



**bifa**

Институт окружающей среды

## Отчет о результатах

Наименование  
проекта:

**Экологическая эффективность  
компостирования биоматериала путем  
герметизации с полупроницаемым мембранным  
покрытием**

Заказчик:

**W.L. Gore & Associates GmbH,  
Пуцбрунн**

Проект №:

**530556  
Рене Пеш  
Торстен Пичке  
Аугсбург, август 2014 г.**

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>1</b>	<b>Краткое содержание</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Основания</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Методические основы оценки экологической эффективности</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Рамки исследования</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Описание метода и информационная база</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Воздействие компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием на окружающую среду</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Воздействие компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием на окружающую среду</b>	<b>23</b>
<b>8</b>	<b>Экологическая эффективность компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием в сравнении с альтернативными методами обработки</b>	<b>25</b>
<b>9</b>	<b>Заключение и выводы</b>	<b>29</b>
<b>10</b>	<b>Литература</b>	<b>32</b>
	<b>Приложение А: Методика изучения с точки зрения экологического баланса</b>	<b>33</b>
	<b>Приложение В: Описание категорий воздействия</b>	<b>37</b>
	<b>Приложение С: Агрегация параметров индикатора воздействия или вещественного баланса в экологический индекс</b>	<b>45</b>
	<b>Приложение D: Описание эквивалентных систем</b>	<b>49</b>
	<b>Список литературы к приложениям</b>	

## 1 Краткое содержание

С целью получить преимущество в конкурентной борьбе на рынке промышленной переработки отходов и в количественном отношении, компания W.L. Gore & Associates GmbH (Gore) поручила фирме bifa Umweltinstitut GmbH (bifa) провести оценку компостирования биоматериала путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием с точки зрения защиты окружающей среды. Помимо этого, в рамках анализа экологической эффективности следует выполнить ориентировочное сравнение воздействия на окружающую среду и сопутствующих расходов с альтернативными методами обработки.

Связанное с обработкой биоматериала воздействие на окружающую среду определяется в рамках анализа с точки зрения экологического баланса. Каждый метод обработки биоматериала связан с отрицательным влиянием на окружающую среду, помимо прочего, в процесса обработки, и, возможно, при внесении вещественных продуктов в почву, но и с положительным влиянием на окружающую среду благодаря дополнительной выгоде в виде энергии, удобрений и органической субстанции. Общее воздействие на окружающую среду определяется на основании расчета положительного и отрицательного влияния на окружающую среду.

Количество выбросов в ходе процесса обработки приведено по результатам исследований, проведенных компанией gewitra GmbH для выбросов при компостировании и ферментации биоматериала. В рамках данного исследования определено количество выбросов соединений углерода и азота путем замеров только на одной компостной площадке с применением полупроницаемой мембраны. Для дальнейшего описания среднестатистической эксплуатации компостных площадок для компостирования с герметизацией с полупроницаемым мембранным покрытием было принято, что с учетом обрабатываемого биоматериала, производимого количества компоста и его качества не следует ожидать наличия различий с закрытым, частично закрытым методом компостирования.

Воздействие производства мембраны на окружающую среду относительно компостируемого количества отходов в сравнении с методом компостирования крайне незначительно и поэтому не учитывается.

В целом компостирование путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием оказывает положительное влияние на окружающую среду по шести из семи исследованных категорий воздействия: парниковый потенциал, окисление, эвтрофикация суши, сохранение ресурсов, токсичность для окружающей среды и человека. Это результат вещественной (питательные вещества и органическая субстанция от переработки компоста) и энергетической дополнительной выгоды (электричество и тепловая энергия от термической переработки отделенной древесиноподобной высококалорийной фракции). Это позволяет избежать выбросов, которые образуются при производстве электроэнергии по распространённым технологиям, тепловой энергии и минеральных удобрений, а также при заготовке торфа, гумуса из коры и кормовых трав. Благодаря исполнению и специфическому процессу при герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием, а также сочетанию полупроницаемой мембраны из экспандированного политетрафторэтилена и пленки конденсата, который образуется на нижней стороне покрытия, в сравнении с другими методами обработки существенно снижены выбросы метана, закиси азота и аммиака в процессе компостирования. В категории воздействия «Образование фотохимических окислителей» выбросы озonoобразующих веществ оказывают отрицательное влияние на окружающую среду. В основном они связаны с выбросами летучих, органических соединений (метан + летучие органические соединения кроме метана) в самом процессе компостирования.

Стоимость обработки, подразумевающей компостирование путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием согласно надлежащей производственной практике, оценивается по консервативному методу. Под стоимостью подразумеваются расходы, которые несут города и округа нетто при размещении заказов на обработку у сторонних организаций. Компостирование путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием с точки зрения расходов располагается между частично открытым компостированием и открытым компостированием.

В целях ориентировочного сравнения компостирования путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием и альтернативных методов обработки экологическая эффективность метода обработки противопоставлена эффективности альтернативных методов в

одном портфолио. Помимо этого, воздействие на окружающую среду сопоставлялось с сопряженными расходами.

Воздействие на окружающую среду и стоимость альтернативных методов обработки взяты из текста отчёта компании bifa № 61 «Потенциал экологической эффективности в обработке биоотходов в Баварии». Сравнение всех учтенных параметров и уровня выбросов показывает, что компостирование путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием в сравнении с закрытым и частично закрытым компостированием имеет следующие отличия: более низкое потребление электроэнергии и более низкие обусловленные процессом выбросы углерода и азота ввиду препятствующей выбросам функции полупроницаемой мембраны. Последующие процессы – переработка вещественных продуктов и переработка отделенной высококалорийной фракции или утилизация нежелательных примесей – не имеют никаких различий.

В портфолио на рисунке 1.1 противопоставляются экологическая эффективность среднестатистической площадки для компостирования путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием и экологическая эффективность среднестатистических площадок для альтернативных способов обработки биоматериала.

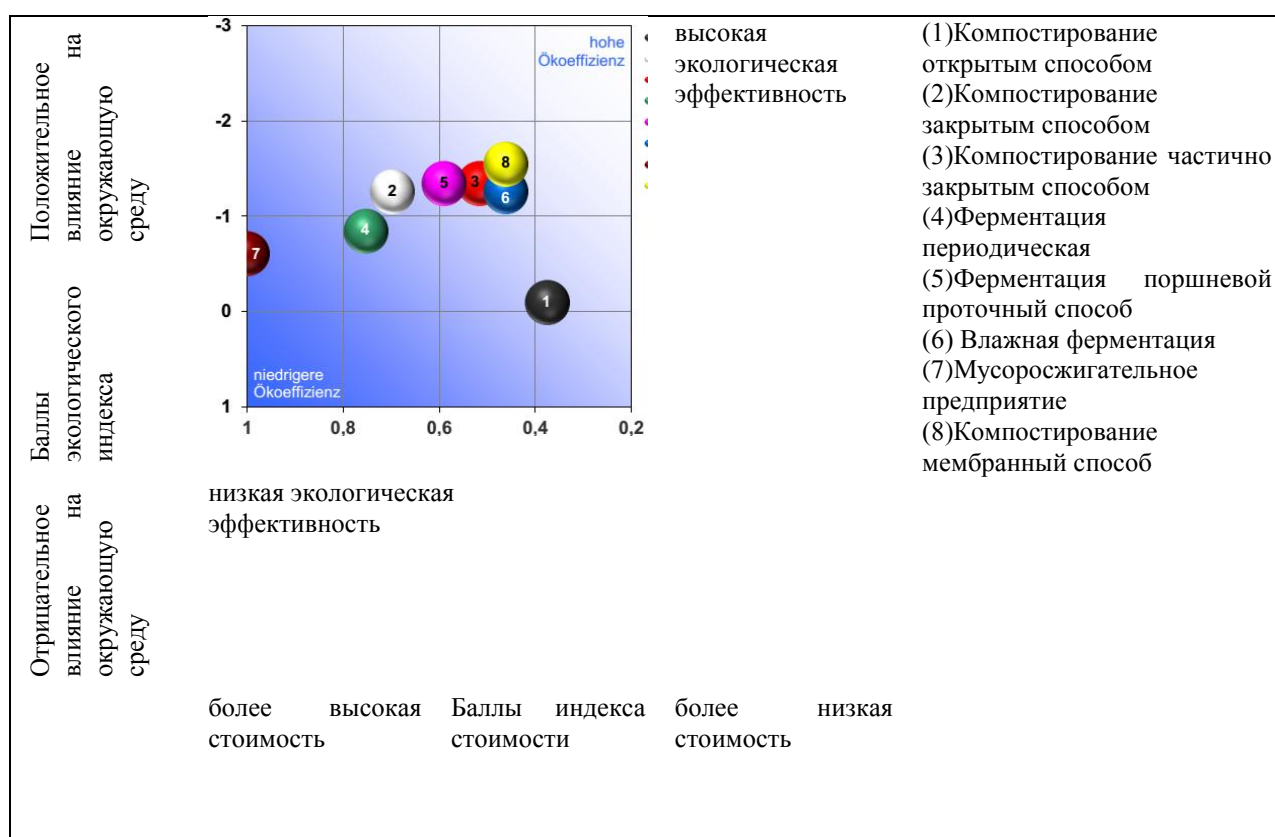


Рисунок 1.1: Портфолио экологической эффективности различных методов обработки биоматериала (экологический индекс  $< 0$  означает положительное влияние на окружающую среду; экологический индекс  $> 0$  означает отрицательное влияние на окружающую среду; индекс стоимости: нормирование обусловленных методом расходов по максимальному значению)

При надлежащей эксплуатации ферментационных и компостных площадок различия с экологической точки зрения между альтернативными методами обработки – за исключением открытого компостирования – минимальны. Компостирование путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием имеет самый низкий экологический индекс и поэтому при оценке среднестатистической эксплуатации площадки считается методом, оказывающим наиболее положительное влияние на окружающую среду.

Целью сравнения воздействия на окружающую среду и стоимости с альтернативными методами обработки является не однократное определение предпочтительного метода, а оценка метода компостирования путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием в сравнении с альтернативными методами компостирования и ферментации. Чтобы ответить на

вопрос о том, какая стратегия обработки является наиболее экологически эффективной для конкретного случая утилизации отходов в городе, округе или для целевого объединения, следует составить баланс для фактической ситуации на месте, например, с учетом предоставляемого материала, имеющейся инфраструктуры, правильной технологии процесса, рынка сырья, а также произведенной тепловой энергии и конкретной экономической ситуации. Отдельно от определения воздействия на окружающую среду в рамках рассмотрения экологической эффективности компостирования путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием может быть допущено в Германии как площадка в буртовом исполнении или в исполнении с откидными стенками, если будут предъявлены доказательства равнозначности с закрытой системой, что присутствует в построенной в Германии до настоящего времени площадке.

## 2 Основания

Объёмы перерабатываемых биоотходов (биоматериалы и растительная масса) и остаточных отходов – одни из самых высоких в рамках утилизации бытовых отходов. После принятия в 2015 г. Закона об устранении, утилизации и предотвращении образования отходов, а также введения раздельного сбора биоотходов то, что раньше попадало в бытовой мусор, стало перерабатываться.

Разнообразие альтернативных технологий и возможности организации соответствующих систем сбора отходов предоставляют широкий диапазон стратегий обработки биоотходов в городах и округах. С целью получить преимущество в конкурентной борьбе на рынке промышленной переработки отходов за счёт точных данных, компания W.L. Gore & Associates GmbH (Gore) поручила фирме bifa Umweltinstitut GmbH (bifa) провести оценку компостирования биоматериала путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием с точки зрения защиты окружающей среды. Помимо этого, в рамках анализа экологической эффективности следует выполнить ориентировочное сравнение воздействия на окружающую среду и сопряженных расходов с альтернативными методами обработки.

Результаты исследования представлены в данном отчете.

## 3 Методические основы оценки экологической эффективности

Элементами исследования компостирования путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием являются рассмотрение воздействия на окружающую среду с точки зрения экологического баланса и рассмотрение стоимости, и их сопоставление в рамках анализа экологической эффективности. На рисунке 3.1 представлены шаги изучения и общего рассмотрения экологического и экономического эффекта.

Определение рамок исследования (границы системы, функциональная единица, аллокация)	
Сбор данных обо всех важных процессах (потoki материала, данные о выбросах, эксплуатационные данные, стоимость)	
Баланс выбросов (вещественный баланс)	Баланс стоимости
Оценка воздействия на окружающую среду	
Обобщение видов воздействия на окружающую среду	
Изучение с точки зрения экологического баланса	Изучение с точки зрения стоимости

	Экологический индекс		
		Стоимость (евро/т)	
Анализ экологической эффективности			

Рисунок 3.1: Шаги для общего рассмотрения экологических и экономических последствий в рамках анализа экологической эффективности.

Выполненное в рамках данного исследования изучение<sup>1</sup> с точки зрения экологического баланса ориентировалось по требованиям стандарта составления экологического баланса DIN EN ISO 14040 и DIN EN ISO 14044 [DIN 2009, DIN 2006]. При этом – исходя из определения цели в рамках вещественного баланса – велся учет важных параметров, которые были обобщены в оценке воздействия на окружающую среду.

Выбор категорий воздействия для исследования осуществлен аналогично отчёту компании bifa № 61 «Потенциал экологической эффективности в обработке биоотходов в Баварии» [BIFA 2013], чтобы обеспечить одинаковые основы оценки для ориентировочного сравнения воздействия на окружающую среду и стоимости с альтернативными методами обработки. В таблице 3.1 приведены выбранные категории воздействия, соотношение параметров вещественного баланса, а также отмечающее индикатор воздействия обобщение результатов для данного исследования.

Таблица 3.1: Выбор категорий воздействия, соотнесение определяющих результат параметров вещественного баланса с категориями воздействия и обобщение результатов по индикаторам воздействия

Категория воздействия	Воздействие	Параметр вещественного баланса, определяющий результат
Парниковый эффект [кг CO <sub>2</sub> -эквиваленты]	Нагревание атмосферы Земли	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
Окисление [кг SO <sub>2</sub> -эквиваленты]	Выброс кислотообразующих веществ	NO <sub>x</sub> в виде NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , (HCl, HF)
Эвтрификация суши [кг PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -эквиваленты]	Поступление питательных веществ в почву в избыточных объемах	NO <sub>x</sub> в виде NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>
Образование фотохимических окислителей [кг C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -эквиваленты]	Образование озона вблизи земли (озоновый смог)	CH <sub>4</sub> , летучие органические соединения кроме метана, летучие органические соединения неспецифические (бензол, формальдегид)
Токсичность для человека [кг]	Токсичное воздействие на человека и живые организмы	SO <sub>2</sub>
Токсичность для окружающей среды [кг]	Токсичное воздействие на организмы и экосистемы	NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> в виде NO <sub>2</sub>
Использование ресурсов [кг ископаемые источники энергии-эквиваленты]	Потребление ископаемых первичных источников энергии и природного фосфата из месторождений	Нефть, природный газ, каменный и бурый уголь и фосфат

<sup>1</sup> Так как в рамках данного проекта по причинам эффективности не предусматривалась реализация всех предписанных стандартом аспектов в полном объеме, речь идет об изучении с точки зрения экологического баланса на основе DIN EN ISO 14040/44.

Как и в отчёте bifa 2013, выбросы зловонных веществ не являются частью оценки воздействия.

Виды воздействия на окружающую среду обобщены с помощью метода, разработанного компанией bifa. Его суть заключается в том, что порядок действий ориентируется, насколько возможно, на предписания Федерального ведомства по защите окружающей среды для оценки экологических балансов, метод сам по себе прозрачен и понятен и в результате дает численное общее значение на каждый сценарий.

