

Ökobilanzielle Betrachtungen von Ein- und Mehrwegbeuteln für Obst, Gemüse und Brot im Einzelhandel

von Carlotta Claussen, Tobias Götz und Daniel Harms,
Studierende des Masterstudiengangs M.Sc. Life Cycle & Sustainability an der
Hochschule Pforzheim,

erstellt im Rahmen der Veranstaltung „Modellierung I und Bilanzierung“ im
Wintersemester 2019/20.

1 Bilanzierungsherausforderung

Die Verbraucherzentrale Stuttgart möchte wissen, wie Mehrwegbeutel für Obst, Gemüse und/oder Brot aus verschiedenen Materialien untereinander und im Vergleich zu den klassischen Hemdchenbeutel in Bezug auf die Klimafreundlichkeit zu bewerten sind.

Dabei stellten sich unter anderem die folgenden Fragen:

- Welches Ergebnis liefern die Ökobilanzen der Beutel für die jeweiligen Materialien bzw. im Vergleich untereinander?
- Wie oft müssen die verschiedenen Mehrwegbeutel genutzt werden, damit im Vergleich zu den Einweg-Hemdchenbeutel ein positiver Nutzen angegeben werden kann. (Zum Vergleich: Zwei Handelsketten (Lidl und Alnatura) geben einen positiven Nutzen ab dem 5. Einsatz (Lidl für das Netz aus Polyester) bzw. ab dem 6. Einsatz (Alnatura für das Polyesternetz) an)
- Welche Rolle spielt die teils sehr aufwendige Verpackung der Netze bei der Ökobilanz?

Auf Basis dieser Anfrage wird eine Analyse von mehreren Beuteln für Obst, Gemüse und/oder Brot aus unterschiedlichen Materialien durchgeführt, um die Klimawirkungen der jeweiligen Beutel zu ermitteln.

Einige der Beutel wurden im Rahmen der Veranstaltung „Nachhaltige Produktentwicklung“ bei Frau Dr. Wimmer genauer hinsichtlich ihrer Materialzusammensetzung untersucht. Diese Ergebnisse waren Basis für die Berechnungen in der Veranstaltung „Modellierung I und Bilanzierung“ von Prof. Dr. Tobias Viere. Das Ziel dieser Veranstaltung ist zuvorderst das Erlernen (softwaregestützter) Modellierungs- und Bilanzierungsansätze im ökobilanziellen Kontext. Die Fragestellung der Verbraucherzentrale wurde als Anwendungsfall herangezogen, die Ergebnisse basieren allein auf den Arbeiten der Studierenden und ersetzen keine vollumfängliche ökobilanzielle Betrachtung oder Analyse.

2 Untersuchungsgegenstand

Untersuchte Einweg- bzw. Mehrwegbeutel:



Abbildung 1: Einweg-Hemdchenbeutel aus PE (links), Mehrwegbeutel aus PET (mitte), Mehrwegbeutel aus Baumwolle (rechts)

- Einwegbeutel aus Polyethylen (PE); Gewicht: 1,58 g¹
- Einwegbeutel aus recyceltem PE; Gewicht: 1,58 g
- Mehrwegbeutel aus Polyethylenterephthalat (PET); Gewicht: 19,73 g²
- Mehrwegbeutel aus recyceltem PET; Gewicht: 19,73 g
- Mehrwegbeutel aus Baumwolle; Gewicht: 42,00 g³
- Mehrwegbeutel aus Bio-Baumwolle; Gewicht: 42,00 g

Funktionelle Einheit:

- Funktion/Nutzen: Lebensmitteltransport
- Vergleich: Einwegbeutel vs. Mehrwegbeutel
- Fkt. Einheit: 100 Lebensmitteltransporte (mit 100 Einwegbeutel bzw. 1 Mehrwegbeutel bei durchschnittlich zwei Nutzungen pro Woche über einen Zeitraum von 50 Wochen)
- Referenzfluss: Masse von 100 Einweg- bzw. 1 Mehrwegbeutel

¹ Mittels Messung bestimmt

² Mittels Messung im Rahmen der Lehrveranstaltung „Nachhaltige Produktentwicklung“ bestimmt

³ Mittels Messung im Rahmen der Lehrveranstaltung „Nachhaltige Produktentwicklung“ bestimmt

3 Modellierung in Umberto

3.1 Einweg-Hemdchenbeutel aus PE und recyceltem PE

Das für die Berechnung der Umweltwirkung des PE-Beutels erstellte Modell beinhaltet die folgenden Prozesse und Annahmen:

Die Herstellung von PE-Beuteln erfolgt durch Schmelzen des HDPE-Granulats und anschließender Extrusion. Die beiden Prozessschritte können durch entsprechende Datensätze aus der econinvent-Datenbank in das Modell integriert werden. Eine Modellierung der nachfolgenden Weiterverarbeitung des extrudierten Kunststoffschlauchs zum Einwegbeutel wird aufgrund fehlender Daten nicht mitberücksichtigt. Die Verpackung der Beutel (z.B. der Pappe-Rolle, auf dem die Beutel aufgerollt werden) wird in der vorliegenden Analyse ebenfalls vernachlässigt, da der Kunde, im Falle des Einwegbeutels, nur den Beutel, nicht aber die Verpackung konsumiert. Ferner wird der Transport der verpackten Beutel zum Lebensmittelhändler vernachlässigt, da für alle drei Beutel ähnliche Transportprozesse zum Supermarkt stattfinden. Die Umweltwirkung von 100 Hemdchenbeuteln mit einem kleinen Gewicht wird als vergleichbar hoch zu der einzelnen Fahrt eines schwereren Mehrwegbeutels angenommen. Weiterhin geschieht die Belieferung im Zuge mit den übrigen Waren und fällt daher nicht stark ins Gewicht. Zudem sind auf einer Pappe-Rolle eine Vielzahl von Beuteln aufgerollt (im Schnitt 2000 Stück), sodass die Umweltauswirkung sowohl eines einzelnen Beutels als auch von 100 Beuteln im Verhältnis sehr gering ist.

