

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen
IEF Industrial Ecology Freiburg

Die Umweltauswirkungen der FreiburgCup Eine Ökobilanzierung und Evaluierung des Freiburger Mehrwegsystems für ToGo-Becher

Johannes Althammer¹, Kaja Weldner², Stefan Pauliuk³

19. Juni 2017

¹MSc Renewable Energy Management

²MSc Environmental Governance

³Juniorprofessor für Nachhaltiges Energie- und Stoffstrommanagement,
stefan.pauliuk@indecoll.uni-freiburg.de

Zusammenfassung/Abstract

Bei der Bewertung der FreiburgCup wurde festgestellt, dass das Mehrwegsystem aus der Sicht der Müllvermeidung einen positiven Effekt gegenüber einem Papierbechersystem mit sich bringt. Aus der Sicht von Ökologie und menschlicher Gesundheit ist die Bilanz der FreiburgCup in den meisten betrachteten Szenarien und Kategorien mit der einer Papiertasse vergleichbar. Aus ökologischer Sicht ist allerdings eine enorme Verbesserung zu erreichen, wenn

1. Die FreiburgCup häufig ausgegeben, verwendet und auch wieder zurückgegeben wird
2. Die FreiburgCup mit einem hohen Anteil an Ökostrom gespült wird.
3. Die FreiburgCup ohne einen Polystyrol-Deckel genutzt wird.

Aufgrund der einerseits hohen Nachfrage an FreiburgCups, vor allem in den ersten Monaten (Bootz 17.01.2017), und der wesentlich geringeren Ausgabquote heute andererseits ist anzunehmen, dass die FreiburgCups den Cafés nicht mehr zum Spülen und Wiederausgeben zurückgegeben werden. Wenn die FreiburgCups in den Cafés nicht offensiv angeboten werden oder sie bei den Nutzern zuhause in einem Tassenschrank verstauben, werden ökologische Ziele - wie bei jedem Pfandsystem - zwangsläufig verfehlt. Zudem sollte im Blick behalten werden, dass der Einfluss einer Tasse auf die Umwelt im Vergleich zu anderen Aktivitäten (z.B. Polystyrol-Deckel der Kaffeetasse, Kaffee selbst, Flugreisen) nicht überbewertet werden darf. Im Hinblick auf die Flexibilität der Kunden auf Alternativen umzusteigen (von Flugzeug auf Zug / von Papiertasse auf Mehrwegbecher) jedoch auch nicht unterschätzen. Die Studie unterliegt Unsicherheiten bezüglich der Methodik und der Modellierung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Methode und Untersuchungsrahmen	5
2.1	Untersuchungsrahmen	5
2.1.1	FreiburgCup	5
2.1.2	Herkömmlicher Einweg-Becher	8
2.2	Wahl des LCA-Modells und Wirkungsabschätzung	9
2.2.1	Wahl des LCA-Modells	9
2.2.2	Auswahl der Wirkungskategorien und Berechnungsmethoden der Wirkungsabschätzung	10
2.3	Sensitivitätsanalyse und Szenarien	11
3	Ergebnisse	12
3.1	Müllvermeidung in der Innenstadt	12
3.2	Klimawandel (GWP)	13
3.3	Feinstaub	16
3.4	Humantoxizität	19
3.5	Besetzung landwirtschaftlicher Nutzfläche	22
4	Diskussion	25
4.1	Gültigkeit	25
4.2	Ergebnisdiskussion	26

1 Einleitung

Am 21. November 2016 hat die *Abfallwirtschaft und Stadtreinigung Freiburg GmbH (ASF)* die FreiburgCup als Alternative zu den herkömmlichen Kaffee-ToGo Einwegbechern eingeführt. Die FreiburgCup ist ein wiederverwendbarer Becher für heiße ToGo-Getränke, für den 1,00 € Pfand verlangt wird. Aus hygienischen Gründen bleibt der dazugehörige Deckel ein Einwegdeckel. Der Plastikbecher kann bei allen beteiligten Cafés und Bäckereien zurückgegeben werden. Dort wird er gereinigt und daraufhin wieder ausgegeben. Ziel der FreiburgCup ist es, das Abfallaufkommen durch Einwegbecher in der Freiburger Innenstadt zu verringern (Bootz 17.01.2017; Badische Zeitung 2016). Derzeit beteiligen sich etwa 60 Bäckereien und Cafés im Stadtgebiet Freiburg an dem FreiburgCup-System (Bootz 17.01.2017). Nachdem die FreiburgCup zunächst gut angenommen wurde, die Anzahl der teilnehmenden Cafés zunahm und FreiburgCups nachgeliefert wurden, geht die Nachfrage der FreiburgCup von Seiten der Bürger seit Anfang des Jahres 2017 zurück (Bootz 28.04.2017).

Das Pfandbechersystem der FreiburgCup steht in einer Reihe mit anderen kommunalen und privatwirtschaftlichen Initiativen in Deutschland, die das Ziel verfolgen, den Einwegbecher aus Pappe für ToGo-Getränke zu ersetzen. Die bessere Umweltverträglichkeit von Mehrwegbechern ist, neben der Müllvermeidung, ein Hauptargument. Ob diese Ziele durch Maßnahmen wie Alternativsysteme, Informationskampagnen oder Verbote erreicht wurden, ist bisher selten bewertet worden (Bernau 23.05.2017). Auch für die FreiburgCup bleibt noch zu beantworten, *ob die Einführung der FreiburgCup das Abfallaufkommen durch ToGo-Becher in der Innenstadt verringert hat*. Außerdem stellt sich die Frage, *welche potentiellen Auswirkungen die Herstellung und Verwendung der Tasse auf die Umwelt hat, inklusive möglicher negativer Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit* (Bootz 17.01.2017).

In diesem Bericht wird eine Lebenszyklusanalyse der FreiburgCup vorgestellt. Dabei werden die mit der Herstellung, Benutzung und Endverwertung der FreiburgCup verbundenen Energie- und Stoffströme quantifiziert und anschließend bewertet. Hierdurch soll die jeweilige Relevanz der Produktion des Bechers, des Spülens und der Abfallverwertung bezüglich ihrer Umweltauswirkungen bewertet werden. Diese Werte werden mit den Umweltauswirkungen eines herkömmlichen Einwegbechers aus Pappe verglichen. Außerdem wird eingeschätzt, inwiefern die Einführung der FreiburgCup zur Müllvermeidung in der Innenstadt beigetragen hat. Dafür wird die *einmalige Benutzung des Bechers für ein ToGo-Heißgetränk* betrachtet (funktionale Einheit). Das Getränk selbst ist nicht Teil der Untersuchung. Die Analyse soll erstens den relativen Vorteil der FreiburgCup gegenüber Einwegbechern ermitteln und zweitens Vorschläge zur Verbesserung des FreiburgCup-Systems bezüglich ihrer Nachhaltigkeit machen.

2 Methode und Untersuchungsrahmen

Für die o.g. Ziele der Analyse ist die Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Analysis, LCA) eine geeignete Methode. Entsprechend den ISO-Standards ISO14040 (Juli 2006) und ISO14044 (Juli 2006) folgt diese Analyse den vier Schritten einer LCA:

1. Definition der funktionalen Einheit und Festsetzung des Untersuchungsrahmens,
2. Erstellen einer Sachbilanz der Energie- und Stoffströme in Bezug auf die funktionale Einheit (Inputs und Outputs),
3. Abschätzen der potentiellen Wirkung der bilanzierten Energie- und Stoffströme in verschiedenen Wirkungskategorien (bspw. Klimawandel)
4. Auswertung der Wirkungsabschätzung und Feststellung der für das Ergebnis relevanten Prozesse, sowie Durchführen von Sensitivitätsanalysen.

Die den Prozessen entsprechenden Emissionen und Wirkungen können ausgehend von der funktionalen Einheit auf beliebige Nutzung skaliert werden. Anschließend erfolgt die Bewertung und Einordnung der Ergebnisse, aus denen Empfehlungen abgeleitet werden können. Zur Durchführung der LCA wurde das Programm *OpenLCA* mit der *ecoinvent 3.2* Datenbank verwendet.

2.1 Untersuchungsrahmen

In den folgenden Abschnitten werden die Sachbilanz (Life Cycle Inventory, LCI) der FreiburgCup und des herkömmlichen Einwegbechers für die funktionale Einheit *einmalige Benutzung eines ToGo-Bechers* dargestellt. Dabei wird eine mehrfache Benutzung auf eine durchschnittliche Benutzung heruntergebrochen. Die Daten wurden in Interviews mit dem Produzenten der FreiburgCup (Berling 18.01.2017), einem Vertreter der ASF (Bootz 17.01.2017) sowie verschiedenen teilnehmenden Cafés und Bäckereien (siehe Anhang) erhoben (Elchlepp 16.03.2017; Lienhart 28.04.2017).

2.1.1 FreiburgCup

Produktion des Bechers Die Produktion des Plastikbechers beinhaltet die Formung von Polypropylen (PP) im Spritzgussverfahren für einen Becher mit einer Masse von 34 g und 200 ml Füllvolumen (Berling 18.01.2017). Die Farbe zur Bedruckung des Bechers wird in der Analyse vernachlässigt, da die Masse der Farbe verschwindend gering ist (ebd.). Außerdem kann man davon ausgehen, dass die Farbbeschichtung auf der FreiburgCup und dem Einwegbecher ähnlich und daher für die vergleichende Betrachtung nicht relevant ist. Der Produktionsprozess enthält ebenfalls den Transport des Bechers von Wangen im Allgäu, wo er hergestellt wird, nach

Freiburg. Die Strecke beträgt 188 km und wird per LKW zurückgelegt. Aufgrund der geringen Distanz werden Transportwege innerhalb Freiburgs nicht berücksichtigt.

Spülen des Bechers Im Einklang mit dem Pfandsystem wird davon ausgegangen, dass der Becher in den teilnehmenden Bäckereien und Cafés gespült wird. Da der Energiebedarf für das Spülen eine relevante Größe darstellt, werden die folgenden drei Spül-Szenarien analysiert:

- Spülen mit einer gewerblichen Spülmaschine mit dem Strommix für Deutschland
- Spülen mit einer gewerblichen Spülmaschine mit Ökostrom
- Spülen mit Hand

Da die Cafés ähnliche Spülmaschinen benutzen, verwenden wir ein Standardmodell als Referenz: Meiko i-clean UM+. Diese Spülmaschine dosiert Spülmittel und Klarspüler automatisch. Deshalb wird von der vom Hersteller angegebenen optimalen Dosierung des Spülmittels (1,5 ml/l) und des Klarspülers (0,5 ml/l) ausgegangen (Meiko Maschinenbau GmbH und Co KG 2017b). Für einen Standard-Waschgang braucht die Spülmaschine 2,4l Leitungswasser und 0,18kWh elektrische Energie (Meiko Maschinenbau GmbH und Co KG 2017a). Basierend auf den Maßen der Spülmaschine gehen wir von einem Platzbedarf einer Tasse von $\frac{1}{35}$ der Spülmaschine aus. Für die elektrische Energie des ersten Spül-Szenarios wird der durchschnittliche Kraftwerkspark in Deutschland angenommen. Für den Ökostrom wurde mit der durchschnittlichen Ökostromerzeugung in Deutschland gerechnet. Es wurden Daten der letzten drei Jahre verwendet. Die Ökostromerzeugung entspricht 41% Windenergie, 27% Bioenergie, 20% Solarenergie und 11% Wasserkraft (Umweltbundesamt auf Basis AGEE-Stat 2017). Dabei wurde intern unterschieden zwischen Biogas und Biofestbrennstoffen (56% zu 44%) (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft 2017), Onshore und Offshore Windenergie (88% zu 12%) (Fraunhofer ISE 2017) und Solar-Klein- und -Großanlagen. Vereinfacht wurden hier die Daten für Freiflächen und Dachanlagen angenommen (31% zu 69%) (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2007). Es wurde der Einfachheit halber angenommen, dass alle Erzeuger in die Hochspannungsebene einspeisen. Es wurde weiterhin vereinfacht angenommen, dass sich alle Wasserkraftwerke ähnlich verhalten wie Laufwasserkraftwerke, alle Windenergieanlagen sich so verhalten wie Windenergieanlagen mit einer Leistung von 1 bis 3 MW. Diese Vereinfachungen können so getroffen werden, weil die Einflüsse von Ökostrom auf das System im Vergleich zu konventionellem Strom ohnehin extrem niedrig sind (siehe Ergebnisse).

Rückgabequote Neben den Produktions- und Verwendungsprozessen beeinflusst insbesondere die Anzahl der Verwendungen die Auswirkungen der FreiburgCup.

Der Becher kann etwa 500 Mal verwendet werden, bevor sich der Aufdruck ablöst (Berling 18.01.2017). Unter Berücksichtigung der Rückgabequote anderer Einwegpfandsysteme, kann man eine Rückgabequote von etwa 20 Mal annehmen (Umweltbundesamt 2015). Das heißt, ein Becher wird etwa 20 Mal gereinigt, bevor er dem System entzogen wird. Einerseits könnte man aufgrund des relativ hohen Pfands annehmen, dass die Rückgabequote höher ist. Andererseits könnte die Rückgabequote geringer sein, wenn Menschen die Tasse einbehalten, weil sie diese dauerhaft persönlich verwenden, sammeln oder einfach vergessen, sie zurückzugeben. Es wird davon ausgegangen, dass die Rückgabequote die Ergebnisse beeinflusst. Aus diesen Gründen führen wir eine Sensitivitätsanalyse mit 10-maliger Rückgabe und 100-maliger Rückgabe durch.

