

Universität für Bodenkultur
Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt
Institut für Abfallwirtschaft



Die Umweltrelevanz von Onlinehandel im Vergleich zu stationärem Handel mit Fokus auf die Abfallwirtschaft

Masterarbeit
Zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur

eingereicht von
Katharina Stoll BSc
Stud. Kennz.: 427 / Matr. Nr.: h0952774

Wien, August 2016

Danksagung

Mein Dank gilt dem Unternehmen Sonnentor, das sich bereitklärt hat mit mir zusammenzuarbeiten und mir Daten bereitzustellen. Nicht unerwähnt lassen möchte ich an dieser Stelle auch die Unterstützung des Unternehmens Deichmann Obuwie Sp.z. o.o.

Bedanken möchte ich mich bei meinen Betreuern Dipl. Ing. Gudrun Obersteiner und Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Stefan Salhofer für die ausgezeichnete fachliche Unterstützung und konstruktive Kritik.

Ich möchte meinen Eltern danken, die es mir ermöglicht haben diesen Weg zu gehen, sei es finanziell als auch moralisch. Mein Dank gilt auch Lorenz, der mir während der Masterarbeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden ist. Danke auch an all jene die mich während meiner Studienzeit begleitet haben.

Katharina Stoll BSc

Kurzfassung

In den letzten Jahren kam es zu einem starken Anstieg der über den Onlinehandel verkauften Produkte und Experten gehen auch in den nächsten Jahren von einem stetigen Zuwachs aus. Ziel dieser Arbeit war die Umweltauswirkungen und das Abfallaufkommen des Onlinehandels und des stationären Handels zu vergleichen. Dies wurde anhand des Unternehmens Sonnentor GmbH in Österreich durchgeführt. Der Fokus lag auf dem jeweiligen Abfallaufkommen. Auf Basis von Daten des Unternehmens, der vorhandenen Literatur und eigenen Erhebungen wurden Szenarien entwickelt und mittels Ökobilanzierung bewertet. Um die Effekte der Einwohnerdichte einer Region zu zeigen, erfolgte die Gegenüberstellung einer urbanen Region und einer ländlichen Region.

Onlinehandel ist der aus ökologischer Sicht zumeist vorteilhaftere Vertriebsweg. Dies kann im Rahmen dieser Arbeit in der ländlichen Region in den Wirkungskategorien terrestrische Versauerung, fossiler Ressourcenverbrauch und Klimawandel nachgewiesen werden. In der dicht besiedelten Region ist der Onlinehandel in den Wirkungskategorien Klimawandel und fossiler Ressourcenverbrauch ebenfalls der Vertriebsweg mit den geringeren Umweltwirkungen. Das Ergebnis lässt sich auf den ineffizienten Transport im privaten Bereich zurückführen. Eine Betrachtung der terrestrischen Versauerung zeigt im urbanen Bereich abweichende Ergebnisse. Aufgrund der geringeren Menge an Verpackungen je Produkt verursacht der traditionelle Handel in dieser Wirkungskategorie geringere Umweltwirkungen. Im Szenario Onlinehandel dominieren die Herstellung der Verpackungen und die Energiebereitstellung für den Bestellvorgang die Umweltwirkungen. Obwohl die Menge der Verpackungen im Onlinehandel fast sieben Mal höher ist, hat deren Entsorgung nur geringe Auswirkungen auf das Ergebnis.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurden Unsicherheiten des Modells untersucht um dessen Verlässlichkeit zu überprüfen. Bei der Betrachtung zusätzlicher Aspekte weicht das Ergebnis deutlich von dem des Basisszenarios ab. Im Falle eines nicht möglichen ersten Zustellversuches verursacht der stationäre Handel geringere Umweltwirkungen als der Onlinehandel. Dieses Ergebnis zeigt sich im urbanen Gebiet auch bei der Analyse von Retourwaren und beim Kauf von mehreren Produkten. Im ländlichen Gebiet ist der Kauf im Onlinehandel auch im Falle von Retourwaren und beim Kauf von fünf Produkten, wie im Basisszenario, der vorteilhaftere Vertriebsweg. Ab einem Einkauf von 13 Produkten verursacht der stationäre Handel im dünn besiedelten Gebiet geringere Umweltwirkungen. Da der Weg zur Filiale nicht immer ausschließlich für den Einkauf zurückgelegt wird, erfolgte eine Untersuchung einer anteiligen Zurechnung des Transportweges. Im urbanen Gebiet verursacht ein Kauf im stationären Handel ab einer Zurechnung von 50 % des Transportweges auf das Produkt geringere Umweltwirkungen. Aufgrund der größeren Distanzen und der Nutzung von privaten PKWs statt öffentlichen Verkehrsmitteln ist in der dünn besiedelten Region der traditionelle Vertriebsweg erst ab einer Transportdistanzzurechnung von 5 % der aus ökologischer Sicht bessere Vertriebsweg.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine eindeutige Aussage über den besten Vertriebsweg nicht möglich ist. Mehrere Faktoren, wie die Transportdistanz, Rücksendungen und die Anzahl der gekauften Produkte, müssen beim Kauf berücksichtigt werden.

Abstract

In recent years the number of products bought via e-commerce has increased and experts predict an ongoing rise in future. This raises questions about the ecological effects of this development. Therefore the aim of this thesis was to compare the environmental impacts and the amount of waste arising from e-commerce and traditional retail. This was carried out based on Sonnentor GmbH in Austria. The focus was on the respective amount of packaging. On the basis of data from the company, literature and own surveys scenarios were developed and analysed using life cycle assessment (LCA). In order to show the impact of the population density, one urban and one rural region were compared.

Mostly e-commerce is the superior sales channel from an ecological point of view. In the context of this master thesis this can be verified for the rural region in the impact categories terrestrial acidification, fossil resource depletion and climate change. In the densely populated area e-commerce also shows better results in climate change and fossil resource depletion. The result can be explained by inefficient private transport in the traditional retail scenario. Different results can be shown for terrestrial acidification in the urban region. Due to the lower amount of packaging traditional retail causes less environmental impact in this category. In the e-commerce scenario the production of packaging and energy supply for placing the online order are dominating the environmental impact. Even though the amount of packaging is almost seven times higher in the case of e-commerce than in traditional retail, their disposal only has a minor impact on the results. Their impact accounts for less than 5 % of the total impact.

Furthermore, a sensitivity analysis was carried out in order to examine the uncertainties of the model and to prove its reliability. The result differs significantly compared to the basis scenario, taking into account further aspects. In the case of an unsuccessful first attempt of delivery, traditional retail causes less environmental impact than e-commerce. This result can also be shown in the urban region when analysing returned goods and buying more products. In the rural region e-commerce is the better sales channel, as in the basis scenario, when buying five products. Traditional retail is favourable in the case of the purchase of a higher number (13) of products in sparsely populated areas. The purchase of the product is not always the single purpose of the trip. Therefore the impact of the purchase was analysed when taking into account only a part of the transport distance. In the urban region the purchase in the traditional retail causes less environmental impact when just 50 % of the transport distance is attributed to the product. Due to the higher distance and the use of the private car instead of the public transport the traditional retail is the better sales channel in the rural region when taking into account no more than 5 % of the transport distance.

Results show that a general statement about the environmentally best sales channel is not possible. A lot of factors as the transport distances, returned goods and the number of products have to be taken into account when buying a product.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Allgemeine Grundlagen | 3 |
| 2.1 Onlinehandel | 3 |
| 2.2 Abfallwirtschaft in Österreich | 6 |
| 2.2.1 Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen | 6 |
| 2.2.2 Abfälle aus Gewerbebetrieben | 7 |
| 2.2.3 Sammlung und Transport der Abfälle | 8 |
| 2.2.4 Abfallwirtschaft in Wien | 10 |
| 2.2.4.1 Restmüll | 10 |
| 2.2.4.2 Kunststoff | 10 |
| 2.2.4.3 Papier | 10 |
| 2.2.5 Abfallwirtschaft in Niederösterreich, insbesondere im Bezirk Zwettl | 11 |
| 2.2.5.1 Restmüll | 11 |
| 2.2.5.2 Kunststoff | 11 |
| 2.2.5.3 Papier | 12 |
| 2.2.5.4 Holz | 12 |
| 3. Methode | 13 |
| 3.1 Ökobilanz | 13 |
| 3.1.1 Aufbau einer Ökobilanz | 14 |
| 3.1.2 Zuordnungsvorschriften | 15 |
| 3.1.2.1 Allokationsverfahren | 15 |
| 3.1.2.2 Gutschriftenverfahren | 16 |
| 3.1.3 Modellierung von Verwertung im Rahmen einer Ökobilanz | 16 |
| 3.2 Untersuchungsrahmen und Systemgrenzen | 16 |
| 3.2.1 Technische Systemgrenze | 16 |
| 3.2.2 Geographische Systemgrenze | 17 |
| 3.2.3 Zeitliche Systemgrenze | 17 |
| 3.2.4 Funktionelle Einheit | 17 |
| 3.2.5 Untersuchungsrahmen | 17 |
| 3.3 Wirkungsabschätzung | 18 |
| 3.3.1 Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodellen | 18 |
| 3.3.2 Beschreibung der Wirkungskategorien | 19 |
| 3.3.2.1 Klimawandel | 19 |
| 3.3.2.2 Versauerungspotenzial (terrestrisch) | 19 |
| 3.3.2.3 Eutrophierung (Süßwasser) | 20 |
| 3.3.2.4 Fossiler Ressourcenverbrauch | 20 |
| 3.3.2.5 Humantoxizität | 20 |
| 3.3.2.6 Photochemisches Ozonbildungspotenzial (Sommer-Smog) | 20 |
| 3.3.2.7 Ozonabbaupotenzial (stratosphärisches Ozon) | 20 |
| 3.3.3 Klassifizierung | 21 |
| 3.3.4 Charakterisierung | 21 |
| 3.3.5 Normierung | 21 |
| 3.4 Erhebung der Daten | 21 |
| 4. Fallbeispiel und Szenariobeschreibung | 23 |
| 4.1 Sonnentor | 23 |
| 4.2 Szenarien | 23 |
| 4.2.1 Szenario stationärer Handel | 24 |
| 4.2.2 Szenario Onlinehandel | 25 |

| | | |
|---------|--|-----------|
| 4.3 | Auswahl der Untersuchungsgebiete | 26 |
| 5. | Sachbilanz | 27 |
| 5.1 | Sachbilanz Szenario stationärer Handel..... | 27 |
| 5.1.1 | Verpackungen und Abfall..... | 27 |
| 5.1.2 | Anfallstelle und Entsorgung des Abfalls | 28 |
| 5.1.3 | Retourwaren..... | 28 |
| 5.1.4 | Energieverbrauch der Filiale | 28 |
| 5.2 | Sachbilanz Szenario Onlinehandel..... | 29 |
| 5.2.1 | Verpackungen und Abfall..... | 29 |
| 5.2.2 | Retourwaren..... | 30 |
| 5.2.3 | Energieverbrauch der Verpackungsmaschine | 30 |
| 5.2.4 | Energieverbrauch der Endkonsumenten für die Online Bestellung..... | 30 |
| 5.3 | Transport | 31 |
| 5.3.1 | Transportwege stationärer Handel | 31 |
| 5.3.2 | Transportwege Onlinehandel..... | 34 |
| 5.3.3 | Sammlungs- und Transportdistanzen des Abfalls | 35 |
| 5.3.3.1 | <i>Sammel- und Transportdistanzen von Abfällen</i> | <i>36</i> |
| 5.3.3.2 | <i>Abfalltransportfahrzeuge und Auslastung</i> | <i>39</i> |
| 5.3.4 | Emissionen durch Transporte im PKW | 41 |
| 5.3.5 | Emissionen durch Transporte im LKW | 43 |
| 5.4 | Herstellung und Verwertung der Verpackungen | 44 |
| 5.4.1 | Papier..... | 44 |
| 5.4.2 | Kunststoff | 44 |
| 5.4.3 | Holz..... | 45 |
| 5.4.4 | Restmüll | 45 |
| 6. | Vergleichsunternehmen..... | 47 |
| 6.1 | Stationärer Handel Vergleichsunternehmen..... | 47 |
| 6.2 | Onlinehandel Vergleichsunternehmen..... | 47 |
| 7. | Ergebnisse | 48 |
| 7.1 | Auswirkungen der Vertriebswege auf die Abfallwirtschaft | 48 |
| 7.2 | Ergebnisse und Interpretation der Wirkungsabschätzung | 53 |
| 7.2.1 | Klimawandel..... | 55 |
| 7.2.2 | Terrestrische Versauerung | 57 |
| 7.2.3 | Verbrauch fossiler Ressourcen..... | 59 |
| 7.2.4 | Ozonabbaupotential..... | 60 |
| 8. | Sensitivitätsanalyse | 61 |
| 8.1 | Euro Standards der PKWs für den Privattransport | 61 |
| 8.2 | Anzahl der gekauften Produkte | 62 |
| 8.3 | Erstzustellung nicht möglich | 64 |
| 8.4 | Retourwaren | 65 |
| 8.5 | Zurechnung des privaten Transportweges auf das Produkt | 65 |
| 8.6 | Transportdistanzen..... | 66 |
| 8.6.1 | Distanz zur Sonnentorfiliale | 66 |
| 8.6.2 | Distanz zum Endkonsumenten | 67 |
| 8.7 | Entsorgungspraxis..... | 67 |
| 9. | Diskussion und Schlussfolgerungen | 68 |

| | | |
|-----|---|----|
| 9.1 | Vergleich zu anderen Studien | 68 |
| 9.2 | Unsicherheiten im Rahmen der Arbeit | 69 |
| 9.3 | Vergleich Sonnentor GmbH und Deichmann-Obuwie Sp. z o.o. | 70 |
| 9.4 | Schlussfolgerungen..... | 72 |
| 10. | Zusammenfassung..... | 73 |
| 11. | Abbildungsverzeichnis..... | 75 |
| 12. | Tabellenverzeichnis..... | 76 |
| 13. | Abkürzungsverzeichnis..... | 77 |
| 14. | Gleichungsverzeichnis..... | 78 |
| 15. | Literaturverzeichnis | 79 |
| 16. | Anhang..... | 84 |

1. Einleitung

Einkäufe über den Onlinehandel sind in den letzten Jahren stark angestiegen. Im Jahr 2013 kauften bereits 57 % der Österreicher im Internet Einzelhandelswaren im Wert von insgesamt 5,9 Milliarden Euro. Dies entspricht 4,5 % des gesamten Einzelhandelsvolumens in Österreich. Im Jahr 2006 bezogen erst 30 % der Österreicher Waren online. Auf der Angebotsseite kam es ebenfalls zu einem Anstieg der über Online Shops verkauften Waren (KMU Forschung Austria, 2014). Onlinehandel gilt auch weiterhin als der Vertriebskanal mit der höchsten Wachstumsdynamik. Laut Expertenmeinung wird der Handel in den nächsten Jahren primär im Online-Sektor wachsen (Heinemann, 2013). Der Onlinehandel unterscheidet sich vom stationären Handel in einigen Punkten. Der traditionelle Vertriebsweg erfordert eine Filiale, einen großen Warenbestand vor Ort und die individuelle Anfahrt durch den Konsumenten. Die nötige individuelle Transportverpackung, sowie die Lieferung zum Konsumenten zeichnen den Onlinehandel aus.

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung des Onlinehandels wurden bereits einige Studien in den USA und Japan durchgeführt, welche die Umweltrelevanz dieses Vertriebssystems mit jenem des stationären Handels vergleichen (Matthews et al., 2002), (Williams und Tagami, 2001), (Weber et al., 2008). Viele dieser Studien ergaben, dass Onlinehandel aus ökologischer Sicht besser ist als stationärer Handel. Dies setzt zum einen die effizientere Gestaltung der „Letzten Meile“ voraus und zum anderen die Annahme, dass durch den Onlinehandel physische Einkaufsfahrten ersetzt werden. Die „Letzte Meile“ ist im Fall des stationären Handels der Transportweg, der vom Konsumenten zum Geschäft und wieder zurück zu seinem Wohnort gemacht wird, bzw. im Fall des Onlinehandels die gewerbliche Lieferfahrt vom Lager zum Wohnort des Konsumenten. Allerdings muss auch berücksichtigt werden, dass der Onlinehandel zu einem Anstieg des Handelsvolumens führt und dadurch zusätzlicher Verkehr generiert wird. Die Retourwaren sowie die nicht möglichen Erstzustellungen spielen ebenfalls eine wesentliche Rolle bei der Betrachtung der Auswirkungen des Onlinehandels auf das Verkehrsaufkommen (Füüdös, 2014). Laut Williams und Tagami (2001) sind Verpackungen bei der Bewertung der Umweltrelevanz von Onlinehandel im Vergleich zum stationären Handel ein wesentlicher Aspekt. Beim Onlinehandel ist der Einsatz einer größeren Menge an Verpackungen für den Transport zum Kunden nötig. Diese werden üblicherweise nicht wiederverwendet und fallen als Abfall an (Matthews et al., 2002). Die abfallwirtschaftlichen Prozesse und die damit verbundenen Umweltauswirkungen wurden in keiner der bisherigen Studien zu dieser Thematik behandelt.

Für die vorliegende Arbeit ergibt sich daher folgende **Forschungsfrage**: Welche Umweltrelevanz hat der Onlinehandel im Vergleich zum stationären Handel und welche Unterschiede sind aus Sicht der Abfallwirtschaft abzuleiten?

Dies wird anhand der Sonnentor GmbH analysiert. Das Unternehmen mit Sitz in Sprögnitz (Niederösterreich) vertreibt in den Filialen und im Onlinehandel vor allem Tees und Gewürze aus biologischer Landwirtschaft.

Diese Arbeit unterscheidet sich von den bisher durchgeführten Studien durch den Fokus auf die anfallenden Abfälle und einer detaillierten Analyse der Unterschiede zwischen dicht und dünn besiedelten Regionen. Die Analyse der dicht besiedelten Region erfolgt am Beispiel Wien und jene der dünn besiedelten Region anhand vom

Bezirk Zwettl (im Folgenden als Zwettl bezeichnet). Im Gegensatz zu anderen Studien erfolgt die Auswertung anhand von mehreren Wirkungskategorien. In bisherigen Studien wurde nur der Klimawandel untersucht bzw. eine Analyse der eingesetzten Energie durchgeführt. Zusätzlich werden in der vorliegenden Arbeit Daten eines bestehenden Unternehmens (Sonnentor GmbH) verwendet.

Ein Aspekt, der im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt wird, sind die Auswirkungen einer Verlagerung vom konventionellen Handel zum Onlinehandel aus sozialwissenschaftlicher Sicht. Denkbare Auswirkungen sind Änderungen der Beschäftigungsverhältnisse, der Kommunikation und des Einkaufsverhaltens. Diese sollten daher bei einer Entscheidung zusätzlich einbezogen werden. Im Rahmen dieser Arbeit ist dies nicht möglich, weil es sich um eine rein ökologische Betrachtung der Szenarien handelt.

Zieldefinition der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist, die Umweltauswirkungen der Vertriebswege Onlinehandel und stationärer Handel für das Unternehmen Sonnentor aufzuzeigen, sie miteinander zu vergleichen und aus ökologischer Sicht zu evaluieren. Den mit den eingesetzten Verpackungen verbundenen abfallwirtschaftlichen Prozessen wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt und die Auswirkungen der beiden Vertriebswege auf die Abfallwirtschaft untersucht. Die Abfallströme, die Abfallanfallstelle des Vertriebsweges, deren Sammlung, Transport und Entsorgung werden beschrieben und analysiert.

Diese Analyse wird mittels einer Ökobilanz durchgeführt und basiert auf den Daten des Unternehmens Sonnentor. Ergebnisse können Konsumenten bei der Wahl des Vertriebsweges unterstützen und Unternehmen anleiten die Vertriebswege effizienter zu gestalten. Die Zielgruppe der gegenständlichen Ökobilanz sind Konsumenten und Unternehmen.

Aufbau der Arbeit

Die einleitenden Kapitel enthalten grundlegende Informationen über den Onlinehandel, die Abfallwirtschaft in Österreich insbesondere der betrachteten Regionen (Kapitel 2) sowie eine Beschreibung der eingesetzten Methoden und Materialien (Kapitel 3).

Im Hauptteil folgt eine detaillierte Beschreibung des Fallbeispiels und der betrachteten Szenarien (Kapitel 4). Im Rahmen der Sachbilanz (Kapitel 5) werden die erhobenen Daten näher erläutert. Insbesondere werden die eingesetzten Verpackungen je Vertriebsweg sowie deren Herstellung und Entsorgung erläutert. Ebenso erfolgt eine Darstellung aller nötigen Transportdistanzen und der damit verbundenen Emissionen. In Kapitel 6 folgt eine Darlegung der bei einem Vergleichsunternehmen erhobenen Daten. Die Darstellung und Interpretation der Ergebnisse gliedert sich in die Auswirkungen der Vertriebswege auf die Abfallwirtschaft und die Ergebnisse und Interpretation der Wirkungsabschätzung (Kapitel 7). Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wird das Modell auf die Verlässlichkeit überprüft (Kapitel 8).

Abschließend werden die Ergebnisse diskutiert und Schlussfolgerungen abgeleitet (Kapitel 9) sowie zusammengefasst (Kapitel 10).

2. Allgemeine Grundlagen

2.1 Onlinehandel

E-Commerce definiert sich als "Handel mit Waren, Dienstleistungen und Informationen mit Hilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnologien (Mediendienste)", dies erfolgt insbesondere unter Nutzung des Internets. Durch den elektronischen Handel kommt es zu einer Schaffung von neuen Märkten, welche die physischen Geschäftsabwicklungen aufheben. Dadurch werden Geschäftsbeziehungen verändert. Lieferzeiten und -wege können optimiert werden (Gora und Mann, 1999). Onlinehandel ist Teil des E-Commerce und beschreibt den Online-Aspekt von E-Commerce, also die Möglichkeit, Güter und Informationen über das Internet oder über andere Online-Services zu kaufen bzw. zu verkaufen (Schildhauer, 2003).

In der Tab.1 und Tab. 2 sind die Vor- und Nachteile des Onlinehandels für Käufer und Händler angeführt. Diese sind eine beispielhafte Aufzählung nach Fürdös (2014) und nicht vollständig. Es zeigt sich, dass viele Faktoren eine Rolle bei der Beurteilung der Vertriebswege spielen. Zusammengefasst sind die Vorteile des Einkaufens über das Internet für den Konsumenten die individuelle Bequemlichkeit („convenience“) und die Individualität. Aufgrund des geringen Zeitaufwandes, der niedrigen Informationskosten und des hohen Grades an Angebots- und Preistransparenz bietet Onlinehandel hohen Komfort für die Konsumenten. Konsumenten schätzen die Bequemlichkeit und zeitliche Flexibilität durch die Zeit- und Ortsungebundenheit dieses Vertriebsweges (Stepper, 2016). Dem gegenüber stehen Nachteile wie beispielsweise die fehlende persönliche Beratung, Versandkosten und der Verzicht auf das soziale Verkaufserlebnis (Fürdös, 2014). Im Weiteren werden rein ökologische Faktoren des Onlinehandels betrachtet. Mögliche soziale oder ökonomische Auswirkungen sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Tab. 1: Vor- und Nachteile des Onlinehandels für Käufer nach Fürdos 2014

| Vorteile | Nachteile |
|--|--|
| Generell | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Öffnungszeiten rund um die Uhr (365/7/24) • Waren sind fast immer verfügbar • Grenzenloses Einkaufen im In- und Ausland • Eventuell günstigere Waren oder Dienstleistungen | |
| Qualität | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Zugang zu speziellen Waren/Dienstleistungen („Produkt nur online erhältlich“) • Zugang zu Waren, die im konventionellen Handel gar nicht oder nur schwer („auf Bestellung“) erhältlich sind • Vergleichsmöglichkeit verschiedener Anbieter – speziell über „Metaplattformen“ – zusätzlicher Informationskanal • Automatisierte Auswahlhilfen (welches Produkt passt für meinen Bedarf am besten) und eventuell Online Helpdesk und detaillierte Produktbeschreibungen • Zugang zu Meinungen und Bewertungen anderer Konsumenten und Institutionen • Objektive Meinungsbildung (keine Beeinflussung durch Verkäufer, der unter Umständen bestimmte Umsatzvorgaben hat) • Anonymes Einkaufen • Rücktrittsrecht nach Konsumentenschutzgesetz (Fernabsatz) • Vielfältige Zahlungsmöglichkeiten | <ul style="list-style-type: none"> • Komplexere Geltendmachung von Mängeln (Gewährleistung) • Lieferzeiten - „Warten müssen auf das Produkt“ • Kauf von Sachen, die man oft gar nicht benötigt • Keine persönliche Beratung • Kann Produkt nicht angreifen und ausprobieren |
| Ressourcen | |
| <ul style="list-style-type: none"> • In Ruhe und vertrauter Umgebung einkaufen • Ersparnis physischer Wege (Zeit/Kosten) • Vielfältige Liefermöglichkeiten (nach Hause, ins Büro, manchmal auch CO₂-neutrale Zustellung – grüne Logistik) • Nicht auf Verkaufspersonal warten müssen | <ul style="list-style-type: none"> • Verzicht auf das soziale Verkaufserlebnis • Versandkosten • Sollte bei Lieferung anwesend sein |

Tab. 2: Vor- und Nachteile des Onlinehandels der Händler nach Fürdos 2014

| Vorteile | Nachteile |
|---|--|
| Generell | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Öffnungszeiten rund um die Uhr ohne erhöhten Personaleinsatz möglich • Zusätzlicher Absatzkanal • Globale Erreichbarkeit | <ul style="list-style-type: none"> • Investitionskosten für einen guten Webshop • Marktanteile können leichter verloren gehen • Höherer Preiswettbewerb wegen Vergleichbarkeit • Kein direkter physischer Kontakt mehr – weniger Möglichkeiten zusätzliche Produkte zu verkaufen |
| Qualität | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Schnelle Aktualisierung von Informationen möglich • Erstellung von Kundenprofilen • Erhöhte Chancen für kleine Unternehmen • Wegfall eventueller Standortnachteile - „Lage“ oder „Standort“ spielen keine oder eine geringere Rolle • Komplexere Geltendmachung von Mängeln (Gewährleistung) | <ul style="list-style-type: none"> • Verlorene Ausgaben beim Besitz eines guten Standortes |
| Ressourcen | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Keine oder weniger physische Verkaufsfläche nötig • Weniger Verkaufspersonal nötig. Kundenbetreuung übernimmt die „Cloud“. • Lagerhaltung und Logistik kann optimiert werden beziehungsweise sind gar nicht mehr nötig (beispielsweise Abruf der Ware beim Großhändler bei Bestellung) • Warenauswahl/Vorkauf ist nicht mehr nötig (beispielsweise Abruf der Ware beim Großhandelsbetrieb) | <ul style="list-style-type: none"> • Kunden, die online bestellen, bevorzugen manchmal die direkte Abholmöglichkeit in einem Shop. |

2.2 Abfallwirtschaft in Österreich

Wie in den Kapiteln 5.1.1 und 5.2.1 näher erläutert und in Tab. 3 dargestellt, sind im Zuge dieser Arbeit die folgenden Abfallströme in Wien und Niederösterreich (NÖ) relevant: Kunststoffwickelfolie, Karton für den Transport zur Filiale bzw. zum Kunden, Holzpaletten für den Transport zur Filiale sowie Werbematerial und Einkaufstragetaschen aus Papier.

Tab. 3: Übersicht über die in der gegenständlichen Arbeit relevanten Abfallfraktionen

| | kommunale Sammlung | | gewerbliche Sammlung | |
|------------------------------|--------------------|----|----------------------|----|
| | Wien | NÖ | Wien | NÖ |
| Papier und Kartonagen | x | x | | X |
| Wickelfolie | x | x | | |
| Holz | | | | X |
| Restmüll | x | x | | |

Die Entsorgung dieser Abfälle erfolgt über die getrennte Sammlung bzw. den Restmüll. Im Folgenden wird die Entsorgungspraxis für diese Abfallströme dargestellt. Im Rahmen dieser Arbeit ist die Erfassung von Restmüll und Kunststofffolien ausschließlich im haushaltsnahen Bereich bzw. bei Haushalten relevant. Die betrachteten Kunststofffolien werden ausschließlich im Restmüll entsorgt. Die Erfassung von Papier und Kartonagen wird aufgrund des betrachteten Szenarios sowohl im Bereich der Haushalte und ähnlichen Einrichtungen, als auch im Bereich der Gewerbebetriebe dargestellt. Die Beseitigung von Holz ist im Zuge dieser Arbeit nur im gewerblichen Bereich in Niederösterreich relevant, da die betrachteten Paletten beim Unternehmensstandort im Bezirk Zwettl entsorgt werden. Auf die Besonderheiten der kommunalen und gewerblichen Entsorgung wird im Folgenden näher eingegangen. Da in dieser Arbeit Modelle für die Untersuchungsgebiete in Wien und in Niederösterreich erstellt und berechnet werden, folgt unter 2.2.4 und 2.2.5 eine detaillierte Beschreibung der Situation in diesen beiden Bundesländern.

2.2.1 Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen

Die Siedlungsabfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen sind in den letzten Jahren gestiegen und umfassten im Jahr 2014 mit 4.170.000 Tonnen 7,4 % der gesamten Abfallmenge in Österreich. Sie stammen aus Haushalten, aus Verwaltungseinrichtungen des Gewerbes, der Industrie und der öffentlichen Verwaltung, aus Kindergärten, Schulen und Krankenhäusern, aus dem Kleingewerbe und der Landwirtschaft, sowie von Märkten und sonstigen Anfallstellen. Diese Abfälle werden durch die kommunale Müllabfuhr bzw. durch private Entsorger im Auftrag der Gemeinden erfasst (Umweltbundesamt GmbH, 2015a).

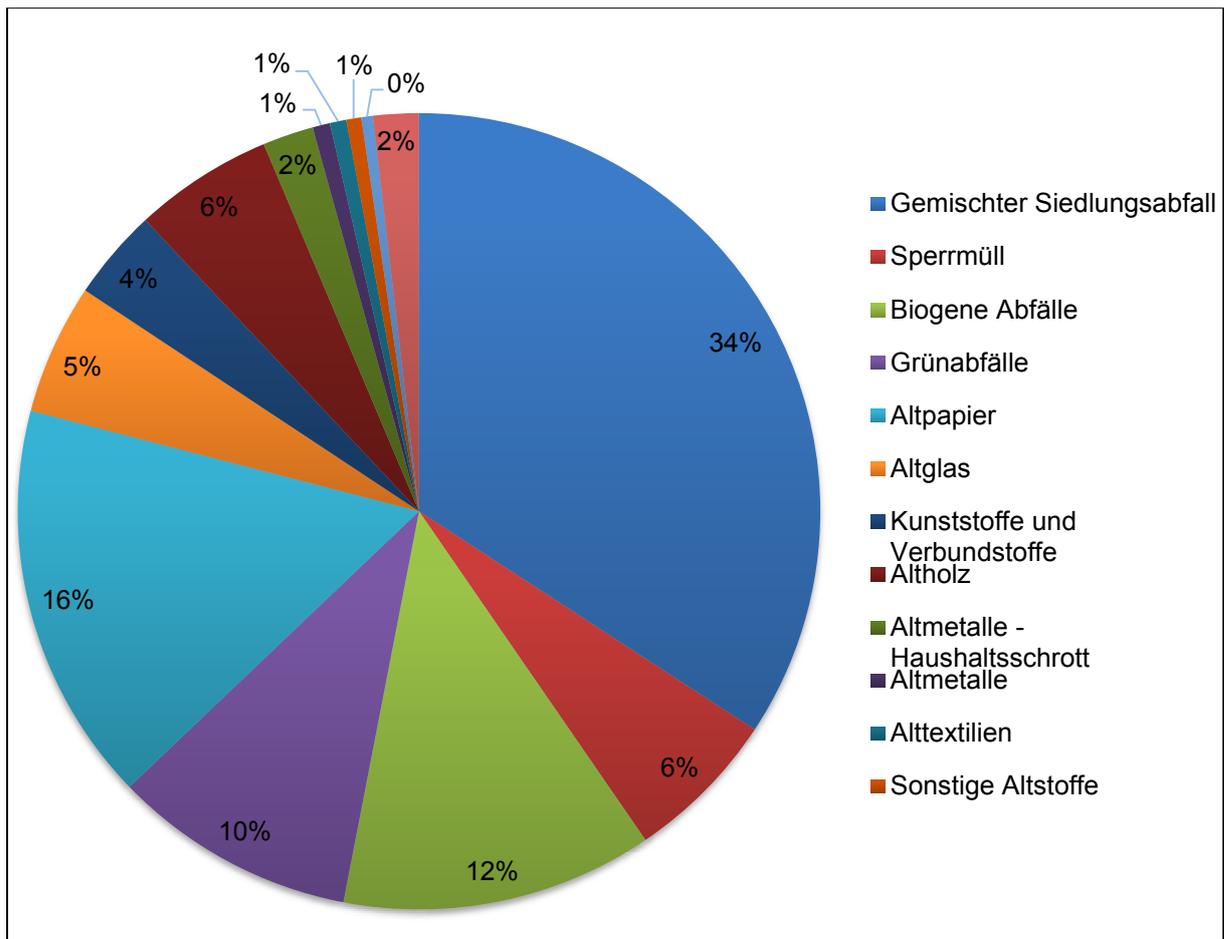


Abb. 1: Siedlungsabfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen 2014 – einzelne Fraktionen (Umweltbundesamt GmbH, 2015a)

Abb. 1 zeigt die im Jahr 2014 angefallenen Siedlungsabfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen. Die in der gegenständlichen Arbeit relevanten Fraktionen sind Papier (inklusive Pappe und Karton), welches 16 % der Siedlungsabfälle darstellt, sowie Kunststoffe und Verbundmaterialien (4 %). Zusätzlich wird die Entsorgung des Restmülls (34 %) beschrieben.

Die Sammlung des Restmülls und der Fraktion Papier, Pappe und Karton erfolgt in Österreich größtenteils mittels Holsystem. Kunststoffe werden je nach Sammelregion entweder im Hol- oder im Bringsystem erfasst (Scheiber und Göd, 2015).

Die Verwertung der Abfälle wird in den Regionen unterschiedlich gehandhabt. Je nach Sammelregion werden Kunststofffolien getrennt erfasst und stofflich verwertet oder im Restmüll gesammelt. Im Jahr 2014 wurde 26,6 % des Restmülls mechanisch-biologisch behandelt und 73,3 % thermisch verwertet. Durch die getrennte Sammlung bei Haushalten erfasstes Papier bzw. Kartonagen werden größtenteils stofflich verwertet (Umweltbundesamt GmbH, 2015a).

2.2.2 Abfälle aus Gewerbebetrieben

Seit Jahren wird im Bereich der Altstoffe aus Gewerbe und Industrie eine konstant hohe Erfassung erreicht. Die jährlich anfallenden ca. 1.810.000 Tonnen Altstoffe aus Gewerbe und Industrie sind allerdings nur ein kleiner Teil (3,7 %) der gesamten Abfallmenge in Österreich. Abfälle aus Gewerbebetrieben unterscheiden sich von jenen aus privaten Haushalten nach Art, Menge, Zusammensetzung, Anfallstelle, der Sammellogistik und weisen eine hohe Heterogenität zwischen den Betrieben auf.

Altstoffe aus Gewerbe und Industrie werden teilweise innerbetrieblich weiterverwertet und einer stofflichen oder thermischen Verwertung zugeführt. Wenn die innerbetriebliche Verwertung der Abfälle nicht möglich ist, werden sie am Standort sortenrein gesammelt. Die Altstoffe werden entweder über eine „Geschäftsstraßenentsorgung“, über ausgewiesene Recyclinghöfe, über Übernahmestellen für gewerbliche und industrielle Abfälle entsorgt oder direkt beim Unternehmen durch Entsorger abgeholt (Umweltbundesamt GmbH, 2015a).

Bezüglich der gewerblichen Entsorgung von Abfällen werden im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich die Fraktionen Papier und Kartonagen sowie Holz in Zwettl näher behandelt.

Die Fraktion Altpapier, Karton, Pappe und Wellpappe unbeschichtet aus Gewerbe und Industrie wurde im Jahr 2014 fast vollständig stofflich verwertet. (Umweltbundesamt GmbH, 2015a). In Österreich wird Holz bzw. Rückstände aus der Bearbeitung und der Verarbeitung von Holz entweder stofflich verwertet oder unter der Nutzung der Energieinhalte verbrannt. Im gewerblichen Bereich wird unbehandeltes Holz zum größten Teil der innerbetrieblichen, thermischen Verwertung zugeführt (Umweltbundesamt GmbH, 2015a).

2.2.3 Sammlung und Transport der Abfälle

Sammlung, Transfer und Transport von Abfällen sind wichtige Bestandteile der Abfallwirtschaft. Abfälle werden von dem Ort, an dem sie anfallen zu anderen Einrichtungen gebracht, wo sie dann verarbeitet, behandelt und abgelagert werden (Eisted et al., 2009).

Abfallsammlung ist die Aktivität der Sammlung von Abfällen mit einem Transportfahrzeug auf einer Route in einem Wohn- oder Industriegebiet. Abfälle werden von den Sammelbehältern der Haushalte oder anderer Abfallverursacher in größere Container oder in Fahrzeuge umgeladen. Der Prozess beginnt beim ersten Stopp des Fahrzeuges auf der Sammelroute und endet, wenn das Transportfahrzeug voll oder die Route zu Ende ist (Eisted et al., 2009), (Larsen et al., 2009). Bei der Abfallsammlung unterscheidet man zwischen Hol- und Bringsystem. Beim Holsystem werden die Altstoffe, meist in Gebieten mit hoher Siedlungsdichte, direkt von den Haushalten abgeführt. Aufgrund des Wegfalls von Transportwegen des Konsumenten weist dieses System eine hohe Benutzerfreundlichkeit auf und es können hohe Erfassungsquoten der Altstoffe erreicht werden. Beim Bringsystem werden die Altstoffe, meist in Gebieten mit niedriger Siedlungsdichte, von den Haushalten zu einzeln aufgestellten Sammelcontainern, zu einer Sammelstelle mit Containern für mehrere Altstoffe oder zu Altstoffsammelzentren gebracht, die Sammelmöglichkeiten für sämtliche Altstoffe, für Sperrmüll, für Problemstoffe u.a. bieten (Scheiber und Göd, 2015).

Für die Sammlung der Abfälle werden in Österreich durchschnittlich 3,29 km pro Einwohner und Jahr zurückgelegt. 2,71 km pro Einwohner und Jahr werden durchschnittlich für andere Transporte (Sammlung im Bringsystem und Transport zur Behandlungsanlage) gefahren. Diese Zahlen beziehen sich auf dünn besiedelte Gebiete. Aufgrund eines höheren Treibstoffverbrauches bei der Sammlung im Bringsystem ist das Holsystem aus ökologischer Sicht besser zu bewerten (Beigl und Salhofer, 2004).

Der Transport beinhaltet die Fahrt des leeren Sammelfahrzeugs zum ersten Stopp der Sammelroute, der Transport des voll beladenen Sammelfahrzeugs vom letzten Stopp der Route zum Entladungspunkt und die Fahrt des entleerten Sammelfahrzeugs zu

der Garage oder zur nächsten Sammelroute, falls mehr als eine pro Tag angefahren wird (Larsen et al., 2009).

Die Transporte für die Abfallentsorgung werden in individuelle Transporte durch Privatpersonen zu den Entsorgungsstellen (Bringsystem), Sammeltransporte im Holsystem durch die Sammelfahrzeuge und andere Transporte wie die Sammlung im Bringsystem und der Transport zu der Behandlungsanlage eingeteilt (Beigl und Salhofer, 2004). Nach Salhofer et al. (2002) gibt es abhängig vom Sammelsystem der Altstoffe drei oder vier verschiedene Transporte:

| | | |
|--------------------|------|--|
| Bringsystem | T1: | Anlieferung der Privaten zur Sammelstelle |
| | T2: | Sammeltransport der Entsorger |
| | T2a: | Strecken- bzw. Weitertransport zum Zwischenlager |
| | T3: | Transport zur Sortieranlage |
| | T4: | Transport zum Verwerter |
| Holsystem | T1: | Entfällt |
| | T2: | Sammeltransport der Entsorger |
| | T2a: | Strecken- bzw. Weitertransport zum Zwischenlager |
| | T3: | Transport zur Sortieranlage |
| | T4: | Transport zum Verwerter |

Die Sammlungsintervalle, die Fahrzeugtypen und die Behältergrößen hängen von Menge, Gewicht der Abfallarten und Häufigkeit des Anfalls ab. Der ökonomische Wert eines Abfalls hat Einfluss auf die Transportdistanzen. Beispielsweise werden wertvolle Fraktionen, wie sortenreiner Metallschrott, weiter transportiert als Restmüll. Der Energieinhalt (zum Beispiel Ersatzbrennstoffe) und die Behandlungskosten der Abfälle können ebenso einen Einfluss auf die Transportdistanz haben. Für die Sammlung und den Transport von 17 Millionen Tonnen Abfall in Österreich werden laut der Studie von Schwarz et al. (2015) 932 Millionen tkm zurückgelegt. Dies führt zu einem Treibstoffverbrauch von 203 Millionen Liter und einem Global Warming Potential von 148.600 t CO₂ Äquivalent. Die Emissionen durch Abfalltransporte sind im ländlichen Raum deutlich höher als jene in urbanen Gebieten. Insgesamt werden im städtischen Raum Gesamtemissionen von 32.500 t CO₂ Äquivalent verursacht, im ländlichen Raum 116.100 t CO₂ Äquivalent. Dies kann zum einen auf die Transportdistanzen bei der Sammlung zurückgeführt werden, welche im ländlichen Bereich deutlich größer sind. Zum anderen wirkt sich die Bevölkerungsverteilung auf das Ergebnis aus (Schwarz et al., 2015).

2.2.4 Abfallwirtschaft in Wien

Im Jahr 2010 wurden in Wien 1.056.052 Tonnen Abfälle durch die kommunale Sammlung der Stadt Wien erfasst. Fast 60 % dieser Abfälle sind Mischabfälle (Restmüll, Sperrmüll, etc.). Abhängig von der Fraktion und der Siedlungsdichte werden die Fraktionen im Bringsystem oder im Holsystem gesammelt (Thon, 2013).

Tab. 4: Darstellung der kommunalen Sammlung und Verwertung von Abfällen in Wien für ausgewählte Fraktionen

| Fraktion | Sammelsystem | Verwertung |
|------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Restmüll | Holsystem | MVA |
| Altpapier | Holsystem, tlw. Bringsystem | Verwertung bzw. Papierindustrie |
| Kunststofffolien | Werden mit dem Restmüll entsorgt | |
| Quelle | Thon, 2013 | Volk et al., 2012 |

Tab. 4 gibt einen Überblick über die kommunalen Sammelsysteme und die Verwertung für die im Rahmen der gegenständlichen Arbeit betrachteten Abfallfraktionen. Im Folgenden werden die Sammelsysteme und die Verwertung der Abfälle im Detail beschrieben.

2.2.4.1 Restmüll

Die Sammlung des Restmülls aus Haushalten in Wien wird im Holsystem durchgeführt und je nach Bedarf bzw. örtlichen Gegebenheiten werden unterschiedliche Größen (120, 240, 770, 1.100, 2.200 und 2.400 Liter) der Container verwendet. Die Behälter werden je nach Bedarf ein- bis sechsmal pro Woche entleert. Die Sammelfahrzeuge haben Systeme (Rotopress, Variopress) integriert, welche eine Verdichtung des Restmülls ermöglichen (Thon, 2013). Der erfasste Restmüll wird in Wien in einer der 3 Müllverbrennungsanlagen (MVA) für Restmüll einer thermischen Verwertung zugeführt (Wien Energie, 2016).

2.2.4.2 Kunststoff

In Wien werden in der Fraktion Kunststoffe durch die **kommunale Sammlung** nur die Kunststoffhohlkörper getrennt erfasst. Die restlichen in Haushalten und haushaltsähnlichen Einrichtungen anfallenden Kunststoffe werden mit dem Restmüll gesammelt und thermisch verwertet. Dies gilt auch für die in der gegenständlichen Arbeit relevanten Kunststoffe (Volk et al., 2012).

2.2.4.3 Papier

Altpapier wird bei den **Haushalten bzw. haushaltsnahen Betrieben** in Behältern der Größe 120, 240, 770, 1.100 großteils im Holsystem gesammelt (Thon, 2013). Ab 3 Wohneinheiten je Haus werden eigene Behälter aufgestellt, ansonsten werden die Haushalte im Bringsystem bedient (Kloud, 2016). Zum Stand 2011 gab es in Wien insgesamt 983.840 Wohneinheiten. Davon befinden sich 10 % in Gebäuden mit weniger als drei Wohneinheiten (Statistik Austria, 2013). Daraus folgt, dass bei 10 % der Wohneinheiten das Papier im Bringsystem entsorgt wird. Unbeschichtetes Papier und Pappe, sowie Verpackungsmaterial und Kartonagen werden der Verwertung bzw. der Papierindustrie zugeführt. Beschichtetes Papier wird in einer der Müllverbrennungsanlagen verbrannt (Volk et al., 2012).

Der Erfassungsgrad von Papier beträgt in Wien 67 % und beschreibt jene Menge die im Bezug zur Gesamtmenge durch die getrennte Sammlung erfasst wird. Das restliche Papier wird mit dem gemischten Siedlungsabfall erfasst und einer thermischen Verwertung zugeführt (Volk et al., 2012).

Die gewerbliche Sammlung von Papier und Kartonagen ist ausschließlich im Bezirk Zwettl relevant, daher beschränkt sich die Beschreibung der Abfallwirtschaft in Wien auf die kommunale Sammlung.

2.2.5 Abfallwirtschaft in Niederösterreich, insbesondere im Bezirk Zwettl

Das gesamte kommunale Abfallaufkommen in Niederösterreich betrug im Jahr 2014 908.708 t. Dies entspricht einem spezifischen Abfallaufkommen von 559,1 kg/Einwohner und Jahr. Die Organisation der Entsorgung dieses Abfalls obliegt in Niederösterreich den 22 Abfallwirtschaftsverbänden, sowie 3 verbandsähnlichen städtischen Einheiten. Die Gemeinden sind innerhalb der 5 bestehenden Entsorgungsregionen für die Vollziehung des Niederösterreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes verantwortlich (Punesch, 2016).

Tab. 5: Darstellung der kommunalen Sammlung und Verwertung von Abfällen in Zwettl für ausgewählte Fraktionen

| Fraktion | Sammelsystem | Verwertung |
|------------------|--|-----------------------|
| Restmüll | Holsystem | MVA |
| Altpapier | Holsystem, tlw. Bringsystem (nur für Kartonagen) | Stoffliche Verwertung |
| Kunststofffolien | Bringsystem | Stoffliche Verwertung |
| Quelle | Wohlmuth, 2016 | Wohlmuth, 2016 |

Tab. 5 gibt einen Überblick über die Fraktionen, sowie deren Sammlung und Verwertung.

2.2.5.1 Restmüll

Die Sammelmenge von Restmüll bei **Haushalten bzw. haushaltsnahen Betrieben** betrug im Jahr 2014 in Niederösterreich je Einwohner 143 kg. Davon wurden drei Viertel in Abfallverbrennungsanlagen verwertet und ein Viertel in mechanisch-biologischen Anlagen behandelt (Frohner und Punesch, 2015). Im Bezirk Zwettl wird laut Auskunft von Frau Wohlmuth (Abfallwirtschaftsverband Zwettl) der gesamte Restmüll einer thermischen Verwertung zugeführt. Dies konnte durch die Auskunft des zuständigen Entsorgungsunternehmens bestätigt werden. Die Verbrennung erfolgt in der MVA Dürrohr (Zeilinger, 2016).

2.2.5.2 Kunststoff

Im Jahr 2014 wurden in Niederösterreich 27.077 t Leichtverpackungen in der **kommunalen Sammlung** getrennt erfasst. Der Anteil der Kunststoff- und Materialverbundverpackungen im Restmüll liegt trotz getrennter Sammlung bei 18,24 kg/Einwohner und Jahr. Abhängig von der Sammelregion erfolgt die Erfassung der Kunststoffe in unterschiedlichen Systemen. Im Bezirk Zwettl werden bei der kommunalen Sammlung ausschließlich die Kunststoffflaschen getrennt erfasst (Punesch, 2016). Zusätzlich können Kunststofffolien in größeren Mengen zu den Abfallwirtschaftszentren gebracht werden (Wohlmuth, 2016).

2.2.5.3 *Papier*

Papier wird von den **Haushalten bzw. haushaltsnahen Betrieben** in Niederösterreich fast flächendeckend durch das Holsystem gesammelt. Dadurch kann eine gute Sammelqualität und der durchschnittliche Erfassungsgrad von 90 % erreicht werden. Das getrennt erfasste Papier wird einer stofflichen Verwertung zugeführt und das im Restmüll entsorgte Papier wird unter Nutzung des Energieinhaltes in einer MVA verbrannt. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit Kartonagen im Bringsystem zum Altstoffsammelzentrum zu bringen (Punesch, 2016).

Das bei **Gewerbebetrieben** getrennt gesammelte Papier wird bei den Betrieben selbst abgeholt oder bei Übernahmestellen für gewerbliche und industrielle Abfälle entsorgt (Umweltbundesamt GmbH, 2015a). Üblicherweise sind die Haltepunkte in ein und demselben Gebiet bei der gewerblichen Sammlung in urbanen Gebieten größer im Vergleich zur kommunalen Sammlung. Trotz einer höheren Dichte der Abfälle durch Pressvorrichtungen vor Ort, ergibt sich daher eine höhere Distanz je Tonne der Abfallsammlung bzw. des Transportes als bei der kommunalen Sammlung (Salhofer et al., 2002).

2.2.5.4 *Holz*

Die Sammlung von Holz bei **Gewerbebetrieben** erfolgt meist in Mulden (Energie AG, 2016). Im gewerblichen Bereich wird unbehandeltes Holz zum größten Teil der innerbetrieblichen, thermischen Verwertung zugeführt (Umweltbundesamt GmbH, 2015a).

3. Methode

Um die Umweltauswirkungen des über den Onlinehandel vertriebenen mit jenem eines über den stationären Handel vertriebenen Produktes zu vergleichen, werden anhand des festgelegten Zieles die relevanten Prozesse innerhalb des Untersuchungsrahmens gegenübergestellt, die Daten für die Erstellung der Sachbilanz erhoben und die relevanten Wirkungskategorien recherchiert. Die Berechnung der Umweltauswirkungen erfolgt mittels einer Ökobilanz in der Bilanzierungssoftware GaBi 6.0 des Unternehmens Thinkstep (Thinkstep, 2016). Die Wirkungsabschätzung wird mit Hilfe der ReCiPe 1.07 Mittelpunktwirkungskategorien durchgeführt (Goedkoop et al., 2009). Es werden ausschließlich Mittelpunkt-kategorien in die Betrachtung miteinbezogen, weil diese im Vergleich zu den Endpunktkategorien wissenschaftlich besser nachweisbar sind (Bare et al., 2000). So gut wie möglich wird auf die in der Software integrierten Datensätze zur Sachbilanz zurückgegriffen. In den jeweiligen Kapiteln folgt eine Erläuterung der entsprechenden Datensätze. Daten die nicht vorhanden bzw. für diese Studie nicht passend sind, werden durch Literaturrecherche und eigene Erhebungen in das Modell mitaufgenommen. Um ein eindeutiges Verständnis und eine bessere Interpretation zu ermöglichen, erfolgt eine Normierung der Daten nach ReCiPe auf die Gesamtwerte für Europa.

Die Fallstudie wird anhand des österreichischen Unternehmens Sonnentor durchgeführt. Da die erhobenen Daten sehr unternehmensspezifisch sind, wird ein zweites Unternehmen mit anderem Fokus, anderer Unternehmensstruktur und Größe ebenfalls betrachtet. Das zweite untersuchte Unternehmen ist Deichmann-Obuwie Sp. z o.o. mit Sitz in Polen. Die erhobenen Daten dienen dem Vergleich zwischen den Unternehmen und werden in der Diskussion behandelt.

3.1 Ökobilanz

Die Ökobilanz, im Englischen Life Cycle Assessment (LCA), ist eine Methode, welche zu einem besseren Verständnis möglicher Umweltauswirkungen von Produkten und deren Anwendung beitragen soll. Sie fand erstmals im Jahre 1984 im Rahmen der Packstoffstudie des Schweizer Bundesamtes für Umweltschutz Anwendung (Klöpffer und Grahl, 2009).

Eine Ökobilanz kann verwendet werden, um Verbesserungspotentiale der Umweltauswirkungen von Produkten und Dienstleistungen entlang ihres Lebenszyklus zu erkennen. Im Rahmen einer Ökobilanz werden keine ökonomischen und sozialen Aspekte betrachtet. Daher ist diese Methode nicht für alle Fragestellungen die optimale Wahl. Die Grundsätze und Rahmenbedingungen einer Ökobilanz sind in der ISO 14040 festgeschrieben. Die konkreten Anforderungen an die Erstellung können der ISO 14044 entnommen werden. Die Darstellung der Umweltaspekte und der potentiellen Umweltauswirkungen erfolgt von der „Wiege bis zur Bahre“, das heißt von der Gewinnung des Rohstoffes, der Produktion, der Anwendung, dem Recycling bis hin zur Beseitigung des Produktes (ISO 14040, 2006), (ISO 14044, 2006).

3.1.1 Aufbau einer Ökobilanz

Eine Ökobilanz gliedert sich in vier Phasen: Festlegung des Zieles und Untersuchungsrahmens, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung. Die Phasen sind in Abb. 2 dargestellt (ISO 14040, 2006), (ISO 14044, 2006).

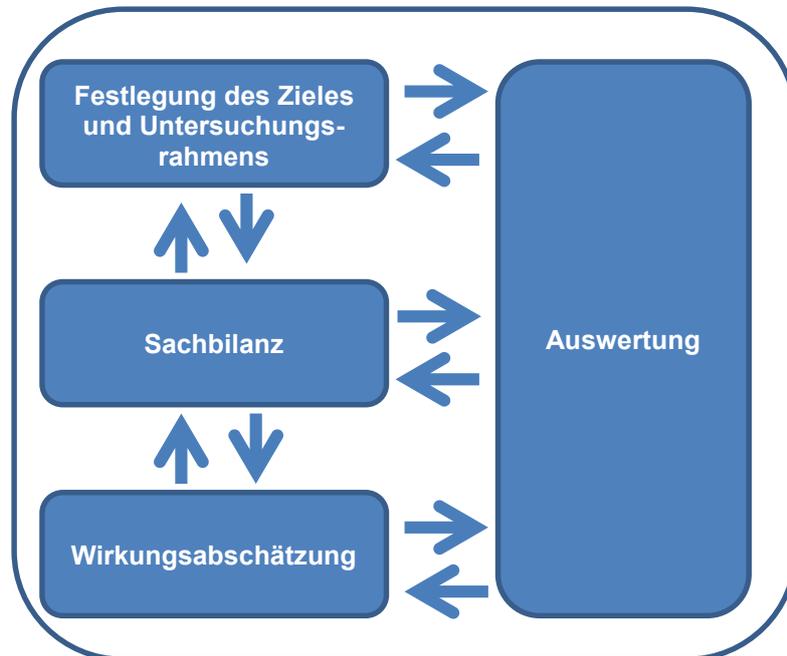


Abb. 2: Bestandteile einer Ökobilanz nach ISO 14040

Der Untersuchungsgegenstand und die vorgesehene Anwendung einer Studie bestimmen den Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz. Dies beinhaltet auch die Systemgrenze und den Detaillierungsgrad. Im ersten Schritt werden das Ziel, sowie der Untersuchungsrahmen festgelegt. Der Untersuchungsrahmen enthält eine Beschreibung der Systemgrenzen, der funktionellen Einheit, des Allokationsverfahrens, der Wirkungskategorien, Anforderungen an die Daten und die Datenqualität, sowie Annahmen und Einschränkungen. In der zweiten Phase wird die Sachbilanz erstellt, welche die Bestandsaufnahme von Input-/Outputdaten in Bezug auf das zu untersuchende System darstellt. Um die Sachbilanz durchzuführen, werden Daten gesammelt, welche zum Erreichen der Ziele der festgelegten Studie notwendig sind. In der dritten Phase einer Ökobilanz, der Wirkungsabschätzung, werden zusätzliche Informationen bereitgestellt, welche bei der Einschätzung der Ergebnisse aus der zweiten Phase unterstützen sollen und so zu einem besseren Verständnis der Umweltrelevanz eines Produktes oder dessen Anwendung beitragen sollen. In dieser Phase erfolgt eine Untersuchung der Wirkungen der im Zuge der Sachbilanz erhobenen Input- und Outputflüsse auf die Umwelt. In der finalen Phase einer Ökobilanz werden die Ergebnisse der Sachbilanz oder einer Wirkungsabschätzung, bzw. beider diskutiert, zusammengefasst und Empfehlungen formuliert. Hierfür erfolgt die Betrachtung der Ergebnisse in Übereinstimmung mit dem in der ersten Phase festgelegten Ziel und dem Untersuchungsrahmen (ISO 14040, 2006).

Im Rahmen der Ökobilanzierung gibt es die Unterscheidung zwischen der attributional (beschreibenden) und der consequential (daraus folgenden, resultierenden) LCA. Die attributional LCA wird angewandt, um die unmittelbar mit dem System verbundenen Stoff- und Energieflüsse darzustellen. Das Konzept der consequential LCA erfasst die Folgen, welche durch eine Entscheidung oder einer Absatzänderung eines Produktes verursacht werden. Diese Betrachtung beinhaltet demnach auch Prozesse außerhalb

des unmittelbaren Produktsystems (Mötzl, 2011). Die Durchführung einer attributional LCA liegt dieser Arbeit zugrunde.

3.1.2 Zuordnungsvorschriften

Bei Prozessen, bei denen zusätzlich zum Hauptprodukt ein Nebenprodukt anfällt, kommt es zu einem methodischen Problem der korrekten Zuordnung der Input- und Outputflüsse. In vielen Fällen gibt es nicht nur eine Nebenfunktion, sondern mehrere. Dies ist beispielsweise bei der Verbrennung von Abfällen der Fall. Bei der Verbrennung verschiedener Abfälle entstehen Energie und Wasserdampf als Nebenprodukte. Bei der Berechnung der Umweltauswirkungen müssen die Nebenprodukte ebenfalls in die Betrachtung miteinbezogen werden. Im Rahmen einer Ökobilanz muss die Analyse eines einzigen Systems durchgeführt werden, um die spezifischen Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus zu analysieren. Dies wird durch multifunktionale Prozesse erschwert. Für die Lösung dieses Problems gibt es mehrere Möglichkeiten. Die Wahl des passenden Ansatzes hängt unter anderem vom Ziel der Studie, der verfügbaren Information und der Art des multifunktionalen Prozesses bzw. Produktes ab. Die Unterteilung des multifunktionalen Prozesses, die Systemerweiterung inklusive der Substitution und die Allokation sind die Möglichkeiten der Lösung des Problems der Multifunktionalität. Beim Vergleich zweier Szenarien mit unterschiedlichen Outputs kann das Gutschriftenverfahren angewandt werden, um eine Vergleichbarkeit der Szenarien zu gewährleisten (European Commission, 2010).

Im Zuge der gegenständlichen Arbeit werden das Allokationsverfahren und das Gutschriftenverfahren verwendet.

3.1.2.1 Allokationsverfahren

Im Falle eines multifunktionalen Prozesses kann Allokation angewendet werden. Anhand eines Allokationskriteriums (z.B. Masse, Marktpreis, Energiegehalt) erfolgt eine Aufteilung der Inputs und Outputs eines Systems zwischen den verschiedenen Co-Funktionen. Wenn möglich soll diese Aufteilung anhand dem System zugrunde liegenden physikalischen, biologischen oder chemischen Beziehungen zwischen den Co-Funktionen gemacht werden (European Commission, 2010). In der vorliegenden Arbeit wird dieses Verfahren für folgende Bereiche eingesetzt:

- Transporte: Zuordnung von Transportemissionen aus Transporten von verschiedenen Produkten (z.B. Lieferdienst).
- Sammlung, Sortierung und Transport der Abfälle: Zuordnung der Emissionen durch die Sammlung, Sortierung und den Transport von Abfällen auf Basis von Volumen bzw. Gewicht.
- Verpackung: Nur ein Teil des Umverpackungskartons kann dem einzelnen Produkt zugerechnet werden, da sich in jedem Karton mehrere Produkte befinden.
- Energie Filiale: Nur ein Teil der benötigten Energie der Filiale kann dem Produkt zugerechnet werden.

Eine Besonderheit der Allokation ergibt sich bei Allokation und Recycling im offenen Kreislauf, dem sogenannten open-loop Recycling. In diesem Fall gibt es zwei Systeme: A und B. Das (End-) Produkt von System A wird nach einer Aufbereitung zur Herstellung des Produktes B verwendet (Klöpffer und Grahl, 2009). Zumindest ein Teil des Sekundärgutes wird einem anderen System zugeführt. Dies ist vor allem bei Recyclingmaterialien der Fall, die sehr oft zum gleichen Materialtypen recycelt, aber für andere Produkte verwendet werden. Ein Beispiel wäre recycelter Stahl einer

Limonadendose, der nach dem Recyclingprozess als Bierdose eingesetzt wird (European Commission, 2010). Im Gegensatz dazu handelt es sich beim closed-loop Recycling um Abfälle die dem Produktionsprozess wieder zugeführt werden und exakt die gleiche Funktion erfüllen. Im Rahmen der gegenständlichen Arbeit wird ausschließlich von open-loop Recycling Prozessen ausgegangen. Diese sind für die Modellierung von Karton ausschlaggebend. Da die in der Datenbank enthaltenen Datensätze für Papier und Karton den Einsatz von Altpapier und die damit verbundenen Recyclingprozesse bereits berücksichtigen, wird dieser nicht noch einmal einberechnet.

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt die Zurechnung der Umweltkosten der Verpackungsherstellung für einen Spezialfall mit der Lösung Aufteilung zu gleichen Teilen (1:1 oder 50:50 Regel). Dies ist nötig, weil der Umverpackungskarton im Szenario Onlinehandel zwei Funktionen hat. Zum einen wird er für den Transport der Produkte verwendet, zum anderen für die Herstellung von Transportpolstermatten (zerschnittener Karton) eingesetzt. Das Material wird vollständig verwendet. Es kommt weder ein anderer Bestandteil hinzu, noch wird ein Anteil dem System entzogen. Daher ist die Aufteilung der Umweltlasten zu jeweils 50 % legitim. Die Einberechnung erfolgt anhand von 50 % der Umweltlasten je Produkt (Klöpffer und Grahl, 2009).

3.1.2.2 Gutschriftenverfahren

Es gibt bestimmte Prozesse, bei denen neben dem Hauptprodukt, noch ein Kuppelprodukt entsteht, welches andere Produkte substituieren kann. Durch den Einsatz des Kuppelproduktes wird die Erstellung und damit verbundene Umweltwirkungen eines anderen Produktes vermieden. Es erfolgt eine Gutschrift der so vermiedenen Umweltwirkungen auf das Produkt (European Commission, 2010). Im Zuge dieser Arbeit findet das Gutschriftenverfahren für die Modellierung des Prozesses der Verbrennung der Abfälle und der dadurch entstehenden Energie und Wärme Anwendung.

3.1.3 Modellierung von Verwertung im Rahmen einer Ökobilanz

Bei der Vorgangsweise der Modellierung des Verwertungsprozesses und dessen Grenzen ist die Unterscheidung zwischen attributional und consequential LCA entscheidend. Bei einer attributional LCA wird im Falle eines positiven Marktpreises des Abfalls dieser als Co-Produkt angesehen. Der Recyclingprozess wird nicht miteinbezogen, außer der Marktpreis ist negativ. Der Recyclingprozess wird in diesem Fall bis zu jenem Punkt dargestellt, an dem ein positiver Marktpreis vorliegt (European Commission, 2010).

3.2 Untersuchungsrahmen und Systemgrenzen

3.2.1 Technische Systemgrenze

Da Produktsysteme in die großen Systeme Umwelt und Technosphäre eingebettet sind, ist es nötig geringfügige Inputs in das Produktsystem teilweise auszuschließen. Hierfür ist es nötig Regeln festzulegen. Alle Teilsysteme (z.B. Herstellung von Papier) sind unterschiedlich stark miteinander verknüpft. Bei der Betrachtung nur eines Teilsystems müssen weniger wichtige Vernetzungsstellen durchtrennt werden. Die einem System zugrundeliegende Infrastruktur (wie z.B. Schienen, Straßen) wird meist nicht in die Betrachtung miteinbezogen. Dies gilt auch für Investitionsgüter, also beispielsweise die Maschinen, mit denen die Produkte produziert werden (Klöpffer und Grahl, 2009). Masse, Energie und Umweltrelevanz sind die in der Norm

ISO 14044 (2006) angeführten Abscheidungskriterien. Auf Basis der technischen Systemgrenze wird die Produktion von Transportfahrzeugen, Maschinen, Straßen usw. nicht in die Berechnung miteinbezogen. Die Ausnahme bildet der in der Untersuchung betrachtete Computer des Konsumenten. Die benötigte Energie für die Herstellung des Computers findet in der Betrachtung Berücksichtigung, da die Nutzungsdauer von Computern mit 3 Jahren nur sehr gering ist (Bundesministerium der Finanzen Deutschland, 2016).

3.2.2 Geographische Systemgrenze

Es wird nur der Verkauf von Produkten innerhalb von Österreich betrachtet. Die Entsorgung der Abfälle erfolgt ebenfalls ausschließlich in Österreich. Aufgrund mangelnder in GaBi vorhandener Daten für Österreich, musste teilweise auf die Daten von anderen europäischen Ländern bzw. EU-weiten Daten zurückgegriffen werden.

3.2.3 Zeitliche Systemgrenze

Laut Klöpffer und Grahl (2009) ist die Minimalangabe zur Systemgrenze „Zeit“, ein Bezugsjahr bzw. ein Bezugszeitraum für die Datenerhebung. Im Fall der gegenständlichen Arbeit wird das Jahr 2015 als zeitliche Systemgrenze definiert. Da es sich bei den betrachteten Produkten um Verpackungen, also kurzlebige Produkte handelt, kann von einer Verschiebung der Sachbilanz in die Zukunft Abstand genommen werden. Dies wäre im Fall von langlebigen Produkten nötig.

3.2.4 Funktionelle Einheit

Für die Durchführung einer Ökobilanz muss eine funktionelle Einheit festgelegt werden. Diese definiert sich als quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit (ISO 14044, 2006). Die im Rahmen dieser Arbeit betrachtete funktionelle Einheit ist die Bereitstellung des Produktes (Gewürz) beim Konsumenten. Das Produkt hat eine Größe von 11cm x 5,5 cm x 3,5 cm und ein Gewicht von 26 g.

3.2.5 Untersuchungsrahmen

In dem Modell erfolgt eine Darstellung jener Prozesse, welche die beiden Vertriebswege unterscheiden. Da die Produktion und die Produktverpackung selbst für beide Vertriebswege gleich sind, werden sie im Zuge dieser Arbeit nicht näher betrachtet. Die Analyse basiert ausschließlich auf dem Kauf von Produkten innerhalb Österreichs.

Die im Rahmen dieser Arbeit erstellte Ökobilanz enthält folgende Prozesse:

- Transporte für die Distribution des Produktes (Onlinehandel und stationärer Handel)
- Herstellung der Transportverpackungen und sonstiger Verpackungen bzw. Produkte (dieser Prozess enthält auch den Recyclingprozess von Papier)
- Sammlung der Abfälle
- Transporte für die Entsorgung des Abfalls
- Behandlungsprozesse des Abfalls
 - Sortierung und Aufbereitung von Papier
 - Verbrennung des Restmülls (inkl. Kunststofffolien, Papier)
 - Verbrennung des Holzes
- Bereitstellung der benötigten Energie

Untenstehende Prozesse werden aus der Ökobilanz ausgeschlossen, weil diese für die Beantwortung der Fragestellung nicht relevant sind:

- Herstellung des Produktes
- Herstellung und Entsorgung der Verkaufsverpackung des Produktes
- Die benötigte Energie für die Lagerhalle, weil diese für beide Vertriebswege verwendet wird.
- Herstellung der Verpackungspolstermaschine (wird für beide Vertriebswege verwendet).
- Computer im Lager von Sonnentor (werden für beide Vertriebswege verwendet)
- Waagen (werden für beide Vertriebswege verwendet)
- Energie für den Betrieb der Homepage (diese wird für beide Vertriebswege verwendet)

3.3 Wirkungsabschätzung

Im Zuge der Wirkungsabschätzung werden potentielle Umweltwirkungen aus den im Rahmen der Sachbilanz erhobenen Daten abgeleitet. Die Wirkungsabschätzung enthält folgende verbindliche Bestandteile:

- Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodellen
- Zuordnung der Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung)
- Berechnung der Wirkungsindikatorwerte (Charakterisierung)

Zusätzlich zu den genannten verbindlichen Bestandteilen gibt es auch Normierung, Ordnung und Gewichtung als optionale Bestandteile der Wirkungsabschätzung (Klöpper und Grahl, 2009). Im Rahmen dieser Arbeit wird, zusätzlich zu den verbindlichen Bestandteilen, ausschließlich die Normierung angewandt.

3.3.1 Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodellen

Die ISO 14044 gibt weder eine feste Liste an Wirkungskategorien, noch eine Empfehlungsliste vor. Daher obliegt die Auswahl der Wirkungskategorien dem Ersteller einer Ökobilanz. Die Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodelle sollten nach Empfehlung der ISO 14044 international akzeptiert sein, auf internationalen Vereinbarungen beruhen oder von einer internationalen Körperschaft anerkannt worden sein.

Aufgrund der Dominanz von Verkehrsprozessen und energieintensiven Prozessen sind Auswirkungen in den Wirkungskategorien Klimawandel und fossiler Ressourcenverbrauch zu erwarten. Die Verbrennungsprozesse im Zuge der Herstellung der Verpackungen und der Abfallbeseitigung sowie der Verkehr lassen Auswirkungen in der Wirkungskategorie terrestrische Versauerung erwarten (European Commission, 2010), (Sonnemann et al., 2003). Diese Wirkungskategorien wurden um jene ergänzt, die in der gängigen Praxis ebenfalls herangezogen werden (Beigl und Salhofer, 2015).

Die Analyse der ökologischen Auswirkungen wird in der gegenständlichen Arbeit anhand der folgenden Wirkungskategorien durchgeführt:

- Klimawandel (Treibhauspotenzial)
- Versauerungspotenzial (terrestrisch)
- Eutrophierung (Süßwasser)

- Fossiler Ressourcenverbrauch
- Humantoxizität
- Photochemisches Ozonbildungspotenzial (Sommer-Smog)
- Ozonabbaupotenzial (stratosphärisches Ozon)

3.3.2 Beschreibung der Wirkungskategorien

3.3.2.1 *Klimawandel*

Die Wirkungskategorie Klimawandel ist international anerkannt und über deren Quantifizierung besteht weltweit Übereinstimmung. Aktivitäten, bei denen bestimmte gasförmige Emissionen freigesetzt werden, können zu dem sogenannten anthropogenen Treibhauseffekt führen. Die Adsorption im spektralem „Fenster“ der Atmosphäre, sowie eine möglichst lange Lebensdauer in der Troposphäre, sind die Voraussetzungen für einen Beitrag zum Treibhauseffekt. Diese Eigenschaften tragen dazu bei, dass die von der Erdoberfläche in Richtung Weltraum ausgesendete Infrarotstrahlung adsorbiert wird (European Commission, 2010). Dies führt zu einer Erhöhung der Temperatur und wird auch als Treibhauseffekt bezeichnet. Um den Einfluss der Emissionen unterschiedlicher Treibhausgase vergleichen zu können, wird jedem ein Global Warming Potential (GWP) zugewiesen. Das GWP drückt das Verhältnis der steigenden Infrarot Adsorption durch die Emission von 1 kg der Substanz und der Emission von 1 kg Kohlendioxid aus. Es wird in kg CO₂-Äquivalenten angegeben (Guinée et al., 2002). Treibhausgase entstehen beispielsweise im Zuge der Verbrennung fossiler Brennstoffe oder daraus hergestellter Materialien (CO₂), durch Kalzinierung von Mineralien (CO₂), Landwirtschaft (CH₄, N₂), durch Verluste während der Gewinnung und dem Transport fossiler Brennstoffe (CH₄) sowie durch Abfalldeponierung (CH₄, CO₂) (European Commission, 2010). Der Verkehrssektor ist einer der größten Treibhausgasemissionsquellen in Österreich. 2013 wurden in diesem Sektor 22,3 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente emittiert. Seit 1990 kam es zu einem Anstieg der Emissionen von 61 %, unter anderem bedingt durch den Anstieg der Fahrleistung im Straßenverkehr (Umweltbundesamt GmbH, 2015b). Die zugrundeliegenden Charakterisierungsfaktoren ändern sich über die Jahre geringfügig. Dies kann zum Teil auf die schwankende Einschätzung der indirekten Effekte zurückgeführt werden (European Commission, 2010).

Die in der gegenständlichen Arbeit relevanten Transporte der Produkte und Abfälle lassen Umweltwirkungen in der Kategorie Klimawandel erwarten.

3.3.2.2 *Versauerungspotenzial (terrestrisch)*

Durch die Immission säurebildender Gase und deren Eintrag in den Boden wird die Versauerung von Böden verursacht. Verantwortlich sind vor allem die säurebildenden Gase Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxide (NO, NO₂), Chlorwasserstoffe (HCL) und Ammoniak (NH₃). Quantifiziert wird das Versauerungspotential mit den Säurebildungspotentialen. Dieses wird mit kg SO₂-Äquivalenten ausgedrückt (Borken et al., 1999). Ursachen für die Versauerung von Böden sind beispielsweise Verbrennungsprozesse welche zur Emission von NO_x und SO₂ führen. Durch den Kontakt mit Wasser werden die Gase in Säuren umgewandelt. In weiterer Folge kommt es zu einer Deposition der Säuren in den Boden, entweder trocken oder nass, wodurch die Säurepufferkapazität des Bodens überstiegen wird. Dies führt zu einer Degradation des Ökosystems (Sonnemann et al., 2003). Auswirkungen in dieser Wirkungskategorie sind durch die Verbrennung der Abfälle, die Verbrennungsprozesse im Zuge der Papierherstellung und durch die Transportprozesse zu erwarten.

3.3.2.3 *Eutrophierung (Süßwasser)*

Die Eutrophierung des Süßwassers inkludiert alle Umweltauswirkungen die durch einen übermäßigen Nährstoffeintrag, vor allem durch die Einleitung von nitrat- und phosphathaltigem Abwasser, entstehen (Borken et al., 1999). Durch das Überangebot an Nährstoffen kommt es zu einer unerwünschten Verschiebung der Artenzusammensetzung und einer erhöhten Biomasseproduktion. Durch den zusätzlichen Sauerstoffverbrauch, verursacht durch die Zersetzung der Biomasse, entsteht ein sauerstoffarmes Milieu. Das Eutrophierungspotential stellt die Auswirkungen der einzelnen Substanzen dar und wird in der Einheit PO₄-Äquivalente angegeben (Guinée et al., 2002).

3.3.2.4 *Fossiler Ressourcenverbrauch*

Die Wirkungskategorie Ressourcenverbrauch zeigt die Begrenztheit von Rohstoffen wie Rohöl, Rohgas, Braunkohle und Steinkohle. Sie hängt von der Menge der bestehenden Ressourcen sowie deren Abbau ab (Borken et al., 1999). Der fossile Ressourcenverbrauch bezieht sich auf den Energiegehalt von Rohstoffen und wird in kg Rohöläquivalenten ausgedrückt (Goedkoop et al., 2009).

In der gegenständlichen Arbeit sind durch die Transportprozesse, die Herstellung der Verpackungsmaterialien, die Energiebereitstellung für den Bestellprozess beim Onlinehandel und die Filiale Auswirkungen in dieser Wirkungskategorie zu erwarten.

3.3.2.5 *Humantoxizität*

Die Wirkungskategorie Humantoxizität beinhaltet alle Einflüsse von giftigen Substanzen in der Umwelt auf die menschliche Gesundheit. Eine Vielzahl an Charakterisierungsmethoden wurde für diese Wirkungskategorie entwickelt. Der verwendete Charakterisierungsfaktor ist Humantoxizitätspotential (HTP) (Guinée et al., 2002). Das Verhältnis des gewichteten Humanrisikocharakterisierungsverhältnisses („human risk characterisation ratio“-RCR) der Referenzsubstanz zum betrachteten Stoff ist der Humantoxizitätsfaktor. Der RCR-Wert wird beispielsweise aus der zulässigen Tagesdosis einer Substanz im Verhältnis zur erwarteten Tagesdosis errechnet und dient der quantitativen Risiko-Charakterisierung. Die Äquivalenzfaktoren der Wirkungskategorie Humantoxizität beziehen sich auf die Substanz 1,4-Dichlorbenzol (Klöpper et al., 2001).

3.3.2.6 *Photochemisches Ozonbildungspotenzial (Sommer-Smog)*

Im Rahmen der Wirkungskategorie photochemisches Ozonbildungspotential, auch Sommer-Smog genannt, wird die Bildung von reaktiven chemischen Komponenten (Photooxidantien) betrachtet. Diese werden in der Troposphäre durch die photochemische Reaktion von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) mit Kohlenstoffmonoxid (CO) und Stickoxiden (NO_x) unter Einwirkung von Sonnenstrahlung gebildet. Ozon gilt neben Peroxyacetylnitrat (PAN) als bedeutendste oxidierende Substanz. Der Referenzwert wird für das „Photochemical Ozone Creation Potential“ – Photochemisches Ozonbildungspotential (POCP) in kg Ethen Äquivalenten angegeben (Guinée et al., 2002).

3.3.2.7 *Ozonabbaupotenzial (stratosphärisches Ozon)*

Der Einfluss von Substanzen die zu einem Abbau des stratosphärischen Ozons führen, wird in die Berechnung des Ozonabbaupotentials miteinbezogen. Der Stratosphärische Ozonabbau bezeichnet die Verdünnung der Schutzschicht gegen die UV-B Strahlung der Sonne. Dies kann sich sowohl auf die menschliche Gesundheit

als auch auf Ökosysteme auswirken (Lighthart und Valkering, 2013). In die Kategorie Ozonabbaupotential werden sowohl Stoffe miteinbezogen, die direkt in der Stratosphäre freigesetzt werden, als auch Gase die aufgrund ihrer hohen Beständigkeit in der Troposphäre in die Stratosphäre diffundieren und dort zu einem Abbau der Ozonschicht führen. Verantwortliche Stoffe entstehen beispielsweise durch die Luftfahrt. N_2O , SF_6 und voll- oder teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe sind Beispiele für chemische Verbindungen, die in der Troposphäre entstehen und dann in die Stratosphäre diffundieren. Diese Gase sind in den unteren Atmosphärenschichten chemisch nicht reaktiv. Es kommt aufgrund der langen Lebensdauer zu einer globalen Durchmischung. Das sogenannte Ozonabbaupotential (ODP) ist die gängige Bewertungsgröße für diese Wirkungskategorie (Borken et al., 1999).

3.3.3 Klassifizierung

Im Rahmen der Klassifizierung werden die Sachbilanzposten den Wirkungskategorien zugeordnet. Wenn bei einem Prozess beispielsweise Treibhausgas entstehen, werden diese der Wirkungskategorie Klimaänderung zugeordnet (Klöpffer und Grahl, 2009). Im Rahmen der ISO 14044 (2006) wird zwischen Sachbilanzergebnissen, welche ausschließlich einer Wirkungskategorie zuzurechnen sind, und jenen, die sich auf mehrere Wirkungskategorien beziehen, unterschieden.

3.3.4 Charakterisierung

Bei der Charakterisierung werden die ermittelten Sachbilanzergebnisse in gemeinsame Einheiten umgewandelt und dann innerhalb derselben Wirkungskategorie zusammengefasst (ISO 14044, 2006). Zum besseren Verständnis wird dies mittels der Wirkungskategorie Klimaänderung erläutert. Im Rahmen der Sachbilanz werden dieser Kategorie emittierte Treibhausgas zugeordnet, welche im Zuge der Charakterisierung mit spezifischen Charakterisierungsfaktoren (Greenhouse Warming Potential₁₀₀, z.B. 1 für CO_2 und 25 für CH_4) multipliziert werden, um eine gemeinsame Einheit (kg CO_2 – Äquivalente) zu erhalten (Klöpffer und Grahl, 2009).

3.3.5 Normierung

Die Normierung ist die *„Berechnung der Größenordnung der Wirkungsindikatorenwerte in Bezug auf Referenzdaten. Ziel der Normierung ist, ein besseres Verständnis der relativen Größenordnung jedes Indikatorwertes des zu untersuchenden Produktsystems zu erreichen“* (ISO 14044, 2006). Die Wirkungsindikatoren werden durch einen Referenzwert dividiert. Es können nationale, regionale oder internationale Werte als Referenzwert herangezogen werden. Bei der Wahl des Referenzwertes sollte auf die Übereinstimmung mit den geographischen Systemgrenzen geachtet werden (Klöpffer und Grahl, 2009). Da für Österreich keine Werte für die Normierung zur Verfügung stehen, wird die Normierung mit der ReCiPe Mittelpunktnormierung für Europa durchgeführt (Goedkoop et al., 2009).

3.4 Erhebung der Daten

Für die Durchführung der Ökobilanz werden Daten von Sonnentor bereitgestellt, beim Unternehmen vor Ort durch Beobachtung erhoben, sowie durch Literaturrecherche ermittelt. Teilweise wurden auch Daten aus der Datenbank von GaBi eingesetzt.

Für die Berechnung der Transportdistanzen wird die Freeware Google Maps verwendet. Die Transportdistanzen der Konsumenten zur Filiale und zu den Postfilialen bzw. Postpartnern werden laut einer Studie von Matthews et al. (2002) berechnet. Die Vorgangsweise wird in den entsprechenden Kapiteln erläutert. Die

Transport- und Sammeldistanzen der Abfälle werden der Literatur entnommen und durch eigene Erhebungen ergänzt. Bezüglich der Transportdistanzen für die Lieferung der Ware an den Endkonsumenten werden Informationen von dem relevanten Lieferunternehmen eingeholt. Auf Basis der so ermittelten Daten werden die Distanzen berechnet.

4. Fallbeispiel und Szenariobeschreibung

4.1 Sonnentor

Die in dieser Arbeit beschriebene Fallstudie wird mit dem Unternehmen Sonnentor Kräuterhandels GmbH durchgeführt. Sonnentor wurde 1988 in Sprögnitz, Niederösterreich, gegründet und vertreibt ausschließlich biologische Produkte, vor allem Tees und Gewürze. Das Unternehmen verfügt über 18 stationäre Filialen in Österreich, welche großteils als Franchise Filialen betrieben werden. Zusätzlich zum stationären Handel sind die Produkte auch Online erhältlich. Im Jahr 2015 wurde 5 % des Umsatzes über den Online Shop generiert (Sonnentor, 2015). Zusätzlich werden die Produkte in diversen Biofachmärkten, Reformhäusern, Apotheken und anderen Verkaufsstellen im In- und Ausland angeboten. Die Produkte können auch über andere Internethändler wie z.B. Amazon gekauft werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird ausschließlich der Vertrieb über den Sonnentor Online Shop und die Sonnentor Filialen in Österreich dargestellt. Die restlichen Vertriebswege und der Verkauf von Produkten außerhalb von Österreich werden nicht näher betrachtet. Der Hauptstandort von Sonnentor befindet sich in Sprögnitz. Dort befindet sich auch die Lagerhalle, von der aus die Produkte an die Filialen, an andere Verkaufsstellen, sowie an Kunden des Online Shops versendet werden. Die gesamte verbaute Fläche der Lagerhalle beträgt 11.300 m², der Online Shop nimmt davon eine Fläche von 250 m² ein. Der Versand zu den Filialen und den sonstigen Verkaufsstellen erfolgt über einen Spediteur. Die Kunden des Online Shops werden mit der Österreichischen Post AG beliefert.

4.2 Szenarien

Im Rahmen dieser Arbeit werden zwei Basisszenarien betrachtet: Der Vertrieb der Sonnentorprodukte über den Onlinehandel und über die Filialen von Sonnentor. Der Verkauf der Produkte in anderen Geschäften wird nicht miteinbezogen, da in anderen Geschäften ein deutlich größeres Produktsortiment angeboten wird als in den Sonnentorfilialen und nur ein kleiner Teil der Einkäufe in diesen Geschäften aus Sonnentorprodukten besteht. Die Vergleichbarkeit mit dem Onlinehandel ist dadurch nur bedingt möglich. Lediglich die Berechnung der Privatfahrten zu den Filialen basiert auf allen Verkaufsstellen in den betrachteten Regionen, bei denen Sonnentorprodukte erhältlich sind. Beide Szenarien werden sowohl für den ländlichen als auch den urbanen Raum betrachtet, inklusive der jeweils unterschiedlichen Transportdistanzen bzw. unterschiedlichen Verwertungsarten der Abfälle. Für beide Szenarien wird der Weg des Produktes vom Sonnentorlager bis hin zum Konsumenten betrachtet. Die Entsorgung der Abfälle wird für die zwei betrachteten Regionen Wien und Zwettl beschrieben und in das Modell miteinbezogen.

4.2.1 Szenario stationärer Handel

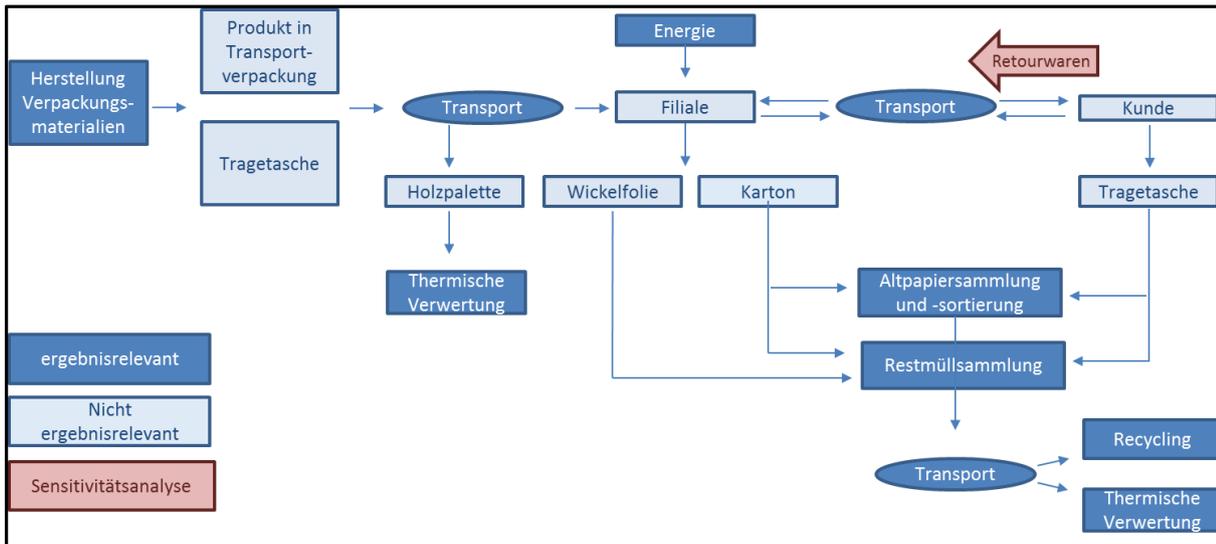


Abb. 3: Vereinfachte Darstellung des Modells stationärer Handel

Abb. 3 ist eine vereinfachte Darstellung des Modells des stationären Handels. Es zeigt die ergebnisrelevanten Prozesse in Dunkelblau und die durch eine Sensitivitätsanalyse betrachteten Prozessschritte in Rot. Die Prozesse in Hellblau sind für ein besseres Verständnis des Ablaufs in der Grafik enthalten, wirken sich aber nicht auf das Ergebnis aus.

Beim Szenario stationärer Handel erfolgt der Transport des Produktes zur Filiale in einem Umverpackungskarton auf einer Holzpalette, welche nach mehrmaliger Wiederverwendung einer thermischen Verwertung zugeführt wird. Die Entsorgung des Umverpackungskartons und der Wickelfolie erfolgt in diesem Szenario in der Filiale über die kommunale Sammlung. Die Wickelfolie wird über den Restmüll entsorgt und die Kartonverpackungen getrennt erfasst. Der Weg vom Kunden zur Filiale und wieder zurück wird ebenfalls in dieses Szenario mitaufgenommen. Die Kunden transportieren die Produkte entweder in einer selbst mitgebrachten Tragetasche oder in einer vor Ort käuflich erworbenen Tragetasche aus Papier. Diese Tragetaschen werden beim Kunden gesammelt und über die kommunale Entsorgung erfasst. Die dem Szenario stationärer Handel zugrundeliegenden Daten, basieren auf einer Erhebung in der Sonnentor Filiale in Krems.

4.2.2 Szenario Onlinehandel

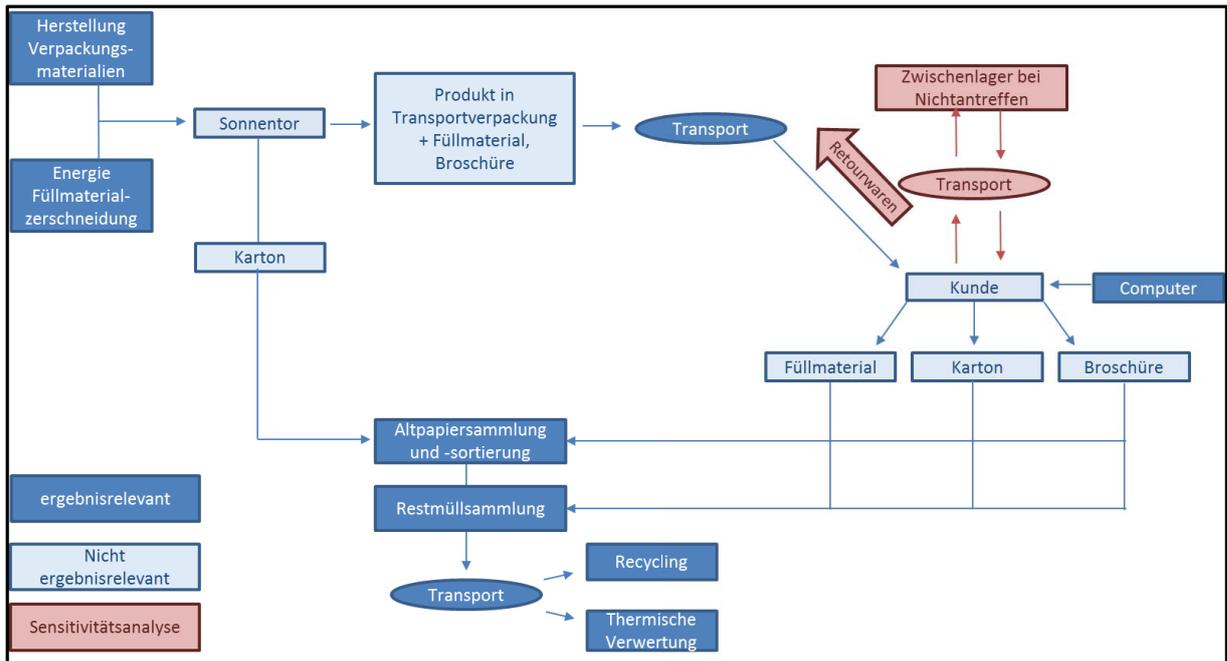


Abb. 4: Vereinfachte Darstellung des Modells Onlinehandel

Abb. 4 ist eine vereinfachte Darstellung des Modells Onlinehandel. Es zeigt die relevanten Prozesse, sowie die durch eine Sensitivitätsanalyse betrachteten Prozessschritte.

Im Fall des Onlinehandels erfolgt eine direkte Lieferung mittels LKW an den Endkonsumenten. Da bei diesem Szenario die Produkte vor dem Versand zum Kunden einem Umverpackungskarton entnommen und dann in einem Transportkarton an den Kunden geschickt werden, wird die Entsorgung des Umverpackungskartons beim Lager auch in das Modell mitaufgenommen. Die Entsorgung beim Lager erfolgt über die gewerbliche Entsorgung und wird durch einen privaten Entsorger durchgeführt. Die restlichen Verpackungen bzw. Werbematerialien fallen beim Endkonsumenten als Abfall an, wo sie über die kommunale Sammlung entsorgt werden.

4.3 Auswahl der Untersuchungsgebiete

Aufgrund unterschiedlicher Infrastruktur und der damit verbundenen Transportwege bzw. der verwendeten Transportmittel werden zwei verschiedene Regionen ausgewählt. Ein dünn besiedelter, ländlicher Bezirk und eine urbane Region mit einer sehr hohen Bevölkerungsdichte.

Grad der Urbanisierung der Europäischen Kommission nach Gemeinden

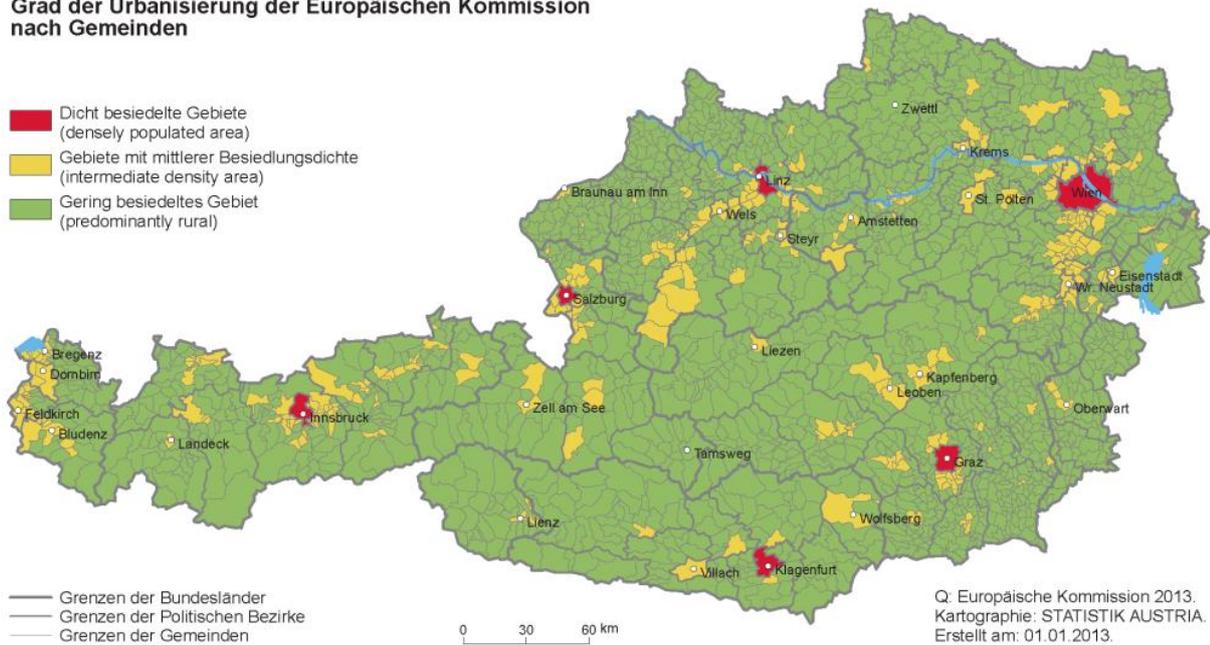


Abb. 5: Grad der Urbanisierung in Österreich (Statistik Austria, 2016a)

Die Auswahl der untersuchten Gebiete erfolgt anhand der Bevölkerungsdichte. Abb. 5 gibt eine Übersicht über die Bevölkerungsverteilung in Österreich. Die Region mit der größten Bevölkerungsdichte ist Wien mit einer Dichte von 4.326 Einwohner/km² und einer Fläche von 414 km². Der Bezirk Zwettl verfügt über eine Fläche von 1.400 km² und wird mit 31 Einwohnern pro km² als dünn besiedelter Bezirk betrachtet. Da Zwettl der einzige dünn besiedelte Bezirk Österreichs ist, in dem sich auch eine Sonnentor Filiale befindet, wird dieser für die Fallstudie ausgewählt. Die durchschnittliche Einwohnerdichte in Österreich beträgt 267 Einwohner je km² (Statistik Austria, 2016 a).

5. Sachbilanz

Die Sachbilanz wird anhand der unten dargestellten Prozesse erstellt. Wenn vorhanden, wird auf bereits in der Software GaBi bestehende Daten zurückgegriffen, welche in den jeweiligen Kapiteln näher erläutert werden.

In den Kapiteln 5.1 und 5.2 werden die Sachbilanzposten der Szenarien detailliert beschrieben, in den Kapiteln 5.3 und 5.4 folgt eine Abhandlung jener Inhalte, welche für beide Szenarien relevant sind.

5.1 Sachbilanz Szenario stationärer Handel

5.1.1 Verpackungen und Abfall

In den stationären Verkaufsstellen fallen die für den Transport verwendeten Umverpackungen, sowie Wickelfolie aus LLDPE an. Das in dieser Arbeit als funktionelle Einheit betrachtete Gewürz wird in einer Umverpackung aus Karton geliefert. Es gibt in der Produktpalette von Sonnentor mehrere Gewürze der gleichen Größe. In jeder Umverpackung (320 g Karton) befinden sich 11 Verpackungseinheiten (53 g Karton) mit jeweils 6 Packungen des Gewürzes. Die Waren werden in den Umverpackungen auf Paletten transportiert. Europalletten sind in verschiedenen Größen erhältlich und wiegen zwischen 14 kg und 35 kg. Da eine genaue Ermittlung der Palette nicht möglich war, wird mit einem durchschnittlichen Gewicht von 27 kg und einem durchschnittlichen Volumen von 0,1436 m³ gerechnet (Treyer Paletten GmbH, 2016). Die funktionelle Einheit beschränkt sich auf eine Packung des Gewürzes. Daher erfolgt eine anteilige Zurechnung des Gewichtes der Verpackungen und der Palette auf das Gewürz.

Die für den Transport verwendeten Europaletten aus Holz werden vom Lieferanten wieder mitgenommen und erst nach mehrfacher Wiederverwendung entsorgt. Der Kunde hat die Möglichkeit im Geschäft Tragetaschen in drei verschiedenen Größen zu erwerben. Die kleinste Tasche wiegt 24 g, die mittlere 45 g und die große Papiertragetasche hat ein Gewicht von 146 g. Als Alternative zu den Einwegtragetaschen werden in den Filialen auch Stofftaschen zum Kauf angeboten. In den Sonnentorgeschäften werden zusätzlich zu den Produkten, welche auch über den Onlinehandel verfügbar sind, frisches Gebäck, Getränke und Suppen angeboten. Diese werden bei der Erhebung der Verpackungen nicht berücksichtigt, weil eine Vergleichbarkeit mit dem Online Shop nicht gewährleistet ist.

Ob Kunden diese Tragetaschen zum Transport der Produkte kaufen und ob dies ab einer bestimmten Anzahl von Produkten erfolgt, wurde von der Autorin durch Beobachtung in der Sonnentor Filiale in Krems am 29.02.2016 von 09:00 bis 18:00 Uhr ermittelt. Bei der Erhebung wurden nur Einwegtragetaschen miteinbezogen, weil angenommen wird, dass die Tragetaschen aus Stoff mehrmals wiederverwendet werden. Zusätzlich zu der Beobachtung und Aufzeichnung der Einkäufe in der Filiale, werden vom Unternehmen Daten für zufällig ausgewählte Tage zwischen 01. März 2015 bis 29. Februar 2016 bereitgestellt. In diesen 15 Tagen kauften 7,68 % der Kunden Einwegtragetaschen unterschiedlicher Größen.

Um zu gewährleisten, dass die Erhebung repräsentativ ist, wird die minimale Anzahl der Stichprobe ermittelt. Hierfür wird zunächst die Standardabweichung mittels folgender Formel ausgerechnet:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2}{N}}$$

Formel 1: Standardabweichung (Spiegel und Stephens, 2003)

Die Standardabweichung der erhobenen bzw. der von Sonnentor bereitgestellten Daten beträgt 0,266358015.

$$n \geq \frac{N * z^2 * \sigma^2}{z^2 * \sigma^2 + (N - 1) * e^2}$$

Formel 2: Berechnung der Stichprobe (Bundesministerium des Innern, 2016)

Die ermittelte minimale Stichprobenanzahl beträgt 683. Die tatsächlich erhobene Stichprobe von 2096 ist daher repräsentativ.

5.1.2 Anfallstelle und Entsorgung des Abfalls

Die relevanten Abfälle des Vertriebsweges stationärer Handel sind Kartonagen und Wickelfolie bei der Filiale selbst, sowie die Tragetasche beim Kunden. Vor dem Transport erfolgt eine Verdichtung der Kartonagen durch eine Presse. In den Wiener Sonnentorfilialen werden die Abfälle über die kommunale Müllabfuhr der MA 48 entsorgt. In Zwettl ist ein durch die Kommune beauftragtes privates Unternehmen für die Entsorgung der Abfälle zuständig. Im Kapitel 5.3.3 folgt eine Beschreibung der Abfallsammlung und des Abfalltransportes. Die Verwertung der Abfälle wird im Kapitel 5.4 thematisiert.

5.1.3 Retourwaren

In den Filialen von Sonnentor werden 0,019 % aller verkauften Produkte zurückgegeben (Sterkl, 2016). Aufgrund der geringen Anzahl der Retouren werden diese nicht in die Erhebung miteinbezogen. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse erfolgt eine Ermittlung möglicher Auswirkungen einer Retourware auf das Ergebnis.

5.1.4 Energieverbrauch der Filiale

Zwischen den Filialen bestehen geringe Abweichungen des Energiebedarfes. Um eine Beeinflussung des Ergebnisses zu verhindern, wird der Mittelwert des Energieverbrauches von 3 Filialen herangezogen. Dieser wird jedem Verkaufsabschluss zu gleichen Teilen zugeordnet und ergibt einen Wert von 0,418775 kWh je Verkaufsabschluss für die benötigte Energie der Filiale.

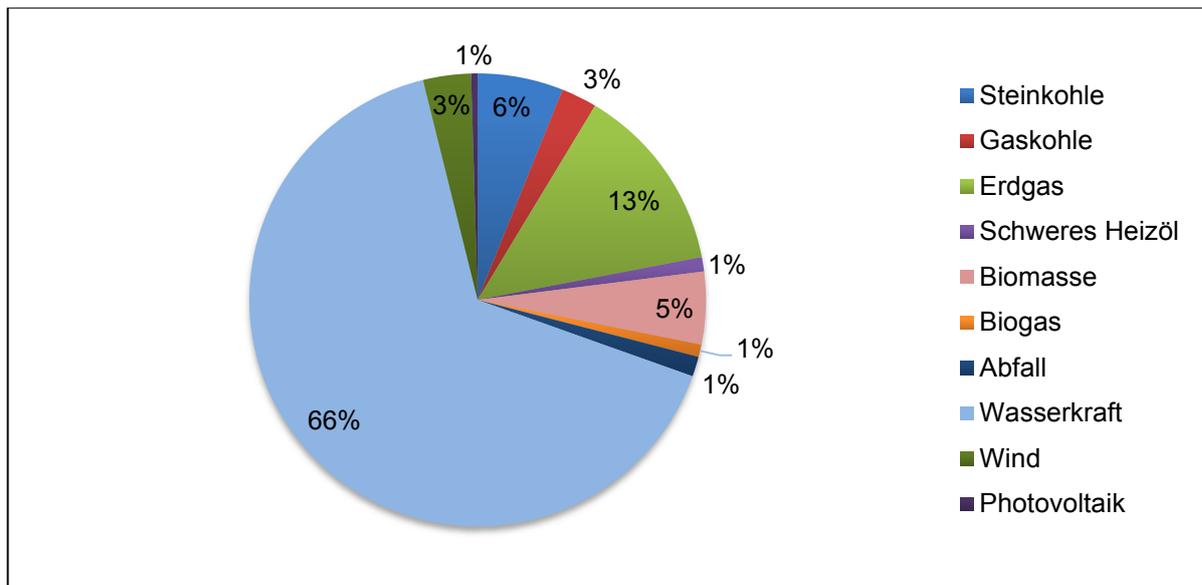


Abb. 6: Elektrizitätsmix Österreich 2012

Der in der Abb. 6 dargestellte Elektrizitätsmix wird für die Berechnung der Umweltauswirkungen der Szenarien herangezogen und ist der Datenbank GaBi Professionals entnommen. Mit einem Anteil von 66 % ist die Wasserkraft in Österreich der größte Energieträger. Energie aus Biogas, Energie aus Steinkohle und Energie aus Biomasse haben ebenfalls einen Anteil von über 5 % am Elektrizitätsmix.

5.2 Sachbilanz Szenario Onlinehandel

Sonnentor erwirtschaftet mit dem Onlinehandel zum jetzigen Zeitpunkt 5 % des Unternehmensumsatzes. Der Webshop verfügt über einen abgegrenzten Teil des Lagers in Sprögnitz, um den Versand der online bestellten Produkte möglichst effizient durchzuführen. Auf einer Fläche von 250 m² erfolgen die Verpackung und der Versand der Produkte. Das Lager wird regelmäßig mit den Produkten aus dem Hauptlager befüllt. Die Produkte sind mit den gleichen Umverpackungen eingepackt, wie sie auch für die Lieferungen an die stationären Geschäfte verwendet werden. Die Umverpackungen werden teilweise zerschnitten und als Füllmaterial für den Transport verwendet, um Transportschäden zu vermeiden. Die kleineren Umverpackungen werden zum Teil auch für den Versand von zerbrechlichen Produkten, wie beispielsweise Glasflaschen, wiederverwendet. Da dies aber nur in Einzelfällen vorkommt, wird das nicht in die Betrachtung miteinbezogen. Im betrachteten Szenario wird ein Paket mit einem Gewürz, in einem Transportkarton, Füllmaterial und einer Broschüre versendet. Es wird von einem erfolgreichen ersten Zustellversuch ausgegangen.

5.2.1 Verpackungen und Abfall

Das in der Fallstudie betrachtete Unternehmen verwendet für den Transport der Produkte zu den Kunden, welche online bestellen, 7 verschiedene Größen von Verpackungen. Diese sind alle aus Karton und wiegen zwischen 0,3 kg und 0,62 kg. Durchschnittlich wurden bei der Erhebung in dieser Verpackung 10,4 Produkte je Paket versandt. Zusätzlich zum Transportkarton werden zum Schutz der Produkte Verpackungspolstermatten aus zerschnittenen, bereits verwendeten Umverpackungen aus Karton eingesetzt.

Bei Produkten, bei denen eine Beschädigung durch den Transport wahrscheinlich ist, werden zusätzliche Verpackungen aus Papier bzw. Karton als Schutz verwendet. Dem Paket werden Rezeptvorschläge und eine Informationsbroschüre beigelegt, welche als Abfall in die Studie miteinberechnet werden. Die Rechnung wird nur elektronisch zugestellt, außer eine gedruckte Rechnung wird ausdrücklich gewünscht. Die betrachteten beim Endkonsumenten anfallenden relevanten Abfälle setzen sich aus dem Transportkarton mit einem Gewicht von 34 g, dem Füllmaterial (32 g), der Broschüre und den Rezeptvorschlägen (106 g) zusammen. Bei Sonnentor selbst fallen zusätzlich die Umverpackungen, in denen die Produkte gelagert werden, an. Diese werden dem Produkt anteilig zugerechnet.

5.2.2 Retourwaren

Laut Fördös (2014) werden je nach Branche zwischen 15 und 50 % der Waren wieder zurückgeschickt und verursachen so zusätzliche Transportwege. Diese Zahlen können nicht durch die im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Daten bestätigt werden. Im betrachteten Unternehmen ist die Zahl der Retoursendungen mit 0,001 % der über den Online Shop vertriebenen Produkte deutlich geringer (Sterkl, 2016). Aufgrund dieser Erhebung und des resultierenden kleinen Wertes der Retourwaren, werden die Retourwaren nicht in die Berechnung der Umweltauswirkungen miteinbezogen. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wird ermittelt, welchen Einfluss Retoursendungen auf das Ergebnis der Studie haben.

5.2.3 Energieverbrauch der Verpackungsmaschine

Für die Herstellung der Verpackungspolster wird die elektrisch betriebene Verpackungsmaschine Monopack M416S2 verwendet. Da es nicht möglich war technische Details dieses Produktes zu erlangen, werden die Daten des Gerätes CP 316 S2 i erhoben. Diese Maschine wird vom selben Unternehmen produziert wie die Verpackungsmaschine Monopack M416S2 und hat die gleiche Funktionsweise. Für die Herstellung 1 m² Verpackungspolstermatten werden 0,00125 kWh Strom benötigt (Cushionpack, 2016).

5.2.4 Energieverbrauch der Endkonsumenten für die Online Bestellung

Im Szenario des Onlinehandels bestellt der Endkonsument die Waren online am PC. Der Energieverbrauch dieser Tätigkeit wird im Rahmen der Ökobilanz berücksichtigt.

Die durchschnittliche Dauer des Bestell- und Suchvorganges wird nach Weber et al. (2008) mit 15-30 Minuten angenommen. Der gesamte Energieverbrauch in dieser Zeit wird dem Bestellvorgang zugerechnet. Der Betrieb eines durchschnittlichen PCs mit einem externen Monitor bzw. eines Laptops benötigt zwischen 60 W und 100 W (Weber et al., 2008). Die Energie für die Herstellung des Computers wird miteinbezogen, da die Nutzungsdauer eines Computers mit ca. 3 Jahren gering ist und bisherige Arbeiten die Bedeutung des Energieverbrauches in der Produktionsphase des Computers gezeigt haben. Die anteilige Energie der Herstellung des Computers, bezogen auf eine Lebensdauer des Gerätes von drei Jahren, beträgt 0,004 kWh/Minute (Bundesministerium der Finanzen Deutschland, 2016) (Weber et al., 2008). Für den Bestellvorgang wird außerdem der Energieverbrauch des Internetbetriebes miteinberechnet. Taylor und Koomey (2008) schätzen diesen auf 9-16 kWh/GB Daten. Je Onlinebestellung werden ca. 1 MB Daten benötigt (Weber et al., 2008). Dies ergibt einen Primärenergieverbrauch für die Onlinebestellung durch den Konsumenten von 1-2 MJ (Weber et al., 2008).

5.3 Transport

Der Transport der Produkte erfolgt durch Lastkraftwagen und, im Falle des stationären Handels, durch PKWs. Die durch die Sammlung und den Transport der Abfälle entstehenden Emissionen werden ebenfalls in die Betrachtung miteinbezogen. Der Verbrauch des Treibstoffes sowie die dadurch entstehenden Emissionen hängen vom Fahrzeug selbst, dessen Instandhaltung und dem Auspuffsystem ab. Die Fahrweise des Lenkers kann den Verbrauch ebenso beeinflussen (Larsen et al., 2009). Im Folgenden werden die nötigen Transportwege sowie die Emissionsgrenzwerte für PKWs und Lastkraftwagen näher erläutert.

5.3.1 Transportwege stationärer Handel

Die Berechnung des Weges vom Sonnentorlager im Waldviertel bis zur Filiale erfolgt mittels Google Maps. Vereinfacht wird eine direkte Lieferung vom Lager zur Filiale angenommen. Die durchschnittliche Distanz zu den Filialen in Zwettl ergibt einen Wert von 12,7 km und zu den Filialen in Wien 117 km. Die unterschiedlichen Transportdistanzen lassen sich nicht auf den Unterschied einer dicht oder dünn besiedelten Region zurückführen, sondern nur auf den Standort von Sonnentor. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wird daher überprüft ob der Unterschied der Transportdistanzen Einfluss auf das Endergebnis hat. Die Erhebung der Transportdistanzen des Kunden von und zu den Sonnentor Filialen bzw. Verkaufsstellen erfolgt durch die Erhebung aller Filialen/Verkaufsstellen und einer Ermittlung der Distanzen zur jeweils nächsten Filiale bzw. Verkaufsstelle. Diese Entfernung wird halbiert, weil angenommen wird, dass der Konsument seinen Einkauf von einem Punkt zwischen den beiden Verkaufsstellen beginnt. Diese Distanz wird sowohl für den Hin- als auch den Rückweg angenommen.

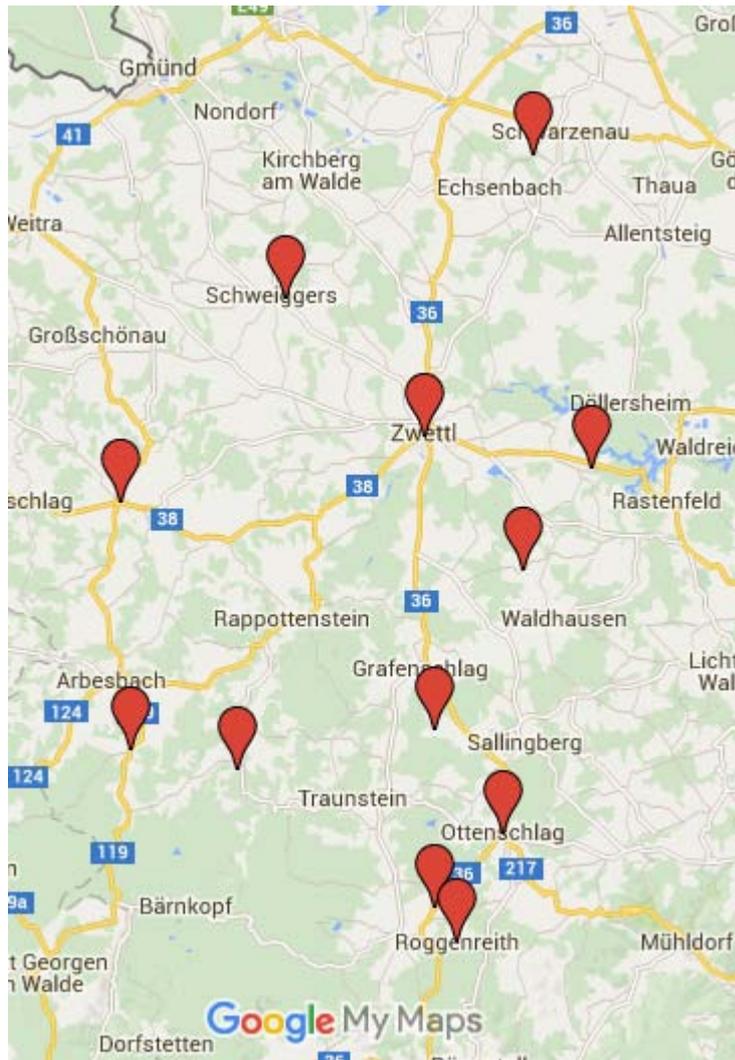


Abb. 7: Übersicht über die Sonnentor Filialen und Verkaufsstellen im Bezirk Zwettl

Abb. 7 zeigt alle 12 Sonnentorfilialen bzw. Verkaufsstellen im Bezirk Zwettl. Für die betrachtete dünn besiedelte Region Bezirk Zwettl ergibt die Berechnung eine Transportdistanz von 8,79 km für den Hin- und Rückweg.

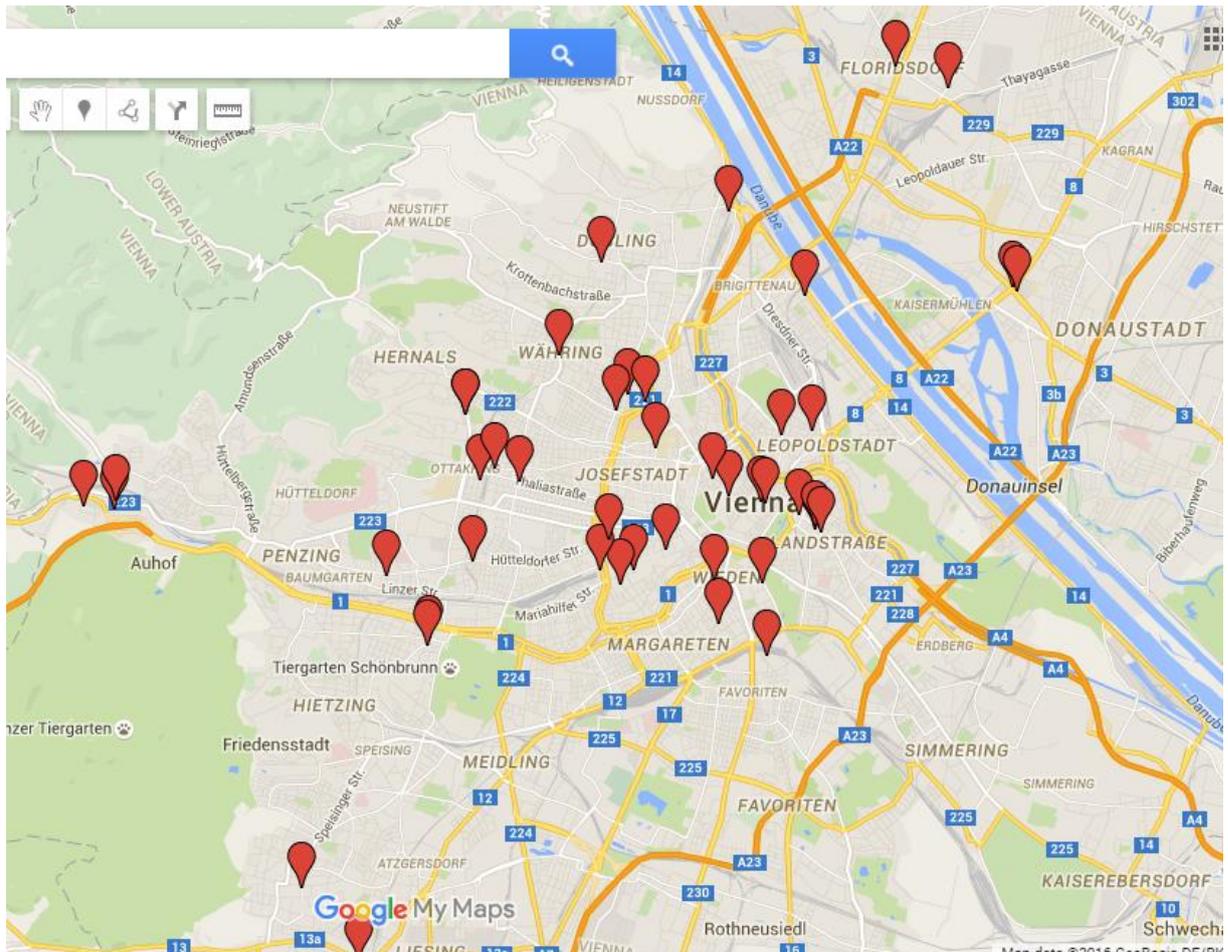


Abb. 8: Übersicht über die Sonnenator Filialen und Verkaufsstellen in Wien

In Wien ergibt die Erhebung der insgesamt 32 Sonnenator Verkaufsstellen bzw. Filialen eine Transportdistanz des Kunden von 1,10 km. Diese sind in Abb. 8 dargestellt.

Eine Umfrage des VCÖ hat ergeben, dass sich vor allem in Wien ein großer Anteil der Bevölkerung mittels öffentlichen Verkehrsmitteln fortbewegt. 61 % geben an, öffentliche Verkehrsmittel täglich oder mehrmals pro Woche zu nutzen. 19 % der Wiener fahren mit dem Rad und 40 % nutzen das Auto als Verkehrsmittel. In Niederösterreich nehmen 17 % täglich oder mehrmals wöchentlich das Angebot öffentlicher Verkehrsmittel in Anspruch, 33 % fahren regelmäßig mit dem Rad und 70 % bevorzugen das Auto. Die Anzahl der PKW Besitzer ist ein weiteres Indiz für die Wahl des Verkehrsmittels. In Niederösterreich haben pro 1.000 Personen 623 einen PKW, in Wien hingegen nur 386 (VCÖ, 2015). Die Nutzung des Rades und die zurückgelegten Fußwege werden in der gegenständlichen Arbeit nicht miteinbezogen. Um sowohl die öffentlichen Verkehrsmittel, als auch die private PKW Nutzung in der Arbeit abzubilden, erfolgt eine prozentuale Zuteilung der genutzten Transportmittel auf den Transportweg. In Wien wird mit einer Nutzung der öffentlichen Verkehrsmittel (U-Bahn) von 60 % und des privaten PKW von 40 % gerechnet. In Niederösterreich wird die Aufteilung von 80 % PKW und 20 % öffentliche Verkehrsmittel (Bus) in das Modell einbezogen. Diese Werte stimmen auch mit Daten anderer Studien überein (Wiener Linien, 2016a), (BMVIT, 2012).

Tab. 6: Privat zurückgelegte Transportkilometer im Szenario stationärer Handel

| Region | km gesamt | % Öffentlich | % PKW | km Öffentlich | km PKW |
|---------------|-----------|--------------|-------|---------------|--------|
| Wien | 1,1 | 60 % | 40 % | 0,66 | 0,264 |
| Zwettl | 8,79 | 20 % | 80 % | 1,758 | 7,032 |

Da eine Zuordnung der gesamten gefahrenen km in den öffentlichen Verkehrsmitteln und eine prozentuale Zuteilung der Auslastung auf die funktionelle Einheit nicht möglich sind, werden Angaben der Wiener Linien zum Energieverbrauch je Fahrt herangezogen. Je Fahrt eines Fahrgastes in der U-Bahn, Bus oder Straßenbahn benötigen die Wiener Linien durchschnittlich 0,55 Kilowattstunden (Wiener Linien, 2016b). Mangels Daten über die Auslastung der Busse bzw. deren Energieverbrauch für den Bezirk Zwettl werden die Daten der Wiener Linien auch für Niederösterreich angenommen. Für Zwettl wird der angegebene Wert zu 20 % miteinberechnet und für Wien mit 60 %.

Für die Ermittlung der Emissionen aus den Transportwegen wird aufgrund der Beschreibung in Kapitel 5.3.4 einerseits ein in GaBi vorhandener Datensatz eines PKW der Euro Klasse 5 verwendet und andererseits für die Abbildung der durch den öffentlichen Transport verwendeten Energie der österreichische Strommix.

5.3.2 Transportwege Onlinehandel

Der Versand der über den Onlinehandel verkauften Produkte erfolgt mit der Österreichischen Post AG. Die für die Berechnung des Transportweges benötigten Daten werden beim Lieferunternehmen erhoben.

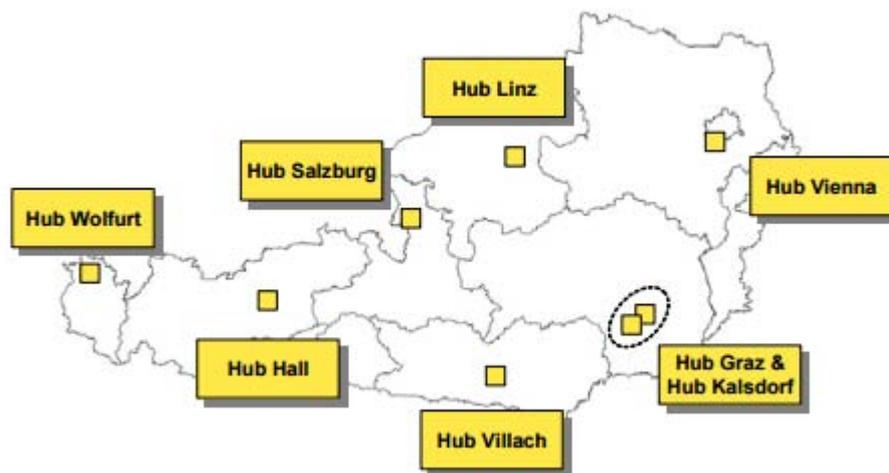


Abb. 9: Hubs der Österreichischen Post (Österreichische Post AG, 2006)

In Österreich gibt es 7 Verteilerzentren, sogenannte Hubs, bei denen die Pakete konsolidiert und sortiert werden. Diese werden in Abb. 9 abgebildet. Das zugrundeliegende Logistiksystem wird „hub and spoke“ genannt (Österreichische Post AG, 2006). Die Pakete werden von den Postfilialen und-partner abgeholt und zum jeweiligen Hub gebracht (P1). Im Einzugsbereich eines Hubs werden die Lieferungen beim Hub konsolidiert und sortiert. Wenn ein Paket im selben Hub versandt wird, wird es zur Zustellbasis transportiert (P2) und von dort ausgehend an die Haushalte und Unternehmen geliefert (P3). Wenn ein Paket in einem Hub (z.B. Tirol) erfasst wird, die

Sendung aber in das Einzugsgebiet eines anderen Hubs zugestellt werden muss, wird das Paket an das andere Hub überstellt (Czasch, 2016).

Tab. 7: Transportdistanzen und Transportfahrzeuge der Post

| | Transporte in km | | Transportfahrzeug |
|---------------------------------------|------------------|---------------|---|
| | Wien | Zwettl | |
| P1 Unternehmen - Hub | 140,00 | 140,00 | LKW mit 5 t bzw. 7,5 t bis Sattelschlepper bei Großkunden (abhängig von der Tagesmenge) |
| P2 Hub - Zustellbasis | 0 | 146,00 | LKW 7,5 t |
| P3 Zustellbasis - Endkonsument | 15,15 | 22,35 | je nach Ballungsraum, auch E-Fahrzeuge |
| Summe | 155,15 | 308,35 | |

Das im Rahmen dieser Arbeit für beide betrachtete Gebiete relevante Verteilerzentrum befindet sich in Wien. Der Weg von der Filiale zum Hub (P1) in Wien beträgt, wie in Tab. 7 dargestellt, 140 km, dieser wird für Lieferungen für beide Gebiete (Zwettl, Wien) zurückgelegt. Der Weg P2 vom Hub zur Zustellbasis beträgt für Lieferungen nach Zwettl 146 km und für Lieferungen nach Wien 0, weil in diesem Fall das Hub auch gleichzeitig die Zustellbasis ist. Um den Weg von der Zustellbasis zum Kunden (P3) zu errechnen, werden die Wege vom Lager zum Ortszentrum aller Gemeinden im Bezirk Zwettl bzw. den magistratischen Bezirksämtern aller Bezirke in Wien ermittelt. Da sich die magistratischen Bezirksämter der Bezirke 4, 8 und 14 nicht in den Bezirken selbst befinden, werden für diese Bezirke andere zentrale Orte für die Ermittlung der Transportdistanzen ausgewählt. Aus diesen Werten werden die Mittelwerte berechnet. Für Lieferungen nach Wien ergibt dies eine durchschnittliche Distanz von 15,15 km und für Zwettl 22,35 km. In Summe betragen die Transportdistanzen für eine Onlinebestellung im Bezirk Zwettl 308,35 km und für Wien 155,5 km.

Die Österreichische Post AG schreibt in ihrem Nachhaltigkeitsbericht, dass im Jahr 2014 90 % der Pakete bereits beim ersten Zustellversuch an die Empfangsperson übergeben werden konnten (Kollouch et al., 2015). Laut Czasch (2016) lässt sich dieser hohe Wert auf mehrere Faktoren zurückzuführen: extrem hohes Knowhow der Zusteller über die Lebensgewohnheiten der Empfänger in ihrem Zustellgebiet und die daraus genutzten Chancen auf Ersatzzustellungen, Automatisierung auf der letzten Meile durch Postempfangsboxen und Postempfangsstationen, Interaktion durch die Empfänger (Nutzung der Umleitung bei Ankündigungsinformation über den Empfang einer Sendung), Incentivierung der Zusteller bei Qualitätsverbesserungen und Führung des Zustellmanagements mit Zielen. Im Falle, dass ein Kunde bei der Erstzustellung nicht anzutreffen ist, wird das Paket in eine Postfiliale oder zu einem Postpartner gebracht, wo es der Kunde abholen kann. Aufgrund dieser Angaben wird davon ausgegangen, dass 90 % der Waren beim ersten Zustellversuch übergeben werden. Das Modell des Basisszenarios basiert auf einer erfolgreichen ersten Zustellung. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse erfolgt eine Analyse einer nicht möglichen Erstzustellung.

5.3.3 Sammlungs- und Transportdistanzen des Abfalls

Die Verwendung und die Feuerung von Diesel für den Betrieb der Sammelfahrzeuge stellt die größte Belastung für die Umwelt durch die Sammlung und den Transport von Abfällen dar. Der Dieselverbrauch pro Tonne Abfall hängt vom Abfall selbst, dem Sammelgebiet, dem Sammelfahrzeug, der Distanz zum Entladungspunkt und vom

Fahrer ab. Der Treibstoff wird während der Fahrt und für die Verdichtung des Abfalls benötigt. Der Dieselverbrauch der Abfallsammlung beträgt zwischen 1,4 bis 10,1 Liter je Tonne gesammelter Abfall und ist proportional zur Abfall- und Einwohnerdichte (Larsen et al., 2009).

Für die Berechnung der Umweltauswirkungen durch den Transport der Abfälle werden folgende Umrechnungsfaktoren herangezogen: Altpapier (inklusive Kartonagen) 1 m³=150 kg und Restmüll 1 m³=130 kg (Frohner und Punesch, 2015).

Das Verhältnis zwischen der tatsächlichen Transportmenge und der maximalen Nutzlast des Transportmittels wird mittels des Auslastungsgrades beschrieben. Dieser ist für die Erhebung der durch Sammlung und Transport verursachten Emissionen entscheidend. Die Masse dient als Bezugsgröße, weil durch die Masse der Zuladung eine Mehrbelastung verursacht wird und mit zunehmender Beladung ein Anstieg der Emissionen und des Kraftstoffverbrauches beobachtet werden kann (Salhofer et al., 2002).

5.3.3.1 *Sammel- und Transportdistanzen von Abfällen*

Die Sammel- und Transportdistanzen von Papier werden der Studie von Salhofer et al (2002) entnommen. Da die Entsorgung von Papier in Wien teilweise im Bringsystem erfolgt, wird dieses Sammelsystem miteinbezogen. Laut einer Studie von Lebersorger et al. (2001, zit. bei Salhofer et al., 2002) wird in Wien der Weg zur Sammelinsel nur von einem Viertel der in dieser Studie befragten Personen, die mit dem PKW fahren, ausschließlich zur Entsorgung der Abfälle zurückgelegt. Drei Viertel der Befragten gaben an, die Entsorgung nur am Weg zu anderen Zielen (Einkauf, etc.) zu erledigen. Die Distanz zur Sammelinsel wird laut Lebersorger et al. (2001, zit. bei Salhofer et al., 2002) mit 440 m festgelegt. Da 75 % den Weg zur Sammelinsel nicht primär zum Zweck der Entsorgung zurücklegen, wird lediglich ein „Umweg“ von 30 % der Strecke von der Haustür zum Ziel und retour einberechnet. Das gewichtete Mittel für T1 beträgt auf Basis dieser Annahmen 550 m. Laut Salhofer et al. (2002) ergibt sich ein Wert von 176 km/t für den Transport von Privaten zu den Altstoffsammelinseln. Da in Wien laut obiger Beschreibung Papier von 10 % der Haushalte mittels des Bringsystems entsorgt werden, erfolgt eine anteilige Zuweisung von 10 % der zurückgelegten Distanz und ergibt 55 m. Neben der betrachteten Verpackung werden auch andere Produkte entsorgt. Daher erfolgt eine anteilige Zurechnung von 10 % dieser Distanz auf das Produkt. Dies ergibt eine zurückgelegte Distanz im Bringsystem von 5,5 m, welche dem Produkt zugewiesen wird.

Tab. 8: Sammlung und Transport von Papier in Wien (Salhofer et al, 2002)

| Papier Wien | km/t | Nutzlast t | Auslastung | t pro Fahrzeug | km gesamt |
|-------------|------|------------|------------|----------------|-----------|
| T1 | | | | | 0,55 |
| T2 | 5,8 | 6,5 | 50 % | 3,3 | 18,85 |
| T3 | 3,6 | 10,0 | 50 % | 5,0 | 18,00 |
| T4 | 4,7 | 22,0 | 100 % | 22,0 | 103,40 |

Tab. 9: Sammlung und Transport von Papier im Bezirk Zwettl (Salhofer et al, 2002)

| Papier Zwettl | km/t | Nutzlast t | Auslastung | t pro Fahrzeug | km gesamt |
|---------------|------|------------|------------|----------------|-----------|
| T1 | | | | | |
| T2 | 12,7 | 7,5 | 50 % | 3,8 | 47,63 |
| T3 | 3,6 | 10,0 | 50 % | 5,0 | 18,00 |
| T4 | 4,7 | 22,0 | 100 % | 22,0 | 103,40 |

Die in Tab. 8 und Tab. 9 dargestellten Sammlungs- und Transportdistanzen von Papier werden der Studie von Salhofer et al. (2002) entnommen. Anhand dieser Daten und der ebenfalls in der Studie angeführten Daten zu den Sammelfahrzeugen und deren Auslastung, werden die je Sammlungs- bzw. Transportfahrt zurückgelegten km errechnet. Diese Transportdistanzen dienen als Grundlage für die Berechnung, der durch die Abfallsammlung und den Transport entstandenen Emissionen.

Laut Schwarz et al. (2015) beträgt die Transportdistanz von Restmüll im städtischen Gebiet 40 km und im ländlichen Gebiet 120 km. Die zurückgelegte Sammeldistanz ist in diesen Werten nicht enthalten. Da in Wien der Restmüll von der Sammelroute ohne Umladen und Zwischenstation direkt zu der jeweiligen Müllverbrennungsanlage gebracht wird (Kloud, 2016), erscheint die Transportdistanz von 40 km relativ hoch. Daher wird eine Überprüfung dieser Daten mittels eigener Berechnung durchgeführt.



Abb. 10: Garagen und Dependancen der MA 48

Die Standorte der Garagen und Dependancen der MA 48 sind in Abb. 10 dargestellt. Die roten Markierungen zeigen die Garagen bzw. Dependancen, exklusive jener in der Lobau, welche nur für Bioabfallsammelfahrzeuge verwendet wird. Die grünen Markierungen zeigen die MVA Spittelau, die MVA Pfaffenau und die MVA Flötzersteig zu denen die Abfälle transportiert werden.

Die Garagen und Dependancen sind über ganz Wien verteilt, um die Anfahrten zu den Zielgebieten kurz zu halten (MA 48, 2015). Ausgehend von den Garagen bzw. Dependancen wird die Distanz zum Sammelstartpunkt berechnet. Das Fahrzeug ist auf dieser Strecke leer. Die Sammeldistanz wurde anhand der Studie von Larsen et al. (2009) berechnet. In der Studie wurde ein Treibstoffverbrauch von 3 – 3,1 Liter Diesel/Tonne gesammelter Abfall im urbanen Gebiet ermittelt. Da aus der Studie die Sammeldistanzen nicht hervorgehen, werden diese basierend auf dem angegebenen Treibstoffverbrauch Liter/Tonne ermittelt. Der Treibstoffverbrauch je km wird laut Literatur in der Höhe von 0,36 l Diesel / km angenommen (Geimer und Synek, 2011). Anhand des Treibstoffverbrauches je Tonne und des Treibstoffverbrauches je km erfolgt die Ermittlung der Anzahl der zurückgelegten km je Tonne. Diese ergibt im

städtischen Gebiet 8,33 – 8,61 km/Tonne. Die Dichte des Abfalls kann aufgrund von verwendeten integrierten Presssystemen in den Sammelaufwänden erhöht werden. Die Dichte des verdichteten Abfalls wird laut Urban et al. (2005) mit 250 kg/m³ angenommen. Ohne den Pressvorgang hat Restmüll eine geringere durchschnittliche Dichte von 130 kg/m³ (Frohner und Punesch, 2015). Es wird - mangels verlässlicher Literaturangaben zu diesem Thema - vereinfacht eine Auslastung von 0 % zu Beginn der Sammelstrecke, eine Auslastung von 100 % am Ende der Sammelstrecke und eine durchschnittliche Auslastung von 50 % angenommen. Unter Berücksichtigung des Ladevolumens des Sammelfahrzeuges und der Dichte des Abfalls von 250 kg/m³ wird die maximale Ladekapazität von 4.500 kg berechnet. Bei einer Auslastung von 50 % ergibt dies 2,25 t je Fahrzeug. Durch Multiplikation dieses Wertes mit den transportierten km je Tonne ergibt sich die durchschnittliche Transportdistanz je Sammlung von 19,1 km im städtischen Bereich. Es folgt eine Berechnung der Distanz vom Ende der Sammelstrecke zur Müllverbrennungsanlage, wo das Fahrzeug entladen wird und dann wieder zurück zur Garage bzw. zur Dependance (G/D) fährt. Die Berechnung ergibt, wie in Tab. 10 dargestellt, eine mittlere Transportdistanz von 3,2 km von der Garage zum ersten Sammelpunkt, 19,1 km für die Sammlung, 6,1 km vom letzten Sammelpunkt zur MVA und 10 km von der MVA zur Garage bzw. Dependance. Die Gesamtdistanz für die Sammlung und den Transport von Restmüll in Wien beträgt 38,4 km. Verglichen mit den Werten von Schwarz et al. (2015) sind die erhobenen Distanzen des Abfalltransportes niedriger.

Tab. 10: Sammel- und Transportdistanzen von Restmüll in Wien

| Strecke | G/D - Sammelstelle | Sammlung | Sammelstelle - MVA | MVA-G/D |
|------------------------------------|-----------------------|----------|-----------------------|---------|
| Auslastung | 0 % | 50 % | 100 % | 0 % |
| Durchschnittliche Distanz in km | 3,2 km | 19,1 km | 6,1 km | 10 km |

G/D ... Garage/Dependance

Die Berechnung der Sammeldistanz der Abfälle im Bezirk Zwettl erfolgt nach dem gleichen Schema wie jene in Wien. Der Treibstoffverbrauch beträgt laut Larsen et al. (2009) 6,3 Liter Diesel/Tonne in ländlichen Gebieten. Die Berechnung, wie oben erläutert, ergibt für den ländlichen Bereich eine Sammeldistanz von 45 km. Die Transportdistanzen wurden laut Angaben eines privaten Entsorgungsunternehmens berechnet. Nach der Sammlung wird der im Sammelfahrzeug komprimierte Abfall zur Umladestation gebracht. Von dort aus erfolgen der Transport der Abfälle zur MVA nach Dürnrohr und der anschließende Leertransport zur Garage (G). Auf Basis dieser Informationen werden die Transportdistanzen mittels Google Maps berechnet. Diese können der Tab. 11 entnommen werden.

Tab. 11: Sammel- und Transportdistanzen von Restmüll in Zwettl (Quelle: anonym, 2016/eigene Berechnungen)

| Strecke | G - Sammelstelle | Sammlung | Sammelstelle - Umladestation | Umladestation- MVA | MVA-G |
|------------------------------|---------------------|----------|---------------------------------|-----------------------|---------|
| Auslastung | 0 % | 41,25 % | 82,5 % | 100 % | 0 % |
| Durchschnittliche Distanz | 27,0 km | 45,0 km | 27,2 km | 74,3 km | 74,3 km |

Bei Gewerbebetrieben wird für die Sammlung von Papier (T2) in suburbanen Regionen eine Distanz von 29,6 km/t angenommen (Salhofer et al, 2002). Dieser, im Vergleich zur kommunalen Sammlung von Papier, relativ hohe Wert wird laut

Salhofer et al. (2002) dadurch begründet, dass nur ein Zehntel der Haushaltsmengen an Altpapier gesammelt werden und hierfür eine deutlich größere Distanz zurückgelegt wird. Die weiteren Transporte der Gewerbepapierabfälle betragen: T3 (Transport zur Sortieranlage) 3,6 km/t und T4 (Transport zum Verwerter) 4,7 km/t.

Die im Zuge der Arbeit betrachteten Holzpaletten werden vom Transportunternehmen nach mehrfacher Wiederverwendung entsorgt. Laut der Umweltbundesamt GmbH (2015a) wird Holz im gewerblichen Bereich größtenteils der innerbetrieblichen, thermischen Verwertung zugeführt. Daher wird mangels anderer verlässlicher Literaturquellen eine innerbetriebliche Verwertung und somit eine Transportdistanz der Abfallentsorgung von 0 angenommen.

Tab. 12: Zusammenfassung Sammel- und Transportwege der Abfälle in km/t

| Transportaufwand | Sammelsystem | km/t | km/t | km/t | km/t | km/t | Quelle |
|-----------------------|-----------------------------|-------|------|------|-------|------|------------------------|
| Szenario | | T4 | T3 | T2a | T2 | T1 | |
| Papier Kommunal | | | | | | | |
| Wien | Holsystem, tlw. Bringsystem | 4,7 | 3,6 | | 5,8 | 176 | Salhofer et al. (2002) |
| Zwettl | Holsystem | 4,7 | 3,6 | | 12,7 | | Salhofer et al. (2002) |
| Papier Gewerbebetrieb | | | | | | | |
| Zwettl | Holsystem | 4,7 | 3,6 | | 29,6 | | Salhofer et al. (2002) |
| Restmüll | | | | | | | |
| Wien | Holsystem | 3,6 | | | 9,9 | | Eigene Erhebungen |
| Zwettl | Holsystem | 15,73 | | 6,97 | 31,45 | | Eigene Erhebungen |
| Holz Gewerbebetrieb | | | | | | | |
| Zwettl | | 0 | | | | | Umweltbundesamt (2015) |

5.3.3.2 Abfalltransportfahrzeuge und Auslastung

Transportfahrzeuge Papier

Für den Transport von Papier im Bringsystem (T1) wird davon ausgegangen, dass dieser mit einem PKW erfolgt. Im Holsystem erfolgt die Sammlung von Altpapier (T2) im haushaltsnahen Bereich bzw. im näheren Bringsystem mit einem Presssammelfahrzeug mit einer Nutzlast zwischen 6 und 9 Tonnen. Im Fall eines weiteren Bringsystems (Recyclinghof), sowie im gewerblichen Bereich werden Presscontainer mit einem Volumen von 10 m³ für den Transport von je 3 t Altpapier eingesetzt. Für den Transport des Papiers vom Sammler zur Sortieranlage (T3)

werden in der Praxis Pressmüllfahrzeuge oder Presscontainer verwendet. Die Auslastung beträgt bei der Hinfahrt 100 % und die Rückfahrt erfolgt leer. Die Nutzlast des Fahrzeuges für den Transport zur Sortieranlage (T3) wird laut MA 48 (2016a) mit 10 Tonnen festgelegt. Für den Transport (T4) des Papiers zum Verwerter wird ein LKW mit 40 t höchstzulässigem Gesamtgewicht und rund 22 t Nutzlast angenommen. Der Auslastungsgrad beträgt 100 %, weil laut Salhofer et al. (2002) angenommen wird, dass der LKW bei der Rückfahrt eine andere Fracht übernimmt. Für den Transport zum Verwerter wird laut Literatur auch die Bahn (46 %) verwendet. Aufgrund des geringen für diese Arbeit relevanten Abfallstroms (nur wenige g), wird zur Vereinfachung nur der Transport mit dem LKW betrachtet (Salhofer et al., 2002).

Transportfahrzeuge Restmüll

Die MA 48 verwendet für die Restmüllsammlung Fahrzeuge mit einem Trommelvolumen von 18 m³, einer Nutzlast von 12.350 kg und einem Gesamtgewicht von 26 t (MA 48, 2016b). Die Auslastung der Fahrzeuge schwankt deutlich und hängt von verschiedenen Faktoren ab. Die zur Verfügung stehende Arbeitszeit stellt einen limitierenden Faktor da (Kloud, 2016). In Zwettl wird der Restmüll in Sammelfahrzeugen mit einer durchschnittlichen Nutzlast von 8,2 Tonnen und einem Volumen von 18,9 m³ gesammelt. Bei der Sammlung kann eine Auslastung zwischen 80 und 85 % erreicht werden (Anonyme Quelle, 31.05.2016). Für die Berechnung wurde der Durchschnitt (82,5 %) herangezogen. Für den Transport von der Umladestation zur MVA wird - mangels verlässlicher Literaturangaben zu diesem Thema - eine Auslastung von 100 % angenommen.

5.3.4 Emissionen durch Transporte im PKW

Die Emissionen sind innerhalb der EU durch gesetzlich festgelegte Emissionsstandards begrenzt. Beim Neukauf von Fahrzeugen müssen für die Emission von Kohlenwasserstoff (HC), NO_x, Kohlenwasserstoff und Stickstoffoxide (HC+NO_x), Aerosole (PM) die im Folgenden dargestellten Emissionsgrenzwerte eingehalten werden und sind Grundlage für die Berechnung der Transportemissionen (Ecopoint Inc., 2016).

Tab. 13: EU Emissionsgrenzwerte für Benzin Autos (in g/km)

| | Inkrafttreten | CO | HC | NO _x | HC+NO _x | PM | PN |
|--------|---------------|--------------------------|------|-----------------|--------------------|-------|------------------------|
| Euro 1 | 1992 | 2,72 (3,16) ¹ | - | - | 0,97 (1,13) | - | - |
| Euro 2 | 1996 | 2,2 | - | - | 0,5 | - | - |
| Euro 3 | 2000 | 2,30 | 0,20 | 0,15 | - | - | - |
| Euro 4 | 2005 | 1,00 | 0,10 | 0,08 | - | - | - |
| Euro 5 | 2009 | 1,00 | 0,10 | 0,06 | - | 0,005 | - |
| Euro 6 | 2014 | 1,00 | 0,10 | 0,06 | - | 0,005 | 6,0 x 10 ¹¹ |

Tab. 14: EU Emissionsgrenzwerte für Diesel Autos (in g/km)

| | Inkrafttreten | CO | NO _x | HC+NO _x | PM | PN |
|--------|---------------|-------------|-----------------|--------------------|-------------|----------------------|
| Euro 1 | 1992 | 2,72 (3,16) | - | 0,97 (1,13) | 0,14 (0,18) | - |
| Euro 2 | 1996 | 1,0 | - | 0,7 | 0,08 | - |
| | 1996 | 1,0 | - | 0,9 | 0,10 | - |
| Euro 3 | 2000 | 0,64 | 0,50 | 0,56 | 0,050 | - |
| Euro 4 | 2005 | 0,50 | 0,25 | 0,30 | 0,025 | - |
| Euro 5 | 2009 | 0,50 | 0,18 | 0,23 | 0,005 | - |
| Euro 6 | 2014 | 0,50 | 0,08 | 0,17 | 0,005 | 6,0*10 ¹¹ |

¹ Die Werte in den Klammern sind die Übereinstimmung der Produktionslimits.

Tab. 15: Personenkraftwagen in Österreich Stand 31.12.2015

| Personenkraftwagen | absolut | Anteil in % |
|-------------------------------|-----------|-------------|
| Benzin | 2.019.139 | 42,53 % |
| Diesel | 2.702.922 | 56,93 % |
| Elektro | 5.032 | 0,11 % |
| Flüssiggas | 1 | 0,00 % |
| Erdgas | 2.475 | 0,05 % |
| Benzin/Flüssiggas (bivalent) | 311 | 0,01 % |
| Benzin/Erdgas (bivalent) | 2.300 | 0,05 % |
| Benzin/Elektro (hybrid) | 14.785 | 0,31 % |
| Diesel/Elektro (hybrid) | 1.077 | 0,02 % |
| Wasserstoff (Brennstoffzelle) | 6 | 0,00 % |
| Summe | 4.748.048 | |

In Tab. 15 sind die in Österreich verwendeten Typen von Personenkraftwagen aufgelistet. Beinahe 57 % der PKW werden mit Diesel betrieben und rund 43 % mit Benzin (Statistik Austria, 2016b). 87 % der 2014 in Österreich verkauften Autos entsprachen dem Euro 5 Standard, welcher in der gegenständlichen Arbeit als Grundlage für die Berechnungen der Emissionen dient. Da Autos bzw. Lastkraftwagen niedrigerer Euro Standards deutlich höhere Emissionen aufweisen, wird mittels einer Sensitivitätsanalyse analysiert, ob der Einsatz von Fahrzeugen mit anderen Euro Standards erheblichen Einfluss auf das Ergebnis hat (Mock, 2015).

5.3.5 Emissionen durch Transporte im LKW

Tab. 16: EU Emissionsgrenzwerte für Diesel LKW (in g/kWh)

| | Inkrafttreten | CO | HC | NOx | PM | PN |
|---------------|--------------------|-----|------|------|-------|---------------------|
| Euro 1 | 1992, \leq 85 kW | 4,5 | 1,1 | 8,0 | 0,612 | |
| | 1992, > 85 kW | 4,5 | 1,1 | 8,0 | 0,36 | |
| Euro 2 | 1996 | 4,0 | 1,1 | 7,0 | 0,25 | |
| | 1998 | 4,0 | 1,1 | 7,0 | 0,15 | |
| Euro 3 | 1999 | 1,5 | 0,25 | 2,0 | 0,02 | |
| | 2000 | 2,1 | 0,66 | 5,0 | 0,10 | |
| Euro 4 | 2005 | 1,5 | 0,46 | 3,5 | 0,02 | |
| Euro 5 | 2008 | 1,5 | 0,46 | 2,0 | 0,02 | |
| Euro 6 | 2013 | 1,5 | 0,13 | 0,40 | 0,01 | $8,0 \cdot 10^{11}$ |

In Österreich werden fast ausschließlich Diesel betriebene Lastkraftwagen (LKW) verwendet. Diese emittieren unter anderem Stickoxide und Staub und führen zu einer Verschlechterung der Luftqualität (Umweltbundesamt GmbH, 2016b). Die durch die Euroklassen vorgegebenen Emissionsgrenzwerte sind in Tab. 16 angeführt.

Die Versendung der Pakete des Online Shops erfolgt über die Österreichische Post. Mit 4.011 sind 50 % der Fahrzeuge in der Emissionsklasse Euro 5 eingestuft und 3.066 Fahrzeuge (38 %) entsprechen der Klasse Euro 4. Die restlichen 12 % des Fuhrparks sind Fahrzeuge der Klasse Euro 2, Euro 3, Euro 5 EEV und Euro 6 (Kollouch et al., 2015). Die Berechnung der Emissionen durch die Zustellungen der Post erfolgt auf Basis der Euro 5 Emissionsklasse. Die Auslastung der Lieferfahrzeuge wird mit 60,7 % angenommen (Leonardi und Baumgartner, 2004). Mit Hilfe der Auslastung und dem maximalen Nutzvolumen wird der Anteil des Produktes an der Transportdistanz berechnet. Anhand der Maße der Fahrzeuge laut Literatur wird das Volumina berechnet und der Anteil des Produktes an den Transportemissionen (Langer Transport Service, 2016).

Die Entsorgung der Abfälle in der betrachteten ländlichen Region wird durch die Firma Brantner durchgeführt. Diese gibt an bei der Neuanschaffung nur Fahrzeuge der neuesten Kategorie zu kaufen (Brantner Walter GmbH, 2016). Die zuständige Magistratsabteilung der Stadt Wien gibt ebenfalls an, seit 2013 nur LKWs der Euroschadstoffklassen 6 zu kaufen. Ein großer Teil des Fuhrparkes entspricht der Euro Klasse 5 (Scheiber und Göd, 2015). Auf Basis dieser Angaben werden für die Berechnung der Umweltauswirkungen durch die Sammlung und den Transport der Abfälle LKWs der Euroklasse 5 herangezogen.

5.4 Herstellung und Verwertung der Verpackungen

Im Folgenden wird auf die Herstellung der Packstoffe und deren Verwertung eingegangen. Es wird im jeweiligen Abschnitt auch der verwendete Datensatz für die Modellierung erläutert.

5.4.1 Papier

Papier kann entweder aus Primärfasern oder aus Sekundärfasern hergestellt werden. Das getrennt gesammelte Altpapier wird, nach einer Aufbereitung und der Entfernung von Schmutzstoffen (z.B. Farbe), erneut in den Papierproduktionsprozess eingebracht. Diese Aufbereitung ergibt als Endprodukt Sekundärfasern, welche bei der Produktion von Papier die Primärfasern ersetzen. Da die Fasern durch jeden Recyclingprozess kürzer und brüchiger werden, können sie nur bis zu 7 Mal wiederverwendet werden und müssen dann durch neue Holzfasern ersetzt werden (Austropapier, 2016). Der Einsatz von Altpapier zur Erzeugung von Recyclingpapier ist von der Papiersorte abhängig. Für die Herstellung von Faltschachtelkarton und Pappe werden 80,1 %, für Druck- und Schreibepapiere 23,5 % und für Verpackungspapiere 54,6 % Altpapier eingesetzt (Austropapier, 2014). Neben dem Altpapier werden für die Aufbereitung des Altpapiers unterschiedliche Energiesysteme, Energieträger und deren Bereitstellung, Chemikalien und ihre Herstellung und Transporte einberechnet (Salhofer et al., 2002). Auf eine detaillierte Beschreibung der erforderlichen Prozessschritte wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet, weil die Herstellung der Packstoffe nicht den Hauptaspekt dieser Arbeit darstellt. Für die Darstellung des Prozesses der Herstellung des Kartons in GaBi und der damit einhergehenden Berechnung wird auf den bereits vorhandenen Datensatz *EU-25: Wellpappekartons ELCD/FEFCO (Verpackung)* zurückgegriffen. Dieser Datensatz repräsentiert die durchschnittliche in Europa verwendete Technologie zur Kartonproduktion. Der Datensatz basiert auf einer Verwendung von Recyclingfaser im Rahmen von 83,4 % der gesamt verwendeten Fasern. Der Datensatz wird als passend erachtet, weil alle Prozesse der Kartonerzeugung integriert sind und auch der Anteil der Recyclingfasern mit den in der Literatur ermittelten Werten übereinstimmt. Das für die Broschüre bzw. für die Papiertragetasche verwendete Papier wird mittels des Datensatzes *Recyclingpapier mit Deinking (CH, BUWAL)* dargestellt. Da sowohl die Tragetasche, als auch die Broschüre bedruckt sind, müssen diese einem Deinkingprozess zugeführt werden. Daher wird der Datensatz mit Deinking gewählt.

Aufgrund der Fehlwürfe werden in Wien 67 % der Papierabfälle inklusive Karton der stofflichen und 33 % der thermischen Verwertung zugeführt (Volk et al., 2012). In Zwettl wird aufgrund des von Punesch (2016) beschriebenen Erfassungsgrades von Papier eine stoffliche Verwertung von 90 % Papier bzw. Karton und eine thermische Verwertung von 10 % Papier bzw. Karton angenommen (Punesch, 2016). Für die Sortierung der Abfälle werden je 1.300 kg 3,64 kWh elektrische Energie benötigt (Salhofer et al., 2002). Diese wird den Szenarien anteilig zugerechnet.

5.4.2 Kunststoff

Die Erzeugung von Kunststoffen erfolgt unter anderem mit Zellulose, Kohle, Gas, Salz und vor allem Erdöl. Der Destillierungsprozess in einer Ölraffinerie ist der erste Schritt der Herstellung von Kunststoff. Während dieses Prozesses erfolgt eine Abtrennung des schweren Erdöls von leichteren Gruppen. Die Polymerisation und die Polykondensation sind die bedeutendsten Prozesse der Kunststoffherstellung. Monomere wie beispielsweise Ethylen und Propylen werden zu langen Polymerketten

verknüpft (Plastics Europe, 2016). Die Wickelfolie gehört zur Gruppe der Thermoplasten, welche durch Erwärmen erweichen und beim Abkühlen erhärten (Nentwig, 1994). Die durch die Herstellung der Kunststoffolie emittierten Emissionen werden mittels des Datensatzes *RER: Polyethylen-Folie (PE-LD) PlasticsEurope* berechnet. Der Datensatz umfasst alle relevanten Prozessschritte der Herstellung der Wickelfolie mittels eines Cradle to Gate (Wiege bis zum Tor) Ansatzes und basiert hauptsächlich auf Industriedaten aus Europa.

Da es in den betrachteten Regionen wie im Kapitel 0 beschrieben keine getrennte Erfassung der Wickelfolien von Haushalten gibt, erfolgt eine Sammlung über den gemischten Siedlungsabfall. Die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Kunststoffolien werden durch die kommunale Sammlung erfasst und mit dem Restmüll verbrannt.

5.4.3 Holz

In Österreich wird Holz bzw. Rückstände aus der Bearbeitung und der Verarbeitung von Holz entweder stofflich verwertet oder unter der Nutzung der Energieinhalte verbrannt (Umweltbundesamt GmbH, 2015a). In der gegenständlichen Arbeit wird aufgrund von Erfahrungen aus der gängigen Praxis von einer Verbrennung der relevanten Holzpaletten ausgegangen. Da es sich um Mehrwegpaletten handelt werden diese rund 20-mal wiederverwendet (persönliche Mitteilung einer Expertin). Daher wird die Herstellung und die Entsorgung des Holzes nur

5.4.4 Restmüll

Die für den Transport eingesetzte Wickelfolie und die Fehlwürfe des Papiers und der Kartonagen werden im Restmüll erfasst.

Bei der Verbrennung von Abfällen kann Energie gewonnen werden, welche Primärenergie substituiert. Im Falle einer Kraft-Wärme-Kopplung wird zusätzlich die im Zuge der Stromerzeugung entstehende Abwärme als Fernwärme genutzt. Dies ist wegen einer kombinierten Nutzung der Gasturbine und der Dampfturbine möglich. Der Gesamtwirkungsgrad der Kraft-Wärmekopplung beträgt bis zu 86 % (Wien Energie, 2015). Die Müllverbrennungsanlagen in Wien erreichen einen Gesamtwirkungsgrad zwischen 76 % und 83 % (Wien Energie, 2016).

Tab. 17: Heizwerte der Abfallfraktionen

| Fraktion | Heizwert in kWh/kg | Quelle |
|-----------------|--------------------|-----------------------|
| Kunststoffolien | 12,2 | (Bauforumstahl, 2016) |
| Altpapier | 4,9 | (Bauforumstahl, 2016) |
| Restmüll feucht | 2,2 - 3 | (Gungl, 2012) |

Wie in Tab. 17 ersichtlich ist der Heizwert von Kunststoffolien und Papier höher als jener des Restmülls. Diese Fraktionen tragen zu einem hohen Heizwert der Abfallverbrennung bei und in weiterer Folge zur Energiegewinnung durch den Verbrennungsprozess (Umweltbundesamt GmbH, 2015a).

Für die Berechnung der Emissionen und des produzierten Stromes durch die Müllverbrennung werden die Datensätze *EU 27: Abfallverbrennung von Plastik (PE, PP, PS, PB) ELCD/CEWEP*, *EU-27: Abfallverbrennung von Holzprodukten (OSB, Spanplatten) ELCD/CEWEP* und *EU-27: Abfallverbrennung des Papieranteils im*

kommunalen Feststoffabfalls ELCD/CEWEP herangezogen. Die Datensätze beruhen nicht auf Daten einer realen MVA, sondern Durchschnittswerten europäischer Restmüllverwertungsanlagen. Die Verbrennung von einzelnen Fraktionen wie Papier oder Kunststoff entspricht nicht der Realität der Restmüllbehandlung in MVA. Die Abfälle werden homogenisiert, um einen konstanten Brennwert zu gewährleisten und um den Emissionsstandards entsprechen zu können. Allerdings ermöglicht die Darstellung der einzelnen Kategorien eine Zurechnung der Emissionen und der gewonnenen Energie zu den Fraktionen. Die Datensätze umfassen alle relevanten Prozessschritte der Verbrennung und basieren zu großen Teilen auf Industriedaten.

6. Vergleichsunternehmen

Da die Darstellung von nur einem Unternehmen eine sehr eingeschränkte Sicht auf die Realität bietet und einige Daten sehr branchenspezifisch sind, werden zusätzlich zur Fallstudie Daten des Unternehmens Deichmann - Obuwie Sp.z o.o. mit Sitz in Polen erhoben. Dies dient der Überprüfung ob und in welchen Belangen sich das untersuchte Unternehmen von anderen unterscheidet. Die Ergebnisse werden im Rahmen der Diskussion miteinbezogen. Der Fokus liegt hier auf der Erhebung von abfallwirtschaftlich relevanten Informationen. Weitere Prozesse wie beispielsweise die Transportwege wurden für das Vergleichsunternehmen nicht näher betrachtet.

Deichmann – Obuwie Sp.z. o.o. gehört zur Deichmann Gruppe, welche 1913 in Deutschland das erste Geschäft eröffnete. Inzwischen ist die Gruppe in 24 Ländern tätig. Die erste Verkaufsstelle in Polen wurde 1997 in Konin eröffnet (Deichmann, 2016). Die durch das Unternehmen vertriebenen Produkte sind hauptsächlich Schuhe, also Produkte bei denen die Passform entscheidend ist. Bei dem Unternehmen werden 98,5 % der Produkte über den stationären Handel und 1,5 % über den Online Shop vertrieben. Laut den Angaben des Unternehmens steigt die Anzahl der online verkaufte Produkte laufend. Für die Analyse wird der online Kauf eines Schuhs mit dem Kauf des gleichen Produktes in einer Filiale von Deichmann - Obuwie Sp.z o.o. verglichen.

6.1 Stationärer Handel Vergleichsunternehmen

Die über den konventionellen Handel vertriebenen Produkte werden in Umverpackungen an die Filialen geliefert. Eine Umverpackung enthält 10 Paar Schuhe in einzelnen Verkaufsverpackungen. Die Umverpackung des betrachteten Produktes wiegt 820 g und wird dem Produkt anteilig zugerechnet. Der Verkauf der Produkte im stationären Handel erfolgt in Kartonverpackungen. Zusätzlich bietet das Unternehmen unentgeltlich Tragetaschen aus Kunststoff für den Transport an. Dies wird von 99 % der Kunden in Anspruch genommen. Im stationären Handel werden jährlich ungefähr 3 % der gekauften Produkte wieder zurückgegeben (Musielak, 2016).

6.2 Onlinehandel Vergleichsunternehmen

Das Lager des Onlinehandels ist dasselbe wie jenes des stationären Handels. Die Produkte werden in Umverpackungskartons (820 g für 10 Produkte) an das Lager geliefert und von dort aus zu den Kunden des Onlinehandels versandt. Die Entsorgung der Umverpackungen erfolgt im Lager. Für den Versand der Produkte im Onlinehandel werden je nach Bestellung unterschiedliche Größen der Transportverpackungen eingesetzt. Diese wiegen zwischen 174 und 648 g. Im betrachteten Szenario der Bestellung nur eines Produktes wird der kleinste Karton mit einem Gewicht von 174 g eingesetzt. Zusätzlich zum Transportkarton sind die versendeten Schuhe in eine Verkaufsverpackung aus Karton eingepackt, welche allerdings - analog zu Sonnentor - nicht in die Betrachtung miteinbezogen wird. Der Bestellung wird Informationsmaterial aus Papier mit einem Gewicht von 15 +g beigelegt. Im Onlinehandel werden 1,84 % der online gekauften Waren wieder zurückgeschickt (Musielak, 2016).

7. Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die möglichen Auswirkungen durch den Kauf eines Produktes über den Onlinehandel bzw. den stationären Handel von Sonnentor auf die Abfallwirtschaft beschrieben. Es folgt eine Erläuterung der Wirkungsabschätzung und eine Interpretation der Ergebnisse.

7.1 Auswirkungen der Vertriebswege auf die Abfallwirtschaft

Tab. 18: Abfälle (in g) der betrachteten Produkte je Vertriebsweg von Sonnentor und Deichmann

| | | Onlinehandel | | | stationärer Handel | | |
|-----------|---------------|--------------------|---------|------------------|--------------------|---------|------------------|
| | | Haushalts-sammlung | | Gewerbe-sammlung | Haushalts-sammlung | | Gewerbe-sammlung |
| | | Konsument | Filiale | Lager | Konsument | Filiale | Lager |
| Sonnentor | Papier/Karton | 176,85 | | 13,68 | 4,46 | 13,68 | |
| | Kunststoff | | | | | 0,29 | |
| | Holz | | | | | | 8,89 |
| Deichmann | Papier/Karton | 189,00 | | 82,00 | | 82,00 | |
| | Kunststoff | | | | 10,00 | | |
| | Holz | | | | | | |

Die anfallenden Abfälle je Vertriebsweg und Unternehmen können der Tab. 18 entnommen werden. Da die polnische Entsorgungspraxis im Rahmen dieser Arbeit keine Relevanz hat, wird für den Vergleich die Entsorgungspraxis von Sonnentor auch für Deichmann angenommen.

Im Szenario **Onlinehandel** werden bei Deichmann mehr Abfälle generiert. Im Lager erfolgt die Entsorgung des Umverpackungskartons, welcher dem Produkt anteilig zugerechnet wird. Das betrachtete Produkt des Unternehmens Deichmann ist deutlich größer als jenes von Sonnentor. Daher ist auch der dem Produkt zugerechnete Umverpackungskarton deutlich größer und schwerer. Die durch den Onlinehandel beim Konsumenten anfallende Menge an Abfällen ist für die beiden Unternehmen annähernd gleich. Bei Sonnentor sind das die Broschüre, das Füllmaterial und der Transportkarton selbst. Bei Deichmann fallen zusätzlich zum Transportkarton Informationsmaterialien aus Papier beim Kunden an. Bei beiden Unternehmen werden die Verkaufsverpackungen der Produkte nicht miteinbezogen, da diese auch im stationären Handel eingesetzt werden.

Im Szenario des **stationären Handels** erfolgt beim Kunden ausschließlich die Entsorgung der Tragetasche. Da bei Deichmann annähernd 100 % der Kunden Tragetaschen des Unternehmens mit nach Hause nehmen, wird die betrachtete Tragetasche gänzlich dem Produkt zugeschrieben. Bei Sonnentor wird das Gewicht

der Tragetasche nur anteilig miteinberechnet, weil diese nur von einem geringen Teil der Kunden gekauft werden. In der Filiale erfolgt bei beiden Unternehmen die Entsorgung des Umverpackungskartons und bei Sonnentor zusätzlich die Wickelfolie.

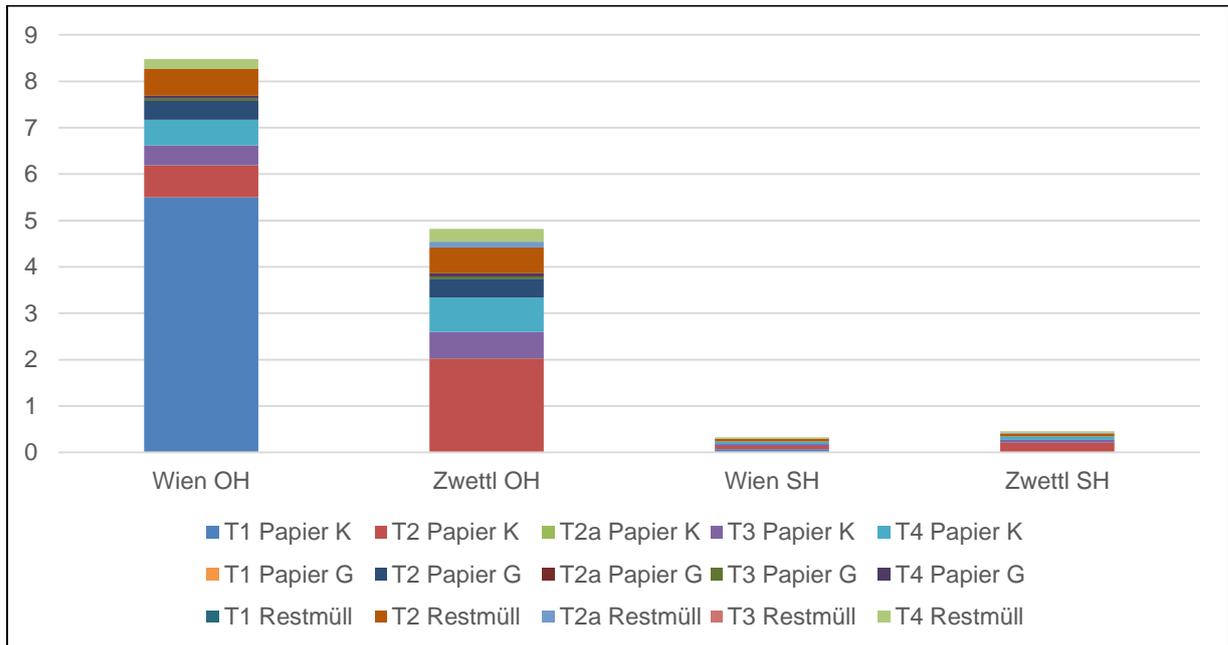


Abb. 11: Abfallsammel- und Transportdistanzen je funktioneller Einheit (Sonnentor) in m

K ... Kommunal

G ... Gewerbe

In Abb. 11 sind die Abfallsammel- und Transportdistanzen je Gewürz von Sonnentor dargestellt. Die km/t, in Tab. 12 dargestellt, werden den Abfällen anteilig zugerechnet und ergeben je Produkt, aufgrund der geringen Menge der Abfälle, nur Sammel- bzw. Transportdistanzen von wenigen Metern. Die höheren Abfallsammel- und Transportdistanzen des Onlinehandels lassen sich auf die größere Menge an Verpackungen dieses Vertriebsweges zurückführen. Der, verglichen zu den anderen Distanzen relativ hohe Wert T1 Papier kommunal in Wien, ergibt sich aufgrund der anteiligen Zurechnung der Privatfahrt im Bringsystem. Im Szenario Onlinehandel Bezirk Zwettl zeigt sich, dass die Sammlung der Papierabfälle (T2) die höchste Transportdistanz verursacht.

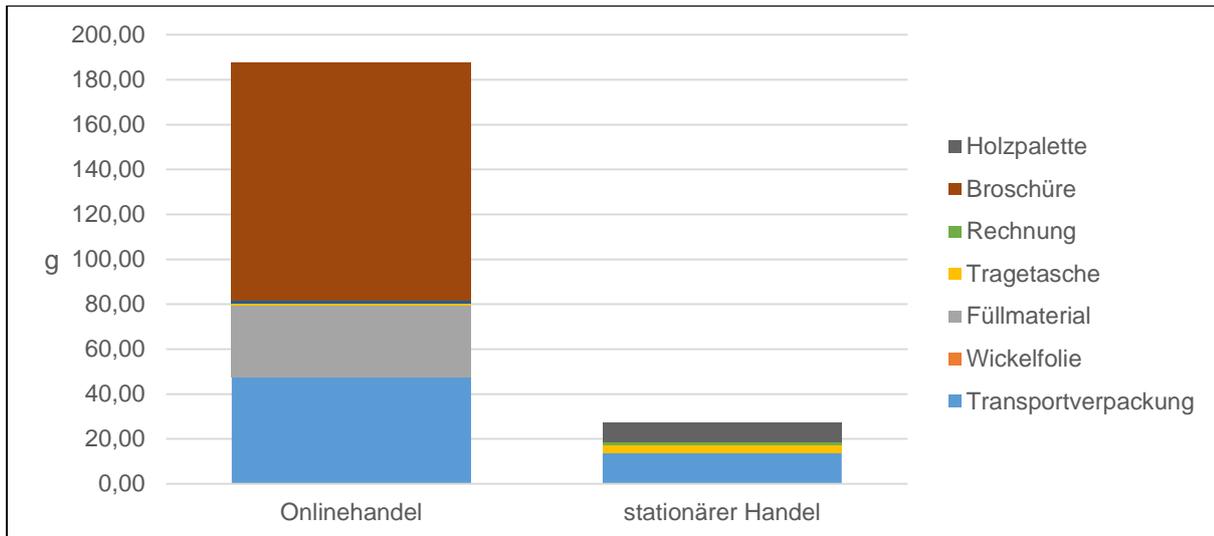


Abb. 12: Verwendete Verpackungen und sonstige Materialien je Vertriebsweg von Sonnentor in g

Wie sich in der gegenständlichen Arbeit zeigt und in Abbildung 12 dargestellt ist, fallen die Abfälle je nach Vertriebssystem in unterschiedlicher Menge an unterschiedlichen Orten an. Beim Onlinehandel wird ein Großteil der relevanten Abfälle beim Endkonsumenten erfasst und über die kommunale Sammlung entsorgt. Beim stationären Handel fallen die Abfälle in den Verkaufsfilialen der Unternehmen an. Diese werden teilweise, wie im Fall von Sonnentor, über die kommunale Sammlung entsorgt, aber andererseits auch über private Entsorger. Wie im Kapitel 2.2.1 bzw. 2.2.2 beschrieben, unterscheiden sich Abfälle je nach Anfallstelle in den Parametern Menge, Sortenreinheit, Abholfrequenz und Transportdistanz.

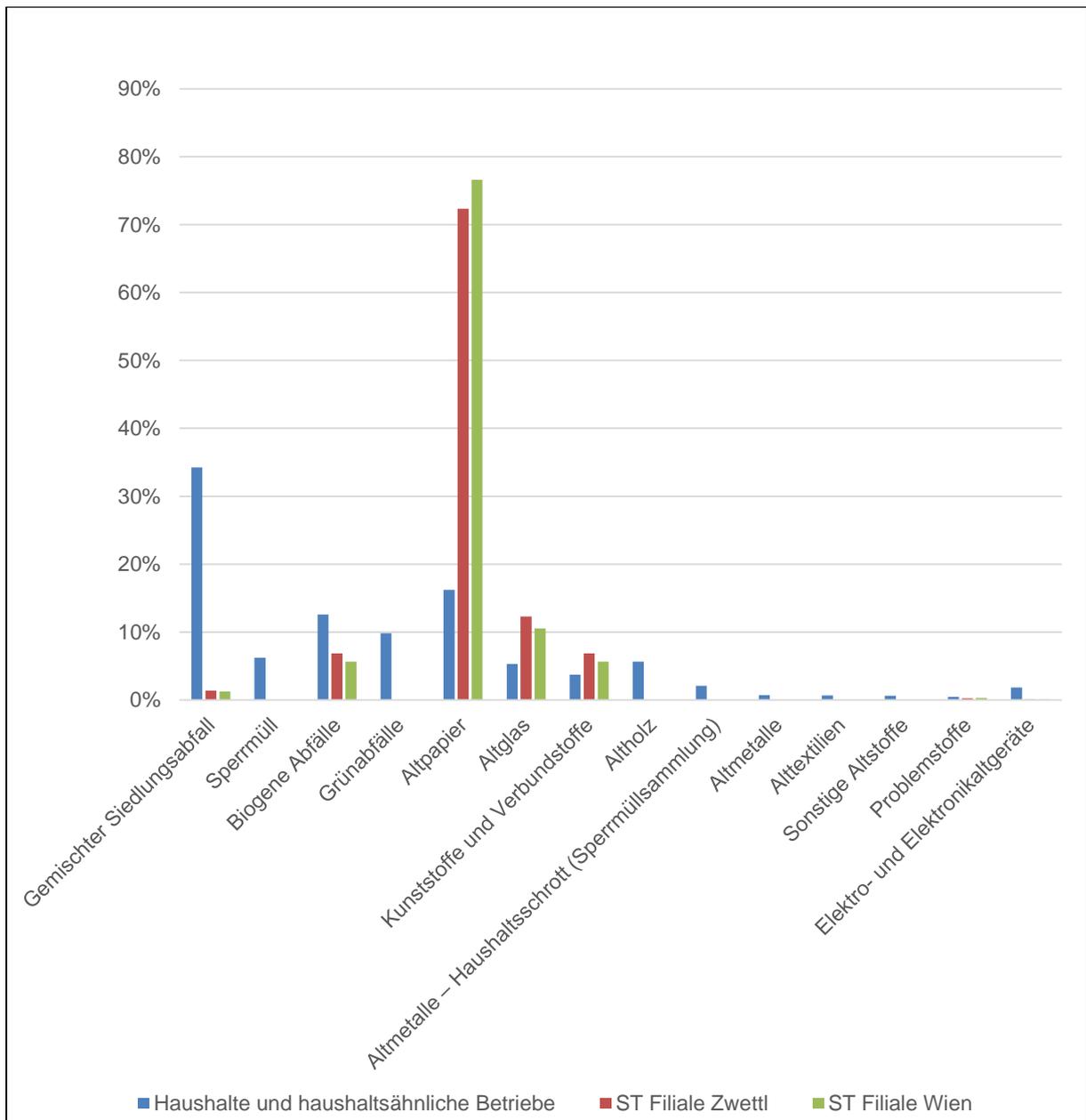


Abb. 13: Vergleich der Abfallzusammensetzung aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen nach Umweltbundesamt (2015) mit 2 Sonnentor Filialen

Abb. 13 zeigt einen Vergleich der anfallenden Abfälle inklusive Restmüll, Altstoffe, Problemstoffe und Elektrogeräte von zwei Sonnentor Filialen mit den kommunalen Abfällen (Umweltbundesamt GmbH, 2015). Die Abfälle des Unternehmens werden über die kommunale Sammlung entsorgt, weil das Unternehmen als haushaltsnah eingestuft ist. Wie der Abb. 13 entnommen werden kann, gibt es deutliche Unterschiede des Abfallaufkommens. In den Sonnentor Filialen setzt sich der Abfall zu einem großen Teil (über 70 %) aus Altpapier zusammen, während bei den kommunalen Abfällen der größte Teil Siedlungsabfall ist. Es ist daher fraglich, ob die Einstufung als haushaltsnaher Abfall korrekt ist. Eine Umstellung auf die gewerbliche Entsorgung wäre vor allem in Zwettl, wie im Kapitel 5.3.3 dargestellt, mit höheren Transportdistanzen und somit mit einer höheren Umweltrelevanz verbunden. getrennte Sammlung der Wickelfolien wäre ebenfalls möglich. Eine Auswirkung auf das Ergebnis der Ökobilanz durch eine Umstellung auf die getrennte Sammlung ist aufgrund der geringen Mengen nicht zu erwarten.

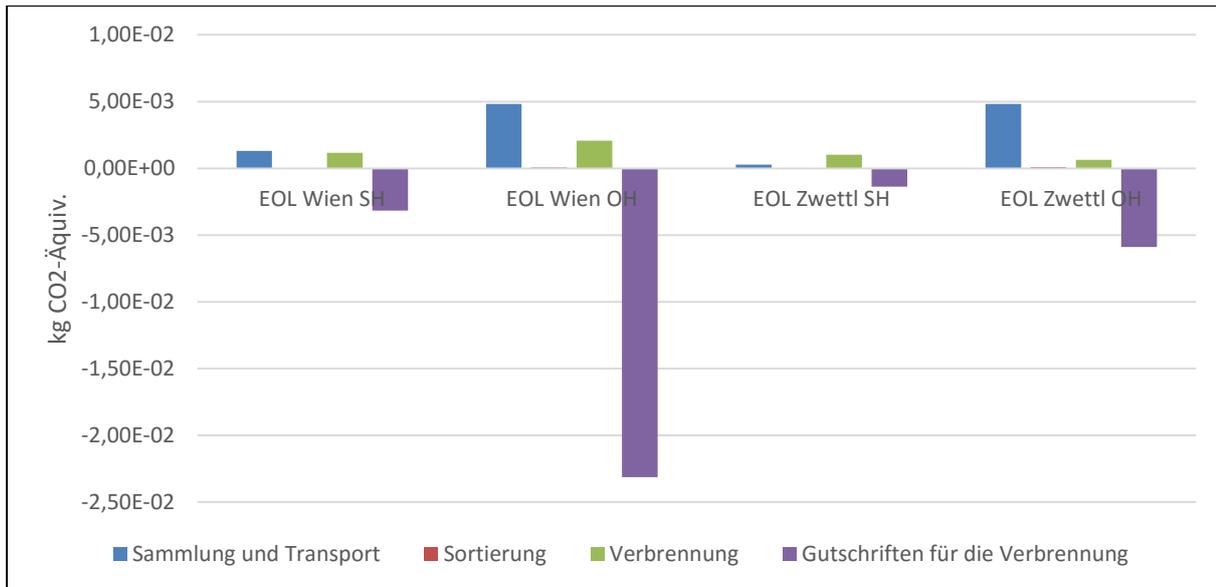


Abb. 14: Umweltauswirkungen der Entsorgungsprozesse in der Wirkungskategorie Klimawandel

Abb. 14 gibt eine Übersicht über die durch die Entsorgung von Verpackungen verursachten Emissionen in der Wirkungskategorie Klimawandel. Im Zuge der Sammlung und des Transportes der Abfälle wird ein Großteil der Emissionen verursacht. Durch die methodische Ergänzung der Gutschrift für die Energie durch den Verbrennungsprozess ergeben sich negative Emissionen in allen vier Szenarien. Durch den höheren Anfall von Abfällen im Bereich des Online Handels werden hier einerseits mehr Emissionen ausgestoßen, andererseits aber auch Strom produziert. Aufgrund der höheren Sortenreinheit in der Papiersammlung werden im Bezirk Zwettl im Vergleich zu Wien, geringere Mengen an Abfällen einer thermischen Verwertung zugeführt. Da in der Software keine Aufschlüsselung dieser Prozesse möglich ist, werden die Prozesse des Papierrecyclings nicht in den abfallwirtschaftlichen Prozessen erfasst. Die Emissionen werden der Papierherstellung zugeschrieben.

7.2 Ergebnisse und Interpretation der Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung wird mit ReCiPe 1.07 erstellt und bezieht sich ausschließlich auf Mittelpunktategorien.

Tab. 19: Übersicht über die besten Szenarien je Wirkungskategorie

| | Wien | Zwettl |
|------------------------------|--------------------|--------------------|
| Klimawandel | Onlinehandel | Onlinehandel |
| Ozonabbau | stationärer Handel | stationärer Handel |
| Photochemische Oxidation | stationärer Handel | Onlinehandel |
| Terrestrische Versauerung | stationärer Handel | Onlinehandel |
| Humantoxizität | Onlinehandel | Onlinehandel |
| Eutrophierung | stationärer Handel | Onlinehandel |
| Verbrauch fossiler Rohstoffe | Onlinehandel | Onlinehandel |

Tab. 19 gibt eine Übersicht über die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung des Basisszenarios. In Wien sind die Ergebnisse je Wirkungskategorie sehr unterschiedlich. In den Kategorien Klimawandel, Humantoxizität und Verbrauch fossiler Rohstoffe hat der Onlinehandel geringere Umweltauswirkungen. Der stationäre Handel ist in den Wirkungskategorien Ozonabbau, Photochemische Oxidation, Terrestrische Versauerung und Eutrophierung aus ökologischer Sicht zu bevorzugen. In Zwettl weist der Onlinehandel in allen Wirkungskategorien, abgesehen vom Ozonabbau, die geringeren Umweltauswirkungen auf.

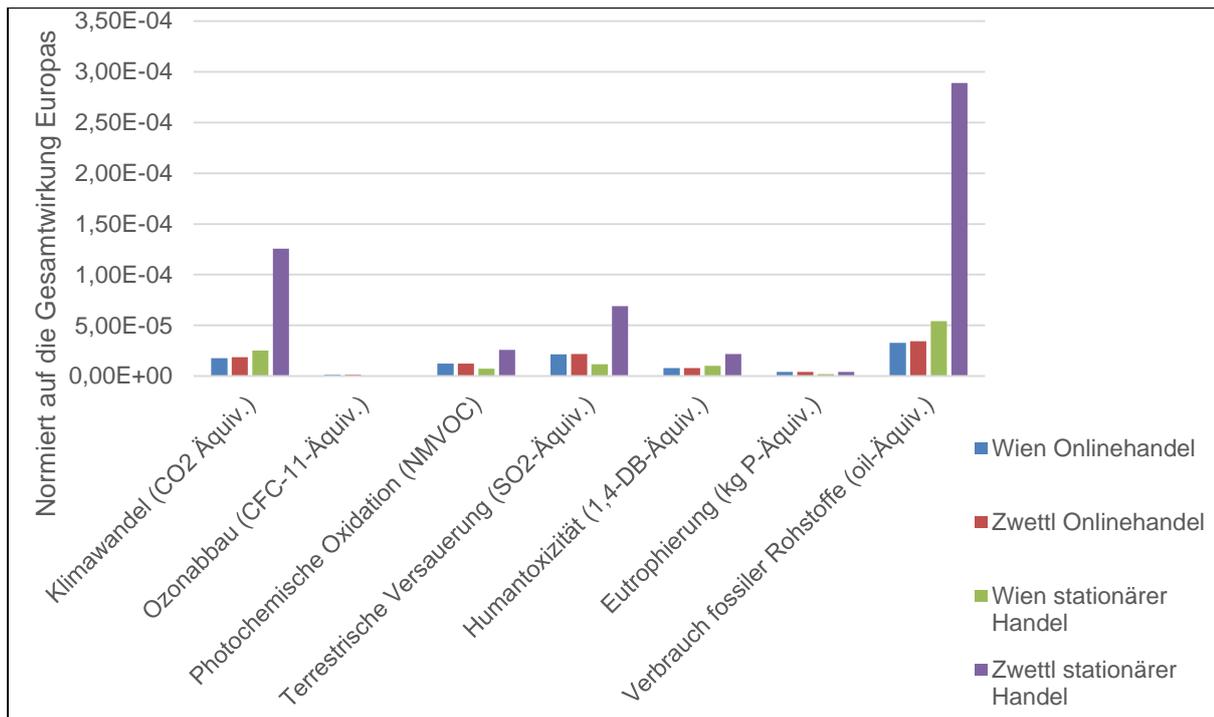


Abb. 15: Wirkungskategorien normiert

Abb. 15 zeigt eine Übersicht über die betrachteten Wirkungskategorien. Diese werden mit ReCiPe Mittelpunktnormierung Europa auf die europäische Gesamtwirkung normiert. Durch diese Methode ermittelte, hohe spezifische Beiträge weisen auf ein besonders hohes Umweltverbesserungspotential bei Reduktion des jeweiligen Indikators hin. Die Wirkungskategorie Verbrauch fossiler Rohstoffe hat in allen Szenarien die größten relativen Umweltauswirkungen. Die Kategorien Klimawandel und Terrestrische Versauerung weisen im Vergleich zu den restlichen Wirkungskategorien ebenfalls höhere Umweltauswirkungen auf. Daher wird diesen drei Wirkungskategorien im Folgenden besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Im Anhang werden alle in diesen Wirkungskategorien einberechneten Substanzen und deren Umrechnungsfaktoren angeführt. Zusätzlich wird die Wirkungskategorie Ozonabbaupotential, aufgrund der Abweichung des Ergebnisses von jenem der anderen Kategorien, näher betrachtet.

Die Ergebnisse der Kategorien Photochemische Oxidation und Eutrophierung weichen von jenen des Klimawandels und des Verbrauchs fossiler Ressourcen ab. In diesen Kategorien erfolgt folgende Reihung vom schlechtesten zum besten Ergebnis: Zwettl stationärer Handel, Zwettl Onlinehandel, Wien Onlinehandel und Wien stationärer Handel. Diese Ergebnisse finden sich ebenso in der Kategorie Terrestrische Versauerung wieder und werden im Rahmen einer näheren Betrachtung dieser Kategorie thematisiert.

Für ein besseres Verständnis der in den einzelnen Wirkungskategorien dominierenden Prozesse wird eine Dominanzanalyse erstellt. Alle Prozesse mit einem Anteil von über 30 % an den gesamten Umweltauswirkungen werden rot hervorgehoben. Details können der Tab. 20 entnommen werden.

Tab. 20: Dominanzanalyse der Wirkungskategorien

| Wirkungskategorie | Szenario | Energie PC Kunde | EOL Verpackungen | Herstellung Verpackungen | Privattransport Produkt | Transport Produkt Post | Transport Produkt LKW | Energie Filiale |
|--------------------------------------|-----------|------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|
| Klimawandel | Wien OH | 45 % | -4 % | 57 % | | 2 % | | |
| | Zwettl OH | 44 % | -1 % | 54 % | | 4 % | | |
| | Wien SH | | 0 % | 8 % | 54 % | | 0 % | 38 % |
| | Zwettl SH | | 0 % | 1 % | 92 % | | 0 % | 7 % |
| Terrestrische Versauerung | Wien OH | 16 % | -1 % | 85 % | | 1 % | | |
| | Zwettl OH | 16 % | 0 % | 83 % | | 1 % | | |
| | Wien SH | | -1 % | 17 % | 48 % | | 0 % | 34 % |
| | Zwettl SH | | 0 % | 3 % | 93 % | | 0 % | 5 % |
| Verbrauch fossiler Ressourcen | Wien OH | 52 % | -5 % | 50 % | 0 % | 2 % | | |
| | Zwettl OH | 50 % | -2 % | 48 % | 0 % | 5 % | | |
| | Wien SH | | -1 % | 7 % | 55 % | | 0 % | 38 % |
| | Zwettl SH | | 0 % | 1 % | 93 % | | 0 % | 6 % |
| Ozonabbaupotential | Wien OH | 0 % | 0 % | 100 % | | 0 % | | |
| | Zwettl OH | 0 % | 0 % | 100 % | | 0 % | | |
| | Wien SH | | 0 % | 94 % | 2 % | | 0 % | 3 % |
| | Zwettl SH | | 0 % | 93 % | 2 % | | 0 % | 3 % |

Um eine bessere Übersicht zu gewährleisten sind die Prozesse in Tab. 20 zusammengefasst dargestellt. Der Prozess Energie PC Kunde enthält die Energie für den Bestellvorgang sowie die anteilige Energie der Herstellung des Computers. Der Prozess EOL Verpackungen enthält die Sammlung und den Transport des getrennt erfassten Papiers und des Restmülls, sowie die Sortierung des getrennt erfassten Papiers. Die Verbrennung der Wickelfolie, der im Restmüll erfassten Papiermengen und des Holzes sind ebenfalls in diesem Prozess abgebildet. Der negative Wert ergibt sich aufgrund der Gutschriften für die im Zuge der Verbrennung entstandene Energie. Der Recyclingprozess der Papierverpackungen ist in dem Prozess Herstellung Verpackungen enthalten. Der Prozess Privattransport Produkt umfasst den Transport mit dem PKW und den öffentlichen Verkehrsmitteln. Die Transporte der Post sind im Prozess Transport Produkt Post zusammengefasst. Der Transport Produkt LKW umfasst den Transport der Produkte zu den Sonnentor Filialen. Die für den Betrieb der Filiale benötigte Energie wird anteilig im Prozess Energie Filiale zusammengefasst.

7.2.1 Klimawandel

In den Onlinehandel Szenarien dominieren in der Wirkungskategorie Klimawandel mit über 50 % die Prozesse der Verpackungsherstellung. Dies ist auf das im Zuge der Papierherstellung emittierten CO₂, CH₄ und N₂O zurückzuführen. Einen weiteren wesentlichen Einfluss auf die Umweltauswirkungen hat die für den Bestellvorgang benötigte Energie für den Betrieb des Computers beim Kunden. Da die Bereitstellung der Energie auf dem österreichischen Energiemix beruht, wirken sich die durch die verschiedenen Stromquellen emittierten Emissionen auf die Umwelt aus. Die den EOL Prozessen zugerechneten CO₂-Äquivalente zeigen aufgrund der Gutschriften für die in

den Verbrennungsprozessen entstandene Energie einen negativen Wert. Allerdings ist hier anzumerken, dass die Prozesse und die damit verbundenen Emissionen der Papierverwertung, abgesehen von der im Restmüll erfassten Menge, nicht in den EOL Prozessen enthalten sind. Diese werden direkt der Herstellung der Verpackungen zugerechnet.

Die Dominanzanalyse des stationären Handels zeigt ein differenziertes Bild. Wie in Tab. 20 ersichtlich, ist beim stationären Handel der Privattransport der Prozess mit der größten Umweltwirkung. Im Bezirk Zwettl können 92 % und in Wien 54 % der CO₂ Äquivalente dem Privattransport zugewiesen werden. Durch den Privattransport werden unter anderem CO₂, CH₄ und N₂O ausgestoßen. Diese wirken sich in der Wirkungskategorie Klimawandel erheblich aus.

Die für die Filiale benötigte Energie verursacht in Wien einen Anteil von 38 % und in Zwettl 7 % der Umweltauswirkungen in dieser Wirkungskategorie. Den weiteren Prozessen können in dieser Kategorie nur geringe Auswirkungen zugewiesen werden.

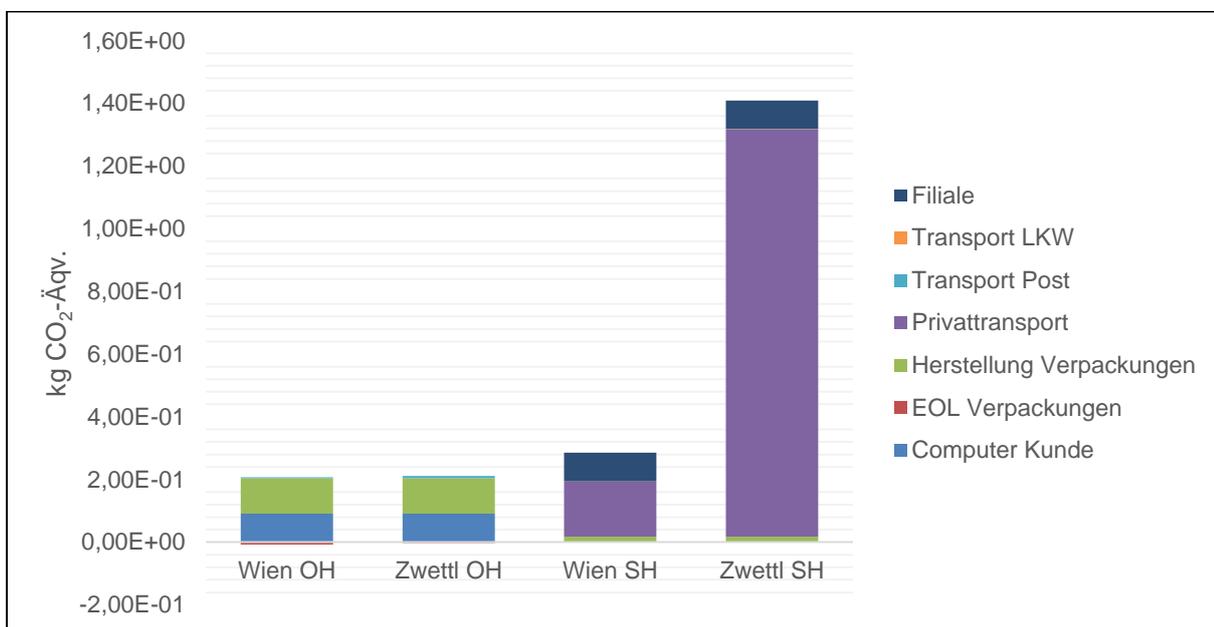


Abb. 16: Ergebnis der Wirkungskategorie Klimawandel

Wie der Abb. 16 entnommen werden kann ist im Vergleich zwischen Onlinehandel und stationärem Handel vor allem der Privattransport durch den Konsumenten ausschlaggebend. Aufgrund der höheren Transportdistanz zur Filiale in Zwettl zeigt sich, dass im Falle einer dünn besiedelten Region ein überdurchschnittlich großer Anteil der Emissionen auf diesen Prozess zurückzuführen ist. Dadurch ergibt sich der hohe Anteil des Privattransportes beim stationären Handel im dünn besiedelten Gebiet Zwettl. Im Falle eines Vergleiches zwischen Onlinehandel und stationärem Handel weist der traditionelle Vertriebsweg ein um einen Faktor 6,3 schlechteres Ergebnis auf, In Wien nur um einen Faktor 1,2. Über die ökologische Wirkung der für diese Arbeit relevanten EOL Prozesse ist auf Basis der Abb. 16 wegen der Dominanz der Privattransporte im Szenario Zwettl stationärer Handel keine Schlussfolgerung möglich. Es kann lediglich die Aussage getroffen werden, dass sie in diesem Zusammenhang nicht relevant erscheinen. Auch die Prozesse der Transporte mit dem LKW und der Transport der Post sind aufgrund des Maßstabes in Abb. 16 nicht ersichtlich. Daher wird im Folgenden ein Vergleich der Szenarien für Wien im Detail betrachtet.

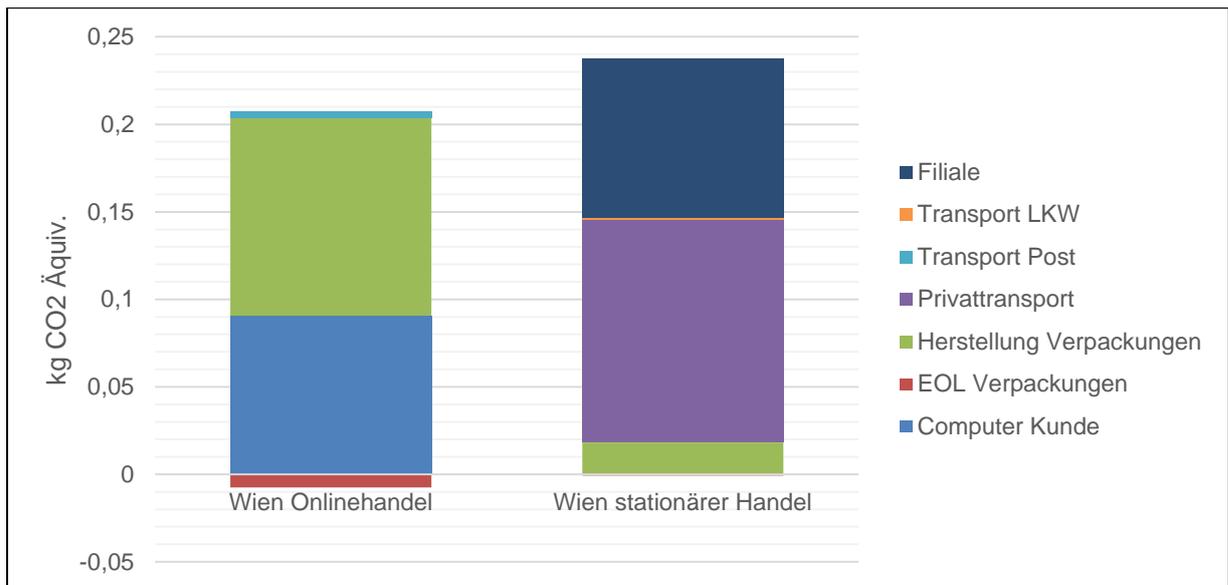


Abb. 17: Vergleich der Szenarien in Wien in der Wirkungskategorie Klimawandel

Die Skalierung der Abb. 17 erlaubt eine bessere Ansicht der übrigen Prozesse. Es zeigt sich, dass im Vergleich der beiden Szenarien der stationäre Handel in der Wirkungskategorie Klimawandel schlechter abschneidet. Allerdings ist diese Differenz nur gering. Es zeigt sich eine hohe Relevanz der Verpackungsherstellung im Onlinehandel. Diese inkludiert auch den Aufbereitungsprozess des Altpapiers. Im stationären Handel kann nur eine geringe Umweltwirkung den Verpackungen zugeschrieben werden. Die durch den Konsumenten direkt verursachten Emissionen sind im Szenario des Onlinehandels jene der Energiebereitstellung für den Bestellprozess am Computer. Im Szenario stationärer Handel sind die durch den Konsumenten verursachten Emissionen jene des Privattransportes. Diese sind verglichen mit den Emissionen durch die Energiebereitstellung des Computers für den online Bestellprozess um 40 % höher. Die EOL Prozesse wirken sich nur gering auf das Gesamtergebnis aus. Durch die höhere Menge an Verpackungen im Szenario Onlinehandel zeigt dieser Prozess verglichen zum stationären Handel höhere Werte. Aufgrund der methodischen Besonderheit der Gutschriften des Verbrennungsprozesses ist der EOL Prozess mit negativen Emissionen ausgewiesen.

7.2.2 Terrestrische Versauerung

Im Szenario Onlinehandel dominiert in der Wirkungskategorie Terrestrische Versauerung der Prozess der Herstellung der Verpackungen mit einem Anteil von 83 – 85 % an den gesamten Umweltauswirkungen. Im Rahmen der Papiererzeugung werden unter anderen Schwefeldioxid, Stickoxide und Ammoniak freigesetzt, welche zu einer Versauerung führen (Arntzen et al., o.J.).

Im Szenario stationärer Handel weist der Privattransport durch den Konsumenten mit 48 - 93 % anteilig die größte Umweltwirkung auf. Dies lässt sich auf die durch den Verkehr emittierten Schwefeldioxide zurückführen. Im Vergleich zur Wirkungskategorie Klimawandel zeigt sich in dieser Kategorie ein deutlich höherer Anteil von 3 - 17 % der Herstellung der Verpackungen. Bei der Wirkungskategorie Klimawandel waren es nur 1 – 8 %.

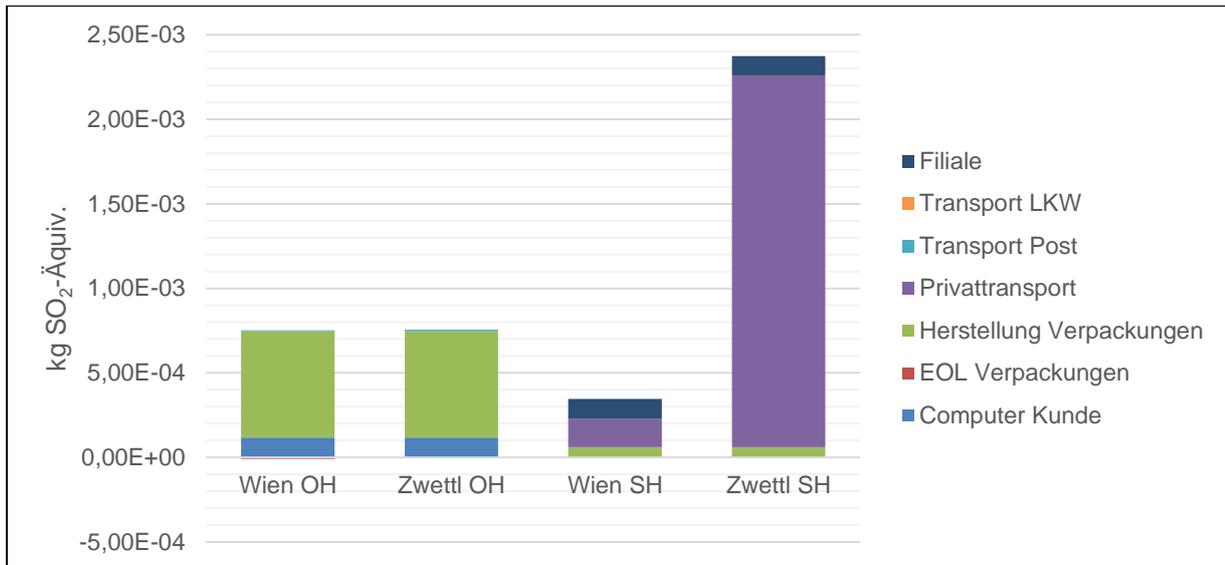


Abb. 18: Ergebnis der Wirkungskategorie Terrestrische Versauerung

In der Kategorie Terrestrische Versauerung zeigen die beiden Szenarien des Onlinehandels wie schon beim Treibhausgaspotential beinahe idente Auswirkungen. Auffallend ist aber, dass in dieser Kategorie, im Gegensatz zur Wirkungskategorie Klimawandel, das Szenario Wien stationärer Handel geringere Umweltauswirkungen aufweist als der Onlinehandel. Dies lässt sich wie oben beschrieben auf die große Auswirkung der Verpackungsherstellung in dieser Wirkungskategorie zurückführen. In Zwettl sind die Umweltauswirkungen des Szenarios Zwettl stationärer Handel um einen Faktor 3 höher als die des Onlinehandels. Im Vergleich zur Wirkungskategorie Klimawandel ist der Unterschied zwischen den Szenarien deutlich geringer.

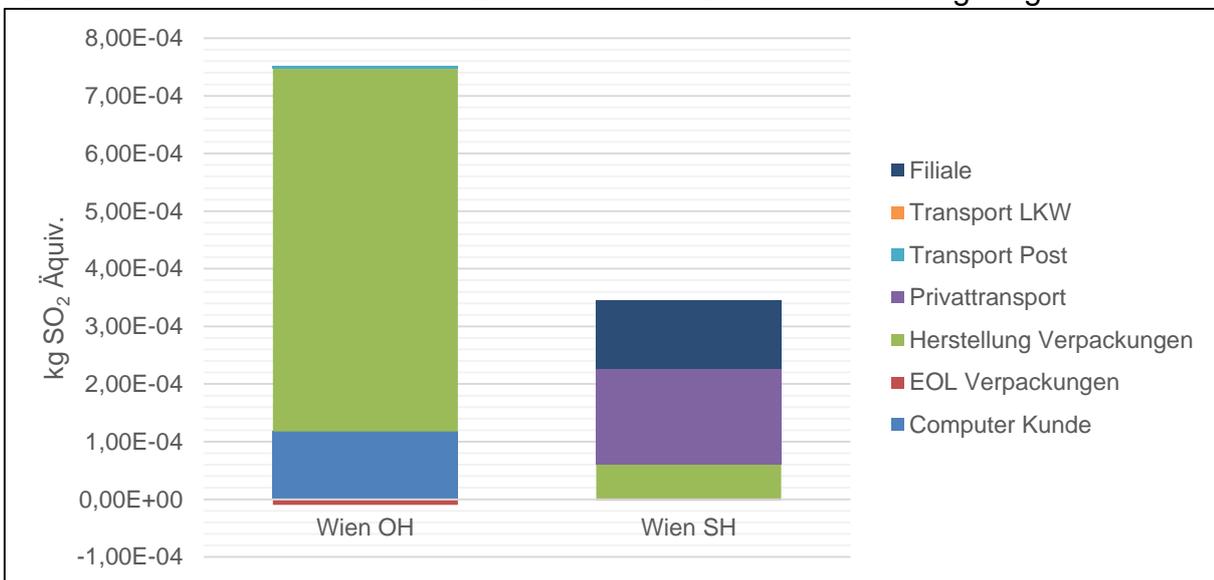


Abb. 19: Vergleich der Szenarien in Wien in der Wirkungskategorie Terrestrische Versauerung

Eine detaillierte Betrachtung und ein Vergleich der Szenarien Wien Onlinehandel und Wien stationärer Handel für die Wirkungskategorie Terrestrische Versauerung zeigt, dass das Szenario Wien Onlinehandel wegen der höheren Menge an verwendeten Verpackungen in dieser Kategorie um einen Faktor 2,16 höhere Umweltauswirkungen aufweist. Energieintensive Prozesse wie beispielsweise die Verwendung des Computers durch den Kunden oder auch die Energiebereitstellung in der Filiale weisen ebenso wie der Privattransport größere Umweltauswirkungen auf. Die Prozesse des

Transports Post, Transport LKW und EOL Verpackungen haben nur geringen Einfluss auf das Ergebnis in der Kategorie Terrestrische Versauerung.

7.2.3 Verbrauch fossiler Ressourcen

Die Wirkungskategorie Verbrauch fossiler Ressourcen zeigt ähnliche Ergebnisse wie der Klimawandel. Die dominierenden Prozesse sind für die Onlinehandel Szenarien mit 48 - 50 % die Herstellung von Verpackungen sowie die Energiebereitstellung für die Verwendung des Computers durch den Kunden beim Bestellvorgang (50 – 52 %). Das Ergebnis der Wirkungskategorie Verbrauch fossiler Rohstoffe wird in den Szenarien des stationären Handels durch den Privattransport dominiert. Dieser hat einen Anteil an den gesamten Auswirkungen von 55 – 93 %. Dies lässt sich auf die für den Transport nötigen Treibstoffe zurückführen. Die in der Filiale benötigte Energie hat einen Anteil von 6 - 38 %.

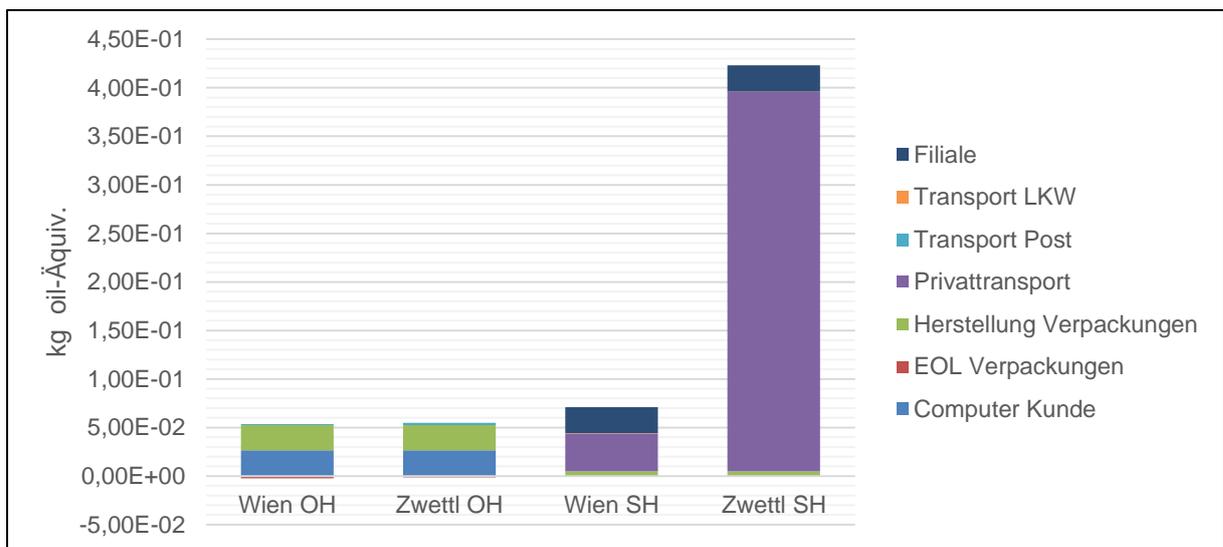


Abb. 20: Ergebnis der Wirkungskategorie Verbrauch fossiler Ressourcen

Abb. 20 zeigt das Ergebnis der Wirkungsabschätzung für die Kategorie Verbrauch fossiler Ressourcen. In dieser Wirkungskategorie ist das Szenario Zwettl stationärer Handel dominant und hat eine um einen Faktor 7,89 höhere Umweltauswirkung als der Onlinehandel in der untersuchten Region. In Wien zeigt sich nur ein geringer Unterschied zwischen den Szenarien.

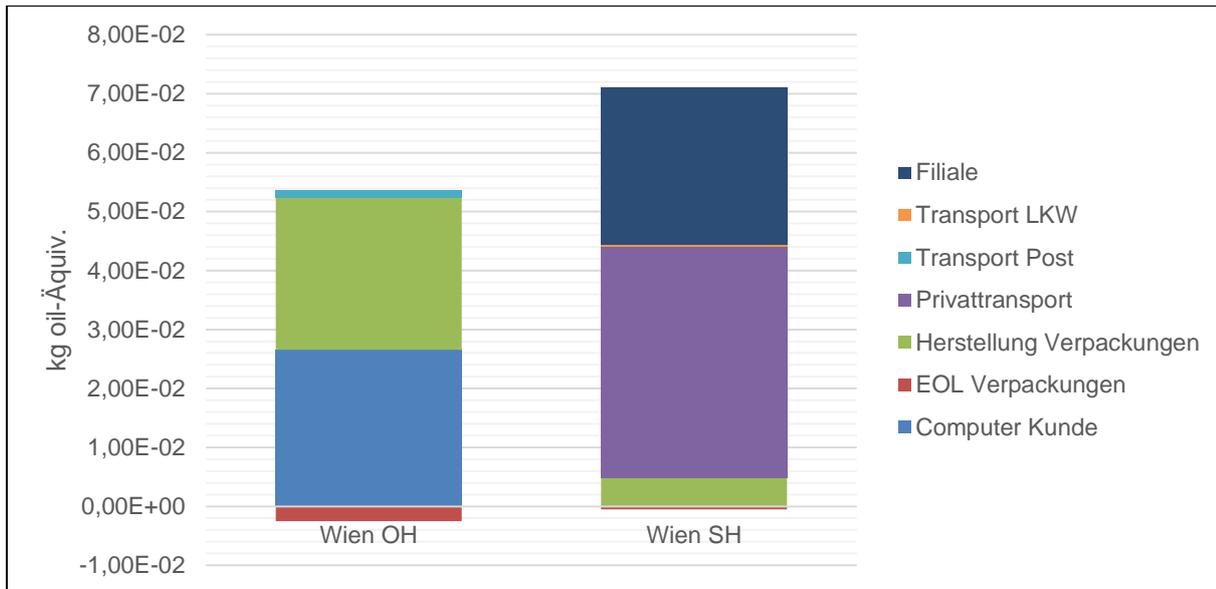


Abb. 21: Vergleich der Szenarien in Wien in der Wirkungskategorie Verbrauch fossiler Rohstoffe

Da das Szenario Zwettl stationärer Handel eine um ein vielfaches höhere Umweltauswirkung hat und somit eine detaillierte Betrachtung der anderen Szenarien in der Abbildung nicht möglich ist, wird in Abb. 21 ein Vergleich zwischen den beiden Szenarien in Wien dargestellt. Es zeigt sich, dass der Verbrauch fossiler Rohstoffe beim stationären Handel vor allem durch die Privattransporte und den Energiebedarf in der Filiale verursacht wird. Beim Szenario Onlinehandel sind die Prozesse Verpackungsherstellung und Energiebereitstellung für den Computer die Prozesse mit der größten Umweltwirkung.

7.2.4 Ozonabbaupotential

Wie in Abb. 15 ersichtlich ist, hat die Wirkungskategorie Ozonabbaupotential sehr geringe Umweltauswirkungen. Da ihre Ergebnisse von jenen der anderen Wirkungskategorien abweichen, wird diese Kategorie dennoch kurz analysiert. Es zeigt sich, dass beim Ozonabbaupotential der dominierende Prozess die Verpackungsherstellung ist. In den Szenarien des Onlinehandels werden 100 % der Umweltauswirkungen diesem Prozess zugerechnet. In den Szenarien des stationären Handels spielen zusätzlich zur Verpackungsherstellung die Privattransporte und die benötigte Energie für die Filiale eine geringe (<4 %) Rolle.

Die Ursache für dieses Ergebnis sind die Emissionen von Schwefelhexafluorid sowie halogenhaltige Emissionen. Diese entstehen aufgrund der Energiebereitstellung im Rahmen der Papiererzeugung (Reimüller et al., 2005). Allerdings ist anzumerken, dass diese Emissionen aufgrund der Menge an Verpackungen sehr gering sind.

8. Sensitivitätsanalyse

Für die Überprüfung der Verlässlichkeit der Resultate und der Schlussfolgerungen bzw. Empfehlungen der durchgeführten Ökobilanz werden mittels Sensitivitätsanalyse einige Prozessparameter näher betrachtet.

Tab. 21: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

| Wirkungskategorie | | Klimawandel | | Terrestrische Versauerung | | Verbrauch fossiler Ressourcen | |
|------------------------------------|----------|-------------|--------|---------------------------|--------|-------------------------------|--------|
| | | Wien | Zwettl | Wien | Zwettl | Wien | Zwettl |
| Region | | Wien | Zwettl | Wien | Zwettl | Wien | Zwettl |
| Basisszenario | | OH | OH | SH | OH | OH | OH |
| Euro Standards (Privat PKW) | Klasse 1 | OH | OH | SH | OH | OH | OH |
| | Klasse 3 | OH | OH | SH | OH | OH | OH |
| Kauf mehrerer Produkte | 5 | SH | OH | SH | OH | OH | OH |
| | 13 | SH | OH | SH | OH | SH | OH |
| Erstzustellung nicht möglich | | SH | SH | SH | SH | SH | SH |
| Rückgabe/Rücksendung des Produktes | | SH | OH | SH | OH | SH | OH |
| Zurechnung der Transportdistanz | 5 % | SH | SH | SH | SH | SH | SH |
| | 10 % | SH | OH | SH | SH | SH | OH |
| | 30 % | SH | OH | SH | OH | SH | OH |
| | 50 % | SH | OH | SH | OH | SH | OH |
| | 70 % | OH | OH | SH | OH | OH | OH |
| Transport zur Filiale | | OH | OH | SH | OH | OH | OH |
| Transport durch die Post | | OH | OH | SH | OH | OH | OH |
| Entsorgungspraxis | | OH | OH | SH | OH | OH | OH |

In Tab. 21 sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse dargestellt. Der Vertriebsweg mit den geringsten Emissionen in der jeweiligen Wirkungskategorie und Region ist vermerkt. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigen, dass die betrachteten Parameter Einfluss auf den aus ökologischer Sicht besten Vertriebsweg haben. Detaillierte Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

8.1 Euro Standards der PKWs für den Privattransport

Da die Auswahl der Euro Standards mit Unsicherheiten behaftet ist, wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um mögliche unterschiedliche Auswirkungen der Euroklassen aufzuzeigen.

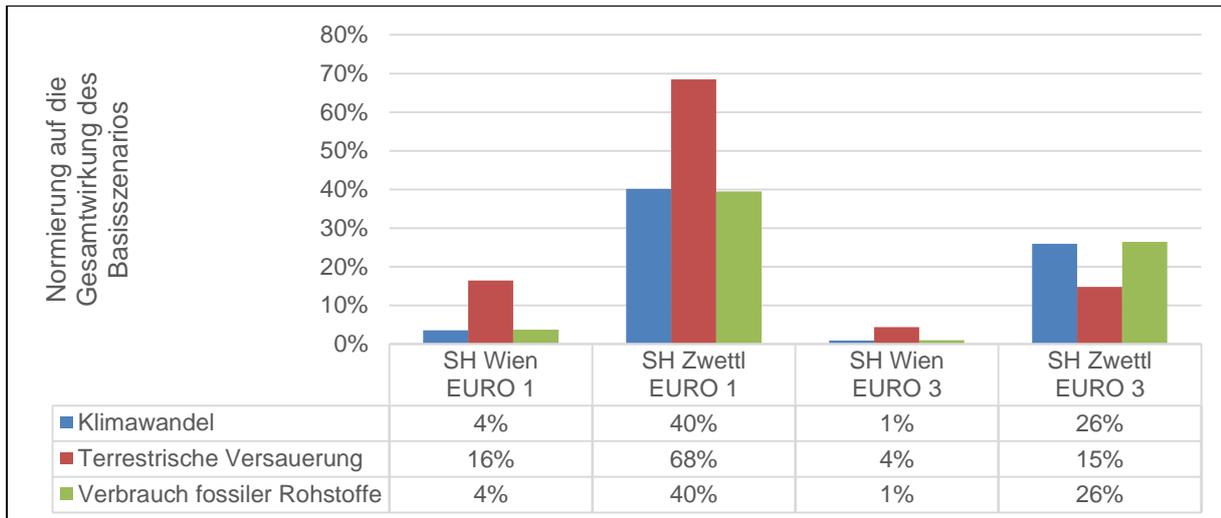


Abb. 22: Sensitivitätsanalyse Euroklassen

Die Untersuchung der Euro Standards zeigt, dass sich durch die Verwendung von Fahrzeugen mit schlechteren Euro Standards im Privatverkehr in den Szenarien die Ergebnisse der Szenarien stationärer Handel zwar verschlechtern, allerdings das Gesamtergebnis betreffend des vorteilhafteren Vertriebsweges unverändert bleibt. Die Unterschiede der Auswirkungen sind wie der Abb. 22 entnommen werden kann, erheblich. In der Wirkungskategorie Terrestrische Versauerung hat das Szenario Zwettl stationärer Handel mit Betrachtung eines PKWs der Euroklasse 1 um fast 70 % höhere Umweltauswirkungen als jenes der Euroklasse 5 des Basisszenarios. Aufgrund der geringeren zurückgelegten Strecke mit dem PKW im Szenario Wien zeigt sich im Vergleich der Euroklassen ein geringer Unterschied.

8.2 Anzahl der gekauften Produkte

Im Basisszenario wird vom Kauf nur eines Produktes ausgegangen. Laut Williams und Tagami (2001) hat die Anzahl der gekauften Produkte Einfluss auf das Ergebnis, daher wird dies im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht. Die Erhebung im stationären Handel hat ergeben, dass am Tag der Probenahme durchschnittlich 2,9 Produkte und maximal 16 Produkte je Person gekauft wurden. Beim Online Shop liegt der Durchschnitt der gekauften Produkte je Bestellung bei 10,4 und der Maximalwert bei 39. Für die Sensitivitätsanalyse wurden beim Unternehmen einmal 5 und einmal 13 Produkte bestellt. Die Anzahl der Produkte ist frei gewählt, allerdings angelehnt an die im Rahmen der vor Ort erhobenen Minimal- bzw. Maximalanzahl an Produkten je Einkauf. Alle bestellten Produkte entsprechen dem Volumen des im Basisszenario verwendeten Produktes. Die eingesetzten Verpackungen und die Energie für die Filiale werden ebenso wie die Transportkilometer anteilig den einzelnen Produkten zugerechnet.

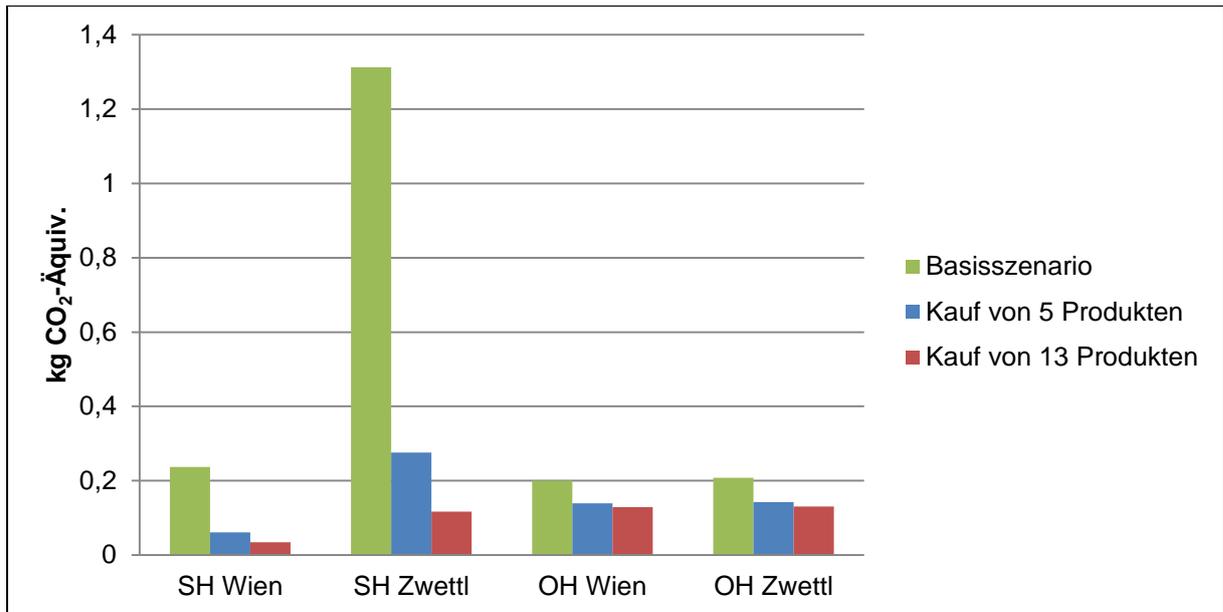


Abb. 23: Sensitivitätsanalyse Anzahl der gekauften Produkte Wirkungskategorie Klimawandel

Abb. 23 bildet das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse der unterschiedlichen Anzahl der gekauften Produkte ab. Diese ergibt, dass die Emissionen, die den einzelnen Produkten zugerechnet werden, bei einer höheren Anzahl der gekauften Produkte deutlich geringer sind.

Tab. 22: Sensitivitätsanalyse Kauf mehrerer Produkte Übersicht

| | | SH Wien | OH Wien | SH Zwettl | OH Zwettl |
|---|---------------|---------|---------|-----------|-----------|
| Klimawandel in kg CO₂ Äquiv. | 5 Produkte | 0,0611 | 0,1395 | 0,2762 | 0,1422 |
| | 13 Produkte | 0,0340 | 0,1291 | 0,1166 | 0,1309 |
| | Basisszenario | 0,2369 | 0,2001 | 1,3131 | 0,2083 |
| Terrestrische Versauerung kg SO₂-Äquiv. | 5 Produkte | 0,0001 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0003 |
| | 13 Produkte | 0,0001 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 |
| | Basisszenario | 0,0003 | 0,0007 | 0,0023 | 0,0008 |
| Verbrauch fossiler Rohstoffe kg oil-Äquiv. | 5 Produkte | 0,0176 | 0,0383 | 0,0913 | 0,0391 |
| | 13 Produkte | 0,0095 | 0,0360 | 0,0378 | 0,0366 |
| | Basisszenario | 0,0705 | 0,0512 | 0,4227 | 0,0536 |

Die detaillierten Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse des Kaufes mehrerer Produkte können der Tab. 22 entnommen werden. Es wird für die jeweilige Region der Onlinehandel mit dem stationären Handel verglichen und die in der jeweiligen Kategorie bessere Alternative grün markiert. Im Vergleich zum Basisszenario werden in beiden Szenarien (Onlinehandel, stationärer Handel) geringere Umweltauswirkungen je Produkt verursacht. In Zwettl zeigt sich, dass beim Kauf von 5 Produkten der Onlinehandel trotz der anteiligen geringeren Transportdistanzen je Produkt im Szenario stationärer Handel in allen Wirkungskategorien besser abschneidet. Bei einem Einkauf von 13 Produkten werden durch den stationären Handel weniger Treibhausgase verursacht im Vergleich zum Onlinehandel. Die Kategorie Terrestrische Versauerung weist ein ähnliches Ergebnis auf. In der Wirkungskategorie Verbrauch fossiler Rohstoffe zeigt sich, dass auch beim Einkauf von 13 Produkten je Produkt im Szenario stationärer Handel mehr Ressourcen benötigt werden als im Szenario Onlinehandel. In Wien sind die Umweltauswirkungen

in allen Wirkungskategorien beim Kauf mehrerer Produkte im stationären Handel geringer als im Onlinehandel.

8.3 Erstzustellung nicht möglich

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wird erhoben welche Auswirkungen ein nicht möglicher erster Zustellversuch auf das Ergebnis hat. Hierfür werden die Transportdistanzen zu den Postfilialen bzw. Postpartnern erhoben. Die Standorte der Filialen bzw. Postpartner werden auf der Internetseite der Österreichischen Post gesucht und auf Basis dieser Informationen die mittlere Transportdistanz ermittelt (Österreichische Post AG, 2016).

Tab. 23: Distanz zur Postfiliale

| Region | km gesamt | % Öffentlich | % PKW | km Öffentlich | km PKW |
|--------|-----------|--------------|-------|---------------|--------|
| Wien | 1,32 | 60 % | 40 % | 0,792 | 0,528 |
| Zwettl | 8,24 | 20 % | 80 % | 1,648 | 6,592 |

Im Bezirk Zwettl ergibt sich, wie in Tab. 23 dargestellt, eine mittlere Distanz für den Hin- und Retourweg zur Postfiliale bzw. zum Postpartner von 8,24 km und 1,32 km in Wien.

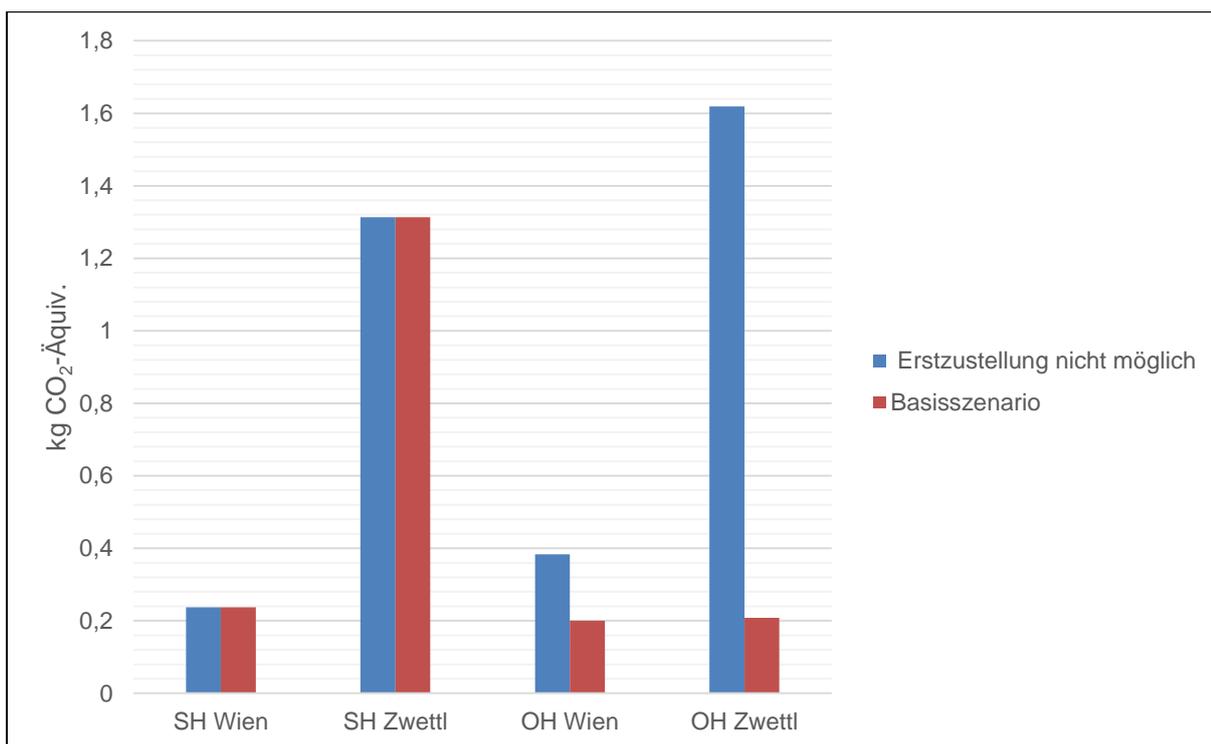


Abb. 24: Wirkungskategorie Klimawandel - Szenario Erstzustellung nicht möglich

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für eine nicht mögliche Erstzustellung sind in Abb. 24 für die Wirkungskategorie Klimawandel dargestellt. Für die Abholung des Paketes muss der Konsument zur Postfiliale fahren. Durch die dafür nötigen Transportkilometer, welche in diesem Fall ausschließlich dem Produkt zugewiesen werden, verschlechtert sich das Ergebnis der Szenarien Onlinehandel Wien und Onlinehandel Zwettl. Sowohl in Wien als auch in Zwettl ist in diesem Fall der Einkauf im stationären Handel aus ökologischer Sicht sinnvoller. In den Wirkungskategorien Terrestrische Versauerung und Verbrauch fossiler Ressourcen sind die

Umweltauswirkungen der beiden Szenarien des stationären Handels ebenfalls geringer als jene der Onlinehandel Szenarien.

8.4 Retourwaren

In diesem Abschnitt werden die Umweltauswirkungen von Retourwaren sowohl für den Onlinehandel, als auch für den stationären Handel untersucht. Es wird die Annahme getroffen, dass das im Rahmen der Ökobilanz als funktionelle Einheit betrachtete Gewürz zurückgegeben bzw. geschickt wird. In beiden Szenarien entstehen zusätzliche Transportwege. Im Falle des stationären Handels erfolgt eine Fahrt des Konsumenten zur Filiale und wieder zurück. Im Szenario des Onlinehandels erfolgt eine Fahrt des Konsumenten zur Post und wieder zurück. Anschließend wird das Paket von der Post in das Lager nach Sprögnitz transportiert. Sowohl im Onlinehandel als auch im stationären Handel wird angenommen, dass der Konsument den Weg ausschließlich zum Zweck der Rückgabe des Produktes zurücklegt. Es erfolgt eine 100 % Zuweisung der Transportemissionen zum Produkt.

Tab. 24: Übersicht über die Ergebnisse Szenario Retourwaren

| | | Wien | | Zwettl | |
|---|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | | SH | OH | SH | OH |
| Klimawandel in kg CO₂ Äquiv. | Retourwaren | 0,3642 | 0,5671 | 2,5169 | 1,6358 |
| | Basisszenario | 0,2369 | 0,2001 | 1,3131 | 0,2083 |
| Terrestrische Versauerung kg SO₂-Äquiv. | Retourwaren | 0,0005 | 0,0012 | 0,0043 | 0,0026 |
| | Basisszenario | 0,0003 | 0,0007 | 0,0023 | 0,0008 |
| Verbrauch fossiler Rohstoffe kg oil-Äquiv. | Retourwaren | 0,1097 | 0,1684 | 0,8140 | 0,5179 |
| | Basisszenario | 0,0705 | 0,0512 | 0,4227 | 0,0536 |

Die Ergebnisse dieser Analyse, wie in Tab. 24 dargestellt, zeigen, dass die Umweltauswirkungen im Vergleich zum Basisszenario deutlich höher sind. Aufgrund der Berücksichtigung der Retourwaren in beiden Szenarien ändert sich das Ergebnis in Wien in den Wirkungskategorien Klimawandel und Verbrauch fossiler Rohstoffe zugunsten des stationären Handels. Dieser zeigt in Wien im Falle von Retourwaren in allen Wirkungskategorien geringere Auswirkungen als das Szenario Onlinehandel. In Zwettl verändert die Berücksichtigung der Retourwaren zwar die Quantität der Umweltwirkungen, allerdings nicht das Ergebnis selbst. Online Handel bleibt in allen Wirkungskategorien die Option mit den geringsten Umweltwirkungen.

8.5 Zurechnung des privaten Transportweges auf das Produkt

Im Folgenden werden die Auswirkungen von Einkäufen am Weg ermittelt. Einkäufe erfolgen beispielsweise am Weg zur Arbeit oder zu Freizeitaktivitäten. Der Besuch mehrerer Geschäfte ist ebenfalls möglich.

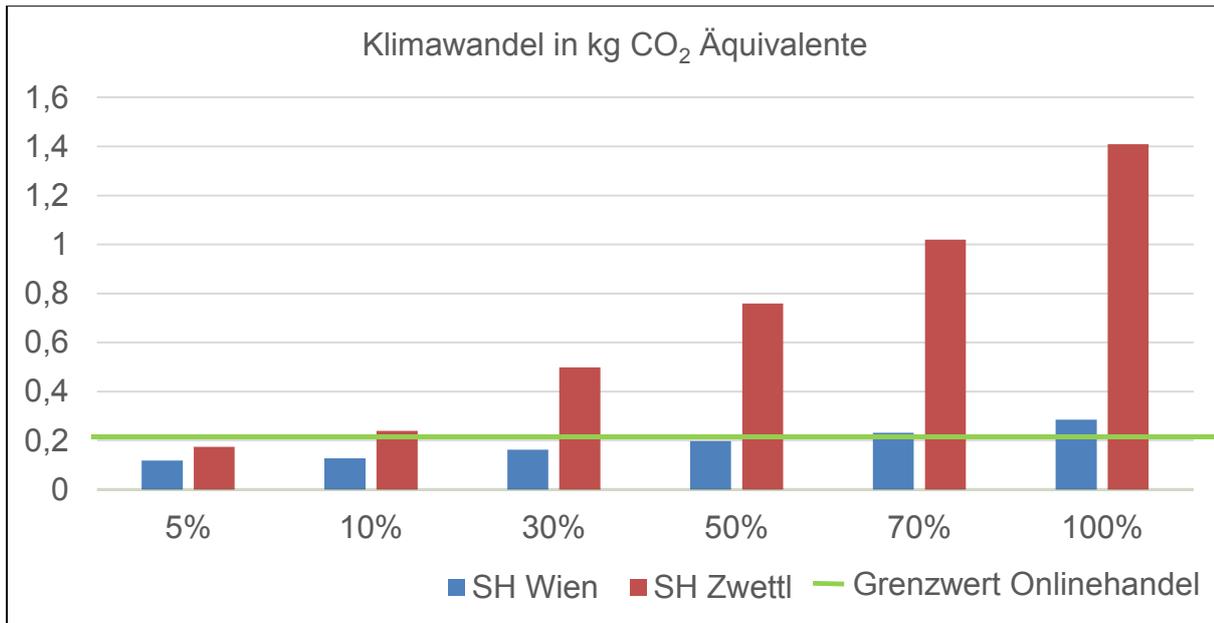


Abb. 25: Anteilige Zurechnung des Privattransportes zum Produkt - Wirkungskategorie Klimawandel

Abb. 25 zeigt einen Vergleich der Umweltauswirkungen in der Wirkungskategorie Klimawandel für eine unterschiedliche Zurechnung der Privattransporte auf das Produkt. Die grüne Linie repräsentiert die Emissionen des Onlinehandels. Da in diesem Szenario kein Privattransport erfolgt, bleiben diese unverändert. Es wird eine 5 %-ige, 10 %-ige, 30 %-ige, 50 %-ige und 70 %-ige und 100 %-ige (Basisszenario) Zurechnung untersucht.

In Zwettl zeigt sich, dass ab einer Zurechnung ca. 7 % der Transportdistanz auf das Produkt durch den Kauf im stationären Handel weniger Treibhausgase ausgestoßen werden. Die Menge an eingesetzten fossilen Rohstoffen ist ebenfalls geringer. In der Wirkungskategorie terrestrische Versauerung verursacht das Szenario stationärer Handel Zwettl ab einer 10 %-igen Zurechnung der Transportemissionen geringere Umweltauswirkungen.

In Wien weist das Szenario stationärer Handel in den Wirkungskategorien Klimawandel und Verbrauch fossiler Rohstoffe ab einer Zurechnung von 50 % der Transportdistanz auf das Produkt ein besseres Ergebnis im Vergleich zum Onlinehandel auf. In der Wirkungskategorie terrestrische Versauerung werden durch den stationären Handel auch im Basisszenario geringere Emissionen verursacht.

8.6 Transportdistanzen

8.6.1 Distanz zur Sonnentorfiliale

Wie in dem Kapitel 5.3.1 dargestellt, ergeben sich aufgrund der Lage vom Sonnentorlager unterschiedliche Transportdistanzen zu den Filialen. Die durchschnittliche Distanz zu den Filialen in Zwettl beträgt 12,7 km, während die Distanz zu den Filialen in Wien 117 km beträgt. Um zu untersuchen, ob sich dieser Unterschied des nötigen Transportweges auf das Ergebnis auswirkt, wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Die Distanz vom Lager zu den Zwettler Filialen wird für das Wiener Szenario angenommen und umgekehrt. Die Analyse ergibt, dass der Unterschied der Transportdistanz vom Lager zur Filiale keine Auswirkung auf das Ergebnis hat. Dies ist auf die geringe Umweltwirkung des Transportes zur Filiale zurückzuführen. Wie in

der Dominanzanalyse gezeigt, verursacht der LKW Transport weniger als 0,5 % der gesamten Umweltwirkungen.

8.6.2 Distanz zum Endkonsumenten

Wie im Kapitel 5.3.2 erläutert, ergibt sich auf Grund des Logistiksystems der Post ein Unterschied der Transportdistanz zwischen den Regionen. Es wird analysiert, ob die unterschiedliche Distanz das Ergebnis maßgeblich verändert. Die Transportentfernungen der Post zu Wiener Konsumenten (155,15 km) werden für die Ermittlung der Umweltwirkungen der Zwettler Szenarien angenommen und die Entfernungen zu den Zwettler Kunden (308,35 km) für die Wiener Szenarien. In beiden Fällen bleibt der Onlinehandel die Alternative mit den geringeren Umweltauswirkungen. Die Ergebnisse ändern sich um maximal 0,002 %.

8.7 Entsorgungspraxis

In den zwei betrachteten Regionen Wien und Zwettl gibt es Unterschiede in der Entsorgungspraxis der Abfälle. Aufgrund der unterschiedlichen Siedlungsstruktur ergeben sich Unterschiede in den Sammel- und Transportdistanzen der Abfälle. Diese sind in der Sachbilanz dargestellt. Die für den Transport verwendeten Fahrzeuge variieren je nach Region. Ein weiterer Unterschied in den Sammelregionen ist die erzielte Erfassungsquote von Papier. Diese liegt in Zwettl deutlich höher als in Wien. Die Umweltwirkungen der Zwettler EOL Prozesse werden mit jenen der Wiener EOL Prozesse getauscht, um so die Unterschiede der Entsorgungspraxis auf das Ergebnis zu untersuchen. Die Analyse ergibt, dass die unterschiedlichen Entsorgungspraktiken keinen Einfluss auf das Ergebnis haben. Die durch sie verursachten Umweltauswirkungen weichen um maximal 0,2 % voneinander.

9. Diskussion und Schlussfolgerungen

Ziel dieser Arbeit war der Vergleich der Vertriebswege Onlinehandel und stationärer Handel des Unternehmens Sonnentor GmbH hinsichtlich ihrer ökologischen Relevanz. Die höhere Menge der eingesetzten Verpackungen beim Onlinehandel ließ eine größere Umweltwirkung der abfallwirtschaftlichen Prozesse in diesem Szenario erwarten. Daher wurde der Fokus auf diese Prozesse gelegt und deren Auswirkungen je Vertriebsweg für beide betrachteten Regionen dargestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass Onlinehandel in vielen Fällen der aus ökologischer Sicht vorteilhaftere Vertriebsweg ist. