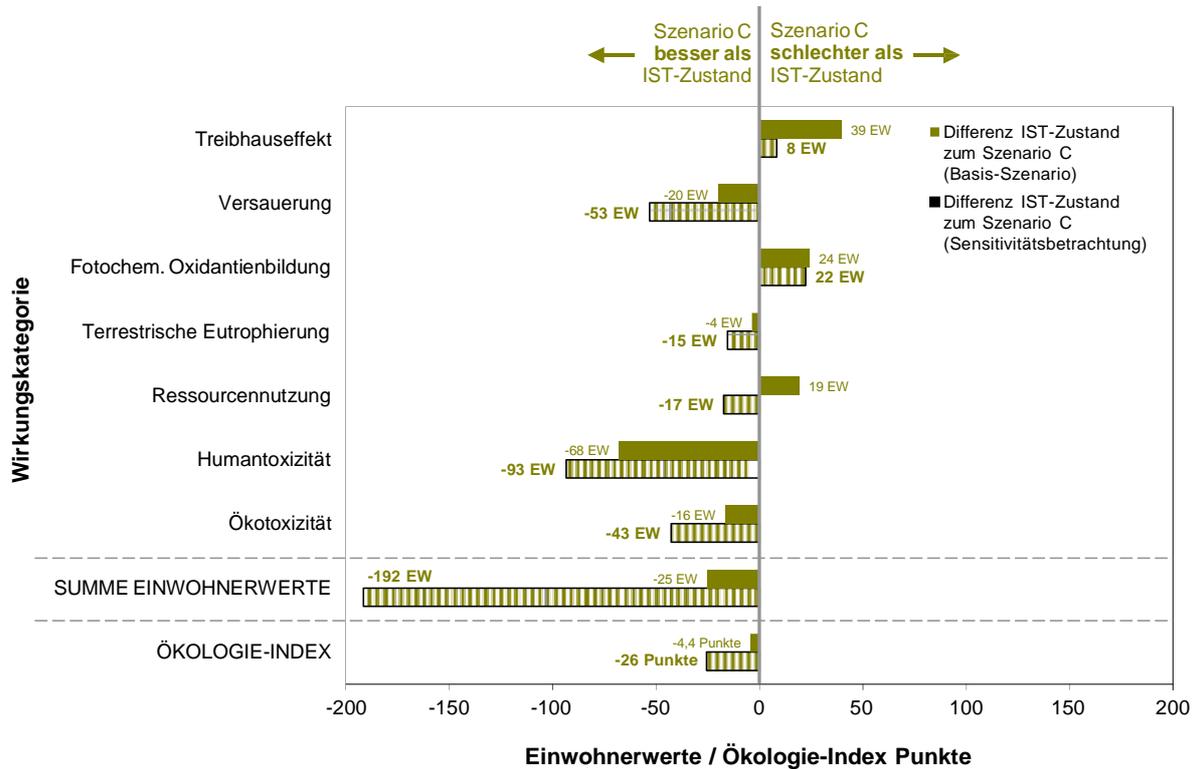


Abbildung A-5: Differenz in den Einwohnerwerten sowie dem Ökologie-Index von IST-Zustand und Szenario C der Basis-Szenarien und der Sensitivitätsbetrachtung „Blockheizkraftwerk mit vollständiger Wärmeabnahme“

Abbildung A-5 zeigt, dass alle Umweltwirkungen des Szenario C gegenüber dem IST-Zustand in der Sensitivitätsbetrachtung besser abschneiden, als die Umweltwirkungen des Szenario C gegenüber dem IST-Zustand im Basis-Modell.

Insgesamt führt das in der Sensitivitätsbetrachtung zu einer deutlich höheren Entlastung der Umwelt als durch das Szenario C im Basis-Modell. Diese Entlastung liegt bei - 26 Ökologie-Index-Punkten (gegenüber - 4,4 Ökologie-Index-Punkten im Basis-Modell), was ungefähr dem jährlichen ökologischen Rucksack von 109 Einwohnern entspricht. Damit wäre der Ökologie-Index der Sensitivitätsbetrachtung „Vergärung mit vollständiger Wärmeabnahme“ ca. 21 % niedriger als der des derzeit bestehenden Abfallwirtschaftssystems für biologische Abfälle im Landkreis Coburg.