Анализ экологической эффективности подразумевает сравнение результата рассмотрения с точки зрения экологического баланса и специфических расходов, связанных с утилизацией.

## 4 Рамки исследования

Составной частью изучения с точки зрения экологического баланса является определение цели и рамок исследования. Оба аспекта представлены в таблице 4.1.

*Таблица 4.1: Рамки исследования для изучения с точки зрения экологического баланса компостирования биоматериала путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием*

Элементы, изучаемые с точки зрения экологического баланса	Разъяснение
Цель исследования: аспекты, вызывающие интерес	Количественная оценка экологического и экономического эффекта компостирования путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием на основе одной смоделированной согласно актуальным данным среднестатистической площадки. Соотнесение воздействия на окружающую среду и сопряженных расходов в сравнении с альтернативными методами обработки.
Рамки исследования: предмет исследования	Компостирование биоматериала путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием.
Рамки исследования: функциональная единица	Утилизация одной тонны биоматериала, предложенная системами сбора общественных организаций по утилизации отходов.
Рамки исследования: границы системы	На входе: предоставленное количество отходов с поставкой на территорию обрабатывающего предприятия. На выходе: утилизация остатков от процесса обработки, а также поставка и использование сырья и энергии, полученных за счёт процесса переработки. В результате определённую часть энергии и питательных веществ не придётся производить традиционным способом из первичного сырья. Это позволяет снизить и предотвратить негативное воздействие на окружающую среду, которое связано с традиционным производством каждой дополнительной выгоды. Негативные воздействия, которых удалось избежать, суммируются в балансе и на 100% зачитываются как положительное воздействие процесса переработки на окружающую среду.

**Примечание по функциональной единице**

Для сравнения воздействия на окружающую среду и стоимости с альтернативными методами обработки был взят биоматериал того же состава, как и указанный в отчёте BIFA 2013. Как правило, содержимое одной биотонны представляет собой смесь **из маловолокнистых кухонных отходов или остатков пищи и сильноволокнистого растительного материала**. Состав собранного биоматериала колеблется в зависимости от времени года.

#### **Примечания по границе системы**

Обработке биоотходов предшествуют сбор отходов в домашних хозяйства по системе вывоза или доставки и транспортировка на перерабатывающее предприятие. Эти этапы предваряют все методы обработки биоотходов. Чтобы обеспечить одинаковую базу данных для ориентировочного сравнения воздействия на окружающую среду и стоимость с альтернативными методами обработки, они не учитываются аналогично BIFA 2013.

Исследования, проведенные компанией bifa для оценки путей утилизации с точки зрения защиты окружающей среды, показывают, что способы сбора отходов, как правило, оказывают минимальное влияние на общее воздействие цепи мероприятий по утилизации на окружающую среду. Стоимость, напротив, с экономической точки зрения является важнейшим фактором для сбора отходов, особенно, при системе их вывоза, который следует учитывать при организации коммунальных структур по утилизации отходов.

Так же не было учтено производство полупроницаемого мембранного покрытия. Обработанное с помощью мембраны количество биоматериала в течение (гарантированного) срока службы в четыре года (в зависимости от способа обработки имеется опыт использования в течение пяти-девяти лет) настолько велико, что потенциальная доля производства мембраны в воздействии на окружающую среду может рассматриваться как весьма незначительная и поэтому ей можно пренебречь.

## **5 Описание метода и информационная база**

### **5.1. Предварительное примечание**

Исходным пунктом для анализа экологической эффективности, в первую очередь, является среднестатистическая эксплуатация площадки. Термин «среднестатистическая эксплуатация» относится к реальным площадкам и способам эксплуатации. Соответствующие параметры не определяются на основании надлежащей производственной практики. Конкретная ситуация на месте может существенно отличаться от среднестатистической эксплуатации площадки. При переносе результатов на отдельную площадку следует учитывать общие условия эксплуатации на месте.

### **5.2 Качественное описание метода компостирования путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием на примере буртовой версии [Gore 2014]**

GORE® Cover System – технология аэробной обработки отходов, включающая применение специальных видов слоистого пластика производства компании Gore – используется в Европе на более чем 150 площадках в различных вариантах, например, в версиях с откидными стенками, с откидной крышкой или также в комбинации с загрузочным тоннелем, для компостирования и механико-биологической обработки остаточных отходов. Для герметизации буртов в ходе процесса вылеживания применяется «дышащая» полупроницаемая мембрана. Снабжение азотом уплотненного, закрытого компостного бурта производится путем нагнетания в основании бурта.



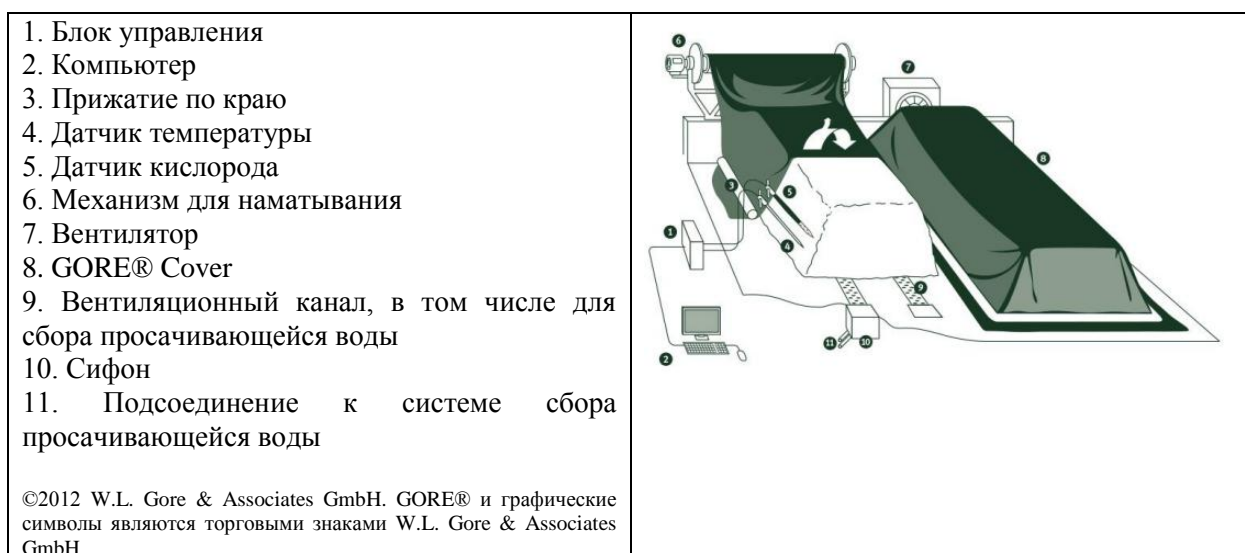
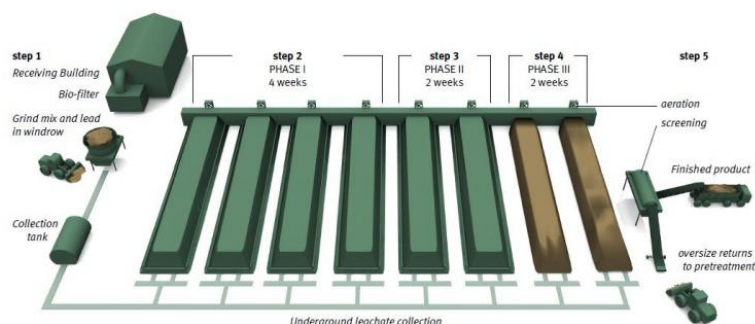


Рисунок 5.1: Компостирование с применением GORE® Cover System на примере варианта с буртом

Типичный процесс с применением GORE® Cover длится восемь недель, разделенных на три фазы. Вылеживающийся материал на четыре недели остается в фазе I («интенсивное компостирование»), затем две недели в фазе II («созревание») и две недели в фазе III («дозревание»).

В течение этих восьми недель три раза проводится ворошение. Покрытие буртов присутствует в фазах I и II.



Шаг 1	Шаг 2	Шаг 3	Шаг 4	Шаг 5
Приемное строение Биофильтр	ФАЗА I 4 недели	ФАЗА II 2 недели	ФАЗА III 2 недели	Аэрация Просеивание
Измельчитель и отправка в компостные ряды				Готовый продукт
Ёмкость для сбора				Крупная фракция отправляется на повторную предварительную переработку

	Сбор просачивающейся воды	
--	---------------------------	--

Рисунок 5.2: Схема процесса GORE® Cover

Центральным элементом системы является слоистый пластик GORE® Cover. Он состоит из специально разработанной микропористой мембраны GORE на основе политетрафторэтилена, которая расположена между УФ-стабильными, стойкими к механическому воздействию тканевыми основами. Благодаря его особой мембранной пористой структуре слоистый пластик полупроницаем, что позволяет обеспечить стабильный климат в бурте:

- Водно- и ветронепроницаемый слоистый пластик защищает компостируемый материал от ветра и погодных условий и тем самым предотвращает нежелательные процессы гниения из-за переувлажнения.
- Паро- и воздухо- непроницаемость регулирует выход влаги и позволяет выходить газам без высыхания материала.
- Благодаря приточной вентиляции в закрытой системе создается изолирующий воздушный слой, который способствует равномерному распределению температур во всем бурте и обеспечивает одинаковые гигиенические условия в компостируемом материале.

Покровие предотвращает попадание в окружающую среду запахов и прочих газообразных веществ, которые выделяются компостируемым материалом. Во время вылеживания на внутренней стороне образуется тонкая пленка конденсата, в котором растворяются запахи и прочие газообразные вещества и стекают обратно в материал, где они подвергаются бактериальному разложению. Благодаря размеру пор ок. 0,2 мкм покрытие представляет собой эффективный барьер для спор и микроорганизмов.

С помощью аэрации покрытие GORE® Cover System позволяет создать идеальные условия для вылеживания материала. Благодаря короткой продолжительности процесса вылеживания возможна высокая пропускная способность на единицу площади. Установленные в бурте измерительные зонды контролируют снабжение кислородом и температуру реакции и регулируют продолжительность вентиляции.

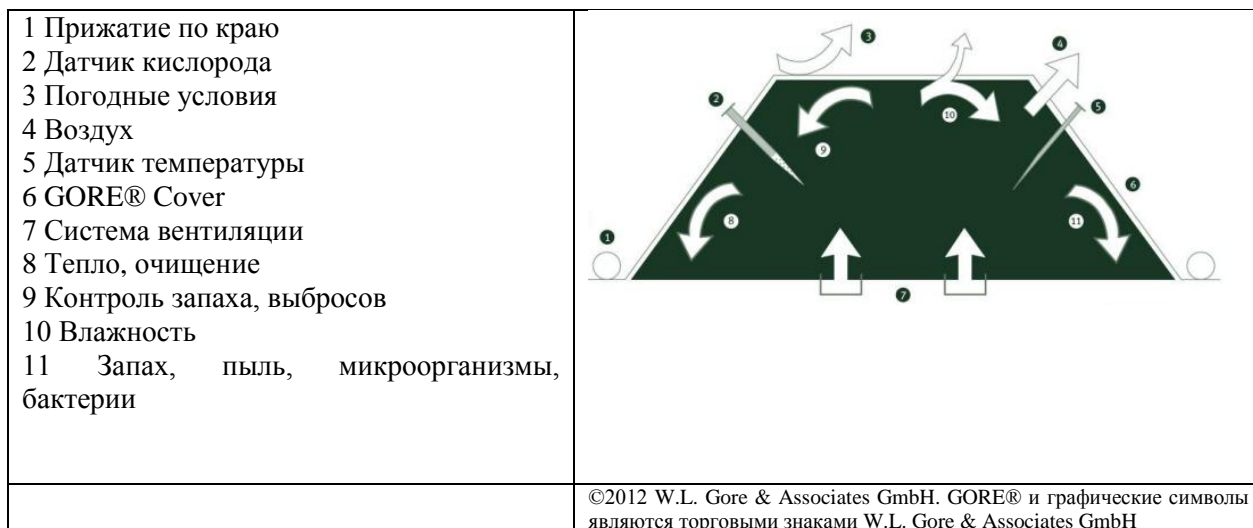


Рисунок 5.3: Принципиальная схема для компостирования путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием

### 5.3 Предположительные условия среднестатистической эксплуатации площадки на примере версии с откидными стенками

#### Условия составления баланса

На рисунке 5.4 представлены важнейшие потоки материала, которые следует учитывать при моделировании компостирования биоматериала путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием.

На входе находятся биоматериал и необходимое количество дизельного топлива и электроэнергии в качестве механической и электрической энергии, требуемой для процессов.

На выходе находятся выбросы углерода и азота в атмосферу из всех частей всего пути утилизации отходов, питательные вещества и органическая субстанция от переработки вещественных продуктов – свежего и готового компоста, а также электроэнергия и поставляемая тепловая энергия от переработки отделенной, высококалорийной фракции на тепловых электростанциях, работающих на биомассе, или от переработки нежелательных примесей и остаточных отходов на мусоросжигательных предприятиях.

Питательные вещества, органическая субстанция и тепловая энергия должны рассматриваться как положительный эффект, который пересчитывается в соответствующие эквивалентные системы. При этом учитываются также выбросы углерода и азота, большей частью от открытого применения компоста.

		Электроэнергия Дизельное топливо	Электроэнергия Дизельное топливо			
Био-материал	Поставка и подготовка	<b>Основное/интенсивное вылеживание (фаза 1/2)</b> - закрытое под мембраной (фаза 1: 4 недели; фаза 2: 2 недели) - без сбора отходящего воздуха и очистки через фильтр - подача кислорода путем ворошения в буртах и целенаправленная вентиляция	<b>Дополнительное вылеживание (фаза 3)</b> - без покрытия (2 недели) - без сбора отходящего воздуха и очистки через фильтр - подача кислорода путем ворошения в буртах и целенаправленная вентиляция	Готовый компост	<b>Выгода</b> - промышленное садоводство - производство почвосмесей - садоводство и ландшафтные работы - любительское садоводство - сельское хозяйство	N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, Mg, CaO, С гумуса, С органический
					Свежий компост	
			Высококалорийная фракция		<b>Выгода</b> - применение для производства энергии на теплоэлектростанциях	Электроэнергия Тепловая энергия
			Нежелательные примеси		<b>Выгода</b> - термическая утилизация на мусоросжигательных предприятиях	Электроэнергия Тепловая энергия

Рисунок 5.4: Схема компостирования путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием

## Воздействие на окружающую среду

Причиной выбросов в атмосферу является аэробное разложение с выделением углерода и азота. При компостировании путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием описанное в разделе 5.2 снижающее количество выбросов воздействие герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием уменьшает количество выбросов, попадающих в атмосферу вместе с отходящим воздухом.

Так как материал имеет биогенное происхождение, считается, что выбросы углеводородов, связанные с обработкой этих отходов, не влияют на климат и поэтому не имеют значения с точки зрения воздействия на окружающую среду.

Для моделирования количества выбросов прочих загрязнителей воздуха взяты актуальные данные из исследований компании gewitra GmbH, выполненных по поручению Федерального ведомства по защите окружающей среды [CUHLS ET AL. 2012].

В таблице 5.1 представлена обобщенная информация о выбросах, связанных с компостированием путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием. Следует обратить внимание на то, что речь идет об измерениях выбросов только на одной компостной площадке. Там осуществлялось компостирование смешанных биоотходов и растительной массы в

период времени от семи до восьми недель в трапециевидных буртах с приточной вентиляцией и с ворошением после шестой недели [CUHLS ET AL. 2012].

