

Ökobilanzierung (LCA) - *BiOTONi und BiOTONi Nature*

Felix Assies^{1,*}, Marian Köck¹, Andrea Thorenz¹
*Korrespondenz bitte an: felix.assies@uni-a.de

¹Resource Lab, Universität Augsburg, Universitätsstr. 12, 86159 Augsburg

Mai 2025



Made in Germany



Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht vergleicht die Umweltauswirkungen der von der Koziol GmbH hergestellten Produkte BiOTONi und BiOTONi Nature. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie die Substitution fossiler Materialien und der Einsatz erneuerbarer Energien zur Reduzierung von Umweltbelastungen beitragen können. Während der BiOTONi aus konventionellem Polypropylen besteht, setzt der BiOTONi Nature auf biobasiertes Polyethylen und Zellulosefasern.

Die Lebenszyklusanalyse (LCA) wird mittels der Environmental Footprint Methode (EF v3.1) ausgewertet und berücksichtigt 16 zentrale Umweltindikatoren. Besonderes Augenmerk liegt auf dem Einfluss erneuerbarer Energien im Produktionsprozess sowie auf den Potenzialen zur Senkung des Erderwärmungspotenzials. Die Ergebnisse bieten praxisnahe Erkenntnisse für die ökologische Optimierung von Produktdesign und Produktionsprozessen.

Die Materialsubstitution im Produkt kann das Erderwärmungspotenzial um bis zu 28 % und den Einsatz fossiler Energieressourcen um etwa 87 % reduzieren. Gleichzeitig führt die Maßnahme jedoch zu deutlichen Anstiegen bei anderen Umweltwirkungen, was das komplexe Spannungsfeld zwischen verschiedenen Midpoint-Kategorien verdeutlicht.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
1 Einführung	1
1.1 Projekt, Unternehmen und Produktüberblick	1
1.2 Was sind die Forschungsziele?	2
1.3 Vereinfachte Darstellung des Lebenszyklus - BiOTONi	2
1.4 Vereinfachte Darstellung des Lebenszyklus - BiOTONi Nature	2
2 Life cycle assessment	2
2.1 Welche Methodik und Werkzeuge wurden genutzt?	2
2.2 Was sind die Systemgrenzen der LCA?	4
2.3 Generelle Annahmen	4
2.3.1 Transport	4
2.3.2 Verpackung	5
2.3.3 Produktion	5
2.3.4 Produktionsweg	5
2.3.5 End of Life	6
3 Wie sehen die Ergebnisse der LCA aus?	7
3.1 Welche Midpoints weisen eine Reduktion der Umweltauswirkung durch die Materialsubstitution auf?	7
3.2 Welche Midpoints weisen einen Anstieg der Umweltauswirkung durch die Materialsubstitution auf?	8
3.3 Detaillierte Betrachtung ausgewählter Midpoints	11
3.3.1 Detaillierte Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus	11
3.3.2 Detaillierte Betrachtung im Teilbereich <i>raw materials</i>	14
4 Welche Handlungsoptionen zur Senkung des Erderwärmungspotenzials bestehen?	15
4.1 Kurzfristige Einsparungspotenziale	15
4.2 Langfristige Einsparungspotenzial	16
5 Fazit	16
Literaturverzeichnis	18
Anhang	II

Abbildungsverzeichnis

1	BiOTONi Nature in unterschiedlichen Farben (Koziol 2025)	1
2	Systemgrenzen der Produkte (Eigene Darstellung)	4
3	Midpoints, die Reduktion verzeichnen (GWP & Energieressourcen)	7
4	Midpoints, die Reduktion verzeichnen (Ozonabbau & ionising radiation)	8
5	Midpoints, die Anstieg verzeichnen (Humantoxizität & Versauerung)	8
6	Midpoints, die Anstieg verzeichnen (eutrophication süßwasser & marine)	9
7	Midpoints, die Anstieg verzeichnen (Ökotoxizität & Humantoxizität (non-carcinogenic)	9
8	Midpoints, die Anstieg verzeichnen (eutrophication terrestrial & materielle Res- sourcen)	10
9	Midpoints, die Anstieg verzeichnen (Wasser- & Landnutzung)	10
10	Midpoints, die Anstieg verzeichnen (Feinstaub & Photochemische Oxidations- bildung)	11
11	Midpoint-Ausprägung: Global warming potential	12
12	Midpoint-Ausprägung: Energy Resources	12
13	Midpoint-Ausprägung: Human Toxicity: carcinogenic	13
14	Midpoint-Ausprägung: Land Use	13
15	Midpointausprägungen: Aufteilung der Materialeinflüsse (raw materials)	14
16	Kurzfristige Einsparungspotenziale	15
17	Langfristige Einsparungspotenziale	16
18	Vergleich der Lebenszyklen (selbsterstellte Grafik mithilfe von draw.io)	II

1 Einführung

1.1 Projekt, Unternehmen und Produktüberblick

Die Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) ist ein Instrument zur Bewertung der Umweltauswirkungen von Produkten während ihres gesamten Lebenszyklus, von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und Verwendung bis hin zur Entsorgung oder Wiederverwertung (Ausberg u. a. 2015). In diesem Bericht werden die Umweltwirkungen der beiden Produkte BiOTONi und BiOTONi Nature analysiert, die von der Koziol GmbH entwickelt wurden. Das Unternehmen verfolgt eine klar ausgerichtete Nachhaltigkeitsstrategie und setzt gezielt auf umweltfreundliche Produktionsverfahren (Koziol 2025). Die Erstellung dieses Berichtes, sowie die LCA selbst, wird durch das Projekt reGIOcycle ermöglicht. Somit trägt das Projekt neben Ökobilanzierungen für den Augsburger Becher und die Strohboxen zur Erstellung einer dritten LCA bei.

Da die Behandlung von Biomasseabfällen ein großes Potenzial zum Ausbau des Umweltschutzes bietet (Wiebe 2009), rückt die Sensibilisierung von Haushalten für eine konsequente Trennung organischer Abfälle zunehmend in den Fokus. Genau an diesem Punkt setzt das Produkt BiOTONi an: Er soll den Zugang zur getrennten Sammlung von Bioabfällen erleichtern und die Verwendung von Einsatztüten im Biomülleimer vermeiden. Ziel ist es, einen kompakten, geruchsneutralen und leicht zu reinigenden Bioabfallbehälter mit ansprechendem Design bereitzustellen, der den Einsatz von Plastiktüten in privaten Haushalten reduziert. Begleitend leistet Koziol durch gezielte Online-Kommunikation und Forschungsprojekte aktive Aufklärungsarbeit (Koziol 2025).



Abbildung 1: BiOTONi Nature in unterschiedlichen Farben (Koziol 2025)

Der BiOTONi Nature wurde durch das reGIOcycle-Projekt als potenzielles Nachfolgerprodukt für den BiOTONi konzipiert. Im Unterschied zum bisherigen Modell wird der BiOTONi Nature aus organischem Polyethylen und Zellulosefasern gefertigt – mit dem klaren Ziel, ein umweltfreundlicheres Produkt im Portfolio von Koziol zu etablieren. Die vorliegende Analyse der Ökobilanzen beider Produktvarianten liefert belastbare Einblicke in deren ökologischen Fußabdruck und identifiziert konkrete Optimierungspotenziale. Im Fokus steht der direkte Vergleich der beiden Varianten.

1.2 Was sind die Forschungsziele?

Die funktionelle Einheit besteht aus den jeweilig untersuchten Produkten (BiOTONi und BiOTONi Nature). Diese werden mithilfe der Lebenszyklusanalyse (LCA) untersucht, um die folgenden Forschungsfragen zu beantworten:

- Wie unterscheiden sich die ökologischen Auswirkungen biobasierter Polymeralternativen im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen?
- Welche Umwelteffekte ergeben sich durch den Einsatz von Ökostrom am Produktionsstandort der Koziol GmbH?
- Welche konkreten Handlungsempfehlungen lassen sich zur Reduzierung des Erderwärmungspotenzials des untersuchten Produkts ableiten?

1.3 Vereinfachte Darstellung des Lebenszyklus - BiOTONi

Der Lebenszyklus des BiOTONi-Produkts beginnt mit der Lieferung von Polypropylen (PP). Es wird angenommen, dass das PP aus China bezogen wird. Im Anschluss an den internationalen Transport wird das Material per LKW zur Produktionsstätte transportiert, wo das Endprodukt im Spritzgussverfahren hergestellt wird. Darauf folgt die Auslieferung des Fertigproduktes an Kunden in ganz Deutschland, wobei die typischen Transportentfernungen der nationalen Verteilung entsprechen. Nach der Verwendung wird das Produkt zu regionalen End-of-Life-Behandlungsanlagen transportiert, wo es je nach den örtlichen Abfallsorgungspraktiken entweder recycelt oder verbrannt wird.