Entsorgung der FreiburgCup Der Becher kann, falls er beschädigt oder abgenutzt ist, entweder von dem/der Benutzer/in oder dem Café entsorgt werden. Jedoch wird davon ausgegangen, dass diese mechanischen Schäden selten sind (s.o.). Weiter wird angenommen, dass Becher innerhalb der Freiburger Innenstadt nicht verloren gehen, da das Pfandsystem, ähnlich wie beim Flaschenpfand, Anreize schafft alle Becher zurückzugeben („Pfandsammler“).

Eine Umfrage unter sechs der beteiligten Cafés zeigte, dass der Becher wahrscheinlich im gelben Sack entsorgt wird, einem Recycling-System für Verpackungsmaterialien. Dies entspricht der gängigen Handhabung von Plastikabfällen; das Material der FreiburgCup entspricht dem der Plastikverpackungen, die im gelben Sack entsorgt werden. Deswegen wird davon ausgegangen, dass die meisten Becher, die von den Benutzern zu Hause entsorgt werden, im gelben Sack entsorgt werden. Zahlen des Umweltbundesamtes zufolge beträgt der Anteil von Recycling am im gelben Sack entsorgten Verpackungsmaterial 34,2%. Der übrige Anteil wird verbrannt (ebd.). Wird die FreiburgCup in öffentlichen Abfalleimern entsorgt, ist sie Teil des Restmülls, der in Deutschland in der Regel verbrannt wird. Obwohl die Entsorgung der FreiburgCup im gelben Sack unter materialtechnischen Gesichtspunkten sinnvoll ist, ist dies nicht zulässig. Das Gelbe-Sack-System ist ausschließlich für Verpackungsabfall konzipiert (DSD - Duales System Holding GmbH und Co KG 2017). Da die FreiburgCup keine Verpackung, sondern ein Produkt ist, beteiligt sich der Hersteller nicht an den Gebühren für das System. Die Entsorgung des Bechers im gelben Sack ist dadurch streng genommen nicht zulässig.

Letztlich ist es in Deutschland zudem nicht zulässig, Lebensmittelbehältnisse aus recycelten Materialien herzustellen (Berling 18.01.2017). Daher kann die FreiburgCup einerseits nicht aus recyceltem Material hergestellt werden. Andererseits kann das Material des entsorgten Bechers downcycled, nicht aber recycled werden. Der Grund warum in dieser Studie dennoch Recycling des Bechers als Szenario untersucht wird ist, dass der Hersteller der FreiburgCup angeboten hat ausgediente Becher zurückzunehmen und diese weiterzuverarbeiten (ebd.). Für das Recycling wurde

vereinfacht angenommen, dass der Becher zum Hersteller zurücktransportiert, noch einmal gespült, sowie mit einem elektrischen Energieeinsatz von 4,2 kJ zerkleinert wird (das entspricht 2 Sekunden bei 2,1 kW). Dabei wird angenommen, dass das daraus gewonnene Granulat neues Granulat ersetzt. Dass die Materialien der FreiburgCup nach einem Recycling bei der Entsorgung des Recyclingprodukts auch noch zur Energieerzeugung verwendet werden können, wird nicht mehr berücksichtigt.

Produktion des Deckels Damit das Heißgetränk beim Transport des Bechers nicht überschwappt, kann die FreiburgCup mit einem Einwegplastikdeckel genutzt werden. Der Deckel hat eine Masse von 2,85 g (Berling 18.01.2017), besteht vollständig aus Polystyrol und wird durch Thermoformen hergestellt. Der Produktionsort liegt in Großbritannien. Deshalb wird eine Transportstrecke von 1000 km nach Freiburg angenommen. Diese wird per LKW zurückgelegt.

Entsorgung des Deckels Im Gegensatz zur FreiburgCup, kann man davon ausgehen, dass der Einwegdeckel weiterhin in den Restmüllbehältern in der Innenstadt entsorgt wird. Obwohl es möglich ist, den Deckel zu recyceln ist dieses Szenario daher sehr unwahrscheinlich. Der ökonomische und logistische Aufwand, die kleinen Deckel aus dem Restmüll zu sortieren und einer Recyclinganlage zuzuführen ist nicht realistisch (Kelly 2017). Daher wird hier ausschließlich die Verbrennung des Deckels mit Siedlungsabfällen betrachtet.

2.1.2 Herkömmlicher Einweg-Becher

Produktion des Papier-Einwegbechers Die Einweg-Alternativen zur FreiburgCup sind vielfältig und zwischen den Cafés recht unterschiedlich. Untersuchungen der Deutsche Umwelthilfe (2015) und Ligthart und Ansems (2007) gehen auf die Umweltauswirkungen verschiedener Einwegbecher ein. Für die vorliegende Analyse fiel die Entscheidung auf den am häufigsten verwendeten einwandigen und einseitig beschichteten Einweg-Becher. Dieser hat eine Masse von 11 g, besteht zu 95 Gewichtsprozent aus Papierfasern und ist zu 5 Gewichtsprozent mit Polyethylen beschichtet. Die Verwendung von recyceltem Material ist bei Lebensmittelbehältnissen problematisch, deswegen werden in der Regel neue Materialien eingesetzt (Deutsche Umwelthilfe 2015, S. 5) Bei der Modellierung des Produktionsprozesses wurde sich nach Ligthart und Ansems (2007) gerichtet und der inecoinvent hinterlegte Prozess *liquid packaging board container production* entsprechend der Massenverhältnisse und benötigten Materialien angepasst. Den Angaben von Herrn Elchlepp (16.03.2017) zufolge, werden die Becher von einem Hersteller in Deutschland produziert. Daher wird eine Transportstrecke von 600 km per LKW angenommen. Wie bei der FreiburgCup wird die Farbbeschichtung des Pappbechers nicht berücksichtigt.

Entsorgung des Pappbechers Das Standard-Szenario für die Entsorgung des Pappbechers ist die Verbrennung. Dies liegt daran, dass die Papierbecher in der Regel in öffentlichen Abfalleimern entsorgt werden, deren Inhalt als Siedlungsabfälle verbrannt wird. Jedoch bleibt selbst bei einer Entsorgung im Papierabfall Verbrennung das wahrscheinlichste Szenario: Nur ein geringer Teil der Papierfasern löst sich bei der Verarbeitung des Papierabfalls von der Polyethylenbeschichtung. Der größte Teil des Papierbechers kann daher nicht recycelt werden und wird als Spuckstoff verbrannt (Deutsche Umwelthilfe 2015, S. 8). Daher wird bei der vorliegenden Analyse Verbrennung als einziges Szenario angenommen. Dabei werden die unterschiedlichen Brennwerte von Papier und Polyethylenbeschichtung berücksichtigt und die Verbrennung in die jeweiligen Verbrennungsprozesse differenziert. Als Wirkungsgrad des Müllheizkraftwerks wurde zur Vereinfachung der Mittelwert zwischen dem in der ecoinvent Datenbank hinterlegten Müllheizkraftwerk-Wirkungsgraden von PP und PS verwendet, da dort kein Wirkungsgrad für Papier hinterlegt ist.

Produktion und Entsorgung des Deckels Es wird davon ausgegangen, dass sowohl für die FreiburgCup, als auch für den angenommenen standardmäßigen Papier-Einwegbecher derselbe Deckel verwendet wird. Für die Beschreibung des Lebenszyklusinventars des Deckels wird daher auf Kapitel 1.1.1 verwiesen.

2.2 Wahl des LCA-Modells und Wirkungsabschätzung

2.2.1 Wahl des LCA-Modells

Ecoinvent stellt Daten für die verschiedenen Prozesse zur Verfügung, die mit der Herstellung, Nutzung und Entsorgung verbunden sind. Für diese Daten gibt es unterschiedliche Systemmodelle, die sich dahingehend unterscheiden, wie die Prozessdaten innerhalb der Datenbank in Produktsystemen verknüpft werden (ecoinvent 2017b). Das bedeutet, dass die durch Abfallverwertung entstehenden und vermiedenen Emissionen in den verschiedenen Systemmodellen unterschiedlich alloziert werden.

Für diese Betrachtung wurde das *cut-off*-Systemmodell verwendet, da es das etablierte und somit zuverlässige Systemmodell ist. In diesem Systemmodell werden Abfallstoffe als negativer Input im Produktsystem bilanziert. Emissionen, die bei der Abfallverwertung entstehen, werden vollständig dem Produktsystem der funktionalen Einheit zugeschrieben. Die Bereitstellung von Rohstoffen bzw. die Energieerzeugung durch die Abfallverwertung hingegen, werden jedoch dem Produktsystem nicht gutgeschrieben. Die Emissionen, die durch Recycling oder Energiegewinnung potentiell vermieden werden, werden „abgeschnitten“ (ecoinvent 2017a).

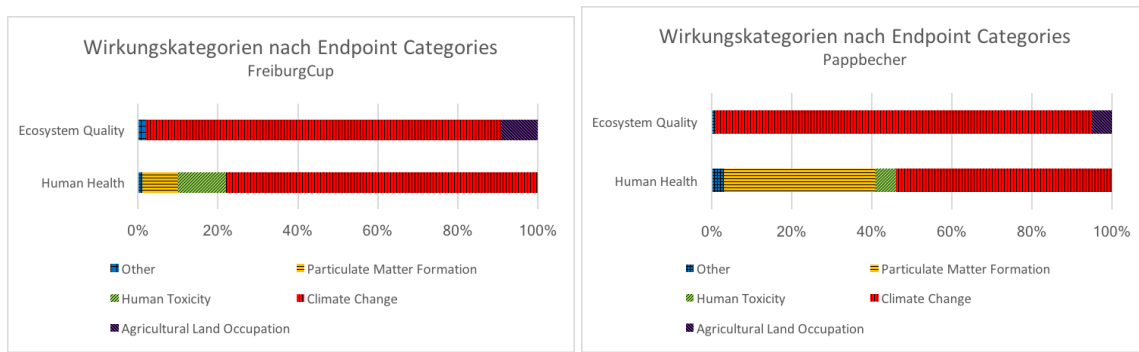


Abbildung 2: Aufschlüsselung der Endpoint Categories nach Wirkungskategorien

(Toxizität für den Menschen). Die weiteren Kategorien wurden wegen ihrer geringeren Relevanz in dieser Studie nicht untersucht.⁵ Die relevanten Wirkungskategorien der FreiburgCup und des Pappbechers sind identisch.

Für die Ermittlung der Werte der ausgewählten Wirkungskategorien wurde die Berechnungsmethode *ReCiPe 2008 (H)* gewählt (Goedkop u. a. 2013). Diese erfüllt die Anforderungen einer LCIA-Methode für den Rahmen unserer Analyse, da alle relevanten Wirkungskategorien abgedeckt wurden und die Berechnungsmethode für den europäischen Kontext aussagekräftig ist. Darüber hinaus wird diese Berechnungsmethode in wissenschaftlichen Studien standardmäßig verwendet und ermöglicht daher Vergleichbarkeit und weitergehende Studien, die die FreiburgCup mit Einwegbechern vergleichen (*Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions That Matter* 2015, S. 287). Aus demselben Grund wird der hierarchische, auf 100 Jahre bezogene Zeitrahmen für die Analyse verwendet.

2.3 Sensitivitätsanalyse und Szenarien

Bei der Modellierung der Prozesse lässt sich bereits ausmachen, dass die Umweltauswirkungen je nach der Handhabung der FreiburgCup variieren. Die Darstellung der Prozesse im Abschnitt 2.1 lässt annehmen, dass insbesondere die Rückgabequote der FreiburgCup, die Verwendung bzw. das Weglassen des Deckels, die Art des Spülens und die Abfallverwertung die Umweltauswirkungen der FreiburgCup beeinflussen. Daher wurden die in Abschnitt 2.1 vorgestellten Alternativen bei der Analyse in verschiedenen Szenarien gegenübergestellt. So kann im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse ermittelt werden, welche Parameter die Umweltauswirkungen der FreiburgCup tatsächlich beeinflussen. Außerdem können Bereiche identifiziert werden, in denen die FreiburgCup im Hinblick auf ihre Umweltauswirkungen noch verbessert werden kann.

Als Standardszenario wird ein Szenario betrachtet, bei dem von einer Rückgabe-

⁵„Andere“ enthält die Wirkungskategorien *ozone depletion, ionising radiation, photochemical oxidant formation, marine ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity, freshwater ecotoxicity, terrestrial acidification, freshwater eutrophication, urban land occupation, natural land transformation*.

quote von 20 Mal ausgegangen und die Tasse mit Deckel genutzt wird. Die Freiburg-Cup wird im Café gespült, das den konventionellen Strommix in Deutschland bezieht. Nach der Nutzungsphase werden die Becher im Standardfall mit Siedlungsabfällen verbrannt und die erzeugte Energie für Stromerzeugung genutzt. Beim Standardszenario des Einwegbechers wird dieser ebenfalls mit Deckel genutzt und mit Siedlungsabfällen verbrannt, wobei die Stromgewinnung berücksichtigt wird (siehe Tabelle 2.3).