## Sensitivitätsbetrachtung „wöchentliche Leerung der Biotonne in den Sommermonaten“

### Gebührensteigerung bei ganzjähriger 14-tägiger Leerung der Biotonne

Tabelle A-31: Szenario C mit Vergärung und 26 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 26 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bio-abfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	85,30 €/a	80-I-MGB	26,92 €/a	<b>31,6%</b>	131.986 €/a
120-I-MGB	42,1%	121,70 €/a	120-I-MGB	40,38 €/a	<b>33,2%</b>	266.742 €/a
240-I-MGB	25,6%	206,60 €/a	240-I-MGB	80,75 €/a	<b>39,1%</b>	324.850 €/a
1100-I-MGB	1,1%	818,40 €/a	3x240-I-MGB	242,25 €/a	<b>29,6%</b>	42.055 €/a
	100,0%					765.632 €/a

Tabelle A-32: Szenario C mit Vergärung und 22 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 22 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bio-abfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	77,90 €/a	80-I-MGB	26,92 €/a	<b>34,6%</b>	131.986 €/a
120-I-MGB	42,1%	111,10 €/a	120-I-MGB	40,38 €/a	<b>36,3%</b>	266.742 €/a
240-I-MGB	25,6%	189,40 €/a	240-I-MGB	80,75 €/a	<b>42,6%</b>	324.850 €/a
1100-I-MGB	1,1%	748,80 €/a	3x240-I-MGB	242,25 €/a	<b>32,4%</b>	42.055 €/a
	100,0%					765.632 €/a

Tabelle A-33: Szenario A mit Vergärung und 18 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 18 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bio-abfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	70,50 €/a	80-I-MGB	30,90 €/a	<b>43,8%</b>	86.590 €/a
120-I-MGB	42,1%	100,50 €/a	120-I-MGB	46,35 €/a	<b>46,1%</b>	174.997 €/a
240-I-MGB	25,6%	172,20 €/a	240-I-MGB	92,71 €/a	<b>53,8%</b>	213.119 €/a
1100-I-MGB	1,1%	679,20 €/a	3x240-I-MGB	278,13 €/a	<b>40,9%</b>	27.590 €/a
	100,0%					502.295 €/a

Tabelle A-34: Szenario C mit Kompostierung und 26 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 26 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bio-abfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	85,30 €/a	80-I-MGB	23,01 €/a	<b>27,0%</b>	112.831 €/a
120-I-MGB	42,1%	121,70 €/a	120-I-MGB	34,52 €/a	<b>28,4%</b>	228.030 €/a
240-I-MGB	25,6%	206,60 €/a	240-I-MGB	69,03 €/a	<b>33,4%</b>	277.705 €/a
1100-I-MGB	1,1%	818,40 €/a	3x240-I-MGB	207,09 €/a	<b>25,3%</b>	35.951 €/a
	100,0%					654.517 €/a

Tabelle A-35: Szenario A mit Kompostierung und 22 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 22 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bio-abfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	77,90 €/a	80-I-MGB	27,00 €/a	<b>34,7%</b>	75.644 €/a
120-I-MGB	42,1%	111,10 €/a	120-I-MGB	40,49 €/a	<b>36,4%</b>	152.876 €/a
240-I-MGB	25,6%	189,40 €/a	240-I-MGB	80,99 €/a	<b>42,8%</b>	186.179 €/a
1100-I-MGB	1,1%	748,80 €/a	3x240-I-MGB	242,97 €/a	<b>32,4%</b>	24.102 €/a
	100,0%					438.801 €/a

Tabelle A-36: Szenario A mit Kompostierung und 18 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 18 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bio-abfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	70,50 €/a	80-I-MGB	27,00 €/a	<b>38,3%</b>	75.644 €/a
120-I-MGB	42,1%	100,50 €/a	120-I-MGB	40,49 €/a	<b>40,3%</b>	152.876 €/a
240-I-MGB	25,6%	172,20 €/a	240-I-MGB	80,99 €/a	<b>47,0%</b>	186.179 €/a
1100-I-MGB	1,1%	679,20 €/a	3x240-I-MGB	242,97 €/a	<b>35,8%</b>	24.102 €/a
	100,0%					438.801 €/a

## Landkreis Coburg

### Kostenberechnung zur Einführung einer Biotonne bei 7-täglicher Leerung über 6 Monate

#### aktuelle Daten

Einwohner 30.06.2013 (Zensus 2011 berücksichtigt)	86.809 Einwohner	
Restabfallmenge 2013 (ohne Sperrmüll und Direktanlieferungen)	15.117 t	174,14 kg/EW
Organikpotential im Hausmüll (aus vergleichbaren Analysen)	32,15 %	55,99 kg/EW
Grüngutmenge 2013	19.116 t	220,21 kg/EW
Veranlagte Hausmüllbehälter (2013)	22.438 Stk. [80-l bis 1.100-l Behälter mit Identsystem]	