Таблица 5.1.: Выбросы углерода и азота [материальные затраты г/т] при компостировании под полупроницаемым мембранным покрытием согласно CUHLS ET AL. 2012

	Метан	Аммиак	Заись азота	Летучие органические соединения кроме метана
Ожидаемый диапазон	200-500	5-50	10-50	100-400
<b>Значения выбросов для эксплуатации по надлежащей производственной практике</b>	<b>300</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>300</b>

В таблице 5.2 представлены прочие параметры площадки, которые были учтены в модели потока материала. Заказчик указал потребность в электроэнергии в размере от 1,5 до 2 кВт·ч/т. По всем иным параметрам площадки bifa – для обеспечения симметричного сравнения с другими методами обработки – обратилась к использованным в BIFA 2013 параметрам площадки для методов закрытого и частично закрытого компостирования. С точки зрения заказчика выбранные таким образом параметры площадки приемлемы также для среднестатистической эксплуатации площадки для компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием.

Таблица 5.3: Параметры площадки для компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием [BIFA 2013, GORE 2014]

Параметры площадки	Значение
Произведенное количество компоста для переработки	материальные затраты: 440 кг/т
Высококалорийная фракция (отсев) для энергетической переработки на тепловых электростанциях, работающих на биомассе	материальные затраты: 120 кг/т с калорийностью 13 МДж/кг
Отделенные нежелательные примеси для устранения на мусоросжигательном предприятии	материальные затраты: 20 кг/т
Потребление дизельного топлива	материальные затраты: 2,1 л/т
Потребление электроэнергии	материальные затраты: 1,75 кВт·ч/т

На основании данных Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK) аналогично BIFA 2013 для производимого в Баварии количества компоста считается, что оно по всем компостным площадкам состоит из ок. 72% готового компоста и из ок. 28% из свежего компоста. В таблице 5.3 показаны соответствующие пути сбыта компоста в Баварии, предполагаемые для всех методов компостирования.

Таблица 5.3: Пути сбыта свежего и готового компоста [BGK 2012]

Путь сбыта	Свежий компост	Готовый компост	Выгода
Сельское хозяйство	94,7%	20,4%	Питательные вещества, органическая

			субстанция
Производство почвосмесей	3,6%	48,8%	Питательные вещества, органическая субстанция
Любительское садоводство	1%	15,7%	Питательные вещества, органическая субстанция
Садоводство и ландшафтные работы	-	9%	Питательные вещества, органическая субстанция
Промышленное садоводство	0,7%	6,1%	Питательные вещества, органическая субстанция

Независимо от того, по какому пути осуществляется сбыт компоста, речь идет об открытом применении. При этом присутствуют длительные процессы ворошения и соответствующие выбросы в атмосферу. В таблице 5.4 представлена обобщенная информация об оценке воздействия на окружающую среду важнейших выбросов при хранении и внесении компоста.

Таблица 5.4: Выбросы углерода и азота в [материальные затраты г/т] при хранении и внесении вещественных продуктов [CUHLS ET AL. 2012; LFL 2012]

Компост	Метан	Аммиак	Закись азота
Свежий компост	< 1	47	-
Готовый компост	< 1	28	-

#### Дополнительная выгода

Наряду с обработкой биоматериала компостирование несет в себе также дополнительную выгоду, например, получение питательных веществ и органической субстанции (ср. таблицу 5.3), а также высококалорийной фракции (ср. таблицу 5.2).

В таблице 5.5 приведена дополнительная выгода энергетического и материального характера и заменяемые благодаря ей материалы и энергия из первичного сырья. При этом считается, что вторичное и первичное сырье имеют одинаковое функциональное значение.

Таблица 5.5: Дополнительная выгода, связанная с компостированием под полупроницаемым мембранным покрытием, и соответствующие эквивалентные системы

Дополнительная выгода	Эквивалентная система
Электроэнергия, получаемая путем использования высококалорийного материала в энергетике	Электроэнергия, получаемая из комбинации ископаемых источников энергии: бурый уголь, каменный уголь и природный газ в соответствии с маржинальным принципом [UBA 2009]
Электроэнергия, получаемая путем	Электроэнергия, получаемая из комбинации

использования нежелательных примесей в энергетике	источников энергии в Германии в соответствии с усредненной оценкой (ископаемые и возобновляемые источники энергии)
Тепловая энергия, получаемая путем использования высококалорийного материала в энергетике	Тепловая энергия, получаемая из репрезентативной комбинации видов производства в Германии в соответствии с маржинальным принципом [UBA 2009]
Тепловая энергия и технологический пар, получаемые путем использования нежелательных субстанций в энергетике	Тепловая энергия и технологический пар, получаемые из репрезентативной комбинации видов производства в соответствии с усредненной оценкой
Содержание питательных веществ в компосте или продуктах ферментации (N, P, K, Ca, Mg)	Производство азотных удобрений, фосфорных удобрений, известковых удобрений, калийных удобрений и магниевых удобрений
Органическая субстанция для замены торфа и/или гумуса из коры	Субстрат из органической массы торфа и/или гумуса из коры
Органическая субстанция для воспроизводства гумуса	Углерод гумуса, получаемый из органической субстанции из кормовых трав, поставляемых сельскохозяйственными предприятиями

Дополнительной выгоде придается большое значение в рамках оценки видов воздействия на окружающую среду. Благодаря предотвращению отрицательного влияния на окружающую среду, оказываемого традиционными производственными процессами, дополнительная выгода снижает отрицательное влияние на окружающую среду при обработке биоматериала. Нижеследующие дополнительные выгоды обеспечиваются компостированием под полупроницаемым мембранным покрытием:

▪ **Энергия**

Электроэнергия: материальные затраты - 80,8 кВт·ч/т

Тепловая энергия: материальные затраты - 69,4 кВт·ч/т

▪ **Питательные вещества для подкормки**

N: материальные затраты - 3,74 кг/т

K<sub>2</sub>O: материальные затраты - 3,65 кг/т

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: материальные затраты - 2,09 кг/т

CaO: материальные затраты - 20,5 кг/т

Mg: материальные затраты - 3,05 кг/т

▪ **Органическая субстанция**

Торф / гумус из коры: материальные затраты - 44,7 кг/т

Углерод гумуса: материальные затраты - 15,9 кг/т

Секвестрированный углерод: материальные затраты - 2,95 кг/т

Принятые для компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием количество и качество компоста не отличаются от принятых в BIFA 2013 для закрытого и частично закрытого компостирования.

## 6 Воздействие компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием на окружающую среду

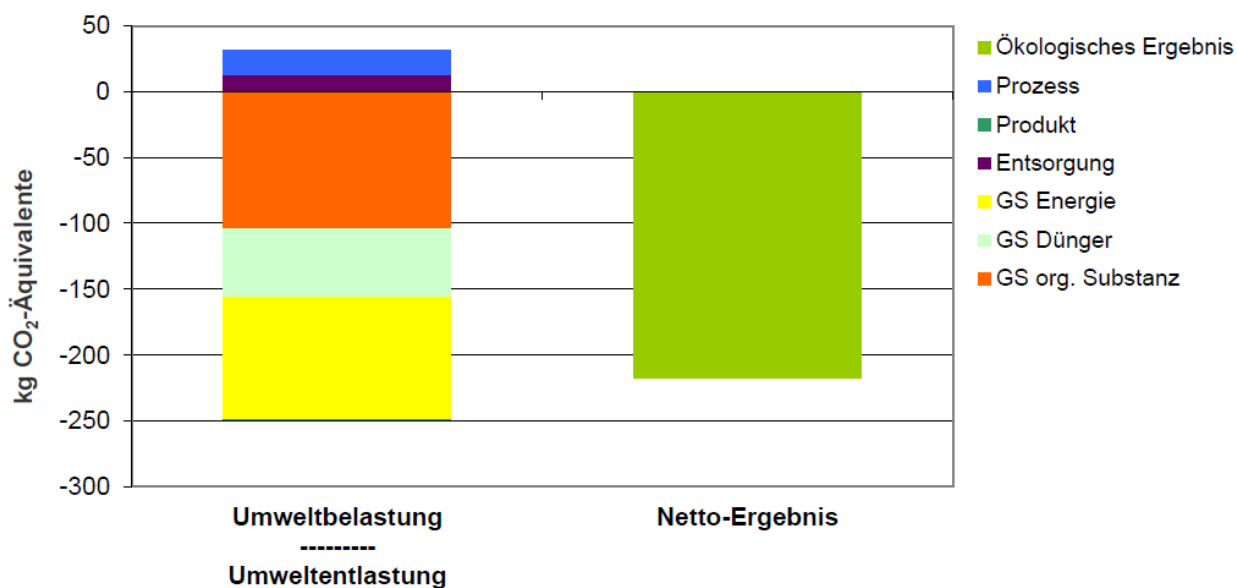
### 6.1 Подробное изучение выбранных категорий воздействия

Для подробного изучения выбран пример, в котором виды воздействия на окружающую среду могут быть соотнесены по их происхождению в рамках цепочки утилизации. Настоящий пример

упрощает анализ с производственной и технологической точек зрения. С этой целью были определены следующие секторы:

- Отрицательное влияние на окружающую среду в ходе самого процесса, внесении в почву и хранении вещественных продуктов и утилизации остатков (левый столбец с цветовым делением вверх).
- Положительное влияние на окружающую среду (выгода) от дополнительной выгоды в виде энергии, удобрений и органической субстанции (левый столбец с цветовым делением вниз).
- Результат нетто расчета отрицательного и положительного влияния на окружающую среду (правый зеленый столбец вверх или вниз).

### 6.1.1 Парниковый эффект (потенциал глобального потепления)



кг в CO <sub>2</sub> -эквиваленте			Экологический результат Процесс Продукт Утилизация Полученная энергия Полученные удобрения Полученная органическая субстанция
	Отрицательное влияние на окружающую среду	Результат нетто	
	Положительное влияние на окружающую среду		

Рисунок 6.1: Секторный анализ парникового потенциала

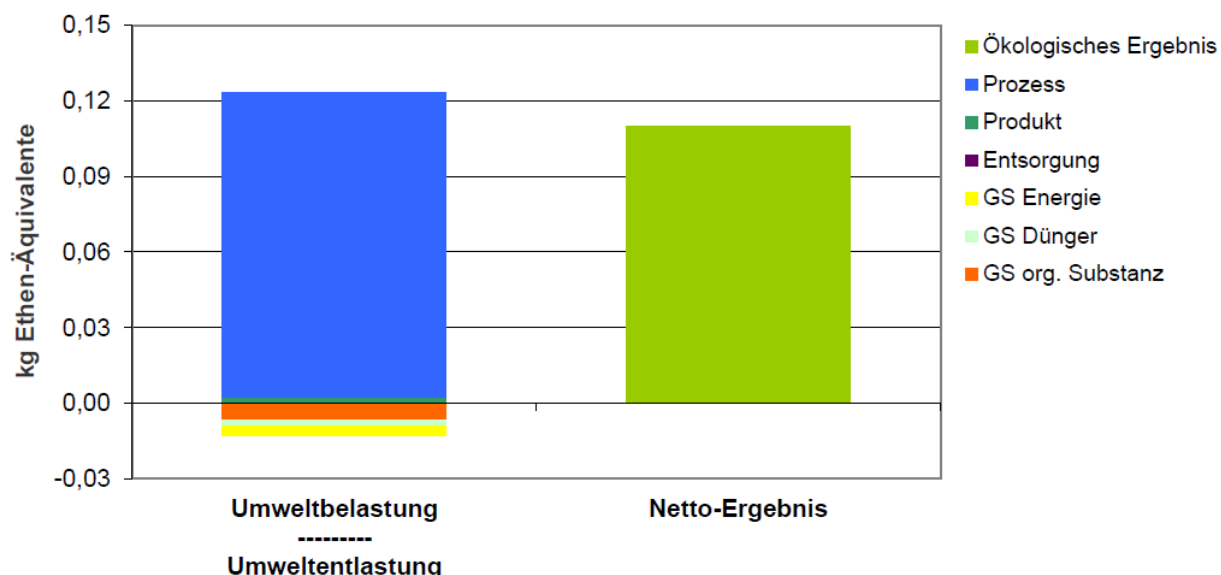
Положительное влияние нетто на окружающую среду в виде отсутствия парниковых газов, связанное с обработкой 1 тонны биоматериала методом компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием, с учетом полученных выгод составляет в целом ок. 218 кг в CO<sub>2</sub>-эквиваленте<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Парниковый потенциал в расчете на одного жителя Германии составляет примерно 11,3 тонн в CO<sub>2</sub>-эквиваленте в год

Отрицательное влияние на окружающую среду в виде парникового эффекта почти на 60% возникает в ходе самого процесса компостирования. Причиной в основном являются выбросы метана, преимущественно в процессе интенсивного и дополнительного вылеживания. Остальные 40% приходятся большей частью на выбросы диоксида углерода при производстве дизельного топлива.

Положительное влияние на окружающую среду в отношении парникового эффекта большей частью определяется эквивалентными процессами, связанными с органической субстанцией и обработкой высококалорийной фракции в энергетике. Вещественная форма продуктов процесса компостирования заменяет добычу торфа и производство гумуса из коры в открытых буртах. Ок. 42% положительного влияния приходится на эти приносящие выгоду процессы. Производство энергии из высококалорийной фракции способствует ок. 37% положительного влияния на окружающую среду. Оно позволяет заменить процессы традиционного производства энергии и избежать выбросов, связанных с сжиганием ископаемых источников энергии. Остальные 21% выгод могут быть отнесены к замене питательных веществ для подкормки.

#### 6.1.2 Образование фотохимических окислителей (потенциал образования фотохимического озона)



кг в этилен-эквиваленте			Экологический результат Процесс Продукт Утилизация Полученная энергия Полученные удобрения Полученная органическая субстанция
	Отрицательное влияние на окружающую среду	Результат нетто	
	Положительное влияние на окружающую среду		

Рисунок 6.2: Секторный анализ образования фотохимических окислителей

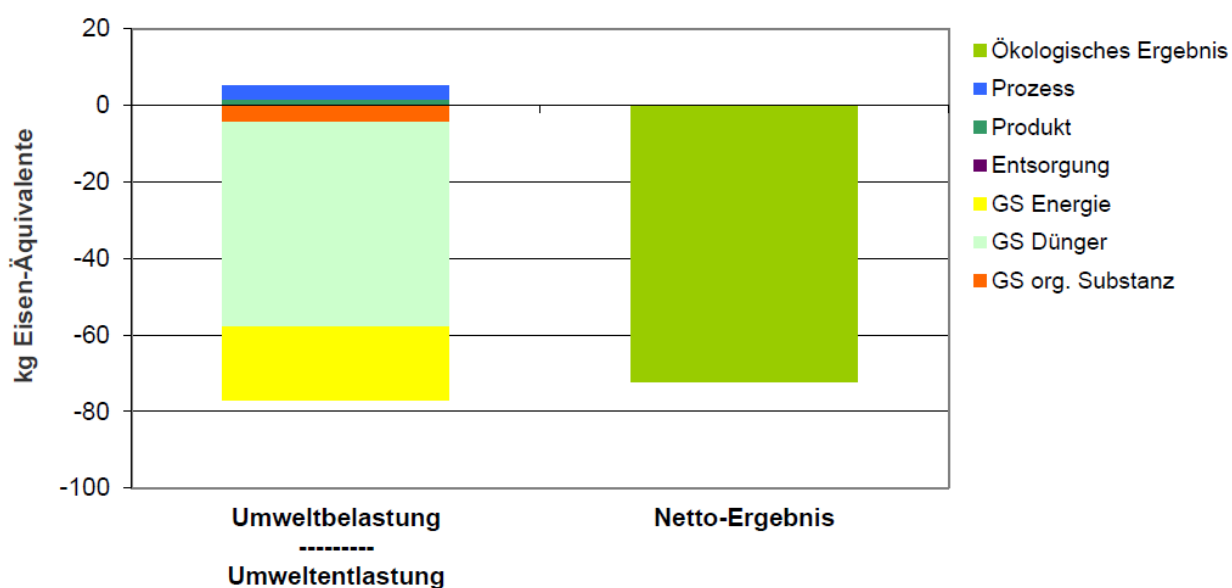


Отрицательное влияние нетто на окружающую среду в виде присутствия озonoобразующих газов, связанное с обработкой 1 тонны биоматериала методом компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием, с учетом полученных выгод составляет в целом ок. 0,11 кг в этилен-эквиваленте<sup>3</sup>.