Nach Ende der Nutzung der Beutel wird angenommen, dass ein Teil des Materials recycelt wird, während der restliche Anteil in der kommunalen Müllentsorgung verbrannt wird. Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, werden, nach Angaben des PlastikAtlas, derzeit 15,6 % des in Deutschland anfallenden Plastikmülls recycelt. In dem Modell wird davon ausgegangen, dass das anfallende, zu recycelnde Material das System als Output verlässt. Die während des Recyclings entstehenden Umweltauswirkungen tragen somit nicht zur Ökobilanz des bilanzierten Einwegbeutels bei. Der verbleibende Anteil von 84,4 % wird entweder energetisch verwertet oder exportiert. Da keine Informationen zum Recyclinganteil in den Importländern vorliegen, wird der worst-case angenommen und der Exportanteil des Plastikmülls ebenfalls der Müllverbrennung zugeordnet.

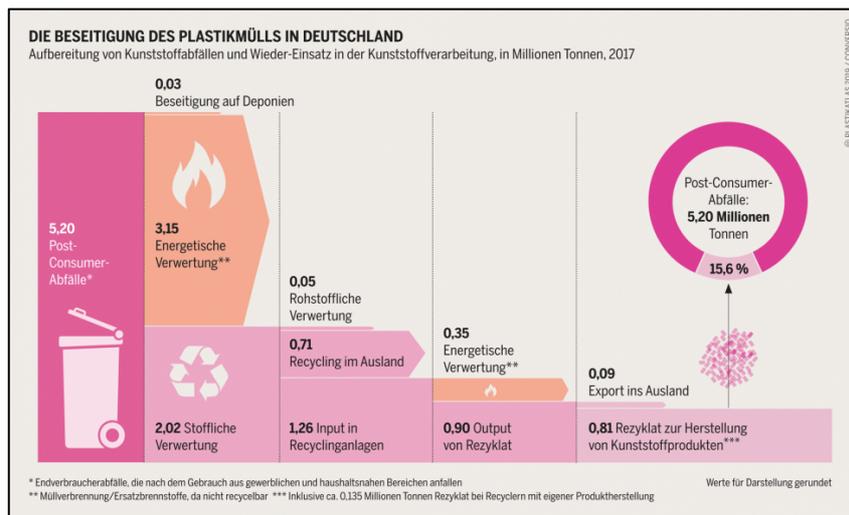


Abbildung 2 Die Beseitigung des Plastikmülls in Deutschland⁴

Der Berechnung des PE-Beutels aus Recyclingmaterial wird das gleiche Modell mit den gleichen Annahmen zu Grunde gelegt. Der einzige Unterschied besteht in dem unterschiedlichen Material, das als Input in die Produktion der Einwegbeutel eingeht.

3.2 Mehrwegbeutel aus PET und recyceltem PET

Der untersuchte PET Mehrwegbeutel besteht rein aus dem Material PET (s. Anhang 1) und besitzt eine Verpackung aus Pappe. Die Beschriftung dieser wurde für die Ökobilanz auf Grund nicht vorhandener Informationen vernachlässigt. Ausgehend von amorphem PET Granulat, welches einen ökologischen Rucksack mitbringt, wurde durch einen Prozess aus ecoinvent⁵ eine Polyesterfaser hergestellt. Zusammen mit Materialien, die das Weben von synthetischen Fasern⁶ beschreiben und einem zur Herstellung von Pappe⁷ wurde in einem zweiten Prozess der PET Mehrwegbeutel hergestellt. Dabei wurde eine Massenkonstanz angenommen. Auf Grund fehlender Daten wurde eine Endverarbeitung des Beutels, welche das Nähen und Erstellen der endgültigen Form beinhaltet, nicht berücksichtigt.

Der Mehrwegbeutel wird gemäß der funktionellen Einheit 100-mal benutzt und danach zu Abfall. Für das PET wurde eine Recyclingquote von 15,6% verwendet (s. Abb. 2), während die Masse der Pappe unverändert in die Entsorgung gelangt. Das Recycling erfolgt analog zu dem in Abschnitt 3.1 beschriebenen Entsorgungsprozess. Die übrige Masse PET sowie die Verpackung sollen durch eine thermische Verwertung entsorgt werden. Beide Prozesse entstammen der ecoinvent Datenbank⁸.

⁴ Plastikatlas 2019, Heinrich-Böll-Stiftung sowie Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), ISBN 978-3-86928-200-8, S. 36

⁵ polyester fibre production, finished [RoW], ecoinvent 3 v3.6 with aggregated impacts

⁶ weaving, synthetic fibre, ecoinvent 3 v3.6 with aggregated impacts

⁷ containerboard, linerboard, ecoinvent 3 v3.6 with aggregated impacts

⁸ treatment of waste paperboard, municipal incineration [RoW]; treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration [RoW]

Eine Reinigung des Mehrwegbeutels wurde ebenfalls nicht berücksichtigt. Das Waschverhalten der Konsumenten kann sehr stark variieren. Weiterhin würde ein solcher Beutel im Zuge einer regelmäßig anfallenden 30°C Wäsche mitgewaschen werden. Der Anteil an der Waschflotte ist hierbei sehr gering. Die Auswirkungen sind vernachlässigbar. Die Verpackung wird im Falle des PET Beutels berücksichtigt, da der Käufer gezwungen ist diese mit zu kaufen und zu entsorgen. Der Transportprozess wird auch hier aus den oben genannten Gründen vernachlässigt.

Die hier dargestellte Bilanzierung wurde für den recycelten PET Beutel übernommen. Dabei wurde der erste Prozess zu Herstellung der Polyesterfaser modifiziert, indem das Material „PET granulate, amorphous“ durch „PET granulate, amorphous, recycelt“ ersetzt wurde.

3.3 Mehrwegbeutel aus Baumwolle und Bio-Baumwolle

Das für die Berechnung der Umweltwirkung des Baumwoll-Beutels erstellte Modell beinhaltet die folgenden Prozesse und Annahmen:

Für die Herstellung des Baumwoll-Mehrwegbeutels wurde der Prozess der Stoffherstellung sowie die finale Weiterverarbeitung zu einem Beutel als Input-Faktor bilanziert. In diesem Fall wird ebenfalls das Material der Verpackung entsprechend der Sachbilanz betrachtet, da hier der Konsument die Verpackung kauft und zwischen verschiedenen Beuteln und Verpackungsformen entscheiden könnte. Die Weiterverarbeitung des Papiermaterials zur finalen Verpackung kann aufgrund der fehlenden Datengrundlage nicht betrachtet werden. Wird von einer einfachen Papierbanderole ausgegangen, wie sie bei dem betrachteten Beutel verwendet wurde, ist jedoch anzunehmen, dass der Prozess auch nur eine verhältnismäßig geringe Umweltauswirkung hat. Ebenfalls wird die Umweltauswirkung des Transports nicht berücksichtigt, wie oben bereits begründet.