#### Ansätze / Prognosen

Miete pro Ø-liche Biotonne (60- bis 240-l-Behälter)	0,65 €/Behälter monatlich (brutto)
Bioabfallsammlung (6/6 Monate 7/14-tägig = 39 Leerungen pro Jahr)	3,90 - 3,30 €/Behälter monatlich (brutto) - Anschlussquote 40-70%
Bioabfallvergärung (Ausschreibung Übernahme u. Vergärung)	72,00 €/t (brutto)
Bioabfallkompostierung (Ausschreibung Übernahme u. Kompostierung)	56,00 €/t (brutto)
Einsparung Grüngutverwertung	-24,33 €/t (brutto)
Einsparung Restmüllbeseitigung MHKW Coburg	-133,00 €/t
Jahreskosten Verwaltungspersonal - Sachbearbeiter (Gr. 9)	55.000 €/a

Vergärung des Bioabfalls	Szenario A	Szenario B	Szenario C
spezifische Bioabfallmenge aus der Biotonne	<b>45,7 kg/EW</b>	<b>62,9 kg/EW</b>	<b>80,0 kg/EW</b>
Bioabfallmenge aus der Biotonne Anschlussgrad	3.968 t	5.457 t	6.945 t
(Restabfalltonnen zu Biotonnen) Anzahl der Bioabfalltonnen	<b>40%</b> 8.975 Stk.	<b>55%</b> 12.341 Stk.	<b>70%</b> 15.707 Stk.
Kosten für Gestellung pro Bioabfalltonne (brutto) monatlich	0,65 €/Stk.	0,65 €/Stk.	0,65 €/Stk.
<b>Jahreskosten für Behältergestellung</b>	<b>70.007 €</b>	<b>96.259 €</b>	<b>122.511 €</b>
Sammlung pro Bioabfallbehälter (brutto) monatlich	3,90 €/Stk.	3,60 €/Stk.	3,30 €/Stk.
<b>Jahreskosten für Bioabfallsammlung</b>	<b>420.039 €</b>	<b>533.127 €</b>	<b>621.981 €</b>
Kosten für Bioabfallvergärung (brutto)	72,00 €/t	72,00 €/t	72,00 €/t
<b>Jahreskosten für Bioabfallvergärung</b>	<b>285.726 €</b>	<b>392.873 €</b>	<b>500.020 €</b>
Reduktion Grüngut aus Erfassung	26,4 kg/EW	36,3 kg/EW	46,2 kg/EW
spez. Kosteneinsparung der Grüngutverwertung (brutto)	-24,33 €/t	-24,33 €/t	-24,33 €/t
<b>Jahreseinsparung durch Grüngutreduktion</b>	<b>-55.790 €</b>	<b>-76.716 €</b>	<b>-97.642 €</b>
Reduktion Hausmüll	16,0 kg/EW	22,0 kg/EW	28,0 kg/EW
Reduktion Hausmüll - Menge pro Jahr	1.389 t	1.910 t	2.430 t
Spez. Einsparung Restmüllentsorgungskosten	-133,00 €/t	-133,00 €/t	-133,00 €/t
<b>Jahreseinsparung durch Hausmüllreduktion</b>	<b>-184.730 €</b>	<b>-254.003 €</b>	<b>-323.161 €</b>
Verwaltungsaufwand Bioabfallerrfassung - Sachbearbeiter inkl. Reserve:	1,00	1,20	1,40
Anteilige sonstige Verwaltungskosten (1 € pro Behälter im Jahr)	8.975 €	12.341 €	15.707 €
<b>Jahreskosten der Verwaltung Bioabfallerrfassung und -verwertung</b>	<b>63.975 €</b>	<b>78.341 €</b>	<b>92.707 €</b>
<b>Jährl. Gesamtkosten - Einführung einer Biotonne (Vergärung)</b>	<b>599.228 €</b>	<b>769.880 €</b>	<b>916.416 €</b>
<b>Kostendeckende Gebühreneinnahmen pro Bioabfallbehälter jährlich</b>	<b>66,76 €/Stk./a</b>	<b>62,38 €/Stk./a</b>	<b>58,35 €/Stk./a</b>
<b>Kostendeckende Gebühreneinnahmen pro Einwohner im Jahr der Biotonne</b>	<b>6,90 €/EW*a</b>	<b>8,87 €/EW*a</b>	<b>10,56 €/EW*a</b>

Kompostierung des Bioabfalls	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Kosten für Bioabfallkompostierung (brutto)	56,00 €/t	56,00 €/t	56,00 €/t
<b>Jahreskosten für Bioabfallkompostierung</b>	<b>222.231 €</b>	<b>305.568 €</b>	<b>388.904 €</b>
<b>Jährl. Gesamtkosten - Einführung einer Biotonne (Kompostierung)</b>	<b>535.733 €</b>	<b>682.575 €</b>	<b>805.300 €</b>
<b>Kostendeckende Gebühreneinnahmen pro Bioabfallbehälter jährlich</b>	<b>59,69 €/Stk./a</b>	<b>55,31 €/Stk./a</b>	<b>51,27 €/Stk./a</b>
<b>Kostendeckende Gebühreneinnahmen pro Einwohner im Jahr (Kompostierung)</b>	<b>6,17 €/EW*a</b>	<b>7,86 €/EW*a</b>	<b>9,28 €/EW*a</b>