Becher	
FC	FreiburgCup
PC	Einweg-Pappbecher
Rückgabequote	
010 (10 Zyklen)	
020 (20 Zyklen)	
100 (100 Zyklen)	
Verwendung des Deckels	
oD	ohne Deckel
mD	mit Deckel
Entsorgung	
VmE	Verbrennung mit Energierückgewinnung (Abweichung von der cut-off Methodik)
VoE	Verbrennung ohne Energierückgewinnung (konsequent cut-off Methodik)
Rec	Recycling (Abweichung von der cut-off Methodik)
Spülen	
MK	Spülmaschine, konventionner Strommix
MÖ	Spülmaschine, Ökostrommix
HA	Spülen von Hand, Gasboiler

Tabelle 1: Aufschlüsselung der Szenarien

3 Ergebnisse

3.1 Müllvermeidung in der Innenstadt

Da eines der Hauptziele der Abfallwirtschaft war, das Abfallaufkommen in den öffentlichen Mülleimern in der Innenstadt zu minimieren wurde dies ebenfalls untersucht. Zur Beurteilung der Müllvermeidung in der Innenstadt wurde eine Umfrage erstellt, welche an alle teilnehmenden Cafés in der Innenstadt gesendet wurde. Die erhobenen Daten sind dabei nicht repräsentativ, von 48 angefragten Cafés haben sieben Cafés auswertbare Antworten gegeben. Dabei konnte festgestellt werden,

dass die FreiburgCup in den unterschiedlichen Cafés einen sehr unterschiedlichen Marktanteil ⁶ hat. Die Bandbreite geht von der Angabe „nahezu 0%“ bis zu „99%“. Die größeren Cafés (4 Datensätze) gaben im Schnitt einen FreiburgCup-Marktanteil von 4,5% an. Dieser Anteil ist laut den Kaffeehausbetreibern sehr stark gesunken (Café Auszeit: von 70% im letzten Jahr auf nur noch 8% in 2017) (Haas 20.04.2017). Es ist davon auszugehen, dass der jeweilige Anteil der Freiburg Cup an den To-Go Kaffeebechern als auch der Anteil der To-Go Kaffeebecher mit Deckel stark von der Zielgruppe der Cafés abhängt, als auch von der Art und Weise des Angebots. So werden in manchen Cafés die Deckel nur auf Nachfrage ausgegeben während andere Cafés den Deckel grundsätzlich mitverkaufen. Bei der Bestellung eines Kaffees To-Go erhält man bei einigen Kaffees ungefragt eine Papiertasse, während in anderen Cafés Kunden bei der Bestellung gefragt werden ob sie eine FreiburgCup wollen. Dadurch sind die deutlichen Unterschiede in der Ausgabe der FreiburgCup zu erklären. Als statistische Unschärfe kommt hinzu, dass Kaffees welche direkt in von Kunden gespülte Freiburg Cups gefüllt werden in manchen Cafés nicht als „mit FreiburgCup“ erfasst werden (Lienhart 28.04.2017).

In den Cafés welche die Umfrage beantwortet haben, werden pro Monat insgesamt 763 Freiburg Cups ausgegeben. Hochgerechnet auf alle Cafés der Innenstadt (unter der Annahme, dass jede dieser verkauften ToGo Kaffees in einer FreiburgCup eine Papiertasse ersetzt, die FreiburgCup wieder zurückgegeben (und nicht direkt wieder befüllt) wird, die Größe der Cafés und deren Anteil an FreiburgCups an der gesamten ToGo-Kaffeebecher-Ausgabe im Durchschnitt aller Cafés der Innenstadt liegen) ergäbe sich durch eine Hochrechnung auf alle Cafés der Innenstadt für die Müllvermeidung (in der Innenstadt) von 6340 in einer FreiburgCup verkauften Kaffees pro Monat. Dies entspricht ca. 70 kg bzw. 1585 l Müll (bei ausschließlicher Betrachtung des Inhaltsvolumens) pro Monat. Für eine genaue Aussage über die Müllvermeidung sind die Daten (nur 7 von 48 Cafés) jedoch nicht ausreichend.

3.2 Klimawandel (GWP)

In der nach Abbildung 2 besonders wichtigen Kategorie Climate Change wurde ein Gesamtergebnis von 30g CO_{2-eq} erzielt. Bezüglich der Beiträge einzelner Prozesse lassen sich folgende Aussagen treffen:

Abbildung 3 zeigt, dass der Deckel eine außerordentliche Rolle im GWP (Erderwärmungspotential) des FreiburgCup-Systems spielt. Sieht man von der Verwendung des Deckels ab (und betrachtet nur den blauen, roten und gelben Balken) ist zu sehen, dass die Anzahl der Verwendungszyklen ohne Deckel gesteigert von 10 auf 100 Zyklen das GWP der FreiburgCup auf ein etwa ein Viertel reduziert. Die Produktion und die Entsorgung der FreiburgCup spielen dann kaum mehr eine Rolle.

⁶Anteil von FreiburgCups an allen To-Go Kaffeebechern

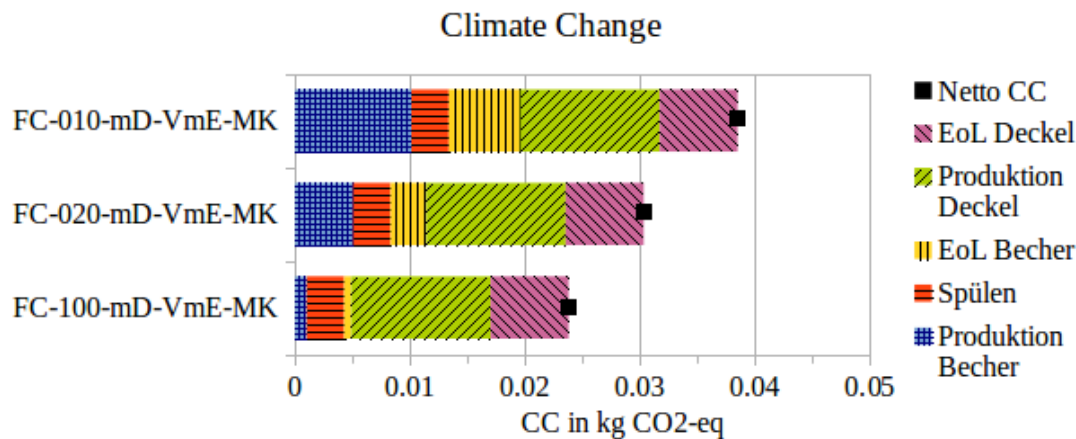


Abbildung 3: CC-Wirkungen für 10-malige Wiederverwendung (FC-010-mD-VmE-MK), 20-malige Wiederverwendung (FC-020-mD-VmE-MK) und 100-malige Wiederverwendung (FC-100-mD-VmE-MK)

In Abbildung 4 wird deutlich, dass auch das GWP des Spülprozesses sehr viel geringer ist bei der Verwendung einer Spülmaschine mit Ökostrom anstatt von konventionellem Strom oder dem Handspülen mit durch Erdgas erhitzten Wassers.

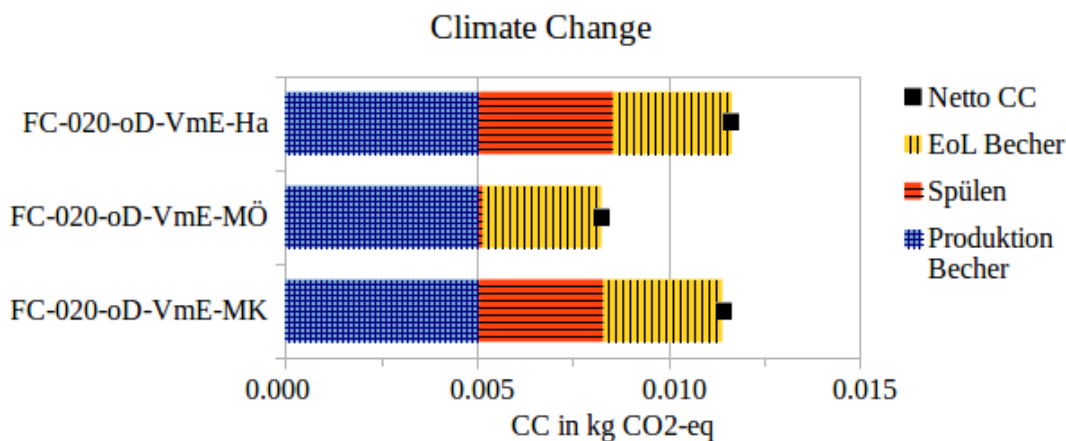


Abbildung 4: CC-Wirkungen für verschiedene Spülprozesse: Spülen von Hand mit Gasboiler (FC-020-oD-VmE-Ha), mit einer Spülmaschine mit Ökostrommix (FC-020-oD-VmE-MÖ) und einer Spülmaschine mit konventionellem Strommix (FC-020-oD-VmE-MK)

Abbildung 5 vergleicht die unterschiedlichen Entsorgungsarten. Es wird sichtbar, dass durch die Verwendung des Materials zur Stromerzeugung in einem Müllheizkraftwerk der Einfluss der Entsorgung der Becher und der Deckel verringert werden kann. Im Fall des Papierbechers kann sogar ein netto-positiver Effekt der Entsorgung in der Kategorie CC festgestellt werden. Dieser Effekt ist darin begründet, dass der Strom aus dem Müllheizkraftwerk Durchschnittsstrom ersetzt, welcher zu großen

Teilen aus Kohlekraftwerken stammt. Dieser positive Effekt überwiegt die negativen CC-Effekte der Verbrennung. Auch das Recycling senkt das GWP des Bechers. Insgesamt hat die Art der Entsorgung einen deutlichen Einfluss auf das GWP des Bechers und des Deckels - insbesondere wenn ein Becher ohne Deckel (grüne und pinke Balken) verwendet wird.

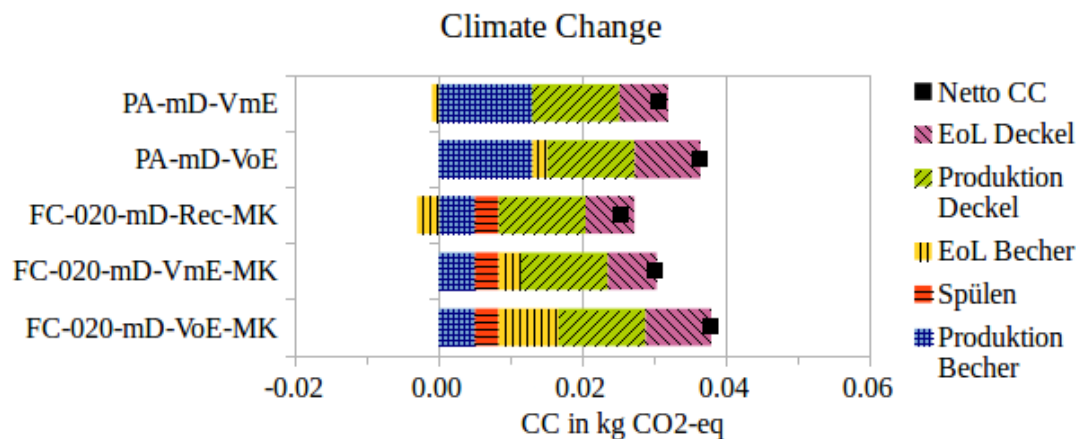


Abbildung 5: CC-Wirkungen für verschiedene Entsorgungsprozesse: Verbrennung mit Berücksichtigung der Energiegewinnung (PA-mD-VmE für den Pappbecher; FC-020-mD-VmE-MK für die FreiburgCup), Verbrennung ohne Berücksichtigung der Energiegewinnung (PA-mD-VoE für den Pappbecher; FC-020-mD-VoE-MK für die FreiburgCup) und Recycling (FC-020-mD-Rec-MK, Für den Deckel wird der Prozess „Verbrennung mit Berücksichtigung der Energiegewinnung“ angenommen.)

In Abbildung 6 ist dargestellt wie stark sich die extreme der Szenarien unterscheiden. Wenn ein Becher 10 Mal verwendet und von Hand mit gaserwärmtem Wasser gespült wird, ein Deckel verwendet wird und die positiven Effekte bei der Stromgewinnung nicht einbezogen werden ist das GWP des Systems ca. 85 mal schlechter als wenn der Becher 100 Mal verwendet, mit Ökostrom gespült und anschließend recycelt wird.

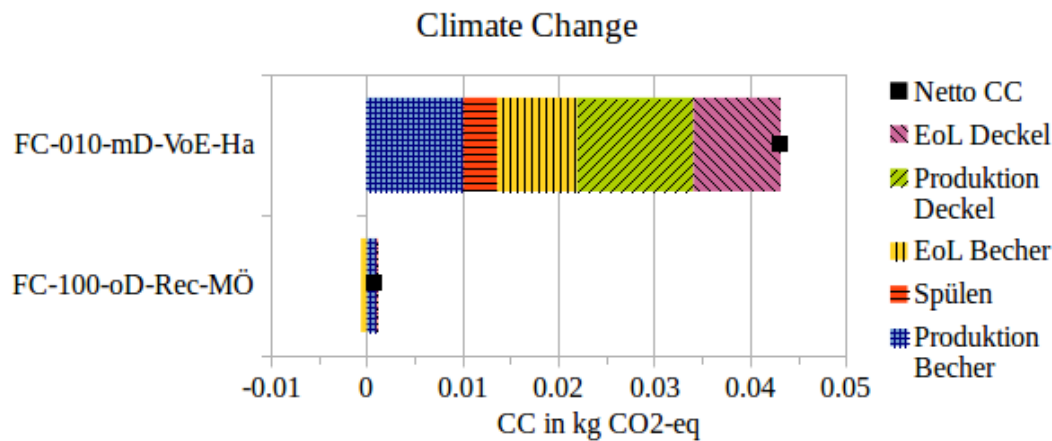


Abbildung 6: Gegenüberstellung des mit Blick auf die Umweltauswirkungen besten (FC-100-oD-Rec-MÖ) und schlechtesten (FC-010-mD-VoE-Ha) Szenarios

In Abbildung 7 ist das Standardszenario der FreiburgCup mit dem des Papierbechers verglichen. Die Auswirkungen der Papiertasse sind im Wesentlichen auf die Papierproduktion zurückzuführen. Zwischen den beiden Tassen ergibt sich auch ohne Deckel eine relative Ähnlichkeit des GWP. Zu Bemerkem ist, dass EoL beim Papierbecher zu einem positiven Effekt führt während es bei der FreiburgCup negativ angerechnet wird. Dies könnte darin begründet sein, dass in der verwendeten ecoinvent Datenbank das bei der Verbrennung entstehende CO₂ aus nachwachsenden Rohstoffen anders behandelt wird als CO₂ aus fossilen Quellen.