Für die Betrachtung des End-Of-Life Prozesses wurden Daten bezüglich der Altkleider- und Stoffverwertung als Referenz genommen. Davon ausgehend wird im Schnitt 52% des Abfalls einem Recycling-Prozess zugeführt und 48% thermisch verwertet.⁹

Für die Bilanzierung des Baumwollbeutels aus ökologisch hergestellter Baumwolle, musste das Material der Stoffherstellung folgend modifiziert werden: Das vonecoinvent vorgegebene Material „textile, woven, cotton“ beinhaltet bereits alle Prozessschritte inklusive der Faser und Garn-Herstellung bis zum fertigen Textil. Von diesem Material wurde der CO₂ Footprint des Materials „fibre, cotten“ subtrahiert und der Footprint des Materials „fibre, cotton, organic“ addiert. Diese Modifizierung konnte gemacht werden, da der weitere Verarbeitungsprozess zu einem Stoff als gleich angenommen wurde.

⁹ Vgl. Bartl (2009). Bartl, A. (2009): Recycling und Wiederverwendung von Fasern aus Abfällen, Springer

4 Stoffstrom-Diagramme

Im Zuge der Bilanzierung mit Umberto wurden Stoffstrom-Diagramme erstellt. Diese sind in Form von Sankey-Diagrammen im Anhang zu finden (s. Anhang 2, 3, 4, 5, 6, 7)

5 Ergebnisse

5.1 Einweg-Hemdchenbeutel aus PE und recyceltem PE

Mit den oben genannten Annahmen ergibt sich für den Einweg-Hemdchenbeutel aus PE das in Abbildung 3 dargestellte Modell mit als Pfeile visualisierten Umweltwirkungen (CO₂-Footprint). Das Modell des Einweg-Hemdchenbeutels aus recyceltem PE ist in Abbildung 4 zu sehen.

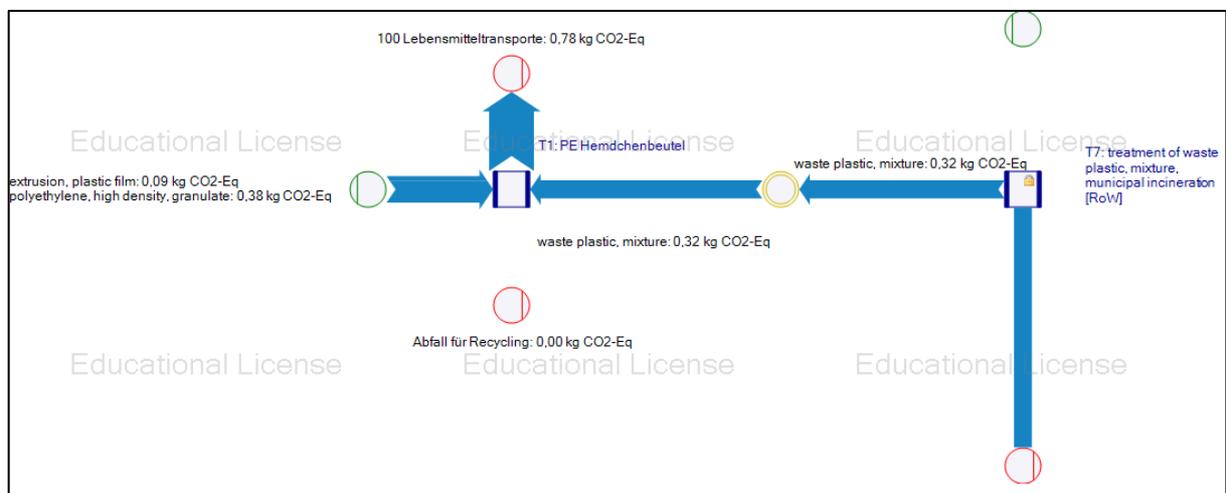


Abbildung 3 Umweltauswirkung des PE-Hemdchenbeutels durch den CO₂-Footprint

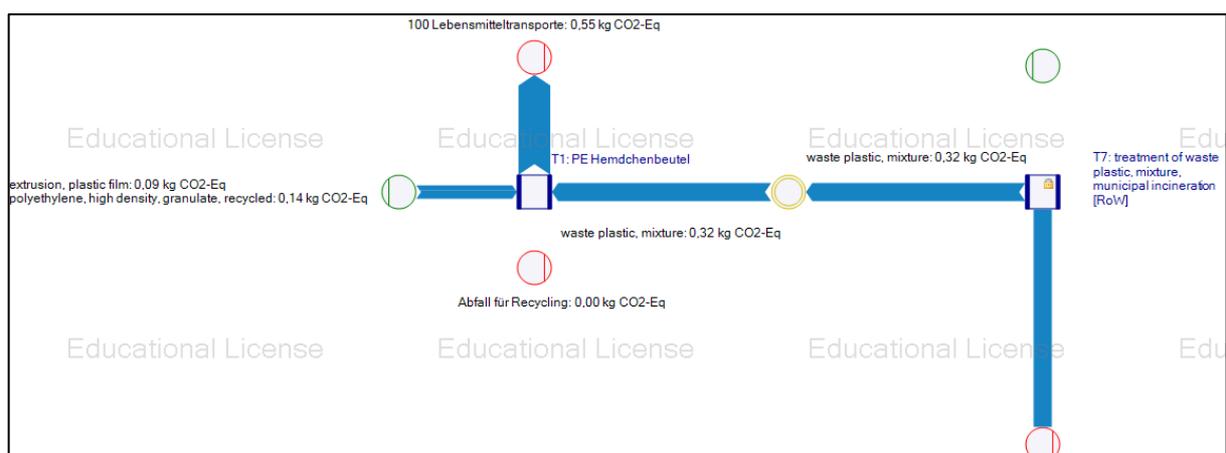


Abbildung 4 Umweltauswirkung des PE-Hemdchenbeutels aus recyceltem Granulat durch den CO₂-Footprint

5.2 Mehrwegbeutel aus PET und recyceltem PET

Für die beiden PET Mehrwegbeutel ergeben sich die in Abbildung 5 und 6 dargestellten Modelle.