1.4 Vereinfachte Darstellung des Lebenszyklus - BiOTONi Nature

Im Gegensatz zum konventionellen BiOTONi setzt sich das Alternativprodukt aus drei verschiedenen Materialkomponenten zusammen. Der Hauptanteil (89%) besteht aus biobasiertem Polyethylen (Bio-PE), das in Brasilien aus Bioethanol hergestellt wird. Darüber hinaus bestehen 10% der Materialmischung aus Zellulosefasern, die aus Lenzburg in der Schweiz bezogen werden, wobei der Transportweg mit dem LKW etwa 400 km beträgt. Der Haftvermittler (Maleinsäureanhydrid), welcher 1 % (Gewichtsanteil) vom Fertigprodukt ausmacht, stellt sicher, dass die Fasern und der Kunststoff den mechanischen Anforderungen des Produktes gerecht werden. Es wird davon ausgegangen, dass der Herstellungsprozess, die Produktverteilung, die Nutzungsphase und die End-of-Life-Behandlung mit denen des BiOTONi-Produkts identisch sind.

2 Life cycle assessment

2.1 Welche Methodik und Werkzeuge wurden genutzt?

Die vorliegende Ökobilanz basiert auf der ISO 14044 und nutzt den methodischen Rahmen des Environmental Footprint (EF) in der Version 3.1, der als anerkannter Standard für eine detaillierte und systematische Bewertung von Umweltauswirkungen gilt (Bassi u. a. 2023). Grundlage der Bewertung bilden 16 Wirkungskategorien, welche zentrale Umweltauswirkungen abbilden und eine ganzheitliche Betrachtung des Produktlebenszyklus ermöglichen. Folgende Wirkungskategorien fließen in die Bewertung ein:

- 1. Acidification
- 2. Climate Change
- 3. Ecotoxicity: Freshwater
- 4. Energy Resources: Non-renewable
- 5. Eutrophication: Freshwater
- 6. Eutrophication: Marine
- 7. Eutrophication: Terrestrial
- 8. Human Toxicity: Carcinogenic
- 9. Human Toxicity: Non-carcinogenic
- 10. Ionising Radiation: Human Health
- 11. Land Use
- 12. Material Resources: Metals/Minerals
- 13. Ozone Depletion
- 14. Particulate Matter Formation
- 15. Photochemical Oxidant Formation: Human Health
- 16. Water Use

Diese Wirkungskategorien decken ein breites Spektrum relevanter Umweltaspekte ab – von Treibhausgasemissionen (Klimawandel) über menschliche und ökologische Toxizität bis hin zu Ressourcenknappheit und Umweltverschmutzung. Die angewandte LCIA-Methode stellt sicher, dass alle Phasen des Produktlebenszyklus umfassend betrachtet werden und ein vollständiges Umweltprofil entsteht.

Die Ökobilanz wurde mit der Software *Activity Browser - basierend auf brightway2* erstellt, die eine effiziente Verwaltung und Analyse von Umweltdaten ermöglicht. Durch die Integration verschiedener Primärdaten wird eine hohe Genauigkeit der Analyse gewährleistet. Ergänzend kam für die Modellierung von Hintergrundprozessen die ecoinvent-Datenbank (Version 3.11) unter Anwendung des Modells „Allocation at the Point of Substitution“ zum Einsatz. Dieses Modell bezieht die weiteren Verarbeitungsschritte von Nebenprodukten in die Bilanzierung ein und ordnet die Umweltauswirkungen entsprechend dem wirtschaftlichen Wert der entstehenden Produkte zu (Wernet u. a. 2016). Dadurch wird insbesondere im End-of-Life (EoL) der Beitrag von Recyclingprozessen berücksichtigt, da Sekundärmaterialien belastungsfrei weitergegeben werden und potenziell Primärmaterialien ersetzen können. Dies ermöglicht eine differenzierte und nachvollziehbare Bilanzierung. Die verwendeten Daten wurden gezielt an die Anforderungen dieser Studie angepasst.

Es ist zudem wichtig zu beachten, dass die Interpretation von Midpoint-Indikatoren nicht frei von Unschärfen ist. LCIA-Methoden liefern zwar detaillierte Ergebnisse für verschiedene Wirkungskategorien, diese können jedoch in unterschiedliche Richtungen weisen und Zielkonflikte erzeugen. Verbesserungen in einer Umweltkategorie können gleichzeitig mit Belastungen in anderen Bereichen einhergehen.

Diese Komplexität erfordert eine besonders sorgfältige Interpretation der Ergebnisse – insbesondere bei der Auswahl von Handlungsalternativen und der Priorisierung von Umweltmaßnahmen. In solchen Fällen können Gewichtungsmethoden unterstützen, indem sie die Ergebnisse der Wirkungskategorien zu einer einzigen Bewertungszahl zusammenfassen (Pizzol u. a. 2016). Allerdings ist die Anwendung von Gewichtungen umstritten, insbesondere wenn unterschiedliche Interessengruppen in den Entscheidungsprozess eingebunden sind (Pizzol u. a. 2016).

Die Frage, welcher Midpoint-Indikator im konkreten Fall als besonders relevant oder prioritär einzustufen ist, ist somit immer auch eine normative Entscheidung und kann

nicht vollständig objektiv getroffen werden.

2.2 Was sind die Systemgrenzen der LCA?

Die Systemgrenzen der Studie sind im Sinne eines *Cradle-to-Gate plus End-of-Life (EoL)*-Ansatzes definiert. Damit umfasst die Analyse den gesamten Produktlebenszyklus – von der Rohstoffgewinnung über Produktion und Transport bis zum sogenannten „Gate“, also dem Punkt, an dem das Produkt verkaufs- oder gebrauchsfertig vorliegt (siehe Abbildung 2).

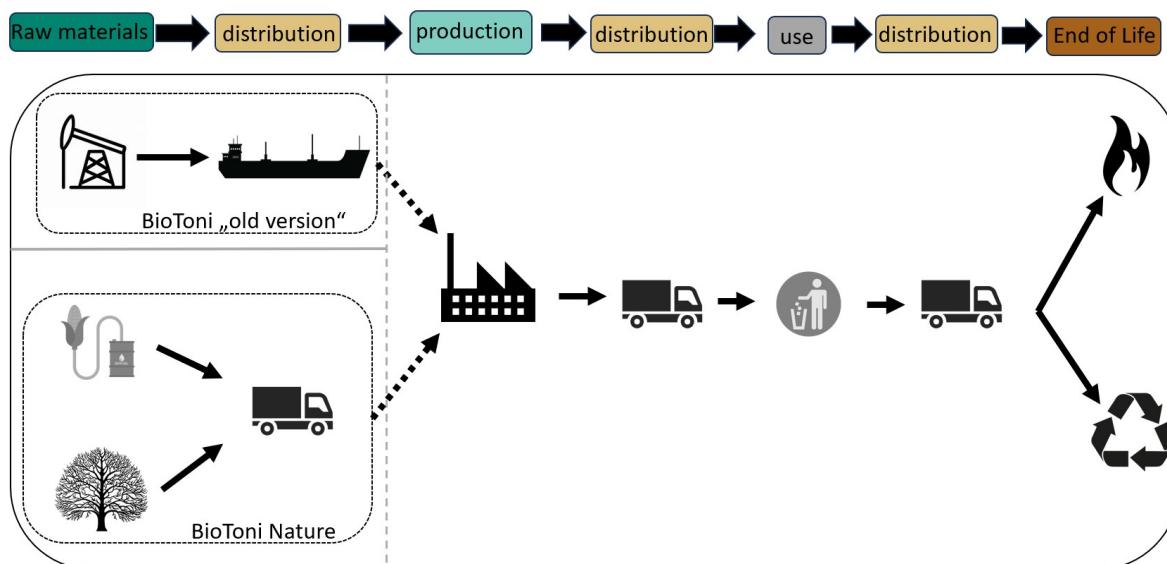


Abbildung 2: Systemgrenzen der Produkte (Eigene Darstellung)

Darüber hinaus wird auch die End-of-Life-Phase betrachtet, die alle Prozesse der Entsorgung, des Recyclings und der Verwertung nach der Nutzungsphase einschließt. Durch die Berücksichtigung dieser Phase ist eine umfassende Bewertung der Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg möglich, einschließlich potenzieller Effekte aus Entsorgungs- und Recyclingoptionen.

Eine grafische Darstellung der betrachteten Lebenszyklen und Systemgrenzen findet sich im Anhang.

2.3 Generelle Annahmen

In diesem Abschnitt werden ausgewählte Annahmen dargestellt, welche zum Verständnis der Modellierung wichtig sind.

2.3.1 Transport

Da der Schienenverkehr in Deutschland im Jahr 2023 weniger als 10% des absoluten Verkehrsaufkommens ausmacht, wird dieser Verkehrsträger in diesem Forschungsbericht vernachlässigt (Bundesamt 2025). Aus diesem Grund werden die folgenden zwei Transportmittel verwendet: Lkw und Frachtschiff. Da die meisten Tonnenkilometer des

LKW-Verkehrs in Deutschland anfallen, wird die durchschnittliche Zusammensetzung der Schadstoffklassen für diesen Prozess wie folgt angenommen:

Schadstoffgruppe	(Statista 2021)	Angepasste Werte
Euro III	14,96 %	17,19 %
Euro IV	4,48 %	6,71%
Euro V	30,35 %	32,58%
Euro EEV	1,47%	-
Euro VI	39,82 %	43,52%
Others	8,92%	-

Tabelle 1: Lastkraftwagen - Schadstoffklasse Deutschland

Somit wird jeder in der Ökobilanz verwendete Tonnenkilometer aus den jeweiligen Anteilen der LKW-Schadstoffklassen zusammengestellt. Für die Modellierung dieses Datensatzes wurden die entsprechenden ecoinvent-Prozesse verwendet. Für die per Frachtschiff zurückgelegten Transportkilometer kann auf die passenden Hintergrundprozesse aus ecoinvent zurückgegriffen werden.