Zur Information: Bioabfall aus Eigenkompostierung und sonst. Entsorgung	Szenario A	Szenario B	Szenario C
	3,3 kg/EW/a	4,5 kg/EW/a	5,8 kg/EW/a

## Gebührensteigerung bei halbjährlich 14-tägiger und halbjährlich 7-tägiger Leerung der Biotonne

Tabelle A-37: Szenario C mit Vergärung und 26 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 26 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bio-abfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	85,30 €/a	80-I-MGB	32,22 €/a	<b>37,8%</b>	157.979 €/a
120-I-MGB	42,1%	121,70 €/a	120-I-MGB	48,33 €/a	<b>39,7%</b>	319.274 €/a
240-I-MGB	25,6%	206,60 €/a	240-I-MGB	96,65 €/a	<b>46,8%</b>	388.825 €/a
1100-I-MGB	1,1%	818,40 €/a	3x240-I-MGB	289,96 €/a	<b>35,4%</b>	50.337 €/a
	100,0%					916.416 €/a

Tabelle A-38: Szenario C mit Vergärung und 22 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 22 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bio-abfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	77,90 €/a	80-I-MGB	32,22 €/a	<b>41,4%</b>	157.979 €/a
120-I-MGB	42,1%	111,10 €/a	120-I-MGB	48,33 €/a	<b>43,5%</b>	319.274 €/a
240-I-MGB	25,6%	189,40 €/a	240-I-MGB	96,65 €/a	<b>51,0%</b>	388.825 €/a
1100-I-MGB	1,1%	748,80 €/a	3x240-I-MGB	289,96 €/a	<b>38,7%</b>	50.337 €/a
	100,0%					916.416 €/a

Tabelle A-39: Szenario A mit Vergärung und 18 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 18 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bio-abfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	70,50 €/a	80-I-MGB	36,87 €/a	<b>52,3%</b>	103.300 €/a
120-I-MGB	42,1%	100,50 €/a	120-I-MGB	55,30 €/a	<b>55,0%</b>	208.767 €/a
240-I-MGB	25,6%	172,20 €/a	240-I-MGB	110,60 €/a	<b>64,2%</b>	254.246 €/a
1100-I-MGB	1,1%	679,20 €/a	3x240-I-MGB	331,80 €/a	<b>48,9%</b>	32.914 €/a
	100,0%					599.228 €/a

Tabelle A-40: Szenario C mit Kompostierung und 26 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 26 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bio-abfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	85,30 €/a	80-I-MGB	28,31 €/a	<b>33,2%</b>	138.824 €/a
120-I-MGB	42,1%	121,70 €/a	120-I-MGB	42,47 €/a	<b>34,9%</b>	280.562 €/a
240-I-MGB	25,6%	206,60 €/a	240-I-MGB	84,93 €/a	<b>41,1%</b>	341.680 €/a
1100-I-MGB	1,1%	818,40 €/a	3x240-I-MGB	254,80 €/a	<b>31,1%</b>	44.234 €/a
	100,0%					805.300 €/a

Tabelle A-41: Szenario A mit Kompostierung und 22 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 22 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bio-abfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	77,90 €/a	80-I-MGB	32,96 €/a	<b>42,3%</b>	92.354 €/a
120-I-MGB	42,1%	111,10 €/a	120-I-MGB	49,44 €/a	<b>44,5%</b>	186.646 €/a
240-I-MGB	25,6%	189,40 €/a	240-I-MGB	98,88 €/a	<b>52,2%</b>	227.306 €/a
1100-I-MGB	1,1%	748,80 €/a	3x240-I-MGB	296,64 €/a	<b>39,6%</b>	29.427 €/a
	100,0%					535.733 €/a

Tabelle A-42: Szenario A mit Kompostierung und 18 Leerungen/a

Restabfall (14-tägig)	Anteil Behälter	Restabfall-gebühr 18 Leerungen/a	Biotonne (14-tägig)	Biotonnen-gebühr	Rest-/ Bio-abfall-gebühr	jährl. Gebühren Biotonne
80-I-MGB	31,2%	70,50 €/a	80-I-MGB	32,96 €/a	<b>46,8%</b>	92.354 €/a
120-I-MGB	42,1%	100,50 €/a	120-I-MGB	49,44 €/a	<b>49,2%</b>	186.646 €/a
240-I-MGB	25,6%	172,20 €/a	240-I-MGB	98,88 €/a	<b>57,4%</b>	227.306 €/a
1100-I-MGB	1,1%	679,20 €/a	3x240-I-MGB	296,64 €/a	<b>43,7%</b>	29.427 €/a
	100,0%					535.733 €/a