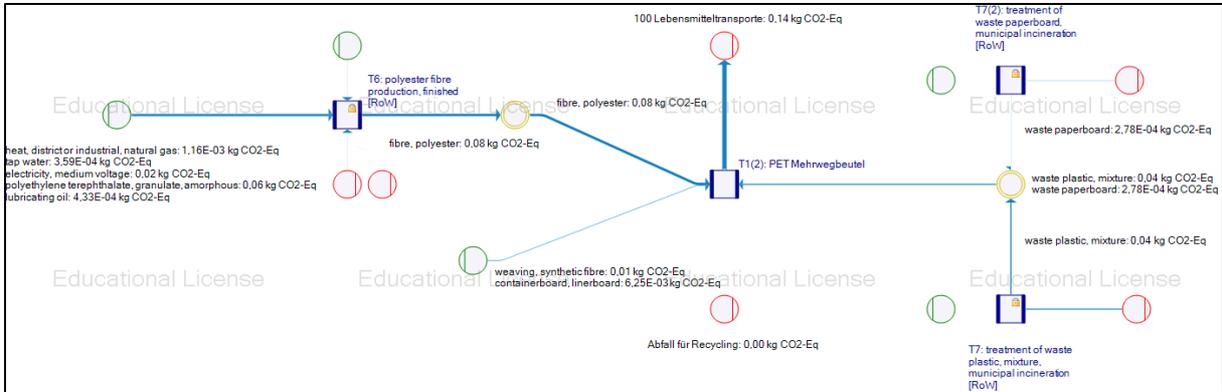


Abbildung 5 Umweltauswirkung des PET Mehrwegbeutels durch den CO₂-Footprint

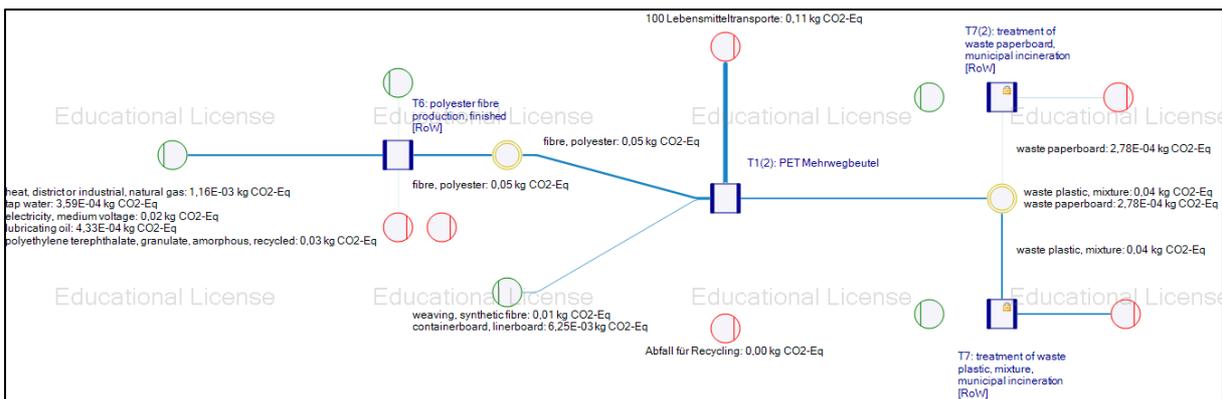


Abbildung 6 Umweltauswirkung des PET Mehrwegbeutels aus recyceltem Granulat durch den CO₂-Footprint

5.3 Mehrwegbeutel aus Baumwolle und Bio-Baumwolle

Für die beiden PET Mehrwegbeutel ergeben sich die in Abbildung 6 und 7 dargestellten Modelle.

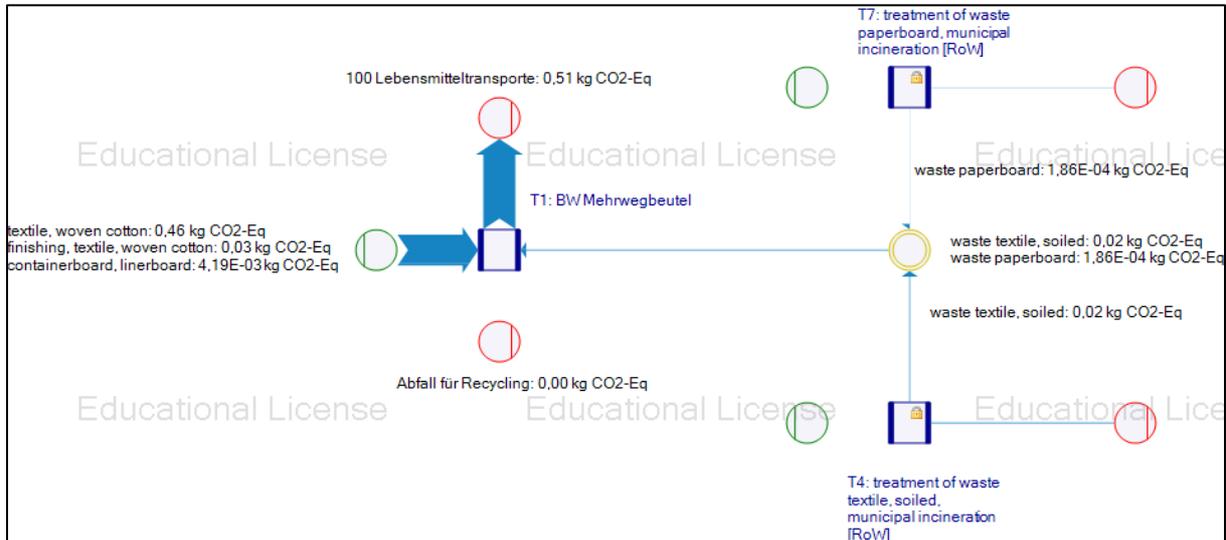


Abbildung 7 Umweltauswirkung des Baumwolle Mehrwegbeutels durch den CO₂-Footprint