2.3.2 Verpackung

Die Annahmen für die Verpackung wurden für die LCA wie folgt festgelegt: ein Karton (300 g) pro sechs Fertigprodukte und eine Kunststofffolie (10 g) pro Einheit für alle Transportstufen (außer den „Vorproduktionsstufen“). Beide Verpackungsmaterialien werden über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, von der Produktion bis zum End-of-Life (EoL), um eine umfassende Umweltverträglichkeitsprüfung zu gewährleisten.

2.3.3 Produktion

Das Spritzgießverfahren ist in der ecoinvent-Datenbank enthalten. Dieses Verfahren ist grundsätzlich sowohl für die Herstellung der alten Version des BiOTONi als auch des BiOTONi Nature geeignet. Da die Koziol GmbH ausschließlich mit Ökostrom produziert (Koziol 2025), wird dieser Prozess für die Analyse angepasst. Dabei wird der konventionelle Strom aus einem beispielhaften europäischen Strommix durch die gleiche Menge Ökostrom ersetzt. Um beide Produktionsarten zu vergleichen, wird der Produktionsprozess mit beiden Stromquellen für jedes Produkt modelliert.

2.3.4 Produktionsweg

Der Produktionsweg für das biobasierte Polyethylen weicht von herkömmlichen petrochemischen Verfahren ab und wird entsprechend mit Bioethanol als Ausgangsstoff modelliert. Während zur Herstellung von Ethylen üblicherweise das Steamcracking-Verfahren eingesetzt wird (Commission u. a. 2017), wobei in vielen europäischen Ländern insbesondere Naphtha und verflüssigte Gase zum Einsatz kommen (Muñoz und

Weidema 2024), ist dieser Ansatz für Verfahren auf (Bio)-Ethanolbasis nicht geeignet. Ein alternativer Weg zur Gewinnung von Ethylen ist die katalytische Dehydratisierung von (Bio)Ethanol zu (Bio)Ethylen (Mohsenzadeh, Zamani und Taherzadeh 2017). Daher wird in der vorliegenden Ökobilanz dieser Modellierungsansatz auf der Grundlage der katalytischen Dehydratisierung angewandt, wobei die in verschiedenen Forschungsarbeiten beschriebenen Methoden befolgt werden. Zum Beispiel in den Arbeiten von Tripodi, Belotti und Rossetti 2019 wie auch Frosi u. a. 2021. Aus diesem Grund ist die Herstellung von Bio-PE in drei Prozessschritte unterteilt:

1. Ethanolproduktion durch Fermentierung von pflanzlichen Stoffen (z.B. Zuckerrohr);
2. Katalytische Dehydratisierung von Ethanol zu Ethylen unter Berücksichtigung der Daten von Mohsenzadeh, Zamani und Taherzadeh 2017;
3. Polymerisation zur Herstellung von biobasiertem Polyethylen unter Verwendung eines durchschnittlichen Produktionsmixes.

Mit diesem Modellierungsansatz ist es möglich, einen praxisnahen Prozess für die Herstellung von Bio-PE abzubilden, der die Umweltauswirkungen gut widerspiegelt. Dieser Ansatz ermöglicht einen aussagekräftigen Vergleich der Umweltauswirkungen der beiden Materialien. Es wird davon ausgegangen, dass die Zellulosefaser und das Maleinsäureanhydrid mit den üblichen Herstellungsverfahren produziert werden.

2.3.5 End of Life

End of Life (EoL) bezieht sich auf die letzte Phase des Lebenszyklus eines Produkts, einschließlich Entsorgung, Recycling und Verwertung. Wirksame EoL-Strategien sind entscheidend für die Minimierung der Umweltauswirkungen durch die Förderung der Wiederverwendung von Materialien und die Reduzierung von Abfällen. Die Umsetzung von EoL-Strategien ist ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Wirtschaft und unterstreicht die Notwendigkeit solider Designüberlegungen und einer Infrastruktur zur Förderung der Grundsätze der Kreislaufwirtschaft (Ahmed u. a. 2024). In der vorliegenden Analyse basiert der Anteil der einzelnen Recyclingverfahren auf einer vom Umweltbundesamt ermittelten Zusammensetzung der Kunststoffabfälle. Analysiert wurden die Menge und der Verbleib der Kunststoffabfälle im Jahr 2021. Über 33% der Privatnutzungsabfälle wurden recycelt, während die energetische Verwertung über 66% ausmachte. Da die Beseitigung oder Deponierung weniger als einen Prozentpunkt ausmachte, wurde dieser Ansatz in dieser Studie vernachlässigt (Umweltbundesamt 2023). Im End-of-Life-Status-quo-Szenario der Ökobilanz wird daher von einer stofflichen Verwertung von 33,5% ausgegangen, während die energetische Verwertung oder thermische Nutzung 66,5% beträgt.

Darüber hinaus wird eine weitere Verwertungsquote betrachtet, nämlich der Anteil von BiOTONi bzw. BiOTONi Nautre, der nach der stofflichen Verwertung als Kunststoffzyklus wieder verwendet werden kann. Hierfür wird eine Recyclingquote von ca. 70 % angenommen.

3 Wie sehen die Ergebnisse der LCA aus?

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich ausschließlich um modellbasierte Abschätzungen, die auf den zugrunde gelegten Annahmen beruhen.

3.1 Welche Midpoints weisen eine Reduktion der Umweltauswirkung durch die Materialsubstitution auf?

Die nachstehenden Abbildungen veranschaulichen die modellierten Veränderungen zwischen der bisherigen Version des BiOTONi und dem BiOTONi Nature über alle Midpoint-Indikatoren, die eine Reduktion aufweisen. Besonders im Midpoint „Global Warming Potential“ (GWP) deutet das Modell auf eine potenzielle Reduktion der Treibhausgasemissionen um rund 28 % hin. Ebenso zeigen die Ergebnisse ein mögliches Einsparpotenzial von etwa 87 % bei der Nutzung nicht-erneuerbarer Energieressourcen im Vergleich zur konventionellen Produktvariante. Diese Ergebnisse lassen auf ein insgesamt günstigeres Umweltprofil des BiOTONi Nature schließen, insbesondere im Hinblick auf den Einsatz fossiler Energieträger und die Treibhausgasemissionen.

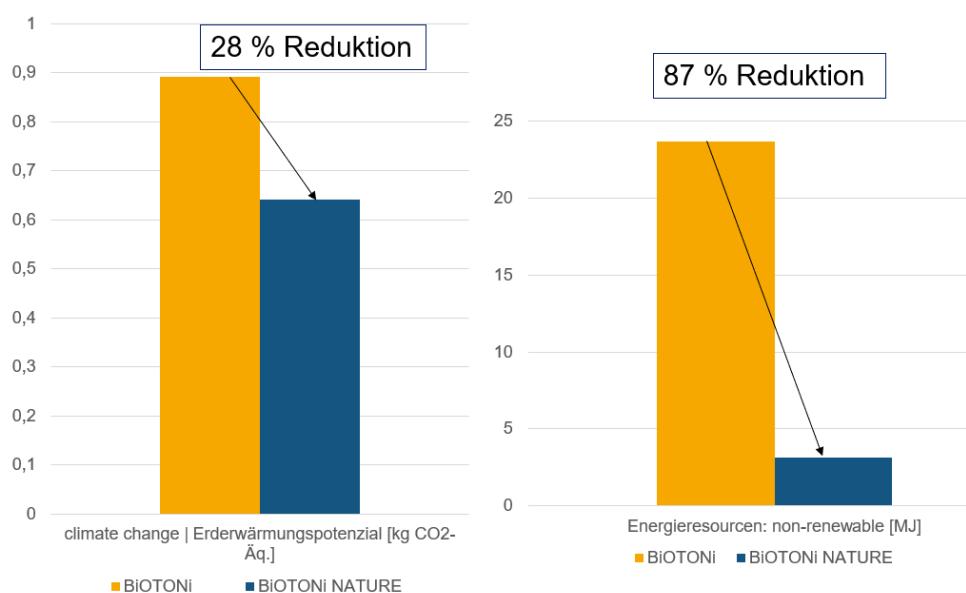


Abbildung 3: Midpoints, die Reduktion verzeichnen (GWP & Energieresourcen)

Das Umweltwirkungskriterium (Midpoint) *Ozonabbau* konnte im Rahmen der durchgeführten Maßnahmen um mehr als ein Viertel des zuvor berechneten Abbaupotenzials verringert werden. Dies bedeutet, dass die potenziell umweltschädlichen Emissionen, die zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht beitragen, signifikant reduziert wurden. Durch diese Reduktion wird das Risiko negativer Umweltauswirkungen, wie etwa einer erhöhten UV-Strahlung auf der Erdoberfläche, entsprechend gemindert.