Отрицательное влияние на окружающую среду в виде потенциала образования озона возникает почти исключительно в рамках самого процесса компостирования и из-за него, и связано, в первую очередь, с выбросами летучих, органических соединений (метан и летучие органические соединения кроме метана).

Незначительное положительное влияние на окружающую среду, которое снижает отрицательное влияние на ок. 0,013 кг в этилен-эквиваленте, в первую очередь связано с заменой торфа и гумуса из коры вещественной формой продуктов компостирования, а также использованием высококалорийной фракции в энергетике.

### 6.1.3 Сохранение ресурсов



кг железно-эквиваленты			Экологический результат Процесс Продукт Утилизация Полученная энергия Полученные удобрения Полученная органическая субстанция
	Отрицательное влияние на окружающую среду  Положительное влияние на окружающую среду	Результат нетто	

Рисунок 6.3: Секторный анализ сохранения ресурсов

<sup>3</sup> Потенциал образования озона в расчете на одного жителя Германии составляет примерно 15,75 кг в этилен-эквиваленте в год

Выполненная в рамках данного исследования оценка использования ресурсов обобщенно рассматривает ресурсоистощающее влияние использования ископаемых источников энергии и фосфата. Разработанный bifa индикатор для этого обобщает воздействие использования ископаемых источников энергии и минеральных ресурсов фосфора путем анализа ограниченности, заменимости и способа использования этих ресурсов.

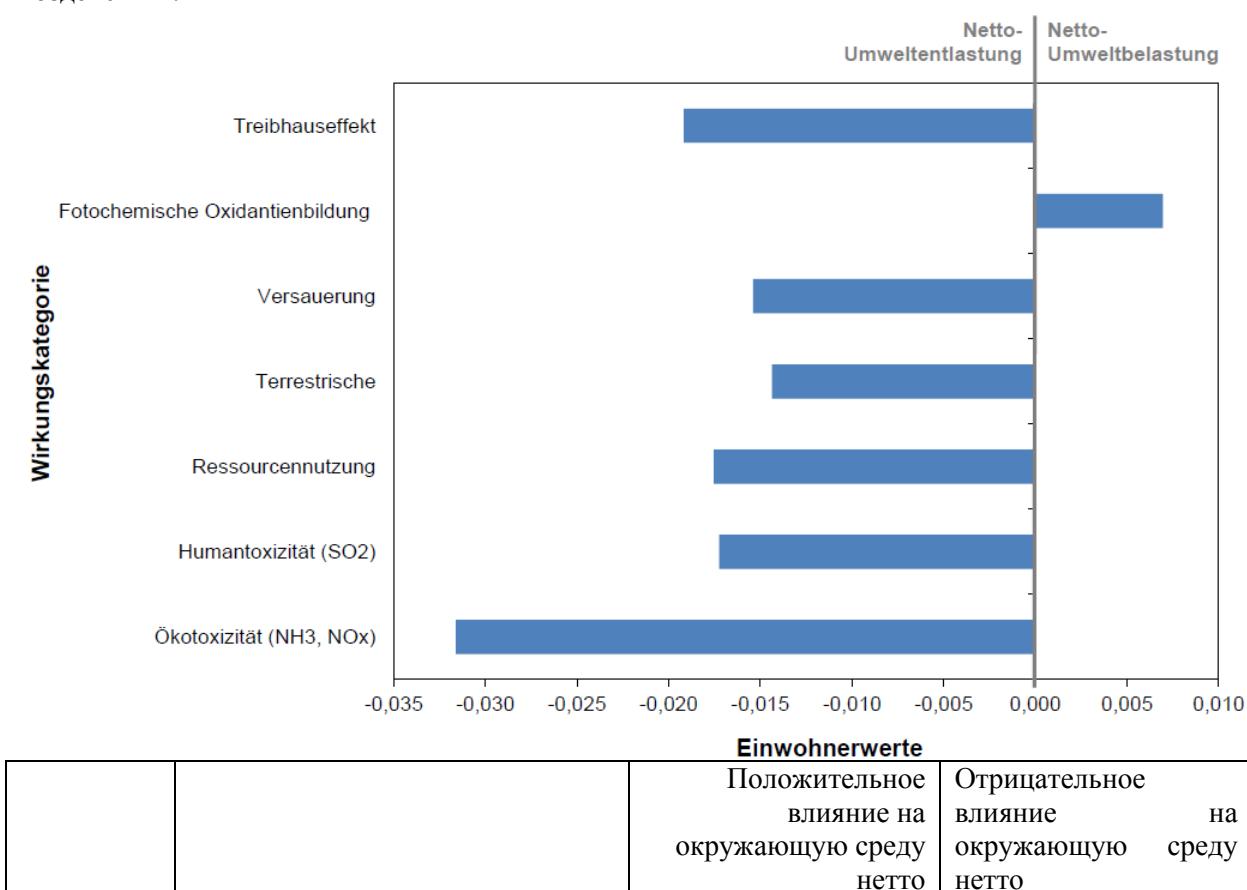
Связанная с обработкой 1 тонны биоматериала методом компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием экономия ресурсов составляет в целом ок. 72 кг в железо-эквиваленте<sup>4</sup>.

Потребление ресурсов на ок. 68% связано с самим процессом компостирования. Причиной является потребление дизельного топлива. Остальное потребление ресурсов в основном (ок. 30%) приходится на переработку вещественных продуктов.

Экономия ресурсов в первую очередь связана с эквивалентными процессами в производстве питательных веществ в виде подкормки. Почти 70% экономии приходится на них. Самая большая доля приходится на замену сырьевого фосфата и фосфатных питательных веществ. Помимо того, производство энергии из высококалорийной фракции способствует экономии на ок. 25%, а замена торфа и гумуса из коры на ок. 5%.

## 6.2. Результаты по всем категориям воздействия

На рисунке 6.4 представлены все результаты нетто по всем рассмотренным категориям воздействия.



<sup>4</sup> Потребление ресурсов в расчете на одного жителя Германии составляет примерно 4,11 тонн в железо-эквиваленте в год

Категория воздействия	Парниковый эффект		
	Образование фотохимических окислителей		
	Окисление		
	Эвтрофикация суши		
	Потребление ресурсов		
	Токсичность для человека (SO <sub>2</sub> )		
	Экотоксичность (NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> )		
	Эквивалент численности населения		

Рисунок 6.4: Результаты по категориям воздействия относительно обработки 1 тонны биоматериала по методу компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием (эквивалент численности населения: 1 эквивалент численности населения – это среднестатистический вклад одного гражданина Германии в какую-либо категорию воздействия или загрязнение отдельным веществом в Германии).

Рисунок 6.4 показывает, что компостирование биоматериала под полупроницаемым мембранным покрытием в рамках шести из семи исследованных категорий воздействия: парниковый потенциал, окисление, эвтрофикация суши, сохранение ресурсов, токсичность для окружающей среды и человека нетто способствует снижению вредных выбросов. Это означает, что положительное влияние на окружающую среду (выгода) благодаря вещественным и энергетическим дополнительным выгодам перевешивает связанное с обработкой биоматериала отрицательное влияние на окружающую среду. Ответственными за это являются, с одной стороны, вещественные и энергетические дополнительные выгоды, которые в основном позволяют избежать выбросов, образующихся при традиционном производстве электроэнергии, азотных и фосфатных удобрений, а также торфа, гумуса коры и кормовых трав. С другой стороны, положительное влияние на окружающую среду – это результат меньших в сравнении с другими методами обработки выбросов метана, закиси азота и аммиака благодаря снижению количества выбросов компостированию под полупроницаемым мембранным покрытием.

Отрицательное влияние образования фотохимических окислителей на окружающую среду в чистом виде связано с выбросами летучих, органических соединений (метан + летучие органические соединения кроме метана) на компостной площадке.

## 7 Воздействие компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием на окружающую среду в сравнении с альтернативными методами обработки

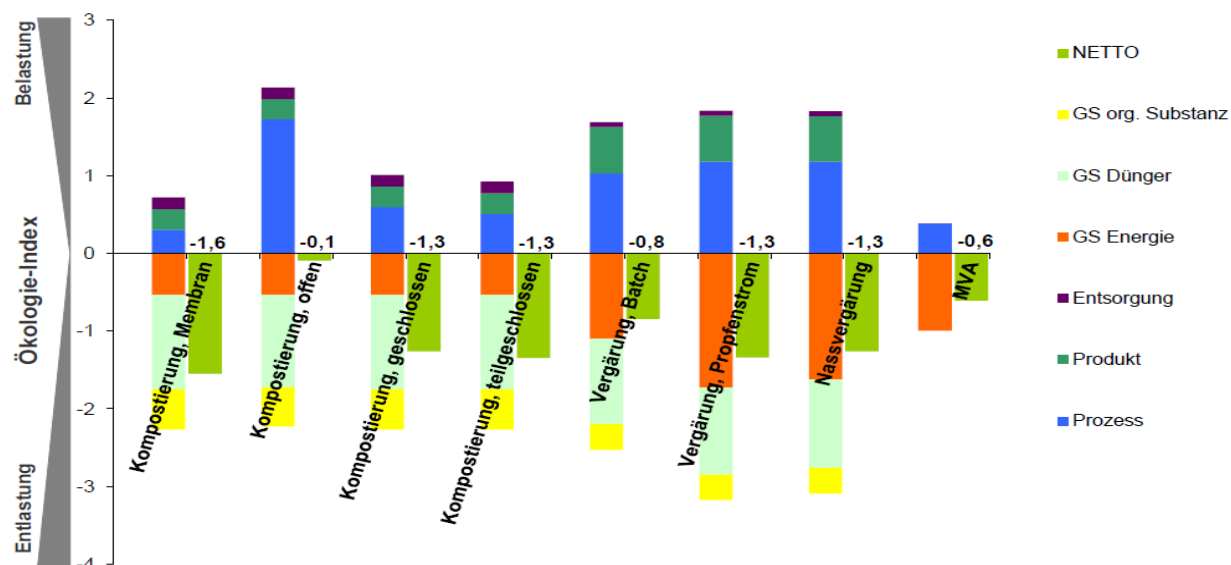
### 7.1. Вводная часть

В этом разделе результаты по отдельным категориям воздействия обобщаются по описанному в приложении методу и противопоставляются воздействию на окружающую среду альтернативных методов обработки биоматериала.

Целью сравнения воздействия на окружающую среду и стоимости с альтернативными методами обработки не является однократное определение предпочтительного метода, а ранжирование метода компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием в сравнении с альтернативными методами компостирования и ферментации. Чтобы ответить на вопрос, какая стратегия обработки является самой экологически эффективной для конкретного

- Открытое компостирование биоматериала (сценарий открытого компостирования)
- Частично закрытое компостирование биоматериала (сценарий частично закрытого компостирования)
- Закрытое компостирование биоматериала (сценарий закрытого компостирования)
- Периодическая сухая ферментация биоматериала с последующим компостированием твердых остатков (сценарий периодической ферментации)
- Постоянная сухая ферментация биоматериала с последующим компостированием твердых остатков (сценарий поршневой проточной ферментации)
- Постоянная влажная ферментация биоматериала с последующим компостированием твердых остатков (сценарий влажной ферментации)
- Термическая обработка биоматериала как части остаточных отходов на мусоросжигательных предприятиях (сценарий сжигания на мусоросжигательных предприятиях)

Рисунок 7.1 показывает, что компостирование под полупроницаемым мембранным покрытием имеет лучший результат, чем альтернативные методы обработки. За исключением открытого компостирования, которое в целом оказывает только незначительное положительное влияние на окружающую среду. В любом случае также альтернативные методы обработки приводят в целом к значительному положительному влиянию на окружающую среду, которое при закрытом и частично закрытом компостировании, а также при поршневой проточной и влажной ферментации приближены к компостированию под полупроницаемым мембранным покрытием.



Отрицательное влияние	Компостирование, с применением мембраны	Компостирование, открытым способом	Компостирование, закрытым способом	Компостирование, частично закрытым	Ферментация, периодическая	Ферментация, поршневой проточный способ	Влажная ферментация	Мусоросжигающее предприятие	<p>НЕТТО</p> <p>Полученная органическая субстанция</p> <p>Полученные</p>
-----------------------	---	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	----------------------------	---	---------------------	-----------------------------	--

Экологический индекс									удобрения
Положительное влияние									Полученная энергия
									Утилизация
									Продукт
									Процесс

Рисунок 7.1: Доля секторов в экологическом индексе компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием, а также альтернативных методов обработки относительно обработки 1 тонны биоматериала

Рисунок 7.1 показывает, что:

- при компостировании под полупроницаемым мембранным покрытием самая большая доля отрицательного влияния на окружающую среду приходится на выбросы в ходе самого процесса. Ок. 43% отрицательного влияния преимущественно приходится на интенсивное и дополнительное вылеживание. Остальная доля отрицательного влияния в основном связана с переработкой вещественных продуктов – свежего и готового компоста. Положительное влияние компостирования путем герметизации с полупроницаемым мембранным покрытием большей частью связано с заменой питательных веществ (ок. 54%). Остальная доля положительного влияния охватывает замену ископаемых источников энергии, а также производство органической субстанции. При изучении общего результата с точки зрения экологии компостирование под полупроницаемым мембранным покрытием оказывает существенное положительное влияние на окружающую среду.

- альтернативные методы компостирования оказывают отрицательное влияние на окружающую среду в основном в виде выбросов в ходе самих процессов компостирования. От 54% до 80% отрицательного влияния преимущественно приходится на интенсивное и дополнительное вылеживание. Остальная доля отрицательного влияния, в первую очередь, приходится на переработку вещественных продуктов – свежего и готового компоста. Положительное влияние на окружающую среду соответствует влиянию, характерному для компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием.

- отрицательное влияние на окружающую среду в процессе ферментации большей частью определяется выбросами в ходе самих процессов. От 60% до 63% всего отрицательного влияния преимущественно приходится на ферментацию и, в частности, на обработку продуктов ферментации. Остальная доля отрицательного влияния, в первую очередь, приходится на переработку жидких и компостированных продуктов ферментации. При периодическом методе обработки положительные результаты имеют примерно одинаковые значения как за счет замены ископаемых источников энергии, так и за счет питательных веществ. Ок. 43% положительного влияния приходится на данные положительные результаты. При поршневом проточном методе обработки и при влажной ферментации положительные результаты, напротив, в основном связаны с заменой ископаемых источников энергии вследствие производства энергии из биогаза и высококалорийной фракции. От 53% до 54% положительного влияния приходится на данные положительные результаты. К остальным положительным результатам относится замена питательных веществ. При изучении общего результата с экологической точки зрения методы ферментации оказывают положительное влияние на окружающую среду.