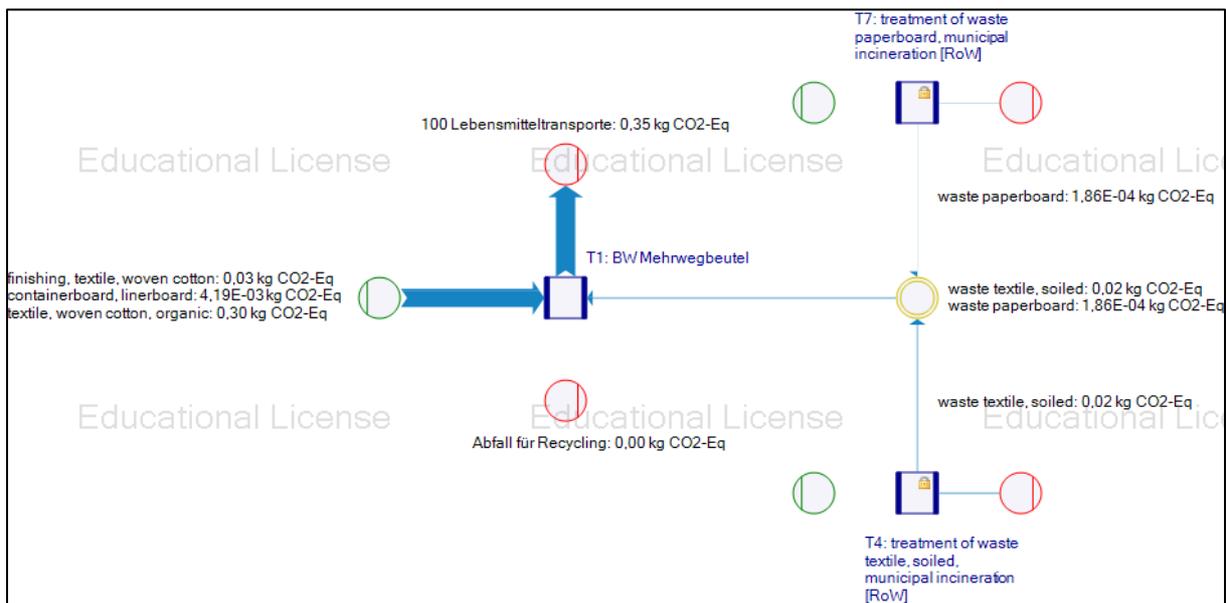


Abbildung 8 Umweltauswirkung des Bio-Baumwolle Mehrwegbeutels durch den CO₂-Footprint

6 Diskussion und Zusammenfassung

Durch die Berechnung der in Abschnitt 5 dargestellten Modelle für die verschiedenen Einweg- und Mehrwegbeutel lässt sich die in Tabelle 2 dargestellte Rangfolge der Produkte hinsichtlich ihres Gesamt-CO₂-Fußabdrucks aufstellen. Dabei fällt auf, dass recycelte Materialien bzw. ökologisch produziertes Material in ihrer Wirkung im Vergleich zu ihren Pendanten stets besser abschneiden. Zur insgesamten Umweltwirkung tragen bei den Kunststoffbeuteln die Rohstoffe, die Produktion sowie die Entsorgung bei, wohingegen die Umweltwirkung der Baumwollbeutel nahezu ausschließlich durch die Produktion und den verwendeten Rohstoff bestimmt wird. Die vergleichsweise hohe Umweltwirkung der Entsorgung der PE-Einwegbeutel resultiert aus der hohen Masse der 100 Einwegbeutel gegenüber der Masse eines einzelnen Mehrwegbeutels (vgl. Anhang 2 und 3). Tiefergehende Aussagen zur Auswirkung der Rohstoffproduktion können im Rahmen dieser Bilanzierung nicht getroffen werden. Hier müsste durch detailliertere Folgeuntersuchungen der Produktionsprozess und dessen Inputs genauer untersucht werden.

Insgesamt lässt sich sagen, dass die untersuchten Mehrwegbeutel, bezogen auf die funktionelle Einheit, ökologisch vorteilhafter sind.

Tabelle 1 GWP von Einweg- und Mehrwegbeuteln aus unterschiedlichen Materialien für die funktionelle Einheit

Beutelmateriale	GWP (fkt. Einheit)	Einheit
PET (recycelt)	0,11	kg CO ₂ eq
PET	0,14	kg CO ₂ eq
Bio-Baumwolle	0,35	kg CO ₂ eq
Baumwolle	0,51	kg CO ₂ eq
PE (recycelt)	0,55	kg CO ₂ eq
PE	0,78	kg CO ₂ eq