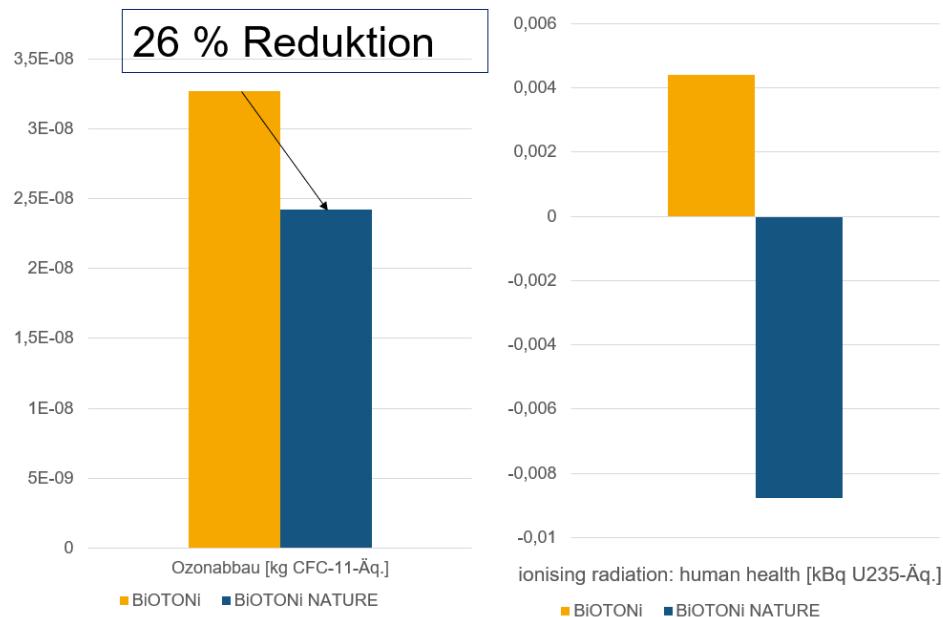


Abbildung 4: Midpoints, die Reduktion verzeichnen (Ozonabbau & ionising radiation)

3.2 Welche Midpoints weisen einen Anstieg der Umweltauswirkung durch die Materialsubstitution auf?

Gleichzeitig zeigen einige Midpoint-Indikatoren – wie etwa die Land- und Wassernutzung sowie die Versauerung – deutliche Anstiege. Diese zusätzlichen Umweltbelastungen sind besonders auf die Rohstoffherstellung zurückzuführen, die als biogene Grundlage für das Bio-Polyethylen dient. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Veränderungen bei mehreren Indikatoren im Bereich sehr kleiner Absolutwerte (sechs bis sieben Dezimalstellen) liegen, was in einigen Fällen zu rechnerisch hohen prozentualen Veränderungen führt.

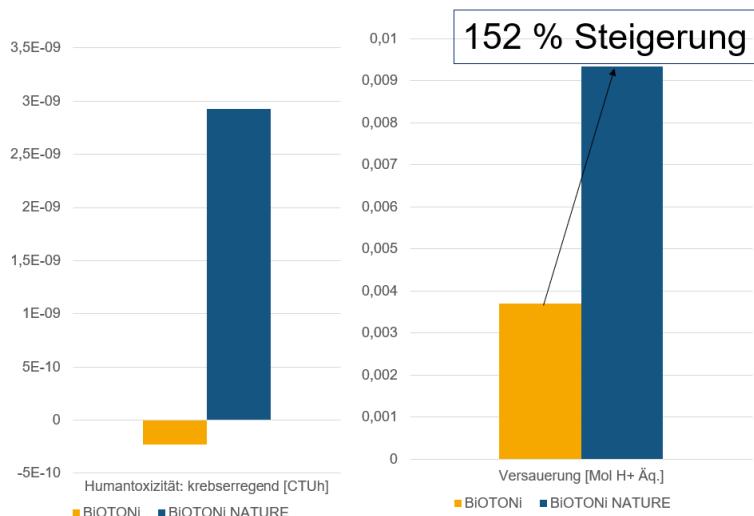


Abbildung 5: Midpoints, die Anstieg verzeichnen (Humantoxizität & Versauerung)

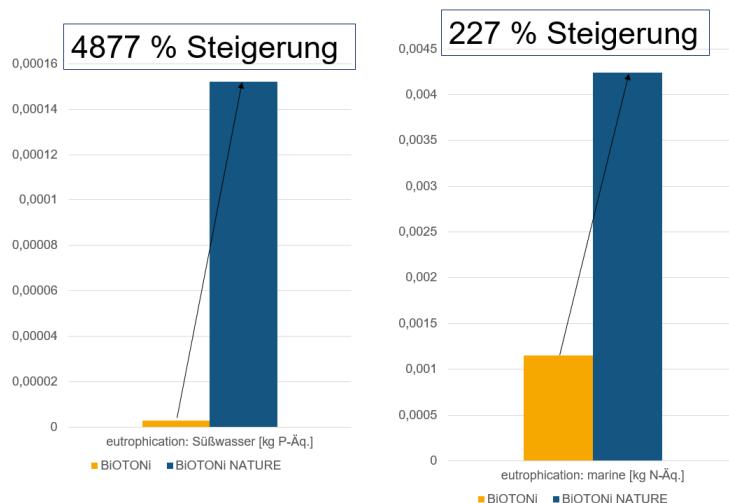


Abbildung 6: Midpoints, die Anstieg verzeichnen (eutrophication süßwasser & marine)

Der Midpoint *Eutrophication – Süßwasser* verzeichnet prozentual das höchste Wachstum. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Ausgangsversion des BiOTONi in diesem Indikator nur eine äußerst geringe Umweltwirkung aufweist. Obwohl rechnerisch eine Vervielfachung erfolgt, liegt der absolute Anstieg im Bereich von Werten mit mehreren Nachkommastellen.

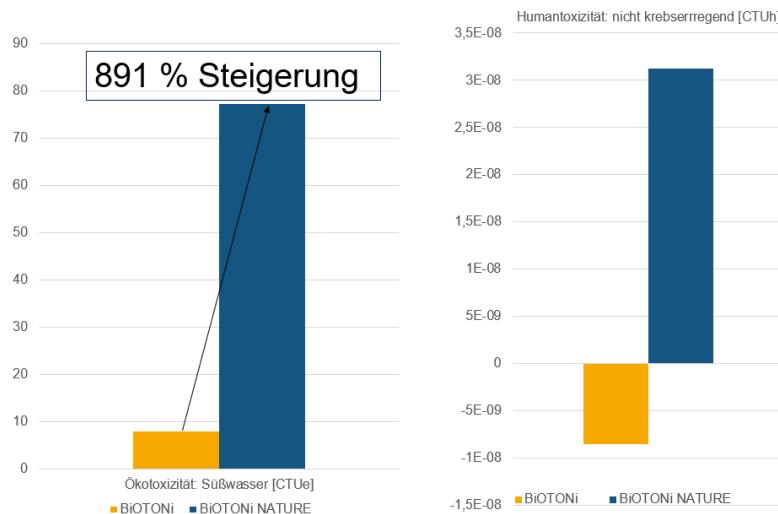


Abbildung 7: Midpoints, die Anstieg verzeichnen (Ökotoxizität & Humantoxizität (non-carcinogenic))

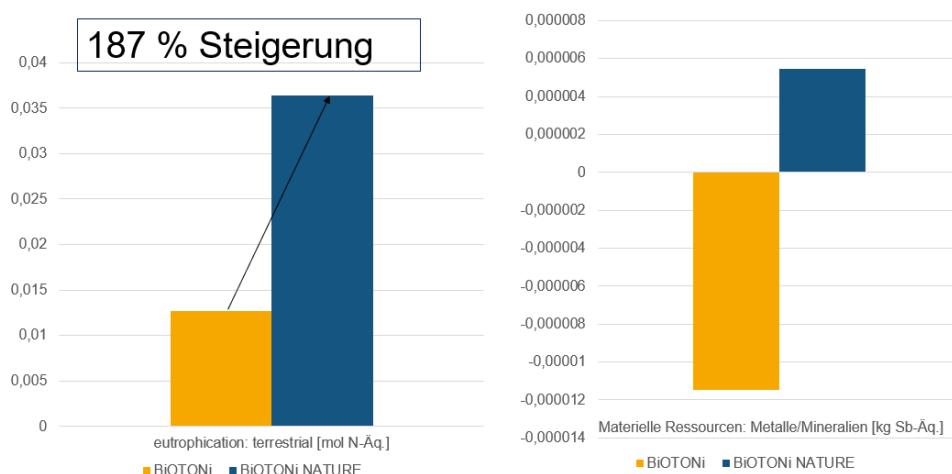


Abbildung 8: Midpoints, die Anstieg verzeichnen (eutrophication terrestrial & materielle Ressourcen)