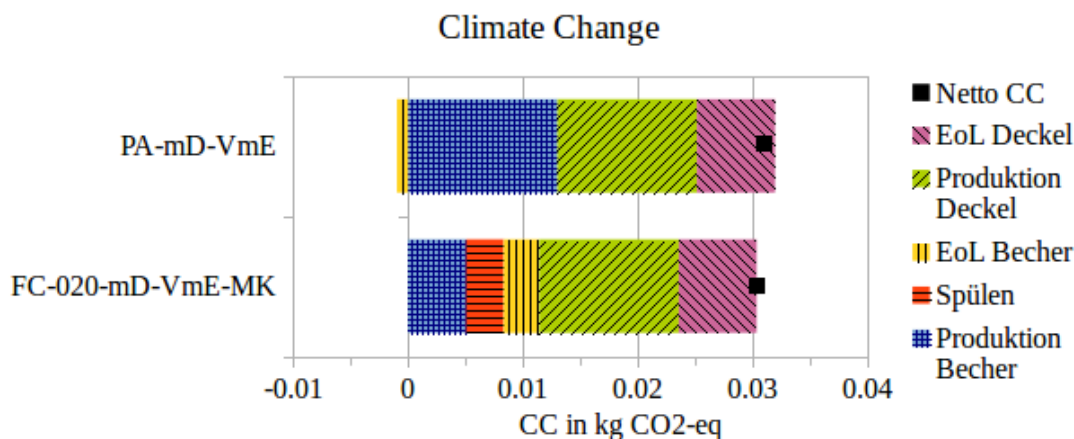


Abbildung 7: Direkter Vergleich der FreiburgCup (FC-020-mD-VmE-MK) und des Pappbechers (PA-mD-VmE)

3.3 Feinstaub

In der Wirkungskategorie Feinstaub erzielt das Standardszenario ein Gesamtergebnis von 20 mg CO_{2-eq}. Dabei sind die Herstellungsprozesse dominant. Auch hier ist

die Verwendung eines Deckels ein entscheidender Faktor im Vergleich mit dem wiederverwendbaren Becher. Durch die Steigerung der Verwendungszyklen lässt sich die Feinstaubbildung des Bechers ohne Deckel um 77% verringern. Auch unter Einbeziehung des Deckels ist noch eine Reduktion um 39% zu erreichen (Abbildung 8).

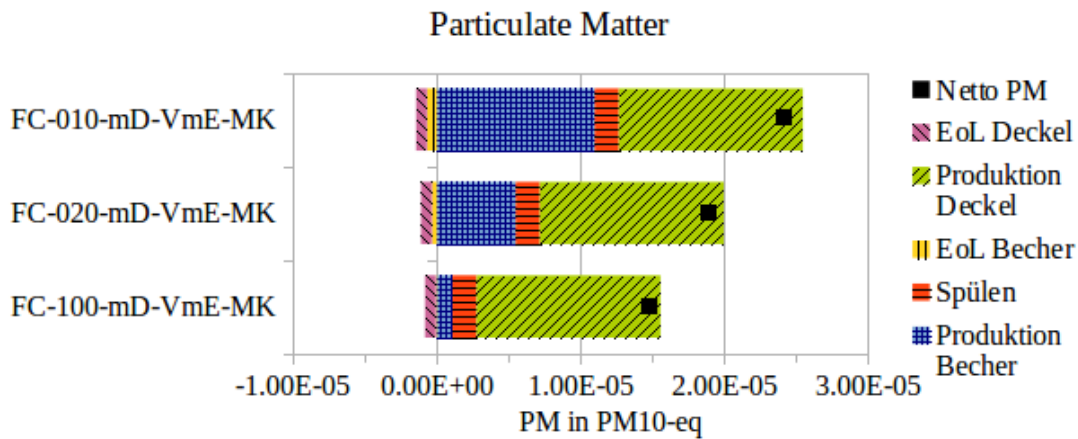


Abbildung 8: PM-Wirkungen für 10-malige Wiederverwendung (FC-010-mD-VmE-MK), 20-malige Wiederverwendung (FC-020-mD-VmE-MK) und 100-malige Wiederverwendung (FC-100-mD-VmE-MK)

In Abbildung 9 wird deutlich, dass - wie auch in der Kategorie Climate Change - der Spülprozess einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtbilanz hat.

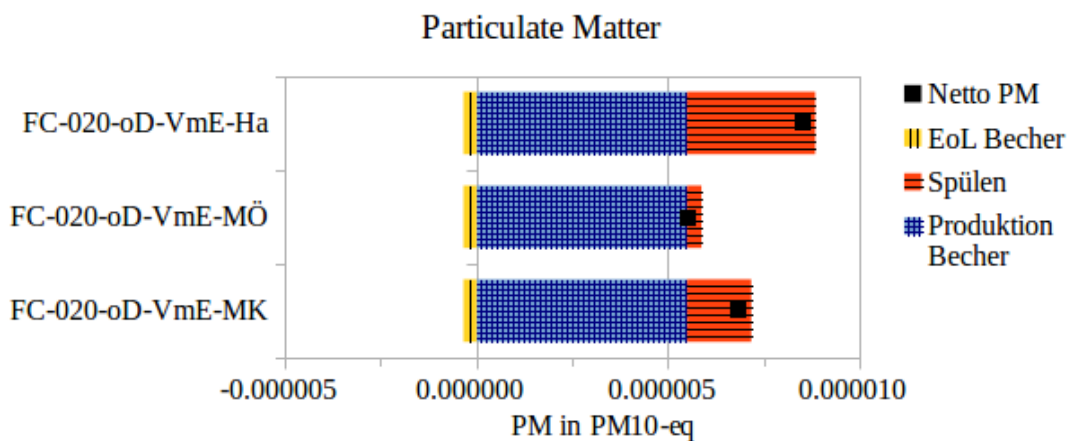


Abbildung 9: PM-Wirkungen für verschiedene Spülprozesse: Spülen von Hand mit Gasboiler (FC-020-oD-VmE-Ha), mit einer Spülmaschine mit konventionellem Strommix (FC-020-oD-VmE-MK) und einer Spülmaschine mit Ökostrommix (FC-020-oD-VmE-MÖ)

Die Art der Entsorgung ist im Vergleich zur Kategorie Climate Change für Particulate Matter Formation weniger relevant. Durch Recycling ließe sich jedoch auch

hier die Bilanz der FreiburgCup ohne Deckel wesentlich verbessern. Mit Deckel ist dieser Effekt deutlich relativiert (Abbildung 10).

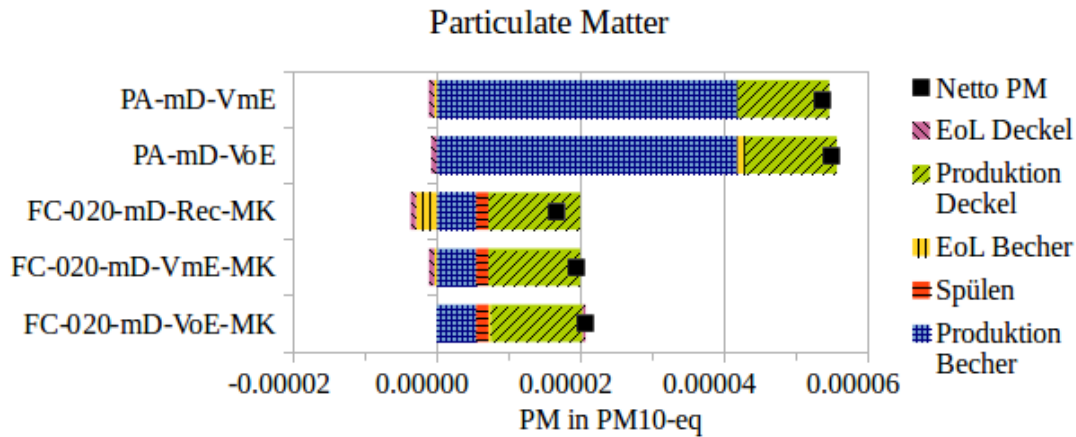


Abbildung 10: PM-Wirkungen für verschiedene Entsorgungsprozesse: Verbrennung mit Berücksichtigung der Energiegewinnung (PA-mD-VmE für den Pappbecher; FC-020-mD-VmE-MK für die FreiburgCup), Verbrennung ohne Berücksichtigung der Energiegewinnung (PA-mD-VoE für den Pappbecher; FC-020-mD-VoE-MK für die FreiburgCup) und Recycling (FC-020-mD-Rec-MK, für den Deckel wird der Prozess „Verbrennung mit Berücksichtigung der Energiegewinnung“ angenommen)

Abbildung 11 zeigt deutlich, dass ein häufiges Verwenden, Spülen mit Ökostrom und der Verzicht auf einen Deckel eine wesentliche Verbesserungen darstellen. Die Entsorgung ist in dieser Kategorie weniger wichtig.

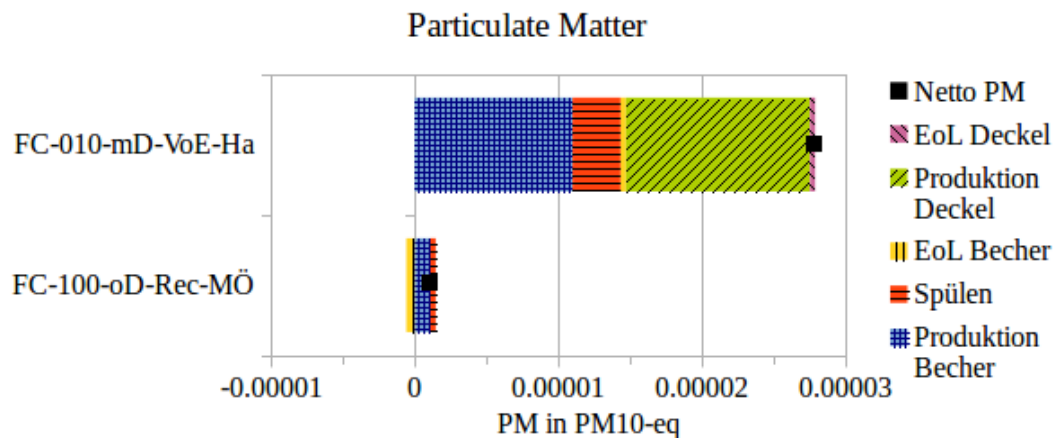


Abbildung 11: Gegenüberstellung des mit Blick auf die Umweltauswirkungen besten (FC-100- oD-Rec-MÖ) und schlechtesten (FC-010-mD-VoE-Ha) Szenarios

Im Vergleich zur Papiertasse ist die FreiburgCup in der Kategorie PM wesentlich weniger umweltbelastend (Abbildung 12).

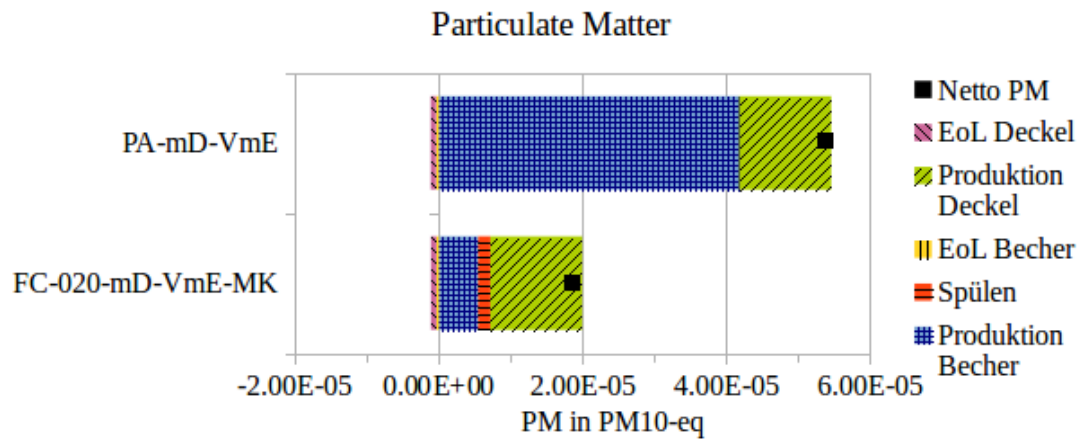


Abbildung 12: Direkter Vergleich der FreiburgCup (FC-020-mD-VmE-MK) und des Pappbechers (PA-mD-VmE)

3.4 Humantoxizität

In der Kategorie Humantoxizität (Human Toxicity, HT) ist der Einfluss des Bechers wesentlich geringer, besonders wenn man den ‚positiven‘ Effekt bei seiner Entsorgung berücksichtigt. Im Standardszenario liegt er bei etwas über 3 g 1,4DCB-eq. Auch die Relevanz der Verwendungszyklen ist relativ gering, da der ausschlaggebende Faktor hier der Spülprozess ist (Abbildung 13).