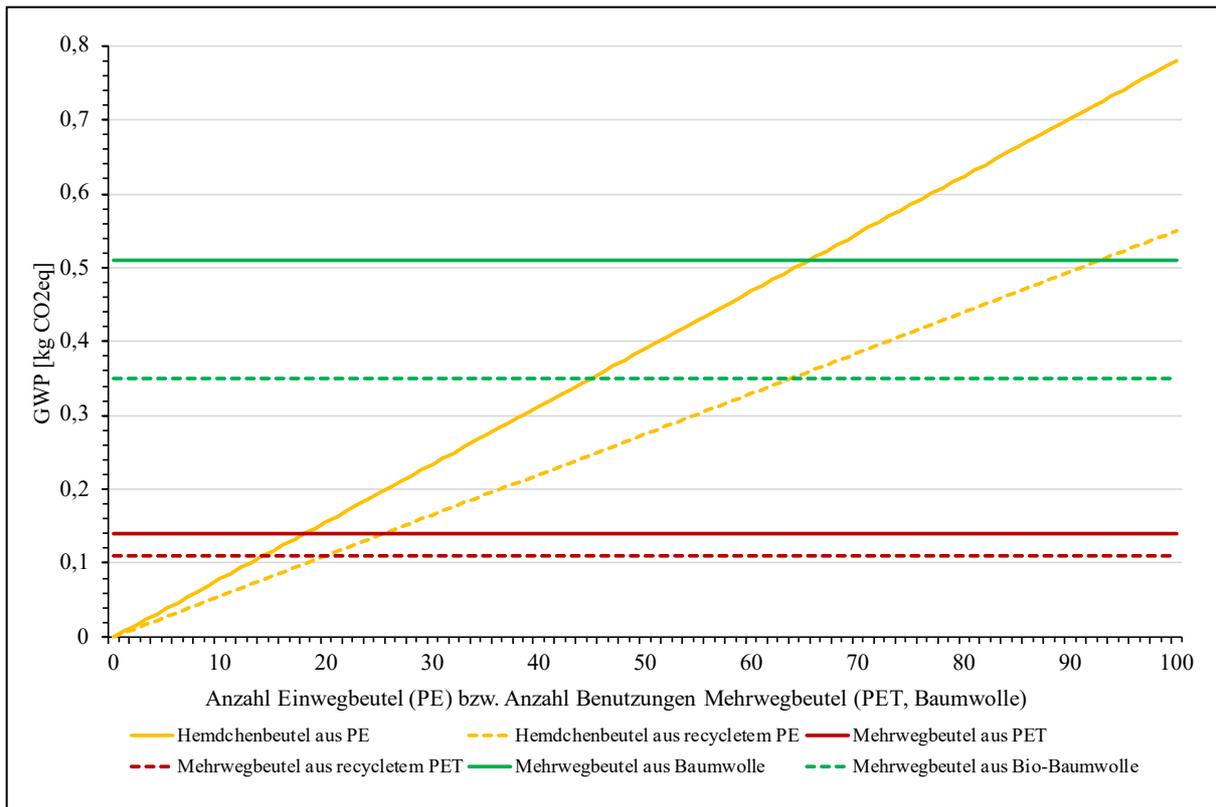


Abbildung 9 GWP von Einweg- und Mehrwegbeuteln aus unterschiedlichen Materialien in Abhängigkeit der Anzahl der verwendeten Einwegbeutel bzw. der Benutzungen der Mehrwegbeutel

Abbildung 10 veranschaulicht die kumulierten CO₂-Footprints der untersuchten Einweg- bzw. Mehrwegbeutel in Abhängigkeit der verbrauchten Beutel (für Einweg) bzw. in Abhängigkeit der Anzahl der Benutzungen (für Mehrweg). Die Schnittpunkte der Kurven geben die Break-Even-Points der Umweltwirkungen an. Diese sind in Tabelle 2 übersichtlich veranschaulicht. So muss ein PET-Mehrwegbeutel mehr als 18-mal benutzt werden, um ökologisch sinnvoller zu sein als 18 PE-Einwegbeutel.

Tabelle 2: Break-Even-Points der CO₂-Footprints; minimale Anzahl der Benutzungen eines Mehrwegbeutels bevor dieser ökologisch vorteilhafter ist als ein Einwegbeutel

	PET (recycled)	PET	Bio-Baumwolle	Baumwolle
PE	14	18	45	65
PE (recycled)	20	25	64	93

7 Kritikpunkte & Ausblick

Für die abschließende Bewertung der Bilanzierung der verschiedenen Beutel, erfolgte eine kritische Bewertung des Vorgehens und der getroffenen Annahmen.

Zunächst ist die Festlegung der **funktionellen Einheit** auf 100 Lebensmitteleinkäufe unter verschiedenen Aspekten kritisch zu bewerten. Zunächst hängt die Verwendung sowohl der Einweg- als auch der Mehrwegbeutel maßgeblich von dem Einkaufsverhalten des Konsumenten ab. Es sollte beachtet werden, dass der Mehrwegbeutel beispielsweise besser genutzt werden kann, um auch verschiedene Obst- und Gemüsesorten zu transportieren. Dadurch würden durch einen Einkauf bereits mehrere Einwegbeutel eingespart werden. Des Weiteren kann der Mehrwegbeutel auch über die 100 Lebensmitteltransporte hinaus verwendet werden, was von dem Nutzungsverhalten und der Pflege des Konsumenten abhängt.

Die **Art der Pflege** des Mehrwegbeutels, welche stark zwischen den Nutzern variieren kann, bestimmt ebenfalls die Umweltwirkung. Beispielsweise hat die Reinigung eines Beutels in regelmäßigen und engen Zeitintervallen durch Handwäsche eine andere Umweltauswirkung als die maschinelle Reinigung mit sowieso getätigten Waschgängen in einem weiten Zeitabstand. Durch die Art der Reinigung wird ebenfalls die Lebensdauer des Mehrwegbeutels bestimmt. Grundsätzlich kann nach den Laboruntersuchungen davon ausgegangen werden, dass der Baumwollbeutel eine bessere Verarbeitung hat als der PET Mehrwegbeutel und daher eine längere Lebensdauer hat.

Bezugnehmend auf die **Verarbeitung** der Mehrwegbeutel muss auch festgehalten werden, dass diese im Modell nicht detailliert abgebildet werden kann. Für den PET Beutel konnten keine Daten für den „finishing“ Prozess für synthetisches Material gefunden werden. Der „finishing“ Prozess wurde bei dem Baumwollbeutel mitbilanziert; ob der Prozess und die verbundene Umweltwirkung die Weiterverarbeitung des Stoffes zu einem Beutel darstellen kann, konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Ebenfalls konnte die **Verpackung** der Mehrwegnetze (PET und Baumwolle) nicht detailliert modelliert werden, da die Datengrundlage bezüglich des korrekt anzunehmenden Materials, der Druckfarbe und –masse sowie der Fertigung der finalen Verpackung fehlt.

Das Modell spiegelt ebenfalls nicht den möglichen Eintrag von **Mikroplastik** sowohl von den PE-Einwegbeuteln als auch von den PET-Mehrwegbeuteln wider. Dieser hängt ebenfalls stark von der Entsorgung und Nutzung durch den Konsumenten ab und ist ohne vereinfachte Annahmen nicht zu modellieren. Mit jedem Waschvorgang des PET Mehrwegbeutels muss von einem Eintrag von Mikroplastik in das Abwasser ausgegangen werden. Durch den Mangel von erforderlichen Filteranlagen, kann das dadurch gelöste Mikroplastik in die Umwelt gelangen. Am End-of-Life wurde bereits konservativ angenommen, dass der Großteil des PE und PET Abfalls thermisch

verwertet und nicht recycelt wird. Weitergehend ist eine Dunkelziffer anzunehmen, welche ohne Behandlung in der Umwelt enden wird. Aktuell sind noch keine Werte darüber vorhanden, wie groß der Anteil ist und welche Auswirkungen dies sowohl auf die Natur als auch die Lebewesen haben kann.