- при термической переработке на мусоросжигательном предприятии отрицательное влияние на окружающую среду связано почти исключительно с процессом сжигания и положительное влияние – с заменой ископаемых источников энергии. При изучении общего результата с экологической точки зрения термическая переработка на мусоросжигательном предприятии оказывает положительное влияние на окружающую среду.

## 8 Экологическая эффективность компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием в сравнении с альтернативными методами обработки

В рамках анализа экологической эффективности оценка воздействия на окружающую среду совмещена с экономическим анализом.

### 8.1 Стоимость обработки

Под стоимостью в данном исследовании и аналогично BIFA 2013 понимаются расходы нетто, которые несет города и округа при размещении заказов на обработку у сторонних организаций. Заказчиком исследования оцениваются также расходы, которые описывают компостирование под полупроницаемым мембранным покрытием в рамках надлежащей производственной практики. Стоимость сбора отходов здесь не учитывается.

Для сравнения экологической эффективности компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием с альтернативными методами обработки отображается не абсолютная специфическая стоимость обработки, а представленные в таблице 8.1, нормированные по максимальному значению методов обработки баллы индекса стоимости. Взятая за основу стоимость обработки по альтернативным методам следует из текста bifa № 61 «Потенциал экологической эффективности обработки биоотходов в Баварии» [BIFA 2013].

*Таблица 8.1: Принятые баллы индекса стоимости для методов обработки на основе стоимости обработки, соответствующей эксплуатации в рамках надлежащей производственной практики*

Метод обработки	Баллы индекса стоимости
Мусоросжигательное предприятие: термическая обработка биоматериала как части остаточных отходов на мусоросжигательных предприятиях	1
<b>Компостирование под полупроницаемым мембранным покрытием</b>	<b>0,46</b>
Открытое компостирование биоматериала	0,38
Частично закрытое компостирование биоматериала	0,52
Закрытое компостирование биоматериала	0,70
Периодическая ферментация: периодическая сухая ферментация биоматериала с последующим компостированием твердых остатков	0,75
Поршневая проточная ферментация: постоянная сухая ферментация биоматериала с последующим компостированием твердых остатков	0,59
Влажная ферментация: постоянная влажная ферментация биоматериала с последующим компостированием твердых остатков	0,46

Термическая обработка биоматериала как части остаточных отходов является самым дорогостоящим методом. Технически простое, открытое компостирование – это самая экономически выгодная возможность обработки биоматериала. Между частично закрытым, закрытым компостированием и постоянной ферментацией не имеется существенных различий в стоимости с точки зрения эксплуатации в рамках надлежащей производственной практики. В

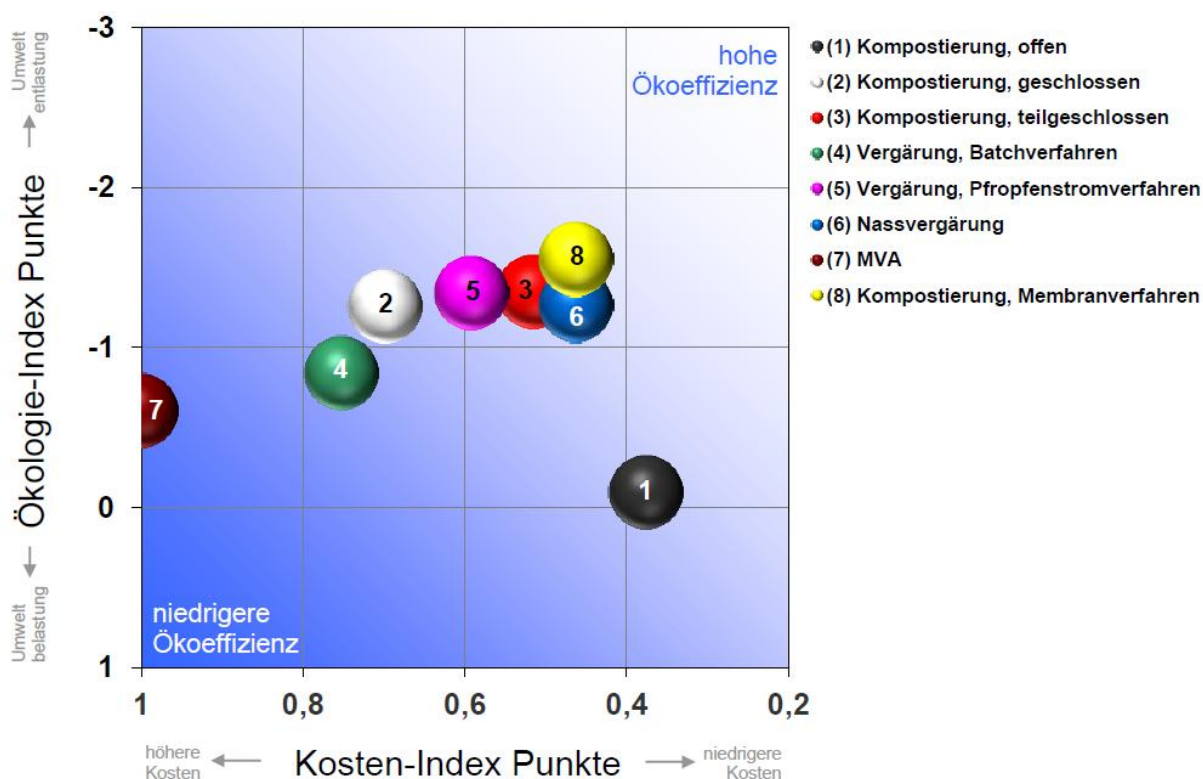
сравнении с обработкой как части бытовых отходов компостирование и ферментация имеют преимущество в отношении стоимости.

Компостирование под полупроницаемым мембранным покрытием располагается с точки зрения стоимости между частично закрытым компостированием и открытым компостированием. По заключению заказчика полученное в рамках данного исследования допущение по стоимости является консервативной оценкой.

## 8.2. Анализ экологической эффективности

Анализ экологической эффективности сопоставляет результат изучения с точки зрения экологического баланса и связанные с обработкой специфические расходы. Для визуализации результатов применяются портфолио экологической эффективности. Портфолио экологической эффективности построен таким образом, что в направлении слева вниз в диаграмме находятся методы с низкой экологической эффективностью (высокие индексы стоимости и положительные экологические индексы, т.е. отрицательное влияние на окружающую среду), в то время как методы с высокой экологической эффективностью (низкие индексы стоимости и отрицательные экологические индексы, т.е. положительное влияние на окружающую среду) находятся в направлении справа вверх.

Портфолио на рисунке 8.1 представляет экологическую эффективность среднестатистической площадки для компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием, противопоставляя ее экологической эффективности среднестатистических площадок, где применяются альтернативные методы обработки биоматериала.



Положительное влияние на окружающую среду	высокая экологическая эффективность	(1)	Компостирование, открытым способом
		(2)	Компостирование, закрытым способом
		(3)	Компостирование, частично закрытым способом
		(4)	Ферментация,

Отрицательное влияние на окружающую среду	Баллы экологического индекса	низкая экологическая эффективность		периодическая (5) Ферментация, поршневой проточный способ (6) Влажная ферментация (7) Мусоросжигательное предприятие (8) Компостирование, мембранный способ	
		более высокая стоимость	Баллы индекса стоимости	более низкая стоимость	

Рисунок 8.1: Портфолио экологической эффективности различных методов обработки биоматериала (экологический индекс  $< 0$  означает положительное влияние на окружающую среду; экологический индекс  $> 0$  означает отрицательное влияние на окружающую среду; индекс стоимости: нормирование обусловленных методом расходов по максимальному значению для изученных методов обработки – ср. таблицу 8.1) Условная единица: обработка 1 тонны биоматериала.

При надлежащей эксплуатации ферментационных и компостных площадок различия с экологической точки зрения между альтернативными методами обработки – за исключением открытого компостирования – минимальны. Компостирование под полупроницаемым мембранным покрытием имеет самый низкий экологический индекс и поэтому при рассмотрении среднестатистической эксплуатации площадки является методом, оказывающим наиболее положительное влияние на окружающую среду.

Закрытое и частично закрытое компостирование, а также поршневой проточный метод и влажная ферментация показывают результаты по выбросам немногим хуже, чем компостирование под полупроницаемым мембранным покрытием. Термическая обработка на мусоросжигательном предприятии и периодическая ферментация, напротив, имеют значительно худшие результаты. Открытое компостирование имеет в целом самый плохой результат.

Если площадка эксплуатируется согласно надлежащей производственной практике, закрытое и частично закрытое компостирование и постоянная ферментация имеют экологические преимущества в сравнении с обработкой биоматериала как составляющей остаточных отходов на мусоросжигательном предприятии.

Как ферментация, так и компостирование биоотходов обладают потенциалом дальнейшего улучшения их экологического баланса в сравнении со среднестатистической эксплуатацией площадок для компостирования путем реализации соответствующих мер. Экологический баланс отдельных площадок для ферментации может быть существенно улучшен путем внедрения технических решений по снижению выбросов – которые часто уже предусмотрены на новых площадках – и путем расширения возможностей использования тепловой энергии или теплоотдачи.

Самым экономически выгодным методом обработки биоматериала является открытое компостирование. С другой стороны, однако, это метод с минимальным положительным влиянием на окружающую среду. Открытое компостирование биоматериала связано с высокими выбросами в ходе самого процесса и поэтому с точки зрения защиты окружающей среды не может быть альтернативой закрытому компостированию.

Что касается индекса стоимости, то за уже упомянутой самой низкой стоимостью открытого компостирования биоматериала следуют почти вровень компостирование под полупроницаемым мембранным покрытием и влажная ферментация, за которыми располагается



частично закрытое компостирование. Самую высокую стоимость имеет термическая переработка на мусоросжигательном предприятии.

## 9 Заключение и выводы

К отрицательному влиянию на окружающую среду компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием относятся сам процесс компостирования, внесение в почву и хранение вещественных продуктов и утилизации остатков. Ему противопоставляется положительное влияние на окружающую среду дополнительных выгод в виде энергии, питательных веществ для подкормки и органической субстанции.

С точки зрения вызванного обработкой отрицательного влияния на первом месте по важности находятся выбросы углеродо- и азотосодержащих соединений в ходе самого процесса обработки. Наряду с этим выбросы аммиака при внесении вещественных продуктов в почву имеют большое значение в рамках отрицательного влияния на окружающую среду.

Положительное влияние на окружающую среду вызвано производством вещественных и энергетических продуктов. Все дополнительные выгоды – производство электроэнергии и тепловой энергии, фосфата и прочих питательных веществ и использование органической субстанции – существенно увеличивают положительное влияние на окружающую среду.

В целом компостирование под полупроницаемым мембранным покрытием оказывает положительное влияние на окружающую среду с учетом таких выгод как производство энергии, питательных веществ и органической субстанции.

Различия компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием в сравнении с закрытым и частично закрытым компостированием и ферментации поршневым поточным и влажным способом с точки зрения защиты окружающей среды при рассмотрении среднестатистической компостной площадки незначительны, однако, имеют большое значение в целях лучшей изоляции компоста. В основном из-за применения мембраны за счет более низких выбросов метана, закиси азота и аммиака в процессе компостирования (ср. таблицу 9.1). В качественном отношении описано снижение выбросов в атмосферу при компостировании под полупроницаемым мембранным покрытием в различных исследованиях. С количественной точки зрения следует обратить внимание на то, что принятое количество выбросов было измерено только на одной компостной площадке.

Таблица 9.1: Выбросы углерода и азота при компостировании и ферментации биоматериала [CUHLS ET AL. 2012]. Значения выбросов действительны для эксплуатации по надлежащей производственной практике.

Метод	Значения для чистого газа [материальные затраты г/т]			
	Метан	Закись азота	Аммиак	Летучие органические соединения кроме метана
<b>Компостирование под полупроницаемым мембранным покрытием</b>	<b>300</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>300</b>
Компостирование открытым способом	1900	110	470	370
Компостирование частично закрытым способом	920	88	82	74
Компостирование закрытым способом	710	68	63	57
Ферментация, периодическая <sup>1</sup>	3000	72	130	360
Ферментация, поршневой проточный способ <sup>1</sup>	3000	72	130	360

Влажная ферментация <sup>1</sup>	3000	72	130	360
<sup>1</sup> В предоставленной bifa неопубликованной версии [CUHLS 2012] отсутствует дифференциация между выбросами по методам ферментации. Так как не имеется других источников, позволяющих осуществить достоверную дифференциацию, bifa принимает указанные факторы эмиссий для всех исследованных методов ферментации.				

Для описания среднестатистической площадки для компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием было допущено, что, в частности, с точки зрения количества и качества компоста не имеется отличий от методов закрытого или частично закрытого компостирования. Для сравнения с закрытым и частично закрытым компостированием взятые за основу данные за исключением выбросов и потребления энергии симметричны.

Без учета изучения воздействия на окружающую среду в рамках рассмотрения экологической эффективности компостирования под полупроницаемым мембранным покрытием может быть разрешено в Германии в буртовой версии или в версии с откидными стенками, если будет предоставлено доказательство того, что оно не уступает в эффективности закрытой системе, что было подтверждено на уже построенной в Германии компостной площадке.

В рамках анализа экологической эффективности оценка воздействия на окружающую среду совмещена с экономическим анализом. Стоимость обработки, описывающая компостирование под полупроницаемым мембранным покрытием по надлежащей производственной практике, располагается между частично закрытым компостированием и открытым компостированием.

## 10 Литература

[BGK 2012] Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.: Годовые медианные значения сертифицированных компостов и продуктов ферментации за 2011 год

[BIFA 2013] bifa Umweltinstitut GmbH: Потенциал экологической эффективности в обработке биоотходов в Баварии. Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und –technik GmbH (bifa) по заказу Баварского государственного министерства по защите окружающей среды, здравоохранению и защите прав потребителей, текст bifa № 61, Аугсбург 2013г

[CUHLS ET AL. 2012] gewitra GmbH – инженерное общество по передаче знаний. Изучение ситуации с выбросами при переработке биоотходов. При поддержке Федерального ведомства по защите окружающей среды. Номера (UFOPLAN) 206 33 326 и 3709 44 320. Заключительный отчет в проекте, состояние на 8.12.2011г.

[DIN 2006] Deutsches Institut für Normung DIN e.V. DIN EN ISO 14044 – экологический менеджмент – экологический баланс – требования и инструкции. Издательство Beuth, Берлин 2006г.

[DIN 2009] Deutsches Institut für Normung DIN e.V. DIN EN ISO 14040 – экологический менеджмент – экологический баланс – принципы и ограничительные условия. Издательство Beuth, Берлин 2009г.

[GORE 2014] W.L. Gore & Associates GmbH: Информация заказчика исследования

[LfL 2012] Ведомство земли Бавария по вопросам сельского хозяйства: Информация из беседы с представителями ведомства, Фрайзинг 2012г.

[UBA 2009] Меммлер М, Морбах Э, Шнайдер С, Дреер М, Хербенер Р.: Баланс выбросов в отношении возобновляемых источников энергии. Федеральное ведомство по защите окружающей среды 12/2009. Дессау-Росслау, октябрь 2009г.

## **Приложение А: Методика изучения с точки зрения экологического баланса**

### **Составление вещественного баланса**

Чтобы обеспечить возможность сравнения методов обработки, наряду с определением функциональной единицы следует также последовательно определить границы изучения для сравниваемых сценариев.