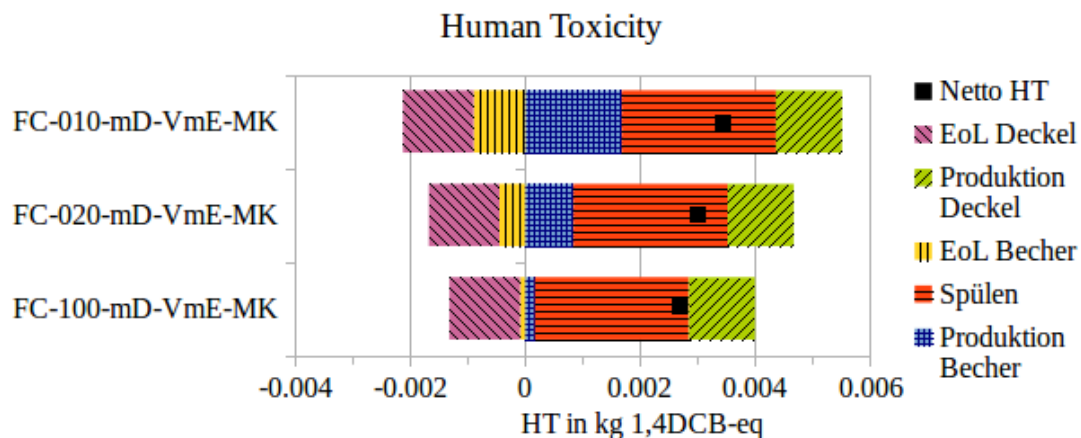


Abbildung 13: HT-Wirkungen für 10-malige Wiederverwendung (FC-010-mD-VmE-MK), 20-malige Wiederverwendung (FC-020-mD-VmE-MK) und 100-malige Wiederverwendung (FC-100-mD-VmE-MK)

Im Vergleich der Spülprozesse ist das Spülen mit einer Spülmaschine mit Ökostrom und das Spülen von Hand dem Spülen mit Spülmaschine und konventionellem Strom

deutlich überlegen. Die Ursache dafür ist im Wesentlichen Strom aus Kohlekraftwerken. (Abbildung 14)

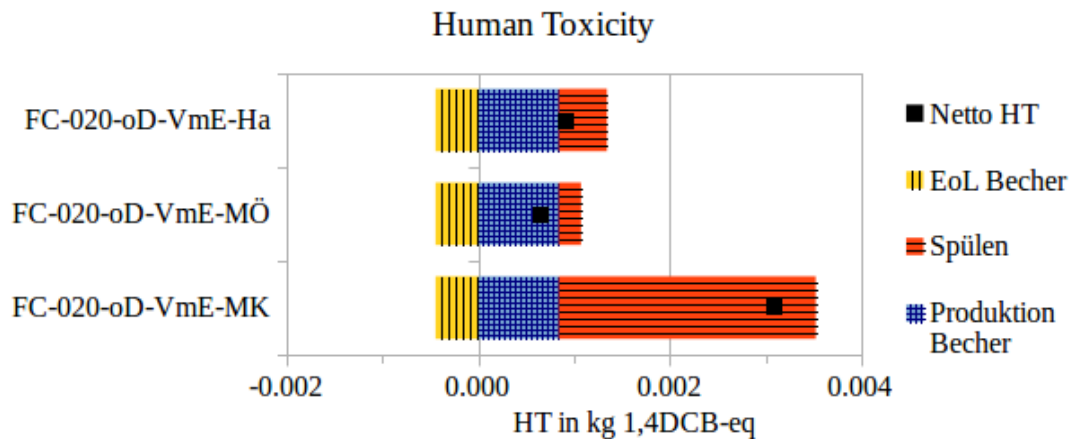


Abbildung 14: HT-Wirkungen für verschiedene Spülprozesse: Spülen von Hand mit Gasboiler (FC-020-oD-VmE-Ha), mit einer Spülmaschine mit konventionellem Strommix (FC-020-oD-VmE-MK) und einer Spülmaschine mit Ökostrommix (FC-020-oD-VmE-MÖ)

Aus dem Szenarienvergleich in Abbildung 15 geht hervor, dass eine Bilanzierung der elektrischen Energie aus einem Müllheizkraftwerk die HT-Bilanz der Freiburg-Cup deutlich Verbessern kann. Ein Recycling hat hingegen weniger Einfluss. Hier spielt ein zusätzlicher Spülprozess innerhalb des Recyclingprozesses eine Rolle.

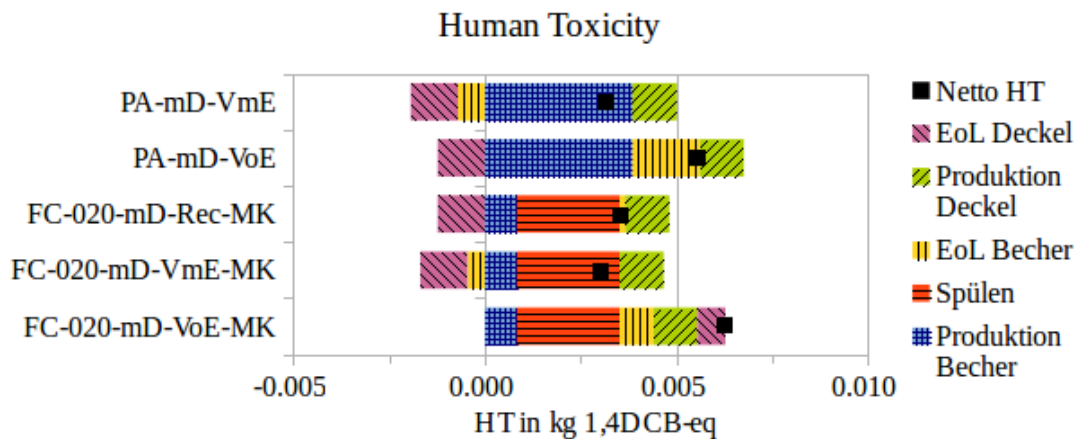


Abbildung 15: PM-Wirkungen für verschiedene Entsorgungsprozesse: Verbrennung mit Berücksichtigung der Energiegewinnung (PA-mD-VmE für den Pappbecher; FC-020-mD-VmE-MK für die FreiburgCup), Verbrennung ohne Berücksichtigung der Energiegewinnung (PA-mD-VoE für den Pappbecher; FC-020-mD-VoE-MK für die FreiburgCup) und Recycling (FC-020-mD-Rec-MK, für den Deckel wird der Prozess „Verbrennung mit Berücksichtigung der Energiegewinnung“ angenommen)

Der Einfluss der FreiburgCup auf die Kategorie Human Toxicity kann durch das Verzichten auf einen Deckel, durch das Spülen mit Hand oder mit einer Spülmaschine mit Ökostromtarif sowie durch möglichst häufiges Wiederverwenden deutlich verbessert werden (Abbildung 16).

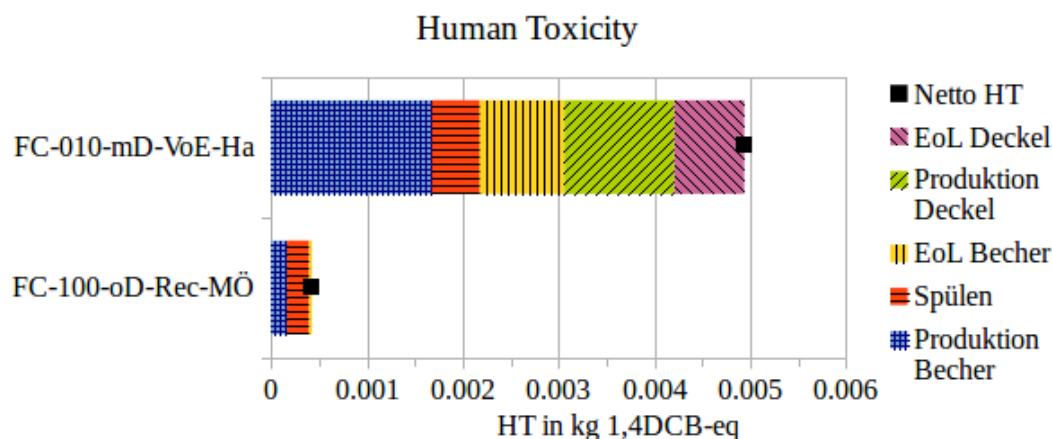


Abbildung 16: Gegenüberstellung des mit Blick auf die Umweltauswirkungen besten (FC-100- oD-Rec-MÖ) und schlechtesten (FC-010-mD-VoE-Ha) Szenarios

Im Vergleich mit der Papiertasse ist die Bilanz der FreiburgCup im Standardszenario sehr ähnlich. Was durch die Einsparung der Prozesse in der Papierherstellung

eingespart wird durch den Spülprozess mit konventionellem Strom ausgeglichen (Abbildung 17).

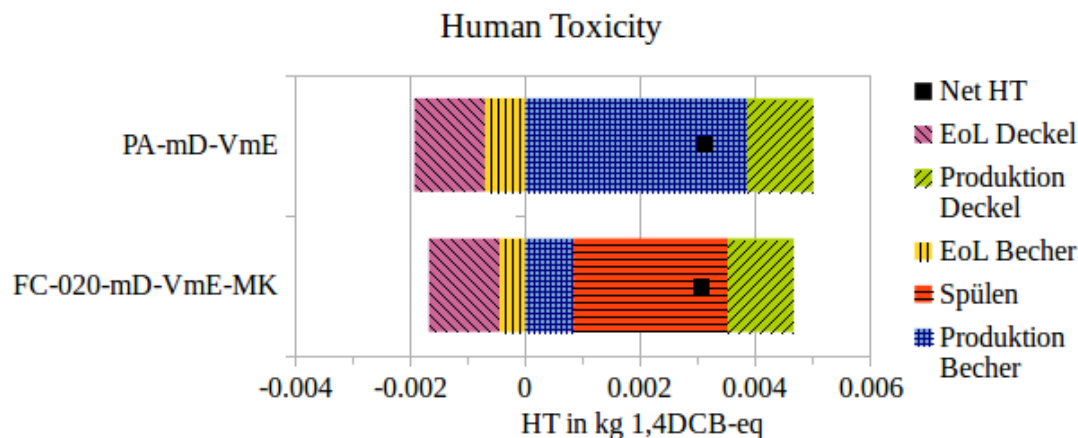


Abbildung 17: Direkter Vergleich der FreiburgCup (FC-020-mD-VmE-MK) und des Pappbechers (PA-mD-VmE)

3.5 Besetzung landwirtschaftlicher Nutzfläche

Die Wirkungskategorie Besetzung landwirtschaftlicher Nutzfläche (Agricultural Land Occupation, ALO) wird von der Produktion der FreiburgCup und der Produktion des Deckels dominiert. Aus diesem Grund kann durch häufigere Verwendung eine deutlichere Verbesserung erzielt werden. (Abbildung 18)

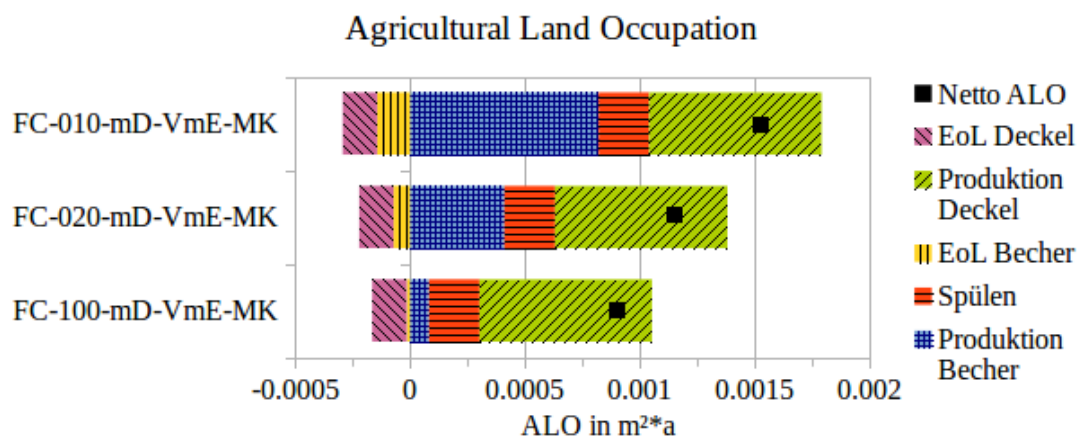


Abbildung 18: ALO-Wirkungen für 10-malige Wiederverwendung (FC-010-mD-VmE-MK), 20-malige Wiederverwendung und 100-malige Wiederverwendung (FC-100-mD-VmE-MK)

Im Vergleich zu den Maschinenspülgängen schneidet das Handspülen in dieser Kategorie sehr schlecht ab. Dies ist jedoch vorwiegend auf die Modellierung der

Spülprozesse mit Seife zurückzuführen. Hier wurde vereinfacht eine durchschnittliche Seife angenommen. Beim Handspülen wird im Durchschnitt wesentlich mehr Spülmittel verwendet (Stamminger 2006, S. 3). Die modellierte Seife hat interne Prozesse welche die Sojabohnenproduktion mit einschließen. Da die Produktion des Spülmittels in dieser Studie nicht nachvollzogen werden konnte ist dieses Ergebnis nicht aussagekräftig.