8 Fazit

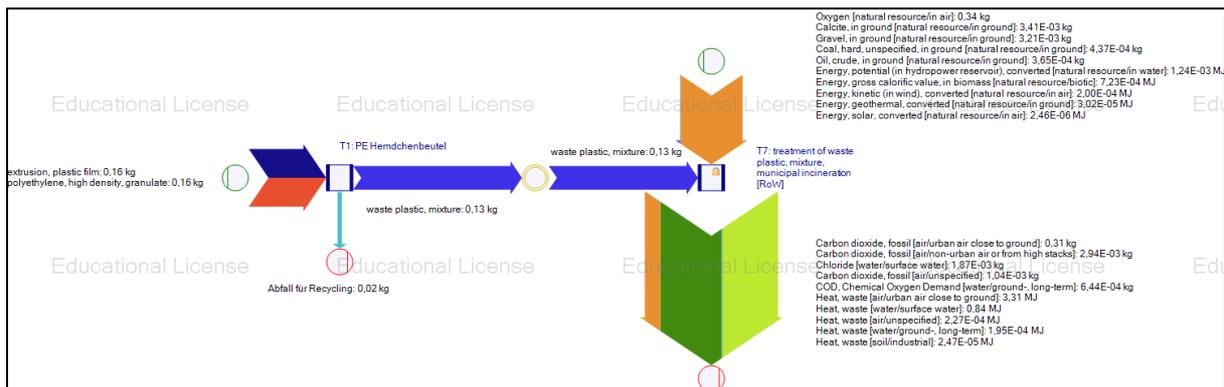
Abschließend können die Aussagen von Aldi und Alnatura nicht vollständig bestätigt werden, dass die Beutel fünf bzw. sechsmal benutzt werden müssen, um die gleiche Ökobilanz aufzuweisen wie ein Einwegbeutel. Für den PET Beutel sind es, wie in der Ergebnisdiskussion besprochen, knapp doppelt so viele Nutzungen. Bezüglich des Einflusses der Verpackung kann angegeben werden, dass diese einen verhältnismäßig geringen Anteil zur gesamten Ökobilanz beiträgt. Die Unterschiede der Ergebnisse können vor allem von den unterschiedlichen Annahmen und den verschiedenen Datenquellen abhängen. Die Bilanz hängt insgesamt von der Lebensdauer des Beutels ab und der Anzahl an Obst-Gemüsesorten, die transportiert werden. Als entscheidender Faktor für die Verbesserung der Bilanz des Baumwollbeutels konnte die Verwendung von Bio-Baumwolle festgestellt werden.

Allgemein kann festgehalten werden, dass die Nutzung von Mehrwegbeuteln bei häufiger Benutzung insgesamt umweltfreundlicher ist als die Verwendung von Einweg-Beuteln. Zusätzlich kann die Verwendung von Mehrwegbeuteln das Bewusstsein der Konsumenten für die Verpackung von Lebensmitteln stärken. Dies kann zu der Erkenntnis führen, dass die Hemdchenbeutel nicht maßgeblich zum Schutz von Obst und Gemüse beim Transport beitragen, sondern die eigene Schale ausreicht. Die umweltfreundlichste Lösung ist daher der grundsätzliche Verzicht auf Transportbeutel für Gemüse und Obst. Falls doch Beutel verwendet werden wollen, kann der Bio-Baumwollbeutel viele Vorteile aufweisen: durch die robuste Struktur schützt dieser die Lebensmittel und ist langlebiger. Vor allem ist er im Gegensatz zum Kunststoffbeutel auf Basis eines nachwachsenden Rohstoffes produziert und es müssen keine (unbeabsichtigten) Einträge von Mikroplastik in die Umwelt angenommen werden.

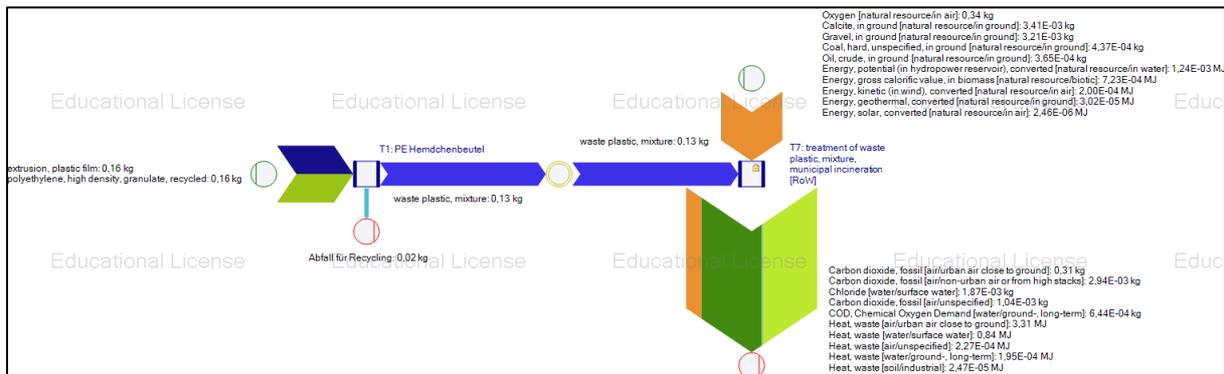
9 Anhang

Bestandteil	Mehrwegbeutel Netto
Beutel	POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE)
Kordel	POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE)
Klemme (ohne Feder)	-
Klemme (Feder)	-
Produktetikett	POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE)
Taraetikett	POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE)
Verpackung	GLYCEROL
Faden/Nähte	POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE)

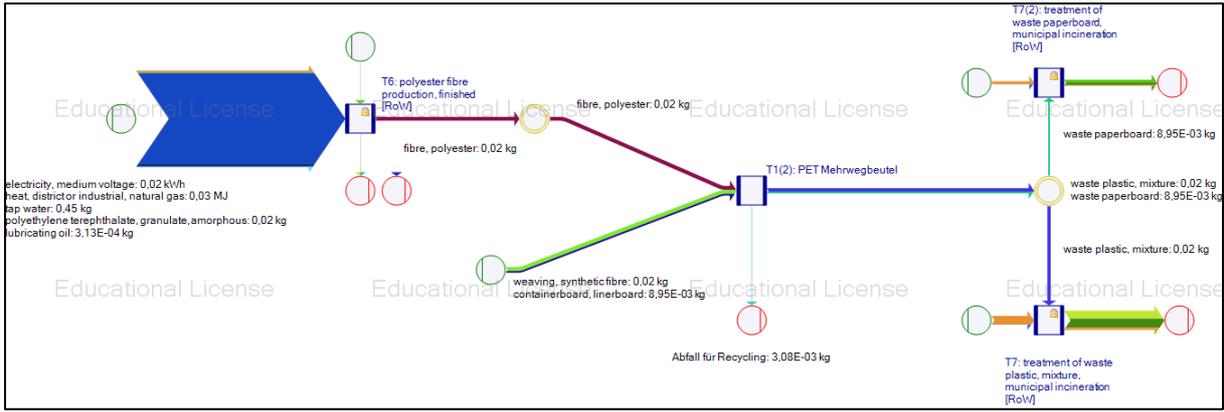
Anhang 1: Ergebnisse der IR-Messung der Bestandteile des PET Mehrwegbeutels