Стандарты составления экологического баланса DIN EN ISO 14040 и DIN EN ISO 14044 [DIN 2009, DIN 2006] определяют процессы, которые были включены в моделируемую систему. В идеальном случае система должна быть смоделирована таким образом, чтобы входы и выходы в границах системы являлись элементарными потоками. Так как во многих случаях не хватает времени, данных и средств, чтобы провести такое объемное исследование, следует принять решение о том, какие процессы будут включены в исследование или какие выбросы в окружающую среду будут учтены и с какой точностью процессы будут изучены или выбросы учтены.

### Процессы

В рамках границ системы необходимо учесть следующие процессы:

- Все процессы обработки описанных фракций бытовых отходов вплоть до возможно необходимой обработки присутствующих после утилизации остаточных или ценных веществ.
- Все связанные с указанными процессами важные потоки веществ и энергии от добычи и подготовки сырья до получения средств производства, по возможности также до утилизации остаточных веществ. В идеальном случае границы системы включают в себя добычу сырья из естественных месторождений, их предоставление для технологических процессов и выведение элементарных потоков в окружающую среду: воду, атмосферу и почву.

«Производство» превратившихся в отходы продуктов не учитывается в рамках границ системы. На выходе граница системы для исследуемых процессов определяется там, где или элементарные потоки снова попадают в окружающую среду, или следует учесть распространенную на рынке дополнительную выгоду системы в виде возможных образующихся веществ или высвобождающейся энергии.

Подготовка и содержание инфраструктуры (строительство, техническое обслуживание и ремонт зданий, машин, промышленных сооружений, транспортных средств и путей сообщения) не учитываются, так как их влияние незначительное.

### Эквивалентные процессы и аллокации

Наряду с утилизацией отходов итогом утилизации могут быть дополнительные выгоды, как, например, электроэнергия и тепловая энергия от термической переработки или питательные вещества и органическая субстанция от переработки веществ. Как следствие, соответствующее количество энергии или продуктов можно не производить традиционным путем из первичного сырья (допускается, что спрос остается на том же уровне). Таким образом можно «сэкономить» или предотвратить воздействие на окружающую среду, связанное с производством каждой отдельной дополнительной выгоды традиционным путем. Чтобы дополнить сравнение систем утилизации, это предотвращенное воздействие на окружающую среду включается в баланс и идет в зачет положительного воздействия на окружающую среду<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Полученные со включением в баланс производства дополнительных выгод традиционным путем элементарные потоки (выгода) вычитаются из воздействия соответствующей системы утилизации на окружающую среду (результат брутто), что приводит к результату нетто. Это значит, что результат нетто может оказаться отрицательным.

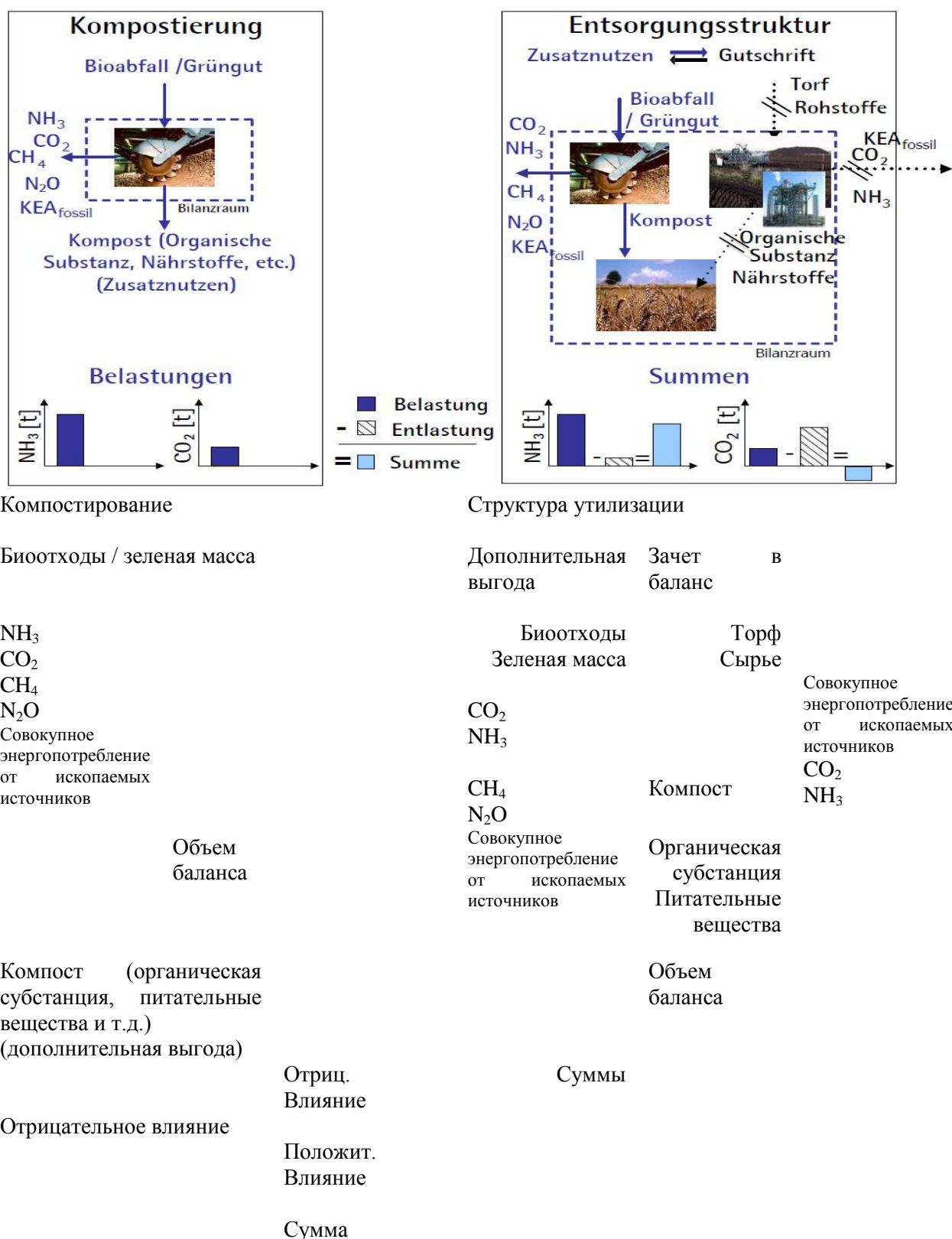


Рисунок А-1: Учет положительного влияния эквивалентных систем при составлении баланса воздействия на окружающую среду на примере компостирования

Традиционный процесс производства дополнительной выгоды обозначается как эквивалентный процесс или эквивалентная система. Для каждой количественно выраженной дополнительной выгоды моделируется специфическая эквивалентная система, которая производит одинаковую или сравнимую выгоду с эквивалентной функцией (ср. приложение D).

### Количественное выражение воздействия на окружающую среду

В рамках оценки воздействия масштабные, экологические результаты вещественного баланса упрощаются в виде следующих шагов и подготавливаются к оценке:

- Выбор изучаемых категорий воздействия (см. отчет)
- Соотнесение результатов вещественного баланса с категориями воздействия (классификация)
- Моделирование данных вещественного баланса в рамках категорий воздействия (характеристика)

Выбор категорий воздействия в рамках изучения данного проекта с точки зрения экологического баланса ориентируется на актуальные знания об окружающей среде и интересы изучения, связанные с проектом.

С отдельными категориями воздействия должны быть соотнесены параметры вещественного баланса. Соответствующие результаты вещественного баланса причисляются к одному или нескольким результатам индикаторов воздействия или непосредственно используются как результат индикатора воздействия. Подробное описание выбранных для этого исследования категорий воздействия содержится в Приложении В.

Представленные в таблице А-1 виды воздействия обработки биоматериала не учитываются в рамках оценки воздействия.

*Таблица А-1: Разъяснение к не принимаемым во внимание видам воздействия на окружающую среду*

Воздействие на окружающую среду	Разъяснение о причинах непринятия во внимание
Попадание тяжелых металлов в почву при внесении компоста	<p>Содержание нежелательных тяжелых металлов в сертифицированных компостах ниже минимального предела согласно Распоряжению о биоотходах [...], иногда существенно ниже. Обусловленное минимальным выводом тяжелых металлов через собираемый урожай, постоянно в почве сохраняется положительное сальдо, которое имеет абсолютно незначительное значение и которое допустимо с точки зрения защиты почв.</p> <p>Содержание нежелательных тяжелых металлов по результатам полевых испытаний не увеличилось после внесения компоста в течение 9 и 12 лет [LTZ 2008, страница 15 и далее].</p>
Попадание органических вредных веществ в почву при внесении компоста	<p>Многолетние регулярные исследования используемых компостов на устойчивые полихлорированные бифенилы и полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны показывают, что содержание находится на абсолютно незначительном уровне и в рамках фонового загрязнения. Также не было доказано накопление в почве прочих органических вредных веществ (полициклические ароматические углеводороды и др.) в результате многолетнего использования компоста [LTZ 2008, страница 16 и далее].</p>
Эвтрофикация водоемов	<p>bifa исходит из того, что просачивающаяся вода при компостировании и ферментации не попадает в почву неочищенной. Соответствующие системы герметизации, обработки и переработки при обработке биоотходов соответствуют современному уровню техники. Не перерабатываемые на самой площадке просачивающиеся воды подвергаются очистке перед сбросом.</p>

	Возможное попадание питательных веществ в водоемы в избыточном количестве через неочищенные просачивающиеся воды имеет второстепенное значение и не рассматривается.
Фитотоксичность	<p>Для количественного выражения вредоносности компоста для культурных растений (сальмонеллы, болезни растений) в экологических балансах отсутствуют модели. Поэтому такое вредное воздействие можно не принимать во внимание.</p> <p>Примечания к дискуссии о количественном выражении содержатся в [KUPPER &amp; FUCHS 2007].</p>

## Приложение В: Описание категорий воздействия

### Парниковый эффект

Парниковый эффект – это отрицательное воздействие на окружающую среду в виде нагревания атмосферы Земли и уже подробно описанное в соответствующих справочных материалах [IPCC 1995, IPCC 2001, IPCC 2007]. С научной точки зрения причины парникового эффекта в целом известны. Предметом дискуссии, однако, является влияние человека на эти причины, так называемый парниковый эффект антропогенного происхождения. Применяемый до настоящего времени индикатор в экологических балансах – это потенциал излучения [CML 1992, KLÖPPFER UND RENNER 1995], который указывается в CO<sub>2</sub>-эквиваленте. Этот метод определения считается общепринятым.

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC) представляет собой международный совет экспертов, который рассчитывает и дополняет как метод, так и соответствующие параметры для каждой влияющей на климат субстанции. Дополненные Межправительственной группой экспертов по изменению климата отчеты в новейшей редакции используются как научная основа для инструментализации парникового эффекта.

Используемые растения связывают углерод из атмосферы, который высвобождается в ходе разложения или сжигания. Эти выбросы CO<sub>2</sub> согласно конвенции Межправительственной группы экспертов по изменению климата не учитываются в создании парникового эффекта, так как при этом высвобождается столько же CO<sub>2</sub>, сколько было взято из атмосферы при росте растения. Временное связывание CO<sub>2</sub> в растении или в произведенном из него материале, как правило, ограничивается не более, чем несколькими десятилетиями, и поэтому ввиду длительных интеграционных периодов не учитывается при расчете парникового эффекта.

При расчете CO<sub>2</sub>-эквивалентов учитывается время нахождения газов в тропосфере. Поэтому возникает вопрос, какой период времени расчета климатической модели должен применяться при составлении экологического баланса. Существуют модели на 20, 50 и 100 лет. Расчеты моделей на 20 лет основываются на достоверной прогнозной базе. Федеральное ведомство по защите окружающей среды рекомендует моделирование на 100 лет, так как оно наиболее близко отражает долгосрочное воздействие парникового эффекта. Оно было применено и в этом проекте. Наряду с непосредственными эффектами учитывались также и опосредованные эффекты, когда, например, метан распадается с образованием диоксида углерода.

В таблице А-2 представлены важнейшие, учтенные в расчетах парникового потенциала парниковые газы и их CO<sub>2</sub>-эквиваленты.

Таблица А-2: Парниковый потенциал важных в рамках данного проекта парниковых газов

Парниковый газ	Парниковый потенциал – 100 лет [кг CO <sub>2</sub> -эквиваленты/кг]
Метан регенерированный	25
Метан ископаемый	27,25
Монооксид закиси азота	298
Диоксид углерода ископаемый	1

Вклад в рост парникового эффекта рассчитывается путем суммирования производного вычисленного количества отдельных парниковых газов (m<sub>i</sub>) и соответствующего парникового потенциала (GWP<sub>i</sub>) по следующей формуле

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

### Образование фотохимических окислителей

Категория воздействия «образование фотохимических окислителей»<sup>6</sup>, выраженная в этилен-эквиваленте, описывает образование озона вблизи поверхности земли, который классифицируется как вредный газ и подозревается в том, что приводит к повреждениям растений и материалов, а также наносит вред здоровью человека.

В таблице А-3 представлены учтенные в данном проекте субстанции и их потенциалы образования озона. Приведены только одностовные субстанции, для которых определен коэффициент эквивалентности этилену. Для веществ не точно специфицированных углеводородов, которые часто упоминаются в литературе, применены взятые из CML 1992 и SCHMITZ ET AL. 1995 средние значения эквивалентности. Для оксидов азота коэффициент эквивалентности отсутствует, так как они служат только катализатором при образовании озона под влиянием солнечного света.

Таблица А-3: Потенциал образования озона из субстанций, рассмотренных в рамках данного проекта

Субстанция	Потенциал образования озона [кг этилен-эквивалент/кг]
Ацетилен	0,168
Бензол	0,22
Этанол	0,268
Этилацетат	0,218
Этилен	1
Формальдегид	0,52
Метан	0,006
Пропан	0,42
Летучие органические соединения кроме метана неспецифические	1
Летучие органические соединения специфические	0,377

Потенциал образования озона рассчитывается путем суммирования производного вычисленного количества отдельных субстанций ( $m_i$ ) и соответствующего потенциала образования фотохимического озона РОСР (РОСР<sub>i</sub>) по следующей формуле

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

### Окисление

Окисление может возникнуть как в почвенных, так и в водных системах. Причиной являются выбросы кислотообразующих субстанций. Выбранный в CML 1992 и KLÖPPFER & RENNER 1995 индикатор воздействия «кислотообразующий потенциал» рассматривается как

<sup>6</sup> Также потенциал образования озона [CML 1992]



адекватный для оценки этого воздействия на окружающую среду. Единицей измерения кислотообразующего потенциала обычно считаются SO<sub>2</sub>-эквиваленты.

В таблице А-4 перечислены учтенные в данном проекте вредные вещества и их кислотообразующий потенциал в SO<sub>2</sub>-эквиваленте.

*Таблица А-4: Кислотообразующий потенциал рассматриваемых в рамках данного проекта веществ*

Вредное вещество	Кислотообразующий потенциал [кг SO <sub>2</sub> -эквиваленты/кг]
Оксиды азота	0,7
Хлороводород	0,88
Диоксид серы	1
Фтороводород	1,6
Аммиак	1,88
Сероводород	1,88

Вклад в кислотообразующий потенциал рассчитывается путем суммирования производного вычисленного количества отдельных веществ (m<sub>i</sub>) и соответствующего кислотообразующего потенциала AP (AP<sub>i</sub>) по следующей формуле

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

### Эвтрофикация суши

Категория воздействия «эвтрофикация суши» обозначает поступление питательных веществ в избыточном количестве как в водоемы, так и в почву. Так как эти две разные среды окружающего мира затрагиваются разным образом, при составлении экологического баланса делается разделение на эвтрофикацию водоемов и эвтрофикацию почвы. При этом в целях упрощения следует исходить из того, что все выброшенные в атмосферу питательные вещества приводят к избыточному количеству питательных веществ в водоемах. Так как введение питательных веществ в водоемы через выбросы в атмосферу незначительное в сравнении с введением через сточные воды, с этим предположением не может быть связано никакой существенной ошибки.