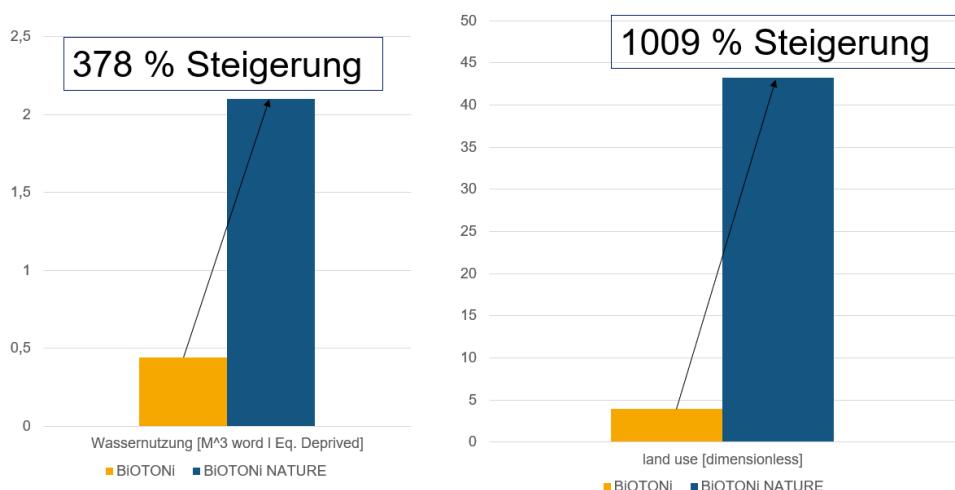


Abbildung 9: Midpoints, die Anstieg verzeichnen (Wasser- & Landnutzung)

Der Anstieg der *Wasser-* und *Landnutzung* ist vor allem auf den Anbau der Rohmaterialien zurückzuführen, die als Grundlage für die Herstellung des Bio-PE dienen. Dabei entstehen die Umweltbelastungen hauptsächlich durch die Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Flächen sowie den verstärkten Einsatz von Düngemitteln und Bewässerungssystemen, die den Wasserverbrauch beeinflussen können.

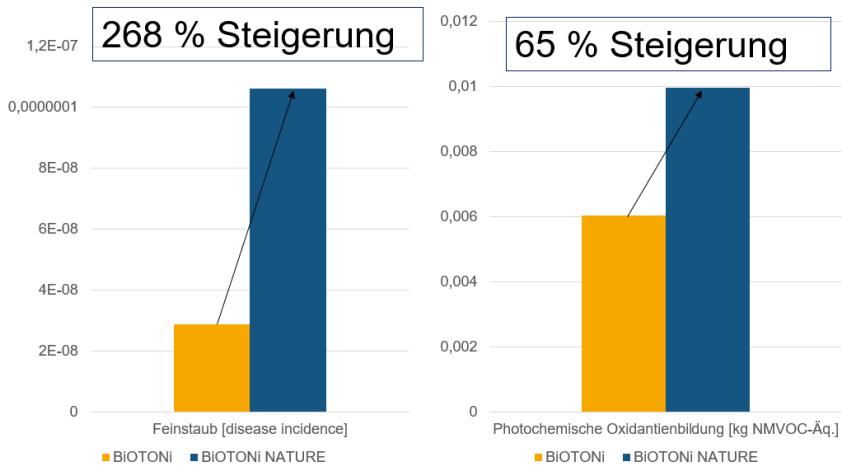


Abbildung 10: Midpoints, die Anstieg verzeichnen (Feinstaub & Photochemische Oxidationsbildung)

3.3 Detaillierte Betrachtung ausgewählter Midpoints

Dieses Kapitel wird sich auf vier ausgewählte Midpoints beschränken. Im ersten Teilabschnitt werden die nachstehenden Wirkungskategorien über alle Lebensabschnitte betrachten. Der zweite Teilabschnitt widmet sich ausschließlich dem Bereich *raw materials*.

3.3.1 Detaillierte Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus

Um die Entstehungsbereiche der jeweiligen Umweltbelastungen differenzierter zu analysieren, werden in diesem Teilabschnitt die Midpoints „Global Warming Potential“, „Energy Resources“, „Humantoxizität (krebsfördernd)“ und „Landnutzung“ näher betrachtet. Die dargestellten Ergebnisse sind jeweils in die vier Entstehungsbereiche „Raw Materials“, „Production“, „Distribution“ und „End of Life“ unterteilt. Jede Säule in den Abbildungen enthält zusätzlich eine Summenlinie, die den Gesamtbeitrag des jeweiligen Produkts zum jeweiligen Midpoint-Indikator veranschaulicht. Die Abbildungen zeigen die Ergebnisse für insgesamt fünf Modellvarianten: Die beiden linken Säulen beziehen sich auf das ursprüngliche Produkt, einmal unter Annahme von Ökostrom (Status quo) und einmal unter Verwendung eines konventionellen Strommixes. Die gleiche Differenzierung wurde auch für den BiOTONi Nature vorgenommen. Zusätzlich wird eine “regionale” Alternative dargestellt, bei der die Rohstoffe aus Deutschland bezogen werden (vgl. Anhang).

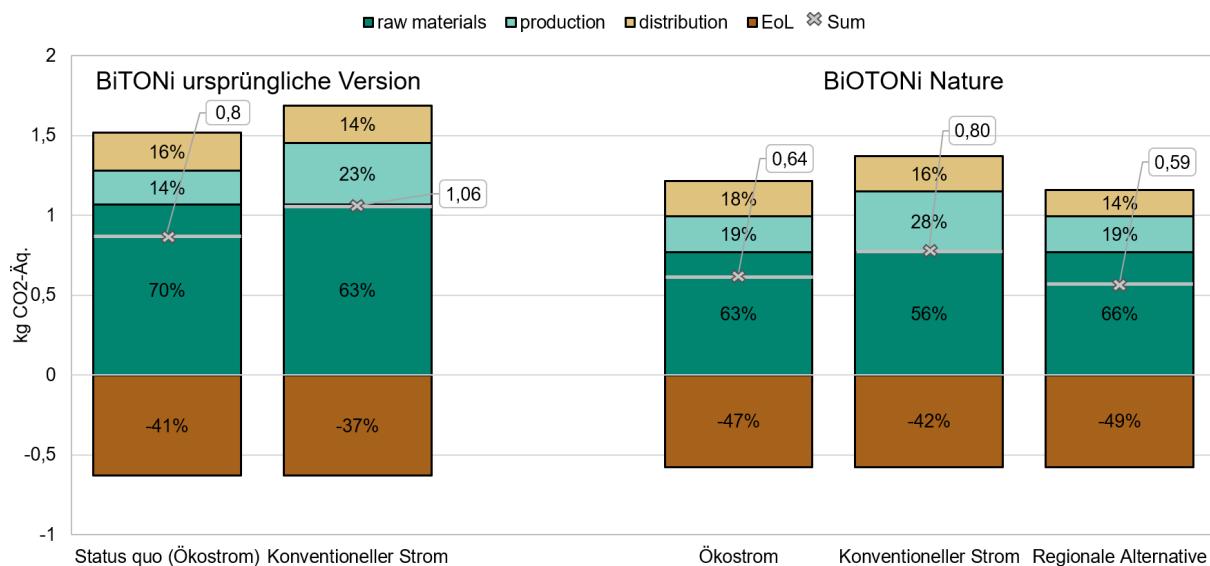


Abbildung 11: Midpoint-Ausprägung: Global warming potential

Die modellierten Ergebnisse zu den Midpoints *Global Warming Potential (GWP)* und *Energy Resources* zeigen insbesondere im Bereich der Rohstoffgewinnung ein erhebliches Einsparpotenzial. Der Bezug von national produziertem Bio-PE bietet hier eine zusätzliche Reduktionsmöglichkeit von knapp 8 Prozentpunkten beim *GWP* und über 21 Prozentpunkten beim Indikator *Energy Resources* im Vergleich zum BiOTONi Nature mit international bezogenem Bio-PE. Auch der Einsatz von Ökostrom in der Produktion weist im Modell eine deutliche Reduktion der CO₂-Äquivalente pro hergestelltem Produkt auf.

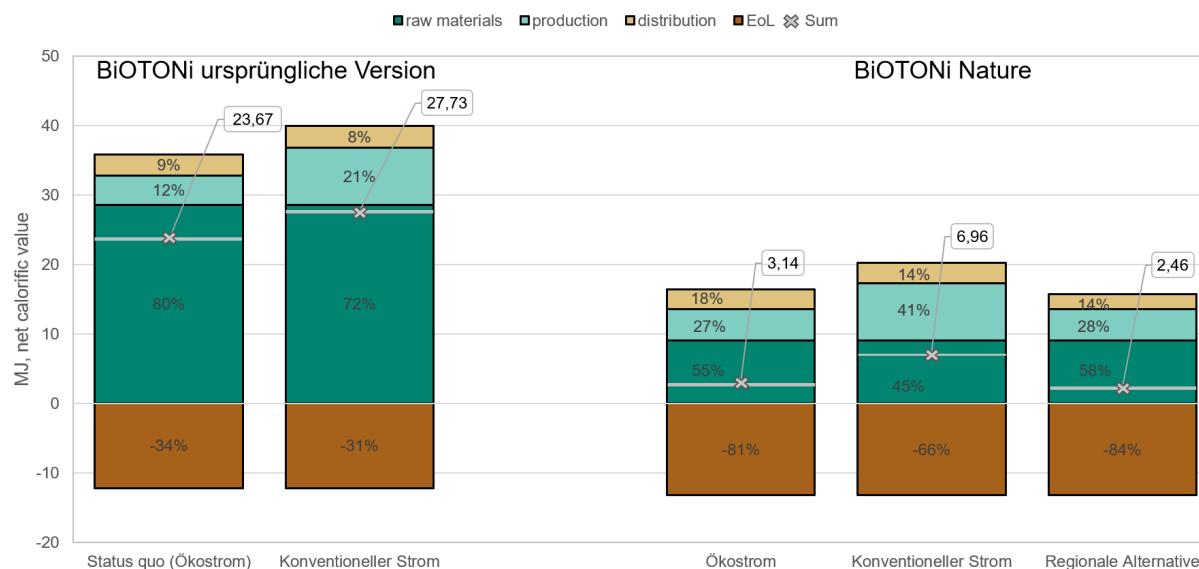


Abbildung 12: Midpoint-Ausprägung: Energy Resources

Der im Modell berechnete Anstieg von über 1.000 % im Bereich *Land Use* beim Wechsel vom BiOTONi zum BiOTONi Nature entfällt größtenteils auf die Rohstoffphase. Ein ähnliches Muster lässt sich auch im Midpoint *Humantoxizität – krebserregend* erkennen. Zur genaueren Analyse dieser Zusammenhänge wird der Ursprung der betrachteten Midpoints im Nachstehenden Unterkapitel (Abbildung 15) noch detaillierter untersucht.