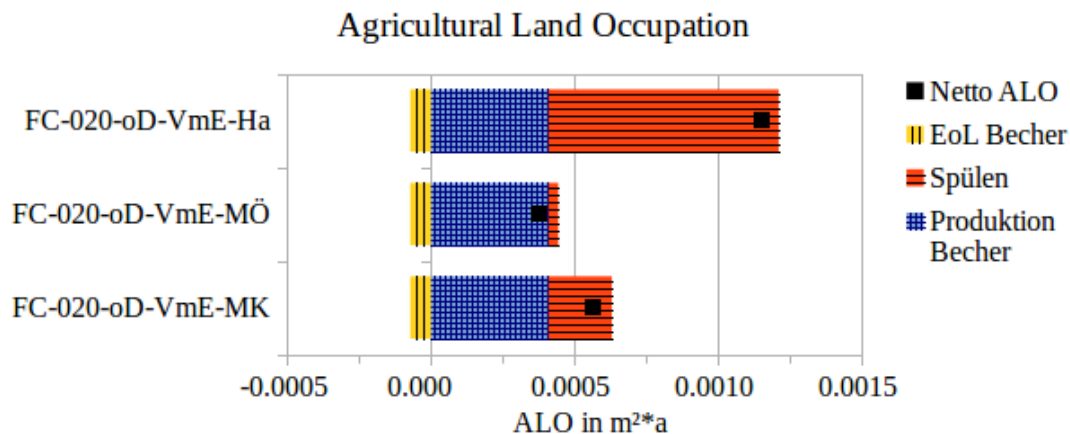


Abbildung 19: ALO-Wirkungen für verschiedene Spülprozesse: Spülen von Hand mit Gasboiler (FC-020-oD-VmE-Ha), mit einer Spülmaschine mit konventionellem Strommix (FC-020-oD-VmE-MK) und einer Spülmaschine mit Ökostrommix (FC-020-oD-VmE-MÖ)

Die Abbildungen 20 und 21 zeigen die unterschiedlichen Entsorgungsszenarien. Während bei der Freiburg Cup in der Kategorie ALO kleinere Verbesserungen möglich sind hängt der ALO-Wert der Papiertasse so stark von der Papierproduktion ab, dass die Art der Entsorgung keine Rolle mehr spielt.

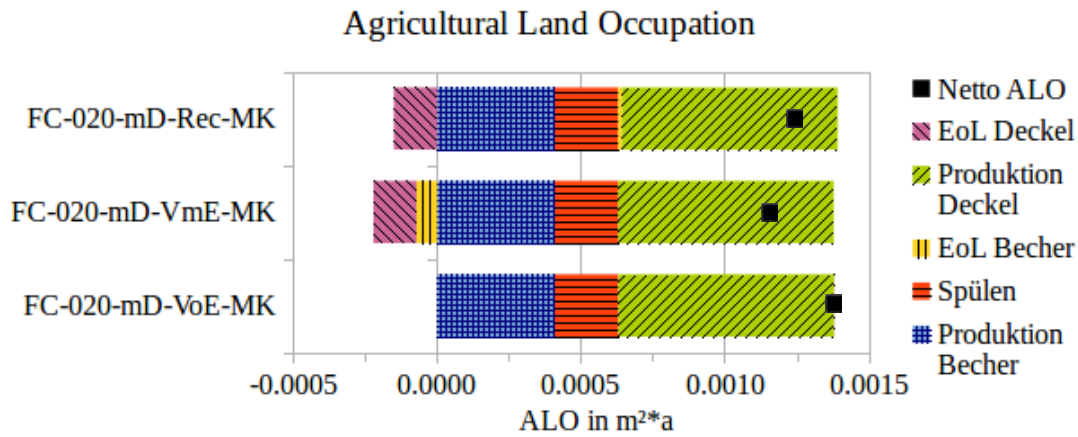


Abbildung 20: ALO-Wirkungen für verschiedene Entsorgungsprozesse: Verbrennung mit Berücksichtigung der Energiegewinnung (FC-020-mD-VmE-MK), Verbrennung ohne Berücksichtigung der Energiegewinnung (FC-020-mD-VoE-MK) und Recycling (FC-020-mD-Rec-MK, für den Deckel wird der Prozess „Verbrennung mit Berücksichtigung der Energiegewinnung“ angenommen)

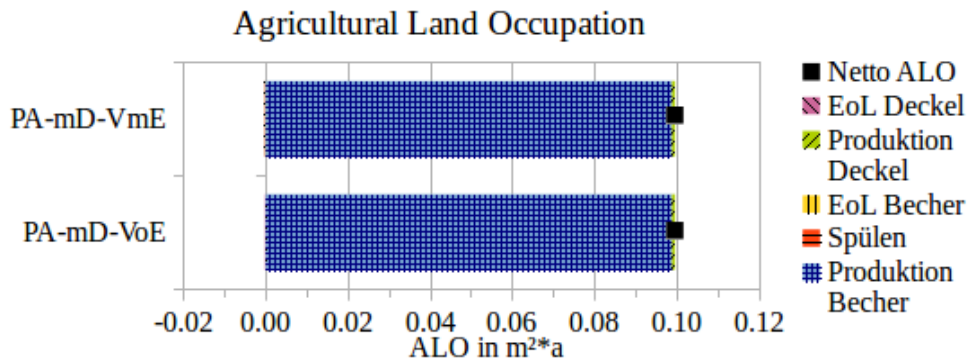


Abbildung 21: ALO-Wirkungen für verschiedene Entsorgungsprozesse: Verbrennung mit Berücksichtigung der Energiegewinnung (PA-mD-VmE) und Verbrennung ohne Berücksichtigung der Energiegewinnung (PA-mD-VoE) (FC-020-mD-Rec-MK, für den Deckel wird der Prozess „Verbrennung mit Berücksichtigung der Energiegewinnung“ angenommen)

Abbildung 22 macht deutlich, dass durch eine hohe Rückgabeanzahl, das Spülen mit einer Spülmaschine mit Ökostrom und das Verzichten auf einen Deckel die ALO-Kennzahl deutlich gesenkt werden kann. Im Vergleich der FreiburgCup ist die Papiertasse hier für alle Szenarien mehr als 70 Mal schlechter, weshalb der Unterschied nicht sinnvoll in einem Diagramm dargestellt werden kann.

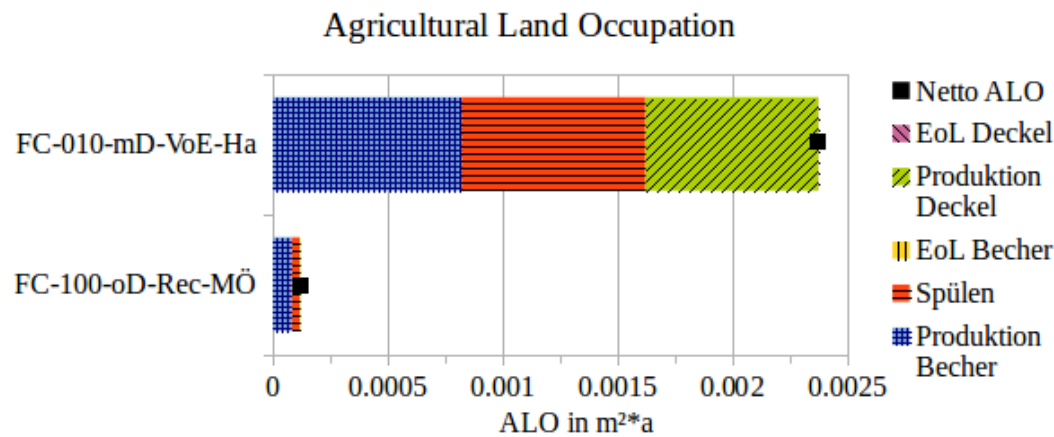


Abbildung 22: Gegenüberstellung des mit Blick auf die Umweltauswirkungen besten (FC-100- oD-Rec-MÖ) und schlechtesten (FC-010-mD-VoE-Ha) Szenarios

4 Diskussion

4.1 Gültigkeit

Die Lebenszyklusanalyse hat es ermöglicht, die für die Wirkungskategorien relevanten Prozesse recht genau zu ermitteln. Dennoch bleiben einige Unsicherheiten in Bezug auf Daten und Methoden, die in diesem Abschnitt dargelegt werden sollen. Zunächst muss festgehalten werden, dass den in *ecoinvent* hinterlegten Prozessen und Produkten Durchschnittsdaten zugrunde liegen. Die realen Prozesse und somit ihre Umweltwirkungen weichen von den Durchschnittswerten ab. Das bedeutet, dass auch ihre Umweltwirkungen abweichen. Daraus folgt, dass die Ergebnisse dieser Studie Unsicherheiten unterliegen.

Zudem wird die Farbbeschichtung der FreiburgCup und des Papierbechers in dieser Studie nicht berücksichtigt, da keine Daten zur Masse und Zusammensetzung der Farbbeschichtung vorlagen. Zwar ist der Massenanteil der Farbbeschichtung sowohl bei der FreiburgCup, als auch bei der Papiertasse sehr gering, jedoch könnten bei ihrer Herstellung vergleichbar hohe toxische Emissionen entstehen, die die Umweltwirkungen beeinflussen könnten.

Eine weitere Unsicherheit bezieht sich auf die Benutzung eines Deckels zusammen mit der FreiburgCup oder dem Papierbecher. Es war im Rahmen dieser Studie nicht möglich, den Anteil an ToGo-Bechern zu ermitteln, die mit bzw. ohne Deckel verkauft werden. Außerdem könnte angenommen werden, dass dieser Anteil bei der FreiburgCup und den Einwegbechern abweicht (Lienhart 28.04.2017).

Dazu kommt, dass es eine Rolle spielt, ob die Cafés ihre Kunden dazu animieren einen Deckel zu benutzen, beispielsweise indem der Deckel gut sichtbar ausgelegt ist oder automatisch zu einem ToGo-Becher gegeben wird. Die Ergebnisse unse-

rer Sensitivitätsanalyse (eine Gegenüberstellung der Szenarien mit und ohne Deckel) zeigen, dass der Deckel einen hohen Anteil an den Umweltauswirkungen (im Standardszenario) in der, nach Abbildung 2 besonders wichtigen Kategorie Climate Change, hat. Dieser beträgt mit 19g CO_{2-eq} mehr als das 1,5-fache der Auswirkungen der FreiburgCup) Daher würde die Nutzungsrate des Deckels, differenziert nach FreiburgCup und Einwegbecher, die Genauigkeit unserer Ergebnisse verbessern.

Das Recycling wurde so angenommen als ob das PE aus den Freiburg Cups die selbe Menge PE Roh-Granulat ersetzen könnte. Der Prozess des Zerkleinerns wurde vernachlässigt, die Tasse vor dem Recycling jedoch noch einmal als gespült angenommen. Das PE der FC ist sehr rein und ein nahezu vollständiges Recycling wäre sicherlich möglich. Eine Verwendung als Nahrungsmittelbehälter ist jedoch gesetzlich nach dem Recycling nicht mehr möglich.

Bei der Modellierung des Spülprozesses wurde das Spülmittel nur sehr vereinfacht als Seife angenommen. Es ist davon auszugehen, dass gewerbliche Spülmittel andere Umweltauswirkungen haben als eine durchschnittliche Seife. Die Ergebnisse zeigen, dass die Umweltauswirkungen des Elektrizitätsbedarfs des Spülprozesses jene der Seifenbenutzung bei weitem überwiegen, es sollte jedoch mit einer genaueren Modellierung des Spülmittels dieser Unsicherheit nachgegangen werden.

4.2 Ergebnisdiskussion

Nachdem in Abschnitt 3 die Ergebnisse des LCIA vorgestellt wurden und auf die methodischen Unsicherheiten im vorangegangenen Abschnitt eingegangen wurde, werden in diesem Abschnitt die Ergebnisse diskutiert. Dabei können Empfehlungen abgeleitet werden, insbesondere in Bezug auf die Rückgabequote der FreiburgCup, die Benutzung des Deckels sowie des Spülprozesses. Schließlich werden in diesem Abschnitt die Ergebnisse für die FreiburgCup mit denen des herkömmlichen Einwegbechers verglichen.

Die Umweltauswirkungen der FreiburgCup hängen von der Nutzungsphase ab Die Ergebnisse zeigen, dass die sich die Umweltauswirkungen der FreiburgCup auf Prozesse zurückführen lassen, die in der Nutzungsphase liegen. Die Rückgabequote hat einen großen Einfluss auf die potentiellen Umweltwirkungen der FreiburgCup. Bei einer 10-maligen Wiederverwendung und 20-maligen Wiederverwendung hat der Produktionsprozess einen großen Beitrag zur Umweltauswirkung. Bei einer 100-maligen Wiederverwendung ist dieser noch sichtbar, jedoch deutlich geringer.⁷ Je öfter die FreiburgCup also zurückgegeben wird, umso geringer sind ihre Umweltbelastungen.

⁷Dies trifft nicht auf die Kategorie Human Toxicity zu, da hier der Spülprozess, insbesondere die Seife ausschlaggebend ist.

Darüber hinaus hängen die Umweltauswirkungen der FreiburgCup in der Nutzungsphase maßgeblich vom Spülprozess ab. Das Spülen von Hand schneidet in den meisten Kategorien am schlechtesten ab. Hier besteht eine Unsicherheit bei der Modellierung, da sich die Spülpraktiken individuell stark unterscheiden (Stamminger 2006). Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Benutzung von Ökostrom zum Betreiben der Spülmaschinen in den Cafés die Umweltauswirkungen der Tasse insbesondere in den Wirkungskategorien Climate Change und Particulate Matter Formation deutlich verringert werden können.

Die Benutzung eines Deckels hat in den meisten Wirkungskategorien einen großen Anteil an den Umweltauswirkungen: In den Kategorien Climate Change und Particulate Matter verdoppeln sich die Umweltauswirkungen nahezu, wenn zusätzlich zur FreiburgCup auch ein Deckel benutzt wird. Daraus lässt sich die Empfehlung ableiten, die FreiburgCup möglichst ohne Deckel zu benutzen.