В данный анализ экологического баланса включена только категория воздействия «эвтрофикация суши».

Первичным воздействием эвтрофикации является постоянное увеличение биологического производства биомассы (например, водорослей, растений). Из-за отмирания биомассы образуется органический материал, способствующий развитию микробных, в первую очередь, аэробных процессов разложения.

Для расчета нежелательного введения питательных веществ применяется индикатор «потенциал эвтрофикации» с единицей измерения – фосфат-эквиваленты [CML 1992, KLÜPFER & RENNERT 1995]. Это относительная единица измерения способности субстанции к образованию биомассы.

В таблице А-5 приведены включенные в расчет потенциала эвтрофикации вещества и их характеристические факторы.

*Таблица А-5: Потенциал эвтрофикации рассмотренных в рамках данного проекта веществ*

Питательная субстанция	Потенциал эвтрофикации [кг PO <sub>2</sub> -эквиваленты/кг]
Диоксиды азота	0,13
Аммиак	0,35

Для поступления питательных веществ в почву вклад в потенциал эвтрофикации рассчитывается путем суммирования производного количества выбросов отдельных веществ ( $m_i$ ) и соответствующего потенциала загрязнения нутриентами NP ( $NP_i$ ) по следующей формуле

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

### Токсичность для человека и живых организмов

Собранные в вещественном балансе данные по токсичным выбросам представляют собой количество вредных веществ. Количество вредных веществ приводится в экологическом балансе безотносительно к пространственным единицам. Поэтому данные вещественного баланса не связаны с изучением конкретной экспозиции. Тем самым, классические инструменты токсикологического изучения, например, анализ рисков или оценка воздействия на окружающую среду, не могут быть непосредственно применены в рамках экологического баланса.

Методический подход к описанию и обобщению множества видов токсичного воздействия отдельных токсичных веществ не имеет всеобщего признания. В основном возникает вопрос, возможна ли вообще реализация подхода с намерением достоверно описать весь токсикологический спектр.

По этой причине в данном исследовании для оценки токсичности для человека были взяты данные вещественного баланса по диоксиду серы.

### Токсичность для живых организмов и экосистем (экотоксичность)

В принципе, здесь возникают те же проблемы, как и при определении токсичности для человека. Поэтому взяты данные вещественного баланса по аммиаку и оксидам азота.

### Потребление ресурсов

Для оценки потребления ресурсов в основном необходимо учитывать следующие аспекты:

- долгосрочная доступность для использования человеком (объект охраны «Ресурсы»)
- связанное с добычей и использованием ресурсов отрицательное влияние на окружающую среду и грозящее при снижающейся доступности увеличение отрицательного влияния на окружающую среду (объекты охраны «структура и функционирование экосистем» и «здоровье человека»)

Оценка реального и потенциального отрицательного влияния на окружающую среду относительно объектов охраны «экосистемы» и «здоровье человека» может быть выполнена на основании признанных индикаторов для описания воздействия на окружающую среду. В свою очередь, для оценки доступности существуют подходы, которые только условно пригодны для интегрированной, т.е. выходящей за рамки исключительно рассмотрения доступности, оценки потребления ресурсов, или не могут быть применены как единый индикатор. По этой причине bifa разработала модель для оценки доступности энергетического и абиотического сырья. Оценка доступности вида сырья проводится в рамках анализа ценности по следующим 3 целевым критериям:

- доступность
- преобладающий способ использования
- заменимость

Без сомнения, необходимо наряду с оценкой доступности сырья обратить внимание на опции «расширения» доступности первичного сырья путем более эффективного потребления, замены более распространенным сырьем, повторного использования и в целом на технологические инновации<sup>7</sup>. Не только ограниченность сырья является проблемой, но и обращение с сырьем.

Для важных в рамках данного исследования видов сырья и источников энергии в таблице А-6 приведены целевые величины по каждому из указанных критериев.

Таблица А-6: Характеристика видов сырья и источников энергии на основе целевых критериев

Ресурс	Статическая доступность [а] [DERA 2011, BGR 2007 или USGS 2012]	Превалирующий способ использования Оценки bifa и [ECEI 2010]	Заменимость Оценки bifa и [ECEI 2010]	Резервы [млн. тонн] [DERA 2011, BGR 2007 или USGS 2012]
Каменный уголь	95 <sup>1)</sup>	Деструктивное использование	В основном заменим	605 000 <sup>1)</sup>
Бурый уголь	375 <sup>1)</sup>	Деструктивное использование	В основном заменим	375 000 <sup>1)</sup>
Природный газ	58 <sup>1)</sup>	Деструктивное использование	В основном заменим	158 760 <sup>1)</sup>
Нефть	43 <sup>1)</sup>	Деструктивное использование	В основном заменим	169 000 <sup>1)</sup>
Алюминий	142 <sup>2)</sup>	Устойчивое повторное использование Квота ЕС – 35%	В основном заменим	6250 <sup>2)</sup>
Железо	100 <sup>2)</sup>	Устойчивое повторное использование Квота ЕС – 22%	В основном заменим	79 000 <sup>2)</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	372 <sup>3)</sup>	Диссипативное использование	Нет, с серьезными последствиями для удовлетворения основных потребностей будущих поколений	17 488 <sup>3)</sup>

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

Дополнительно целевые величины классифицируются и оцениваются в баллах. Таким образом высчитываются целевые значения. Оценка в рамках балловой шкалы целевых величин осуществляется таким образом, что выражения целевых величин, которые описывают обострение ограниченности ресурсов, соотносятся с большим количеством баллов. Для взвешенной оценки целевых значений bifa допускает, что все целевые критерии имеют одинаковое влияние на оценку долгосрочной доступности и соответственно должны одинаково взвешиваться. В таблице А-7 представлено соотнесение целевых величин с балловой шкалой.

Таблица А-7: Оценка долгосрочной доступности сырья и источников энергии. Расчет целевых значений по целевым величинам и соотнесение с балловой шкалой

Статическая	Превалирующий способ	Заменимость	(индекс)	Балловая шкала
-------------	----------------------	-------------	----------	----------------

<sup>7</sup> Ср. [MaRes, стр. 17]

доступность	использования	заменяемости - SI)	
Почти истощен (<25 лет)	Деструктивное использование	Нет, с серьезными последствиями для удовлетворения основных потребностей будущих поколений (SI=3)	<b>10</b>
Очень малые запасы (<50 лет)	Диссипативное использование / незначительное повторное использование		<b>8</b>
Малые запасы (<75 лет)		Нет, с серьезными последствиями для удовлетворения основных потребностей будущих поколений (SI=2)	<b>6</b>
Средние запасы (<100 лет)			<b>4</b>
Большие запасы (<125 лет)	Устойчивое повторное использование (квота ЕС больше 20%)	Нет, с серьезными последствиями для удовлетворения основных потребностей будущих поколений (SI=1)	<b>2</b>
Очень большие запасы (>125 лет)		В основном заменим (SI<1)	<b>0</b>
<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>Взвешивание</b>

Для каждого вида сырья и источника энергии осуществляется взвешенное суммирование целевых значений для безразмерного числового показателя для оценки долгосрочной доступности (ср. таблицу А-8). Чем больше взвешенная сумма трех целевых значений, тем выше ограниченность с учетом долгосрочной доступности данного вида сырья при добыче единицы из месторождения.

Таблица А-8: Оценка долгосрочной доступности сырья и источников энергии. Целевые значения

Ресурс	Статическая доступность	Превалирующий способ использования	Индекс заменяемости [ECEI 2010] и оценка bifa	Сумма
Каменный уголь	4	10	0	<b>3,5</b>
Бурый уголь	0	10	0	<b>2,5</b>
Природный газ	6	10	0	<b>4</b>
Нефть	8	10	0	<b>4,5</b>
Алюминий	0	2	0	<b>0,5</b>

Железо	4	2	0	<b>1,5</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	8	10	<b>7,0</b>
Взвешивание	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,5</b>	

Сумма взвешенных вкладов 3 целевых критериев в дальнейшем обозначается как потенциал истощения ресурса. Безразмерная формулировка потенциала истощения ресурса оставляет без внимания абсолютно доступное количество ресурса<sup>8</sup>. Поэтому bifa учитывает аналогично подходу в [GUINEÉ 1995, стр. 97] дополнительно как обратное взвешивание запас сырья или источника энергии в количественном выражении в тоннах соответствующего ресурса. Взвешивание потенциала истощения ресурса на основе имеющегося резерва представлено в таблице А-9. Путем нормирования взвешенных потенциалов истощения ресурса по взвешенному потенциалу истощения ресурсов железа в качестве единицы измерения потенциала истощения ресурса вычисляются железо-эквиваленты.

Таблица А-9: Взвешивание потенциала истощения ресурса на основе имеющегося резерва

Ресурс	Потенциал истощения ресурса	Резервы согласно [DERA 2011, BGR 2007 USGS 2012] [млн. тонн]	Взвешенный потенциал истощения ресурса <u>нормированный по железу</u> [железо-эквиваленты]
Каменный уголь	<b>3,5</b>	605 000	0,30
Бурый уголь	<b>2,5</b>	375 000	0,35
Природный газ	<b>4,0</b>	158 760	1,3
Нефть	<b>4,5</b>	169 000	1,4
Алюминий	<b>0,5</b>	6250	4,2
Железо	<b>1,5</b>	79 000	1,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<b>7,0</b>	17 488	21,1

Потребление фосфата показывает в сравнении с релевантными в рамках исследования ресурсами самый высокий потенциал истощения ресурса. Причиной, которая несмотря на высокую доступность приводит к высокому потенциалу истощения ресурса, является отсутствующая заменимость фосфата в превалирующих способах использования (удобрения).

<sup>8</sup> Сравни [GUINEÉ 1995, стр. 97] Более сложной проблемой является то, доля в резерве не оценена. Предположим, что для выполнения определенной функции имеется выбор между применением 1 кг ресурса А и 1 кг ресурса В, каждый из которых имеет коэффициент кратности запасов (R/P) в 20 лет. На основании только этих данных ресурсы А и В выглядят одинаково привлекательными с точки зрения истощения запасов. Однако, при более внимательной проверке данных соотношения кратности запасов видно, что для ресурса А R=109 кг (а P=5x107 кг/год), а для ресурса В R=100 кг (а P=5 кг/год). Теперь легко заметить, что для выполнения указанной функции ресурс А предпочтителен, так как добыча 1 кг менее влияет на резерв ресурса А.

## Приложение С: Агрегация параметров индикатора воздействия или вещественного баланса в экологический индекс

### Принцип согласно DIN EN ISO 14040/14044

#### Общие положения

Для лучшего понимания стратегии расчета экологического индекса сначала следует представить соответствующую стандартам оценку экологических балансов и основанную на этом методику UBA.

Завершает экологический баланс шаг оценки, который согласно DIN EN ISO 14040/14044 [DIN 2009, DIN 2006] должен быть выполнен в вербально-аргументационной форме. Исходя из результатов вещественного баланса и оценки воздействия, а также в соответствии с целью и рамками исследования результаты экологического баланса должны быть представлены в доступном, наглядном и понятном виде. Путем графической обработки результатов и их описания и анализа определяются важные для оценки исследованных систем анализа с точки зрения защиты окружающей среды параметры. Для этого сравниваются различные сценарии на основе их результатов, изучается происхождение результатов и выполняется секторный анализ и анализ чувствительности. Дополнительно при оценке проводится проверка полноты и корректности релевантной информации и предоставленных для оценки данных. На этой основе оцениваются исследуемые системы в отношении их релевантности для окружающей среды и указываются слабые места, а также потенциал оптимизации.

Как опциональные составляющие в стандарте описываются шаги нормирования, систематизации и взвешивания. При этом следует обратить внимание на то, что взвешивание, т.е. «преобразование результатов индикаторов с применением численных коэффициентов, основывающихся на значениях», не может быть применено для сравниваемых экологических балансов, предназначенных для публикации. Предпринятое *bifa* модифицирование состоит в том, что применяется не соответствующий стандарту, опциональный шаг взвешивания для агрегации экологических единичных результатов.

Для соответствующей стандартам оценки экологического баланса может помочь методика Федерального ведомства по защите окружающей среды. При наличии достоверных нормированных результатов индикаторов воздействия категории воздействия классифицируются и приводятся в порядке приоритетности. При этом категории воздействия – вне рамок привязанной к проекту, приведенной в таблице A-11, общей иерархии (ранжирование) – оцениваются в шаге нормирования также в отношении их релевантности для конкретного проекта.

Ранжирование выполняется на основе общих критериев «*экологическая опасность*» и «*расстояние до цели*». Для нормирования вычисляется соотношение между результатом индикатора воздействия и референсным значением для категорий воздействия. Референсные значения – это агрегированные с характеристическими факторами годовые значения для соответствующих веществ в Германии. Из агрегации общих критериев «экологическая опасность» и «расстояние до цели», а также специфических для проекта эквивалентов численности населения следует специфическая для проекта экологическая приоритетность рассмотренных категорий воздействия [ср. KOLS-HORN & FEHRENBACH 2000]. Как нормирование, так и ранжирование представляют собой важные шаги для заключительной оценки результатов экологического баланса. Оценка также опирается на систематический анализ результатов относительно их важности, полноты и чувствительности.

#### Нормирование: специфический вклад категорий воздействия

Рассчитанные в рамках нормирования для каждой категории воздействия эквиваленты численности населения позволяют осуществить сравнение различных индикаторов категорий воздействия по порядку величины. Чем выше эквивалент численности населения, тем большее значение имеет эта категория воздействия для оценки рассматриваемых систем с точки зрения экологии касательно их относительного вклада в отрицательное влияние на окружающую среду. И использованные для нормирования результатов данного проекта референсные значения приведены в таблице A-10.

Таблица А-10: Основания для расчета специфического вклада – общее количество выбросов и потребления в Германии и среднее значение отрицательного влияния на окружающую среду в расчете на каждого жителя в год

Параметр	Германия	Отрицательное влияние на окружающую среду в расчете на каждого жителя в год
Парниковый эффект	930 287 431 тонн в CO <sub>2</sub> -эквиваленте в год <sup>2</sup>	11,3 тонн в CO <sub>2</sub> -эквиваленте в год
Образование фотохимических окислителей	1 291 900 тонн в этилен-эквиваленте в год <sup>2</sup>	15,8 кг в этилен-эквиваленте в год
Окисление	2 771 501 тонн в SO <sub>2</sub> -эквиваленте в год <sup>2</sup>	33,8 кг в SO <sub>2</sub> -эквиваленте в год
Эвтрофикация суши	435 403 тонн в PO <sub>4</sub> -эквиваленте в год <sup>2</sup>	5,3 кг в PO <sub>4</sub> -эквиваленте в год
Выбросы аммиака	624 230 тонн в год <sup>2</sup>	7,6 кг в год
Выбросы диоксида серы	493 563 тонн в год <sup>2</sup>	6,0 кг в год
Выбросы оксида азота	1 294 266 тонн в год <sup>2</sup>	125,8 кг в год
Потенциал истощения ресурса	373 510 470 тонн в железо-эквиваленте в год <sup>3)</sup>	4,56 тонн в железо-эквиваленте в год
<sup>1</sup> База: 81 946 000 жителей (состояние на 31.08.2012г.) <sup>2)</sup> KAUERTZ ET AL. 2010 <sup>3)</sup> Референсное значение для потенциала истощения ресурса рассчитывается на основе потребления в Германии для ископаемых источников энергии и фосфата с учетом относящегося к каждому ресурсу потенциалу истощения ресурса (см. таблицу А-9)		

#### Ранжирование: выстраивание иерархии категорий воздействия

В таблице А-11 представлена оценка отдельных категорий по критериям «экологическая опасность» и «расстояние до цели», выполненная Федеральным ведомством по защите окружающей среды.