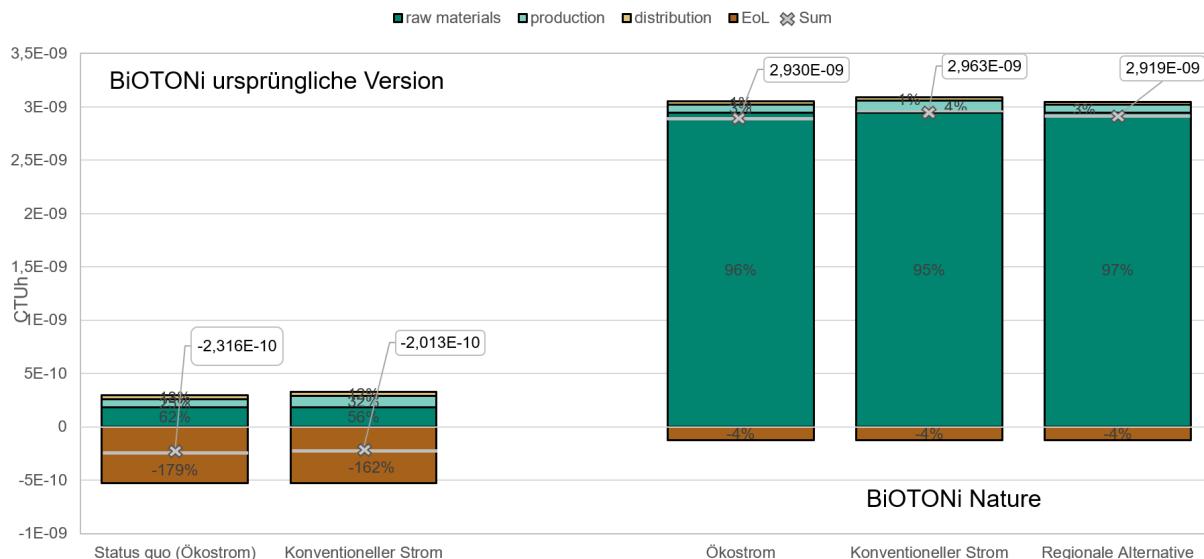


Abbildung 13: Midpoint-Ausprägung: Human Toxicity: carcinogenic

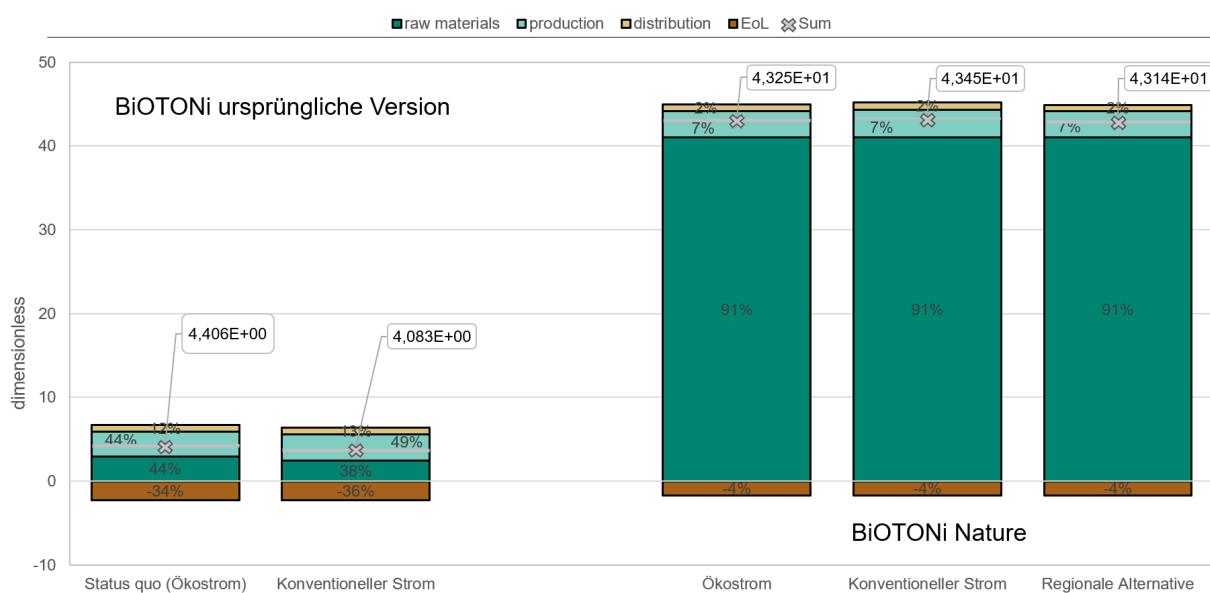


Abbildung 14: Midpoint-Ausprägung: Land Use

3.3.2 Detaillierte Betrachtung im Teilbereich *raw materials*

Die Analyse der Midpoints in Bezug auf die Entstehung pro Materialanteil zeigt, dass im Bereich *raw materials* der Anteil der Umweltwirkungen, der auf das Bio-PE entfällt, in allen betrachteten Midpoints bei über 95 % liegt. Dieses Ergebnis lässt sich sowohl auf den hohen Massenanteil des Bio-PEs im Produkt als auch auf die mit seiner Herstellung verbundenen Umwelteinflüsse zurückführen. Daraus ergibt sich ein erhebliches modelliertes Potenzial zur Optimierung, insbesondere bei der Herstellung des Bio-PEs sowie im Bereich der Rohstoffauswahl.

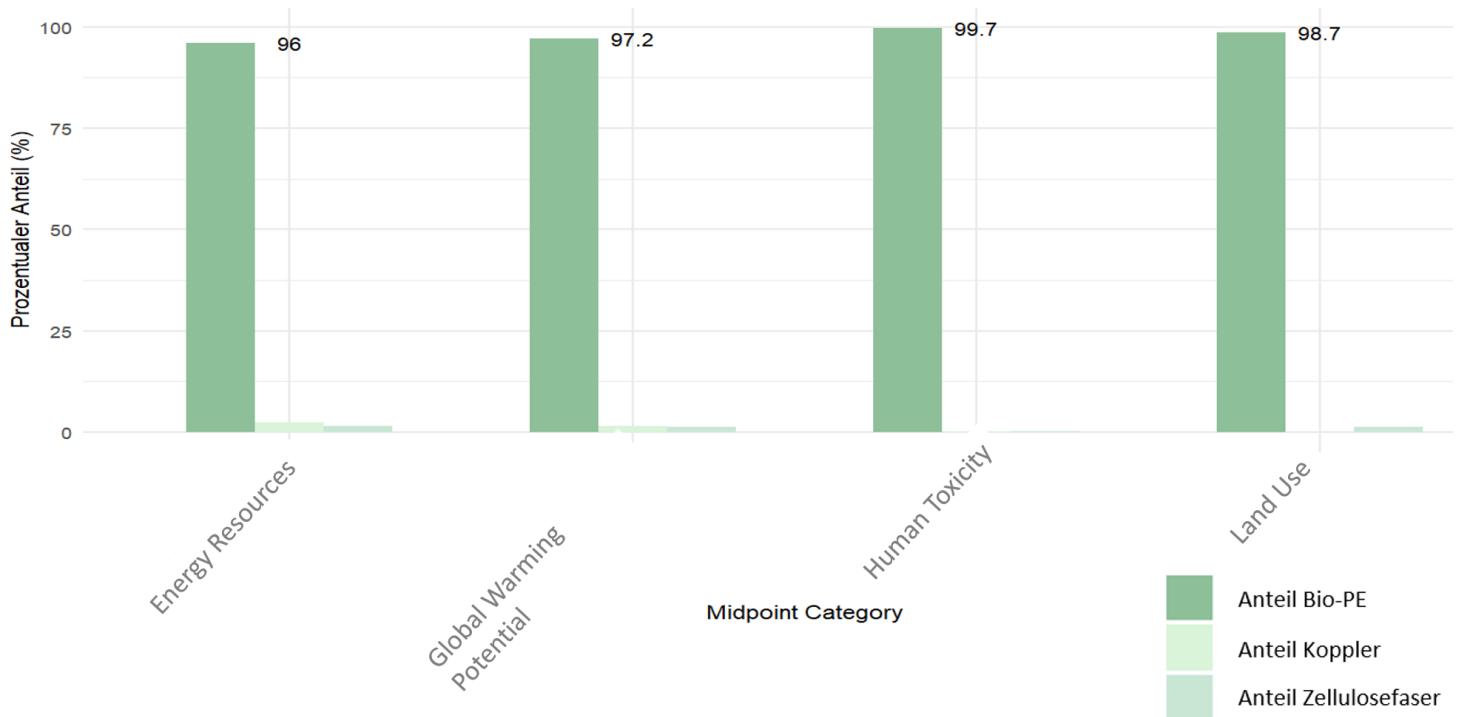


Abbildung 15: Midpointausprägungen: Aufteilung der Materialeinflüsse (raw materials)

4 Welche Handlungsoptionen zur Senkung des Erderwärmungspotenzials bestehen?

Dieser Abschnitt dient der Ableitung von konkreten Handlungsempfehlungen, anhand der neu gewonnenen Erkenntnisse. Es werden *kurzfristige Einsparungspotenziale* und *langfristige Einsparungspotenziale* dargelegt. Diese Einsparungspotenziale sollen darstellen, in welchen Bereichen Handlungsbedarf herrscht und mit welchen konkreten Schritten der Midpoint des *Erderwärmungspotenzials* über lang- bzw. kurzfristige Sicht weiter reduziert werden kann.