Die FreiburgCup im Vergleich mit dem Einwegpappbecher Das angenommene Standardszenario für die FreiburgCup (siehe Abschnitt 2.3) und das angenommene Standardszenario für den Einwegbecher haben in der wichtigsten Wirkungskategorie *Climate Change* einen ähnlichen Effekt von etwas über 30 g CO_{2-eq} pro Becher. In den anderen Kategorien schneidet der Einwegbecher schlechter ab als die FreiburgCup. Insofern bedeutet die FreiburgCup unter ökologischen Gesichtspunkten eine Verbesserung im Vergleich zum bisher verwendeten Einwegbecher. Während sich die Ökobilanz der FreiburgCup durch eine aufmerksamere Nutzung noch verbessern kann, ist dies beim Einwegbecher kaum möglich, da weder Deckel noch Becher recycelt werden können. Natürlich verbessert sich die Ökobilanz des Einwegbechers ebenfalls durch mehrmalige Benutzung, jedoch ist dieser dafür nicht ausgelegt und geht deshalb voraussichtlich schnell kaputt. Damit ergänzen unsere Ergebnisse die Studie von Ligthart und Ansems (2007). Diese kommt zu dem Ergebnis, dass der Einwegpappbecher im Vergleich mit anderen Einwegsyste-men und einer Mehrweg-Keramiktasse in den meisten Kategorien am besten abschneidet. Jedoch wird keine Mehrweg-PE-Tasse untersucht. Diese Analyse konnte zeigen, dass letztere - insbesondere bei der richtigen Nutzung - besser abschneidet, als der Einweg-Pappbecher.

Möglichkeiten für Verbesserung Die Gegenüberstellung eines möglichst umweltschonenden Szenarios (FC-100-oD-Rec-MÖ) mit einem dem aus Umweltsicht schlechtesten Szenario (FC-010-mD-VoE-Ha) zeigt, dass die Umweltauswirkungen der FreiburgCup für alle Kategorien stark variieren. Dabei haben bereits die Nutzer einen großen Einfluss, indem sie die Tasse ohne Deckel benutzen und immer wieder zurückgeben (s.o.). Auch die Cafés können durch die Verwendung von Ökostrom anstelle des konventionellen Strommixes deutlich zur Verbesserung der Ökobilanz der FreiburgCup beitragen. Darüber hinaus könnten die Umweltauswirkungen reduziert werden indem die Möglichkeit genutzt würde, alte oder kaputte Tassen an den Hersteller

zurückzugeben, um diese zu recyceln. Wenn alle diese Punkte umgesetzt würden, würden sich die Umweltauswirkungen der FreiburgCup auch im Vergleich zu dem als der Realität am nächsten kommend eingeschätzten Standardszenario wesentlich reduzieren. Die Ökobilanz der FreiburgCup im Vergleich zum Einwegbecher wäre dann ebenfalls sehr gut.

Vergleich mit anderen Aktivitäten Schließlich sollen die Ergebnisse der FreiburgCup noch ins Verhältnis mit anderen Aktivitäten gesetzt werden. Dabei dient das Standardszenario als Orientierung. Bezogen auf die CO₂-Emissionen sind die Auswirkungen der FreiburgCup mit etwa 30 g deutlich geringer als die Emissionen des Kaffees, den sie beinhaltet (etwa 1 kg) (o.N. 2006). Auch im Vergleich mit anderen Aktivitäten sind die Emissionen der FreiburgCup gering: Um dieselben Emissionen zu erzeugen, wie beispielsweise für einen Urlaubsflug (hin- und zurück) nach Barcelona, könnte man 7100 Mal die FreiburgCup benutzen (ecoinvent 3.2 Datenbank, Prozess *market for transport, passenger aircraft, 0,13 kgCO₂-eq)/km*).

Abkürzungen

1,4DCB-eq 1,4-Dichlorobenzene-Equivalent (Maß für Giftigkeit)

ALO Agricultural Land Occupation, Nutzung von Agrarfläche

ASF Abfallwirtschaft und Stadtreinigung Freiburg GmbH

CC Climate Change, Klimawandel

CO2-eq Kohlendioxid-Equivalent (Maß für Erderwärmungspotential)

GWP Global Warming Potential, Erderwärmungspotential

HT Human Toxicity

LCA Life Cycle Analysis, Lebenszyklusanalyse

LCI Life Cycle Inventory, Sachbilanz

PM Particulate Matter, Feinstaub

PM10-eq Particulate-Matter-10-Equivalent (Maß und Kategorisierung für Feinstaub)

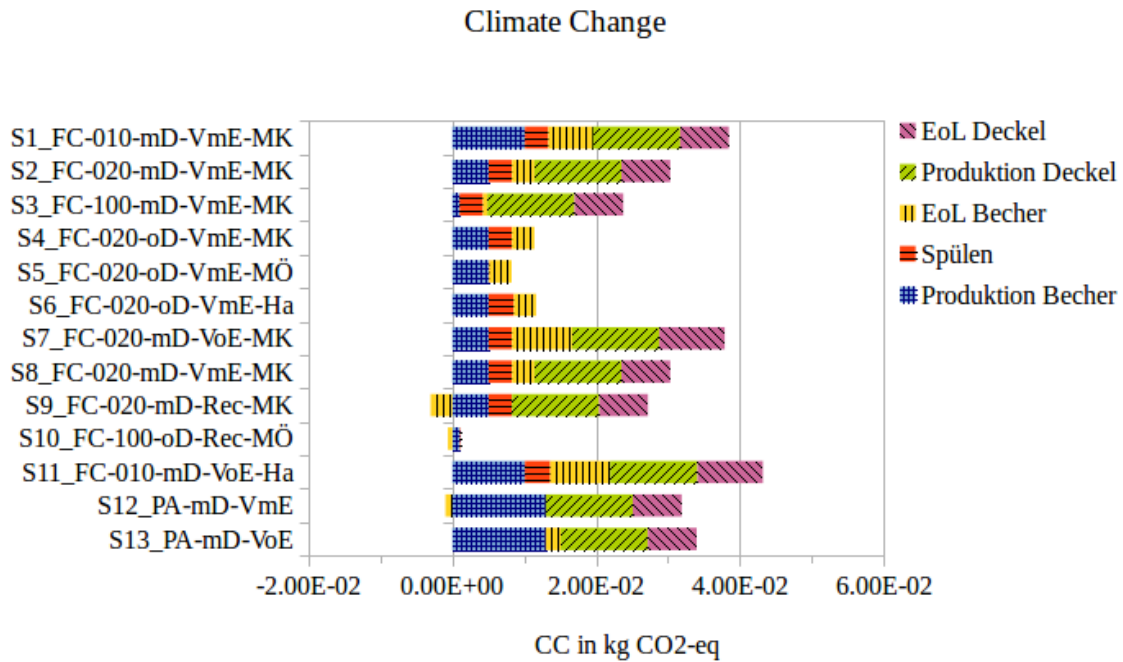
Literatur

- Badische Zeitung (2016). *Freiburg startet Mehrwegsystem für Kaffeebecher*. URL: <http://www.badische-zeitung.de/freiburg/freiburg-startet-mehrwegsystem-fuerkaffeebecher--%20130102041.html> (besucht am 18.01.2017).
- Berling (18.01.2017). *Gespräch mit dem Mitarbeiter von Cup Service GmbH (München) zur Herstellung der Freiburg Cup und Plastikproduktion im Allgemeinen*.
- Bernau, Patrick (23.05.2017). „Verschlimmbechert“. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung (online)*. URL: <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/wirtschaftspolitik/coffee-to-go-umweltanalysen-von-mehrwegbechern-und-einweg-15029225.html>.
- Bootz, Dieter (17.01.2017). *Gespräch mit dem Mitarbeiter der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung GmbH (Freiburg i. Br.) über das Pfandsystem der FreiburgCup*.
- (28.04.2017). *Gespräch mit dem Mitarbeiter der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung GmbH (Freiburg i. Br.) über das Pfandsystem der FreiburgCup*.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2007). *Marktanalyse Photovoltaik-Dachanlagen*.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2017). *Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien (2016)*. URL: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/17DF3FA36BF264EBC1257B0A003EE8B8/\\$file/Foliensatz_Energie-Info-EE-und-das-EEG2013_31.01.2013.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/17DF3FA36BF264EBC1257B0A003EE8B8/$file/Foliensatz_Energie-Info-EE-und-das-EEG2013_31.01.2013.pdf) (besucht am 28.04.2017).
- Deutsche Umwelthilfe (2015). *Coffee-to-go-Einwegbecher. Umweltauswirkungen und Alternativen*.
- DSD - Duales System Holding GmbH und Co KG (2017). *Verbraucherinfos*. URL: <https://www.gruenerpunkt.%20de/de/verbraucher/verbraucherinfos.html> (besucht am 19.01.2017).
- ecoinvent (2017a). *Allocation cut-off by classification*. URL: <http://www.ecoinvent.org/database/system-models-in-ecoinvent-3/cut-off-system-model/allocation-cut-off-by-classification.html> (besucht am 25.05.2017).
- (2017b). *System Models in ecoinvent 3*. URL: <http://www.ecoinvent.org/database/system-models-in-ecoinvent-3/system-models-in-ecoinvent-3.html> (besucht am 25.05.2017).
- Elchlepp, Karsten (16.03.2017). *E-Mail-Austausch mit dem Mitarbeiter der Bäckerei Pfeifle (Freiburg i. Br.) über die FreiburgCup*.
- Fraunhofer ISE (2017). *Interactive graphs displaying electricity production*. URL: <https://www.energy-charts.de/index.htm> (besucht am 28.04.2017).
- Goedkop, Mark u. a. (2013). *ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*. Niederländisches Umweltministerium.
- Haas, Benjamin (20.04.2017). *E-Mail-Austausch mit dem Inhaber des Café Auszeit (Freiburg i. Br.) über die FreiburgCup*.

- ISO14040 (Juli 2006). *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*.
- ISO14044 (Juli 2006). *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines*.
- Kelly, John (2017). „How does polystyrene recycling work?“ In: *How stuff works*. URL: <http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/polystyrene-recycling.htm> (besucht am 01.06.2017).
- Lienhart, Bernd (28.04.2017). *Gespräch mit dem Inhaber der Bäckerei Lienhart über das Pfandsystem der FreiburgCup*.
- Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions That Matter* (2015). Matthews, H. Scott, Hendrickson, Chris T. und Matthews, Deanna H.
- Ligthart, T.N. und A.M.M. Ansems (2007). *Single use Cups od Reusable (coffee) Drinking Systems: An Environmental Comparison*. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research.
- Meiko Maschinenbau GmbH und Co KG (2017a). *M-iClean UM+ Geschirrspülmaschinen mit dem Extra an Platz*. URL: <http://www.meiko.de/produkte/spueltechnik/untertischspuelmaschinen/m-iclean/m-iclean-um-plus/> (besucht am 20.01.2017).
- (2017b). *Produktdatenblatt Meikolon FR 80*. URL: <http://shop.niendorf-%20reinigungsmittel.de/3xios/daten/PBeschreibungSL/V0828.pdf?PHPSESSID=22cf49b8f6c7cf4cc3e59d27ec6449a1> (besucht am 25.05.2017).
- o.N. (2006). „Die Ökobilanz der 10 beliebtesten Frühstücksprodukte: Umwelt“. In: *Ernährung im Fokus*. URL: http://www.energieverbraucher.de/files_db/1332069865_2679__12.pdf (besucht am 01.06.2017).
- Stamminger, Rainer (2006). „Geschirrspülen in Europa“. In: *Ernährung im Fokus*. URL: http://www.energieverbraucher.de/files_db/1332069865_2679__12.pdf (besucht am 01.06.2017).
- Umweltbundesamt (2015). *Kunststoffabfälle*. URL: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_50%20_2015_verpackungsabfaelle_2012.pdf (besucht am 19.01.2017).
- Umweltbundesamt auf Basis AGEE-Stat (2017). *Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien*. URL: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/bilder/energiebereitstellung_aus_ee.png (besucht am 28.04.2017).