- Экологическая опасность: какое значение должно быть назначено отдельным категориям на современном уровне развития науки, а также чувствительности населения или политики?
- «Расстояние до защищаемой цели» («distance-to-target»): насколько далека актуальная ситуация с окружающей средой от экополитического целевого плана (цели по защите окружающей среды, качественные показатели состояния окружающей среды, целевые показатели снижения выбросов и потребления и др.)?

Таблица А-11: Выстраивание иерархии категорий воздействия по «экологической опасности» и «расстоянию до цели», выполненное Федеральным ведомством по защите окружающей среды [KOHLSHORN & FEHRENBACH 2000].

Категория воздействия	Экологическая опасность	Расстояние до цели
Парниковый эффект	A	A
Образование фотохимических окислителей	D	B
Окисление	B	B

Эвтрофикация суши	В	В
Совокупное энергопотребление	С	В
Потребление ископаемых источников энергии	С	В
Токсичность для человека и организмов	Оценка на основе отдельных параметров вещественного баланса	
Токсичность для организмов и экосистем (экоотоксичность)	Оценка на основе отдельных параметров вещественного баланса	
А = высшая приоритетность D = низшая приоритетность		

## Расчет экологического индекса

### Шаг 1 – нормирование

Исходным пунктом для агрегации отдельных результатов индикаторов воздействия и вещественного баланса одного сценария являются эквиваленты численности населения, которые рассчитываются по соответствующим результатам индикаторов воздействия и вещественного баланса и соответствующих совокупных выбросов в Германии (ср. таблицу А-10). Таким образом определяется специфический вклад категории воздействия. Положительные эквиваленты численности населения представляют отрицательное влияние на окружающую среду, в то время как отрицательные эквиваленты численности населения обозначают положительное влияние на окружающую среду.

### Шаг 2 – ранжирование

Путем повторного нормирования полученных эквивалентов численности населения по максимальному эквиваленту численности населения осуществляется ранжирование специфических вкладов. Для заключительного ранжирования нормированные по максимальному эквиваленту численности населения специфические вклады соотносятся соответственно их процентной доле в баллах максимального эквивалента численности населения. Отрицательные баллы обозначают положительное влияние на окружающую среду. Примеры приведены в таблице А-12.

Таблица А-12: Примеры распределения баллов при ранжировании эквивалентов численности населения

Доля в максимальном эквиваленте численности населения	Количество баллов	Доля в максимальном эквиваленте численности населения	Количество баллов
100%	10	-3,7%	-0,37
79,5%	7,95	-39,1%	-3,91
15,7%	1,57	-82,4%	-8,24
0,6%	0,06	-100%	-10

Помимо специфического вклада метод UBA для оценки экологических балансов для каждой категории воздействия предлагает два других, независимых от проекта критерия, которые применяются для ранжирования. Этими критериями являются «экологическая опасность» и «расстояние до цели». Ранжирование на основании этих независимых от проекта критериев осуществляется по 5-ступенчатой шкале (ср. таблицу А-11). В рамках данного проекта



приоритетам независимых от проекта критериев причисляются твердые баллы (см. таблица А-13). Это позволяет выполнить заключительное обобщение с нормированными специфическими вкладами.

*Таблица А-13: Распределение баллов при независимых от проекта критериях «экологическая опасность» и «расстояние до цели»*

Приоритет «экологической опасности» или «расстояния до цели»	Количество баллов
A	10
B	8
C	6
D	4
E	2

### Шаг 3 – обобщение

Обобщение зависящего от системы, включенного в баланс критерия «нормированный специфический вклад» с двумя независимыми от системы критериями «экологическая опасность» и «расстояние до цели» для каждой категории воздействия осуществляется путем умножения рассчитанных баллов абсолютной суммы «нормированного специфического вклада» и суммы баллов, определенных для «экологической опасности» и «расстояния до цели».

### Шаг 4 – суммирование

Путем суммирования полученных таким образом частичных сумм по каждой рассмотренной категории воздействия или параметру вещественного баланса одного сценария рассчитывается экологический индекс. Чем выше экологический индекс сценария, тем выше связанное со сценарием воздействие на окружающую среду. Отрицательные экологические индексы обозначают положительное влияние на окружающую среду.

## Приложение D: Описание эквивалентных систем

### Производство электрической и термической энергии

Для традиционного производства электроэнергии, тепловой энергии и технологического тепла рассматривается эквивалентная система, в которой дополнительная выгода от

- переработки биогаза для получения энергии на тепловых электростанциях,
- обработки высококалорийного материала для получения энергии на тепловых электростанциях, работающих на биомассе и
- термической обработки биоматериала как составляющей остаточных отходов на мусоросжигательных предприятиях рассчитывается по маргинальному принципу [UBA 2009]. Эта новая методическая разработка соответствует лежащему в основе методу расчета зачетов в баланс: использовать насколько возможно подробную информацию вместо обращения к среднестатистическим принципам.

В таблице A-14 и таблице A-15 представлено обобщение для учитываемых источников энергии.

*Таблица A-14: Эквивалентные системы для расчета дополнительной выгоды – электроэнергия от переработки биогенных источников энергии для целей получения энергии*

Источник энергии	Электроэнергия от переработки для получения энергии		
	биогаза на тепловых электростанциях	высококалорийного материала на тепловых электростанциях, работающих на биомассе	биоматериала на мусоросжигательных предприятиях
Каменный уголь	66%	73%	73%
Бурый уголь	1%	2%	2%
Природный газ	32%	25%	25%
Нефть	1%	-	-

*Таблица A-15: Эквивалентные системы для расчета дополнительной выгоды – тепловая энергия и технологический пар от переработки биогенных источников энергии для целей получения энергии*

Источник энергии	Тепловая энергия от переработки биогаза на тепловых электростанциях для получения энергии	Тепловая энергия и технологический пар от переработки для целей получения энергии	
		высококалорийного материала на тепловых электростанциях, работающих на биомассе	биоматериала на мусоросжигательных предприятиях
Каменный уголь	6%	-	-
Природный газ	46%	-	-
Нефть	48%	-	-
Тепловая энергия	-	100%	100%

Для расчета дополнительных выгод от термической обработки нежелательных примесей на мусоросжигательных предприятиях не имеется никаких данных о маргинальных принципах. Как эквивалентный процесс рассматривается среднестатистическое производство электроэнергии,

тепловой энергии и технологического тепла в Германии согласно приведенным в таблице А-16 источникам энергии.

Таблица А-16: Среднестатистическое производство электроэнергии, тепловой энергии и технологического тепла в Германии [BMW 2011, FRITSCHE 2011]

Источник энергии	Среднестатистическое производство	Среднестатистическое производство тепловой энергии		Среднестатистическое производство технологического пара
		тепловые электростанции	станции теплоснабжения	
Каменный уголь	18,7%	34,4%	1%	22%
Бурый уголь	23,7%	10,9%	0,1%	4%
Природный газ	13,6%	36,6%	9,1%	61,5%
Мазут тяжелый	1,2%	-	-	6,5%
Мазут легкий	-	-	1,1%	6%
Атомная энергия	22,6%	-	-	-
Вода	4,2%	-	-	-
Ветер	5,9%	-	-	-
Древесина	2,4%	-	-	-
Солнечная энергия	1,9%	-	-	-
Отходы	0,8%	5,4%	-	-
Доменный газ	2,4%	-	-	-
Биогаз	2,1%	-	-	-
Прочее	0,5%	-	1,3%	-

## Добыча торфа

Ценным свойством торфа является исключительно высокая доля органической субстанции (100% сухой массы). Составляющие в виде питательных веществ не учитываются. Производство торфа складывается из шагов, представленных в нижеследующей таблице. При этом считается, что 50-75% (в модели 62,5%) потребляемого в Германии торфа произведены в Германии [EdDE 2007]. Остальное количество приходится на импорт верхового торфа из Прибалтики. Все релевантные допущения и параметры обобщены в таблице А-17.

Таблица А-17: Заготовка торфа

	Допущения	Параметры (Ассоциация утилизирующих предприятий хозяйственной отрасли по сбору и утилизации отходов Германии, 2007 г.)
Добыча торфа	<ul style="list-style-type: none"> <li>учтены энергозатраты на:</li> <li>подключение к коммуникациям, дренаж,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>масса сухого вещества:</li> <li>- 31% смешанный торф</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>выемку верхнего слоя экскаватором (→ подготовка)</li> <li>- фрезерование, прокалывание, сушку (→ добыча торфа)</li> <li>· смешанный торф из Германии</li> <li>- 1,14 л дизеля/м<sup>3</sup> торфа</li> <li>· верховой торф из Прибалтики</li> <li>- 3,1 л дизеля/м<sup>3</sup> торфа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 58% верховой торф</li> <li>· органическая субстанция</li> <li>- 90-95% массы сухого вещества (в модели 100%)</li> <li>· насыпная плотность:</li> <li>- смешанный торф: 543 кг/м<sup>3</sup> (сухой: 168 кг/м<sup>3</sup>)</li> <li>- верховой торф: 172 кг/м<sup>3</sup> (сухой: 100кг/м<sup>3</sup>)</li> <li>- усреднённая плотность: 406 кг/м<sup>3</sup> (сухой: 144 кг/м<sup>3</sup>)</li> </ul>
Транспортировка снятого торфа для изготовления субстрата (земляные работы)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· объём импортируемого продукта: 37,5% (транспортировка на расстояние 2000 км)</li> <li>· объём продукта, производимого в Германии: 62,5% (транспортировка на расстояние 100 км)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· усреднённое расстояние для транспортировки: 813 км</li> </ul>
Изготовление субстрата (земляные работы)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· учтены энергозатраты на:</li> <li>· дальнейшую переработку торфа</li> <li>- смешивание и удобрение</li> <li>- транспортировку продукта насыпью</li> <li>- упаковку в мешки</li> <li>- транспортировку на промежуточный склад</li> <li>- погрузку</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 0,96 л дизеля/м<sup>3</sup> торфа</li> <li>· 1,72 кВт.ч/м<sup>3</sup> торфа</li> </ul>
сбыт		<ul style="list-style-type: none"> <li>· расстояние транспортировки: 200 км</li> </ul>
применение компоста	Полное разложение органического вещества до диоксида углерода	<ul style="list-style-type: none"> <li>- смешанный торф из Германии 330 кг CO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup> торфа</li> <li>- верховой торф из Прибалтики: 187 кг CO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup> торфа</li> <li>- усреднённые показатели эмиссии CO<sub>2</sub>: 1,95 кг CO<sub>2</sub>/кг торфа</li> </ul>

Для компоста, дальнейшая переработка которого осуществляется в ходе земляных работ, необходимо принимать в расчёт затраты на обогащение. Допускается, что затраты на обогащение включают только затраты на электроэнергию. Они составляют 0,86 кг дизельного топлива и 0,53 кВт/ч электроэнергии на одну тонну сухого веса [Vogt et al., 2002 г.].

### Выработка гумуса из коры

При составлении баланса по заготовке гумуса из коры учитываются затраты и факторы воздействия на окружающую среду, связанные с компостированием коры и извлечением гумуса. Кора – это побочный продукт и отходы лесного хозяйства. Один килограмм сухой массы гумуса из коры заменяет один килограмм органической массы.

Гумус из коры получают посредством вылёживания в буртах на открытом воздухе. продолжительность вылёживания для гумуса из коры составляет около 6 месяцев. Затраты на измельчение и переворачивание - примерно 5 л дизельного топлива на тонну коры. Содержание азота составляет 4,36 кг/т сухой коры [Vogt et al., 2002 г.].

Эмиссия содержащих углерод и азот соединений примерно ориентируется на эмиссию при открытом компостировании растительной массы. Выделения с содержанием азота при извлечении гумуса из коры составляет долю 4,9% от общего содержания азота в соединении NH<sub>3</sub> и долю 1,5% в соединении N<sub>2</sub>O.

Разложение органической субстанции осуществляется аналогично получению компоста – полностью до CO<sub>2</sub>.

## **Изготовление минеральных удобрений**

Процесс, эквивалентный изготовлению рассматриваемых минеральных удобрений, учитывает разложение сырья, получение электроэнергии, изготовление удобрений и их транспортировку к границе пахотных земель. Затраты на засыпку удобрений могут учитываться без достоверности.

Баланс потоков энергии и материалов при добыче используемых в среднем по Германии азотных, фосфатных и калийных удобрений, например, известковых удобрений (кальциевые удобрения) взят из [Patyk&Reinhard, 1997 г.].

Добавление кальция и, в зависимости от сорта известковых удобрений, магния с точки зрения питания растений в большинстве случаев не требуется, поскольку эти основные питательные вещества в достаточном количестве имеются в почве. Соединения известняка или магния не являются удобрениями в прямом смысле, они считаются почвоулучшителями [Patyk & Reinhard, 1997 г.]. Магниево-кальциевые удобрения чаще всего рассматриваются вместе с кальциевыми удобрениями, поскольку оба элемента встречаются вместе в доломитизированном известняке [Winnacker, 1982 г.]. Поскольку иная специфическая информация отсутствует, вместо изготовления магниевых удобрений рассматривается изготовление известковых удобрений.

### **Воспроизводство углерода гумуса посредством культивации кормовых культур**

Количество углерода гумуса, получаемое при использовании одной тонны биомассы или растительной массы, позволяет избежать сельскохозяйственных затрат на получение количества кормовых культур, из которого можно получить эквивалентное количество углерода гумуса.

Ввод кормовых культур в севооборот с целью способствования воспроизводству гумуса осуществляется в рамках прямого летнего посева. Эффективность кормовых культур при воспроизводстве гумуса определяется после их перепахивания на основании остающейся в почве корневой массы и оставшегося на поверхности жнивья. При прямом летнем посеве по завершении второго года культивации рассчитывают на воспроизводство гумуса в количестве 600 кг углерода гумуса/га. Долю активного воспроизводства гумуса из остатков корней и жнивья кормовых культур можно принять за 25% содержания органического углерода. Это соответствует 2 400 кг органического углерода или 4 800 кг органической субстанции, или 6 000 кг сухой массы кормовых культур, или 40 000 кг массы сырого продукта на гектар [Reinhold, 2009 г.]. Культивирование кормовых культур связано с затратами на сельскохозяйственное производство, описанными далее.

Приблизительная количественная оценка сельскохозяйственного производства кормовых культур осуществляется на основании данных в [Jungbluth, 2007 г.] и дополнительной собственной оценки. [Jungbluth, 2007 г.] описывает затраты на культивирование пастбища постоянного пользования, в рамках которой производится боронование, рыхление культиватором, засевание и измельчение. При этом вносится только азотное удобрение с навозной жижей и стойловым навозом. Для культивирования кормовых культур, в отличие от культивирования пастбища длительного пользования, требуется больший объем затрат на обработку почвы (подготовка почвы для посева и перепахивание). Поэтому затраты на боронование (коэффициент 3) и рыхление культиватором (фактор 2) были увеличены, и дополнительно учитывалась обработка почвы плугом с целью перепахивания.

Удобрения вносятся в количестве 30 кг N/га. Эмиссия  $\text{NH}_3$  принимается за 5,5%, а эмиссия  $\text{N}_2\text{O}$  за 1,25% от полученного азота (см. [Ведомство земли по вопросам экологии, 2004 г.] и [Vogt et al., 2002 г.]).