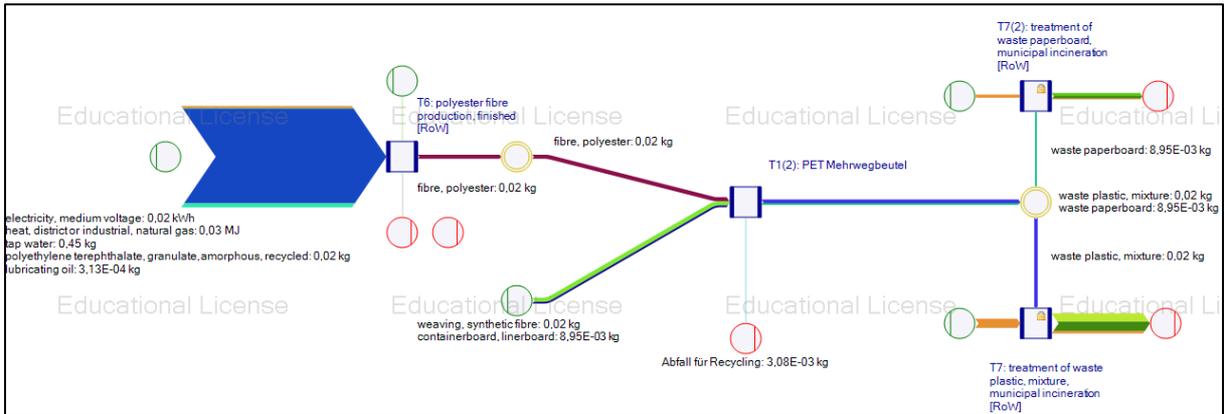
Anhang 2: Sankey-Diagramm des PE Hemdchenbeutels



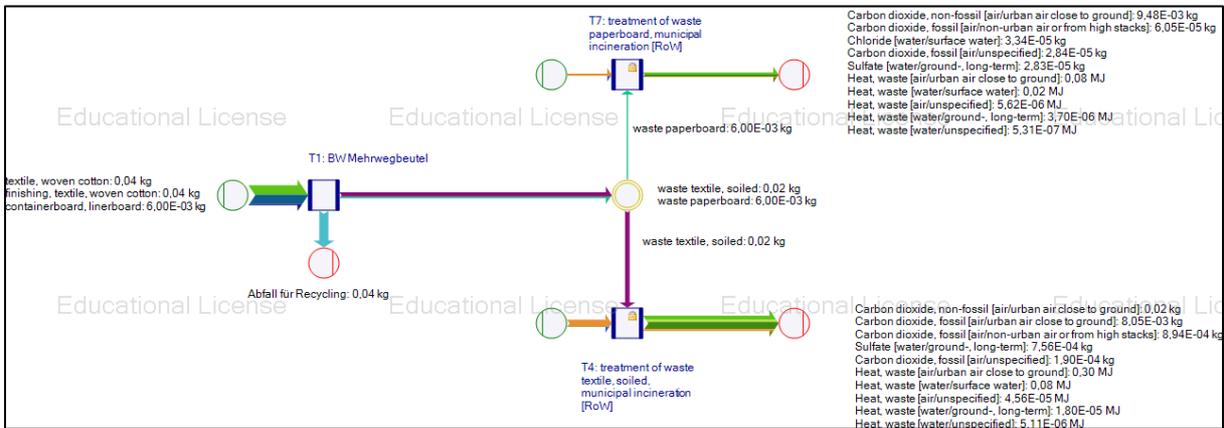
Anhang 3: Sankey-Diagramm des PE Hemdchenbeutels aus recyceltem Material



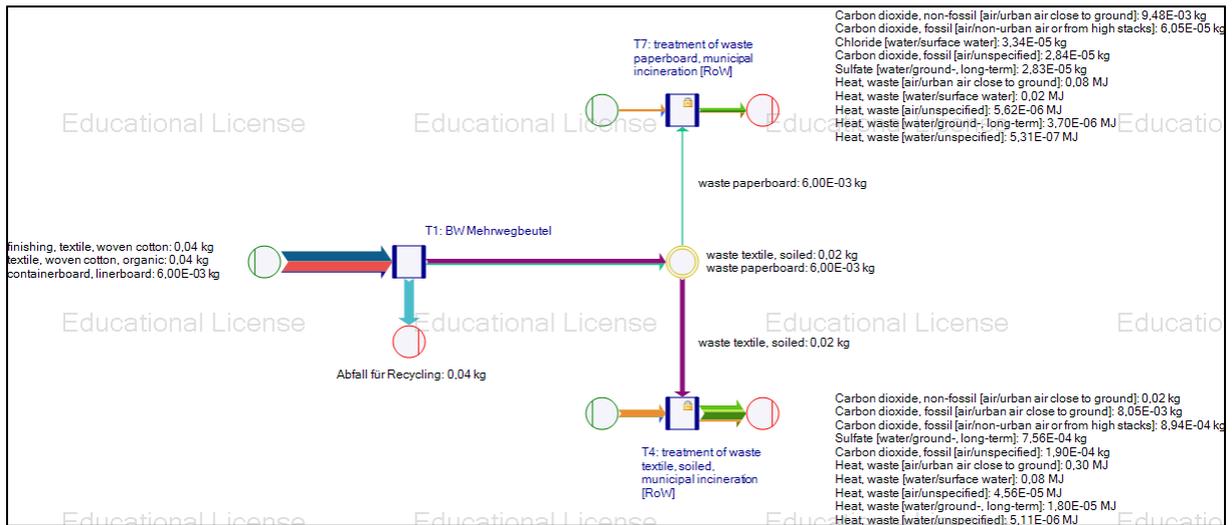
Anhang 4: Sankey-Diagramm des PET Mehrwegbeutels



Anhang 5: Sankey-Diagramm des PET Mehrwegbeutels aus recyceltem Material



Anhang 6: Sankey-Diagramm des Baumwolle Mehrwegbeutels



Anhang 7: Sankey-Diagramm des Baumwolle Mehrwegbeutels