Anhang

Ergebnisse in der Kategorie Klimawandel

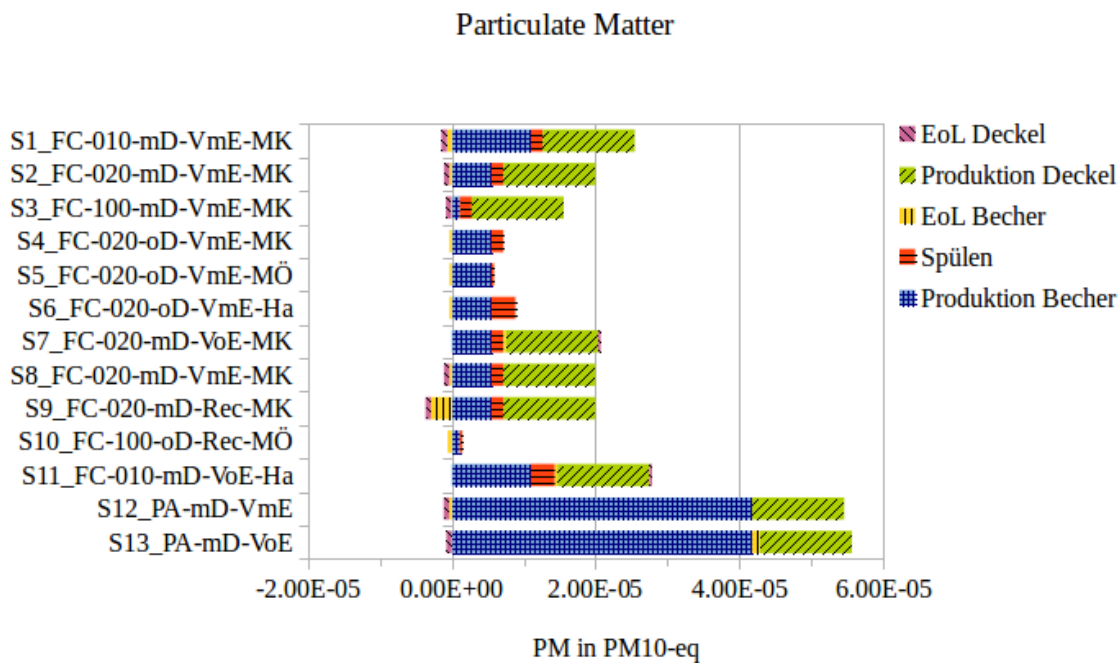


Becher	Prozess	Szenario	Wert
FreiburgCup	Produktion	10 Zyklen	0,01012 kg CO ₂ -eq
		20 Zyklen	0,00506 kg CO ₂ -eq
		100 Zyklen	0,001012 kg CO ₂ -eq
	Verbrennung	10 Zyklen	0,00836 kg CO ₂ -eq
		20 Zyklen	0,00418 kg CO ₂ -eq
		100 Zyklen	0,000836 kg CO ₂ -eq
	Recycling	10 Zyklen	-0,00602 kg CO ₂ -eq
		20 Zyklen	-0,00301 kg CO ₂ -eq
		100 Zyklen	-0,000602 kg CO ₂ -eq
	Verbr. m. Energiegew.	10 Zyklen	0,0062 kg CO ₂ -eq
		20 Zyklen	0,0031 kg CO ₂ -eq
		100 Zyklen	0,00062 kg CO ₂ -eq
	Spülen	Konventioneller Energiemix	0,00325 kg CO ₂ -eq
		Ökostrom	0,00009915 kg CO ₂ -eq
		durchschnittl. Spülen (Hand, Boiler)	0,0035 kg CO ₂ -eq

Becher	Prozess	Szenario	Wert
Deckel	Produktion		0,01213 kg CO2-eq
	Verbrennung		0,00911 kg CO2-eq
	Verbr. m. Energiegew.		0,00678 kg CO2-eq
Papierbecher	Produktion		0,013 kg CO2-eq
	Verbrennung		0,0021 kg CO2-eq
	Verbr.m. Energiegew.		-0,00096 kg CO2-eq

Tabelle 2: Ergebnisse aller Szenarien in der Wirkungskategorie Climate Change, tabellarische Übersicht.

Ergebnisse in der Kategorie Feinstaub

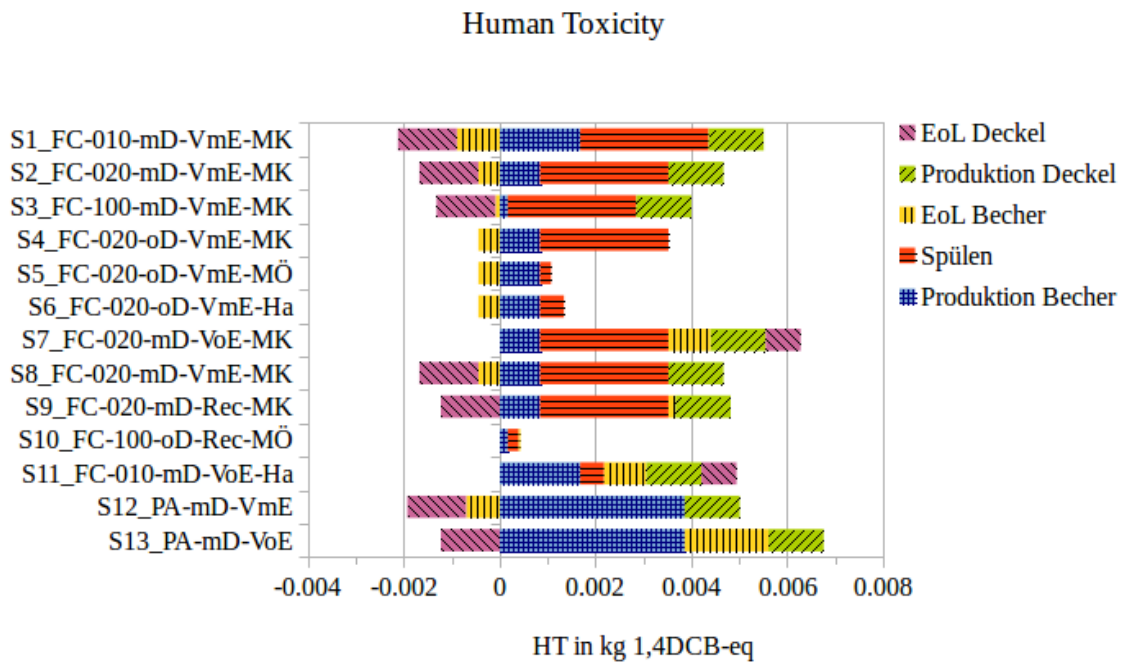


Becher	Prozess	Szenario	Wert
FreiburgCup	Produktion	10 Zyklen	1,10E-05 kg PM10-eq
		20 Zyklen	5,50E-06 kg PM10-eq
		100 Zyklen	1,10E-06 kg PM10-eq
	Verbrennung	10 Zyklen	3,67E-07 kg PM10-eq
		20 Zyklen	1,835E-07 kg PM10-eq
		100 Zyklen	3,67E-08 kg PM10-eq
	Recycling	10 Zyklen	-5,82E-06 kg PM10-eq
		20 Zyklen	-2,91E-06 kg PM10-eq
		100 Zyklen	-5,82E-07 kg PM10-eq

Becher	Prozess	Szenario	Wert	
	Verbr. m. Energiegew.	10 Zyklen	-6,86E-07	kg PM10-eq
		20 Zyklen	-3,43E-07	kg PM10-eq
		100 Zyklen	-6,86E-08	kg PM10-eq
	Spülen	Konventioneller Energiemix	1,67E-06	kg PM10-eq
		Ökostrom	3,70E-07	kg PM10-eq
		durchschnittl. Spülen (Hand, Boiler)	3,34E-06	kg PM10-eq
Deckel	Produktion	1,28E-05	kg PM10-eq	
	Verbrennung	3,72E-07	kg PM10-eq	
	Verbr. m. Energiegew.	-7,57E-07	kg PM10-eq	
Papierbecher	Produktion	4,18E-05	kg PM10-eq	
	Verbrennung	1,07E-06	kg PM10-eq	
	Verbr.m. Energiegew.	-3,82E-07	kg PM10-eq	

Tabelle 3: Ergebnisse aller Szenarien in der Wirkungskategorie Particulate Matter Formation, tabellarische Übersicht.

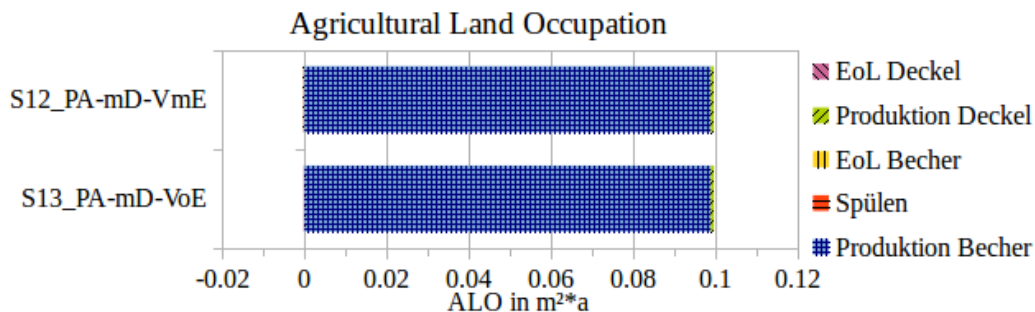
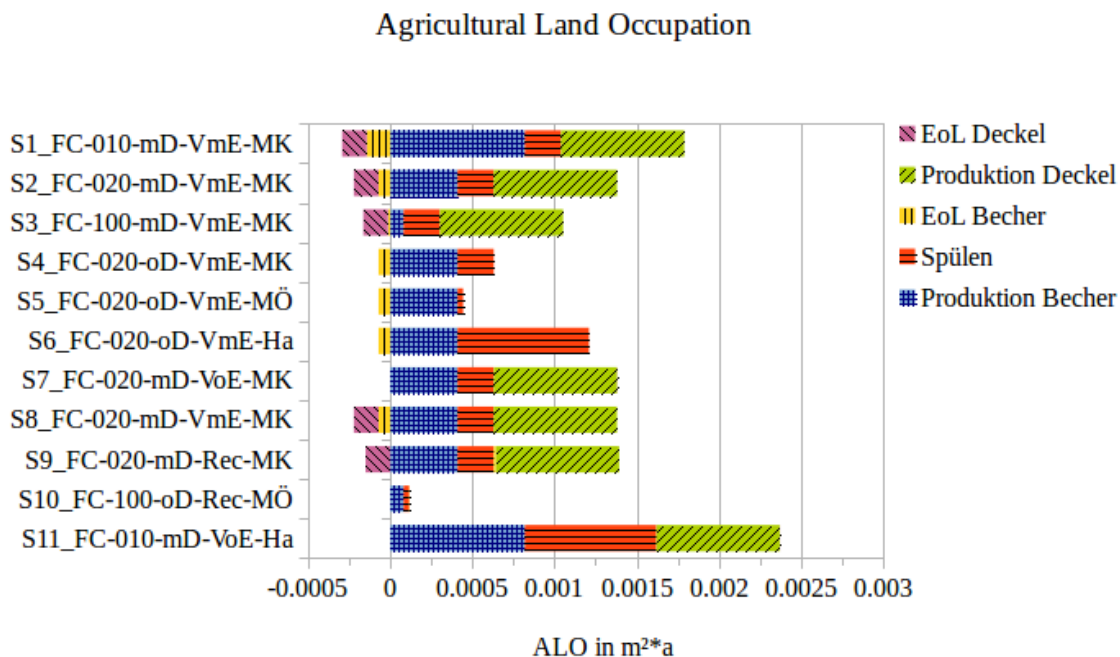
Ergebnisse in der Kategorie Humantoxizität



Becher	Prozess	Szenario	Wert
FreiburgCup	Produktion	10 Zyklen	0,00168 kg 1,4DCB-eq
		20 Zyklen	0,00084 kg 1,4DCB-eq
		100 Zyklen	0,000168 kg 1,4DCB-eq
	Verbrennung	10 Zyklen	0,00088 kg 1,4DCB-eq
		20 Zyklen	0,00044 kg 1,4DCB-eq
		100 Zyklen	0,000088 kg 1,4DCB-eq
	Recycling	10 Zyklen	0,0003000 kg 1,4DCB-eq
		20 Zyklen	0,000150 kg 1,4DCB-eq
		100 Zyklen	0,00003 kg 1,4DCB-eq
	Verbr. m. Energiegew.	10 Zyklen	-0,000897 kg 1,4DCB-eq
		20 Zyklen	-0,0004485 kg 1,4DCB-eq
		100 Zyklen	-0,0000897 kg 1,4DCB-eq
	Spülen	Konventioneller Energiemix	0,00268 kg 1,4DCB-eq
		Ökostrom	0,00023 kg 1,4DCB-eq
		durchschnittl. Spülen (Hand, Boiler)	0,0005 kg 1,4DCB-eq
Deckel	Produktion	0,00115 kg 1,4DCB-eq	
	Verbrennung	0,00073 kg 1,4DCB-eq	
	Verbr. m. Energiegew.	-0,00123 kg 1,4DCB-eq	
Papierbecher	Produktion	0,00386 kg 1,4DCB-eq	
	Verbrennung	0,00175 kg 1,4DCB-eq	
	Verbr.m. Energiegew.	-0,0007 kg 1,4DCB-eq	

Tabelle 4: Ergebnisse aller Szenarien in der Wirkungskategorie Human Toxicity, tabellarische Übersicht.

Ergebnisse in der Kategorie Nutzung von Agrarfläche



Becher	Prozess	Szenario	Wert
FreiburgCup	Produktion	10 Zyklen	8,20E-04 m2*a
		20 Zyklen	4,10E-04 m2*a
		100 Zyklen	8,20E-05 m2*a
	Verbrennung	10 Zyklen	9,32E-07 m2*a
		20 Zyklen	4,66E-07 m2*a
		100 Zyklen	9,32E-08 m2*a
	Recycling	10 Zyklen	2,70E-05 m2*a
		20 Zyklen	1,35E-05 m2*a
		100 Zyklen	2,70E-06 m2*a
			10 Zyklen

Verbr. m. Energiegew.

Becher	Prozess	Szenario	Wert
	Spülen	20 Zyklen	-7,15E-05 m2*a
		100 Zyklen	-1,43E-05 m2*a
		Konventioneller Energiemix	2,20E-04 m2*a
		Ökostrom	3,34E-05 m2*a
		durchschnittl. Spülen (Hand, Boiler)	8,00E-04 m2*a
Deckel	Produktion	7,50E-04 m2*a	
	Verbrennung	1,20E-06 m2*a	
	Verbr. m. Energiegew.	-1,50E-04 m2*a	
Papierbecher	Produktion	9,90E-02 m2*a	
	Verbrennung	5,84E-06 kg 1,4DCB-eq	
	Verbr.m. Energiegew.	-1,90E-04 m2*a	

Tabelle 5: Ergebnisse aller Szenarien in der Wirkungskategorie Agricultural Land Occupation, tabellarische Übersicht.