4.1 Kurzfristige Einsparungspotenziale

Die in nachstehender Abbildung dargelegten kurzfristigen Einsparungspotenziale verdeutlichen, welches Reduktionspotenzial im Modell für den BiOTONi Nature mit wenigen Schritten im Vergleich zum ursprünglichen BiOTONi besteht. Bereits in der aktuellen Produktkonfiguration wird eine signifikante Verringerung des Global Warming Potentials (GWP) erreicht.

Darüber hinaus zeigt die modellhafte Betrachtung, dass eine Erhöhung des Faseranteils auf 20 % zu einer potenziellen Reduktion der CO₂-Äquivalente um bis zu 37 % führen könnte.

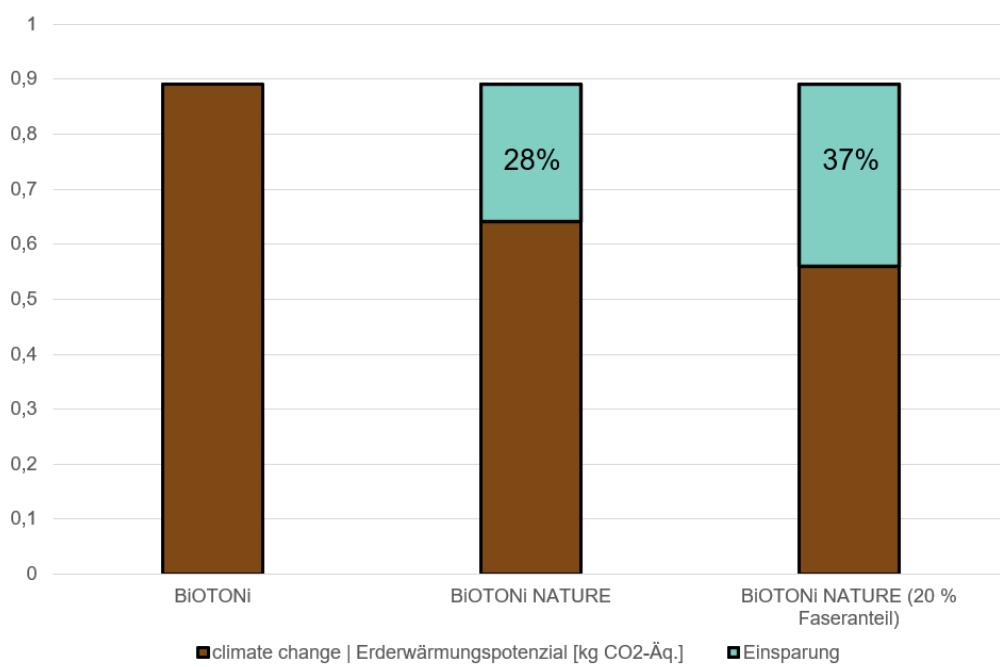


Abbildung 16: Kurzfristige Einsparungspotenziale

4.2 Langfristige Einsparungspotenzial

Die modellierten langfristigen Einsparungspotenziale sind in Abbildung 17 dargestellt. In einem Szenario, das den Bezug von Bio-PE aus Deutschland berücksichtigt, zeigt sich eine potenzielle Reduktion der CO₂-Äquivalente um rund 34 % im Vergleich zum Ausgangsprodukt. Zudem wurden zwei weitere Maßnahmen modellhaft analysiert: Der kombinierte Einsatz von regionalen Rohstoffen und Ökostrom bei der katalytischen Dehydrierung von Bioethanol zu Bioethylen könnte die CO₂-Emissionen um bis zu 43 % senken. Wird darüber hinaus der Faseranteil im Produkt auf 20 % erhöht, lässt sich im Modell eine maximale Reduktion der CO₂-Äquivalente um bis zu 50 % erreichen.

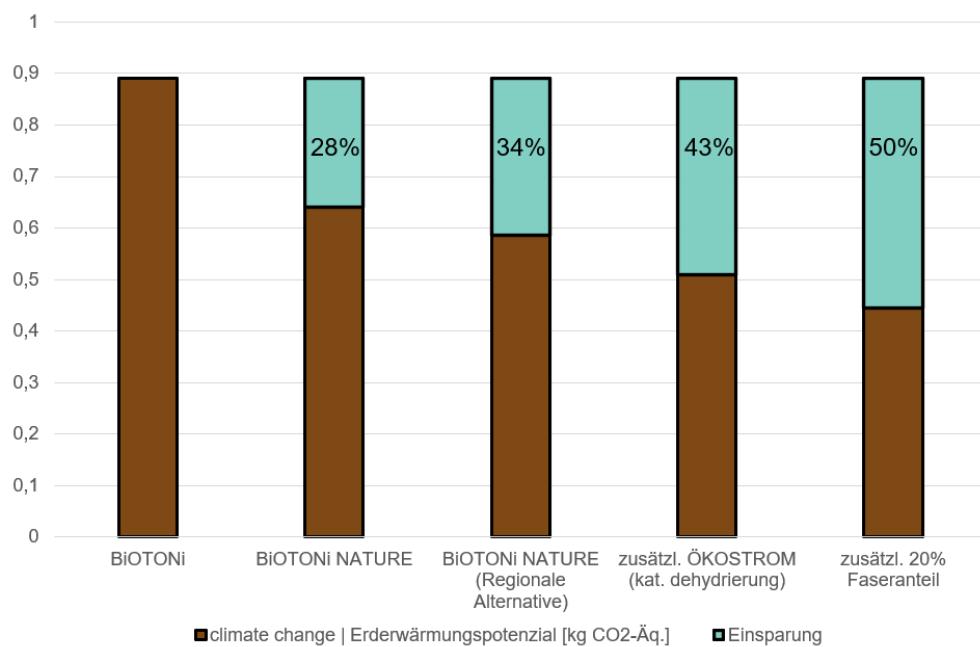


Abbildung 17: Langfristige Einsparungspotenziale

5 Fazit

Im Rahmen dieser Studie wurden die ökologischen Auswirkungen biobasierter Polymeralternativen am Beispiel des BiOTONi und BiOTONi Nature einer differenzierten Analyse unterzogen. Dabei lassen sich drei zentrale Erkenntnisse im Hinblick auf die formulierten Forschungsfragen ableiten:

- 1. Vergleich der ökologischen Auswirkungen biobasierter Polymere mit konventionellen Kunststoffen*

Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz biobasierter Polymeralternativen im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen zu signifikanten Reduktionen bei bestimmten Umweltwirkungen, insbesondere im Global Warming Potential (GWP) und im Bereich der Nutzung fossiler Energieressourcen, führen kann. So ermöglicht der Einsatz biobasierter Materialien einen substanzuellen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen

und zur Reduzierung der Abhängigkeit von endlichen fossilen Rohstoffen. Allerdings verdeutlichen die Midpoint-Ergebnisse zugleich, dass dieser ökologische Vorteil nicht universell über alle Wirkungskategorien hinweg gilt. Insbesondere bei den Indikatoren Landnutzung, Süßwassernutzung und Versauerungspotential sind teils erhebliche Anstiege der Umweltbelastungen zu verzeichnen. Diese Effekte resultieren maßgeblich aus der Rohstoffbereitstellung für biobasierte Polymere, die mit einem höheren Flächen- und Wasserbedarf einhergeht. Die Analyse unterstreicht damit die hohe Relevanz einer indikatorenspezifischen Betrachtung und verweist auf die inhärenten Zielkonflikte in der Bewertung biobasierter Materialien. Eine pauschale ökologische Bewertung ist daher nicht zielführend; vielmehr muss die Auswahl der betrachteten Umweltindikatoren stets den jeweiligen Bewertungszielen und Interessen angepasst werden.

2. Umwelteffekte durch den Einsatz von Ökostrom am Produktionsstandort

Die Modellierung des Einsatzes von erneuerbaren Energien am Produktionsstandort der Koziol GmbH zeigt deutliche ökologische Entlastungseffekte. Insbesondere im Bereich des Global Warming Potentials und der Inanspruchnahme fossiler Energieträger lassen sich substanzielle Einsparungspotenziale realisieren (vgl. Kapitel 3.3.1). Diese Ergebnisse belegen die hohe Effektivität von Maßnahmen im Bereich der Energieversorgung, um unmittelbare und signifikante Beiträge zur Reduktion klimarelevanter Emissionen zu leisten. Der Bezug von Ökostrom stellt damit eine zentrale Stellschraube für eine ökologische Optimierung des Produktionsstandorts dar.

3. Handlungsempfehlungen zur Reduzierung des Erderwärmungspotentials des Produkts

Die durchgeführten Szenarioanalysen verdeutlichen, dass bereits mit vergleichsweise geringem Aufwand erhebliche Reduktionspotenziale im GWP des BiOTONi Nature realisiert werden können. So führt bereits die bestehende Materialkonfiguration zu einer signifikanten Minderung der Treibhausgasemissionen im Vergleich zum konventionellen BiOTONi. **Langfristig könnten sich durch die Kombination aus erhöhtem Faseranteil, dem gezielten Einsatz regionaler Rohstoffe und der Integration erneuerbarer Energien (bei der Rohstoffherstellung) Minderungen des Erderwärmungspotenzials von bis zu 50 % im Vergleich zum Ausgangsprodukt einstellen.** Diese Ergebnisse bieten klare Handlungsempfehlungen: Eine konsequente Umstellung auf regionale, biogene Rohstoffe (nach Prüfung der Verfügbarkeiten), der Einsatz erneuerbarer Energien im Rohstoffherstellungsprozess sowie eine Materialoptimierung durch Erhöhung des Faseranteils stellen die effektivsten Hebel dar, um die Klimawirkung des Produkts nachhaltig zu senken.

Literaturverzeichnis

- Ahmed, Waqas u. a. (Nov. 2024). "Circular economy: Extending end-of-life strategies". In: *Sustainable Production and Consumption* 51, S. 67–78. ISSN: 23525509. DOI: 10.1016/j.spc.2024.09.003.
- Ausberg, Laura u. a. (2015). "Lebenszyklusanalysen". In: *Umweltbewertung für Ingenieure*. Springer Berlin Heidelberg, S. 203–314. DOI: 10.1007/978-3-642-36989-6_5.
- Bassi, Andreasi u. a. (2023). "Updated characterisation and normalisation factors for the Environmental Footprint 3.1 method". In: ISBN: 978-92-76-99069-7. DOI: 10.2760/798894. URL: <https://joint-research-centre.ec.europa.eu>.
- Bundesamt, Statistisches (2025). *Güterverkehr nach Art, Menge und Leistung 2023*. URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/_inhalt.html#_7y9w407w4.
- Commission, European u. a. (2017). *Best Available Techniques (BAT) reference document for the production of large volume organic chemicals*. Publications Office. DOI: doi/10.2760/77304.
- Frosi, Martina u. a. (Dez. 2021). "Ethylene from renewable ethanol: Process optimisation and economic feasibility assessment". In: *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 104, S. 272–285. ISSN: 1226086X. DOI: 10.1016/j.jiec.2021.08.026.
- Koziol (Apr. 2025). *Koziol GmbH*. URL: <https://koziol-shop.de/>.
- Mohsenzadeh, Abas, Akram Zamani und Mohammad J. Taherzadeh (Apr. 2017). "Bioethylene Production from Ethanol: A Review and Techno-economical Evaluation". In: *ChemBioEng Reviews* 4 (2), S. 75–91. ISSN: 2196-9744. DOI: 10.1002/cben.201600025.
- Muñoz, Ivan und Bo P. Weidema (Apr. 2024). "Ethylene and propylene production from steam cracking in Europe: a consequential perspective". In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 29 (4), S. 745–758. ISSN: 0948-3349. DOI: 10.1007/s11367-024-02282-1.
- Pizzol, Massimo u. a. (Juni 2016). "Normalisation and weighting in life cycle assessment: quo vadis?" In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 22 (6), S. 853–866. ISSN: 0948-3349. DOI: 10.1007/s11367-016-1199-1.
- Statista (2021). *Nutzfahrzeug-Bestand in Deutschland nach Schadstoffgruppe 2021*. URL: <https://de.statista.com/themen/735/lastkraftwagen-lkw/#topicOverview>.
- Tripodi, Antonio, Mattia Belotti und Ilaria Rossetti (Aug. 2019). "Bioethylene Production: From Reaction Kinetics to Plant Design". In: *ACS Sustainable Chemistry Engineering* 7 (15), S. 13333–13350. ISSN: 2168-0485. DOI: 10.1021/acssuschemeng.9b02579.
- Umweltbundesamt (Juni 2023). *Kunststoffabfälle*. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewahlter-abfallarten/kunststoffabfaelle#kunststoffe-produktion-verwendung-und-verwertung>.
- Wernet, Gregor u. a. (Sep. 2016). "The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology". In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21 (9), S. 1218–1230. ISSN: 0948-3349. DOI: 10.1007/s11367-016-1087-8.
- Wiebe, Andrea (2009). "Abfallwirtschaft und Klimaschutz. Im Biomüll steckt mehr als nur Kompost." In: *AKP. Fachzeitschrift für Alternative Kommunalpolitik*.

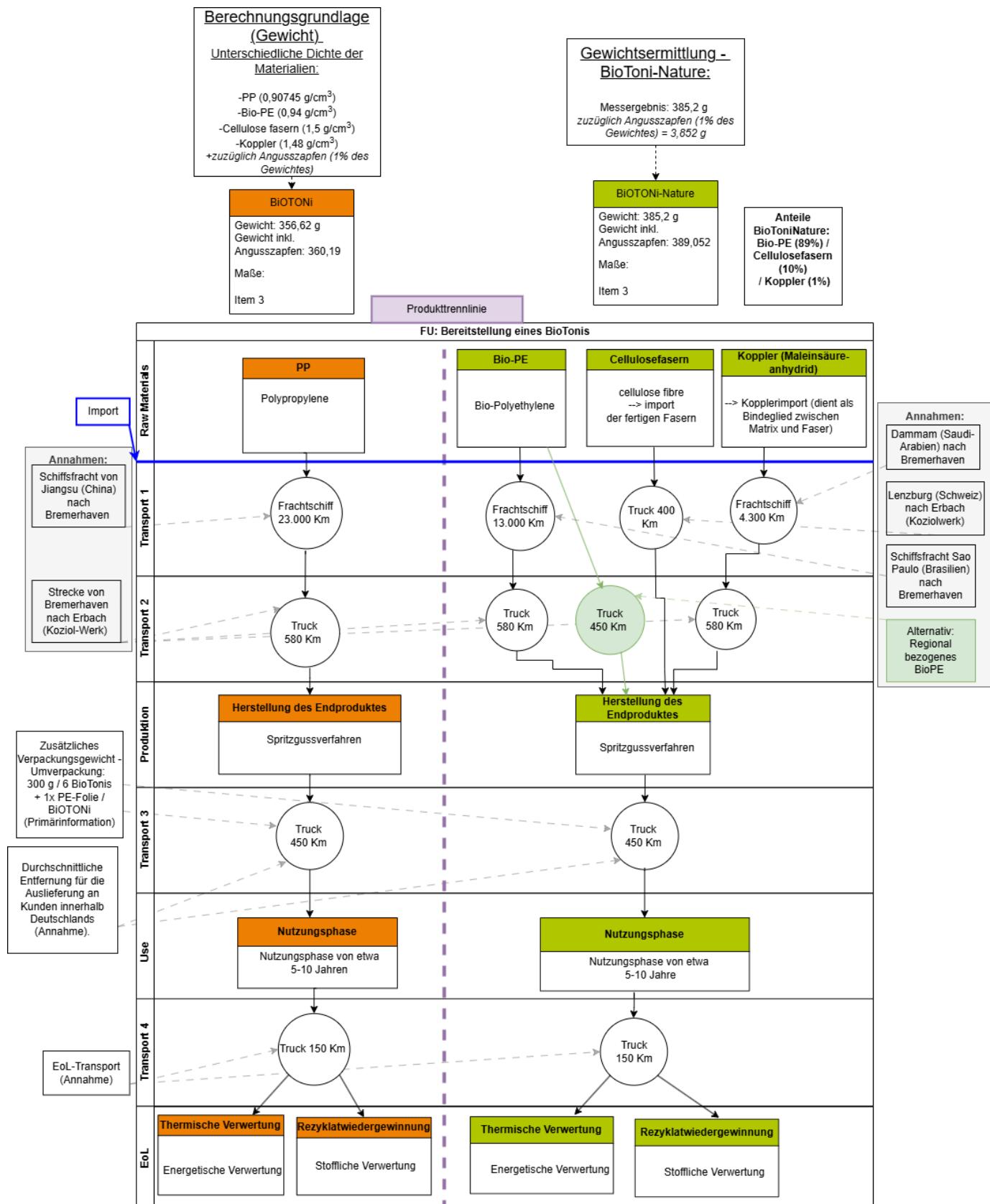


Abbildung 18: Vergleich der Lebenszyklen (selbsterstellte Grafik mithilfe von draw.io)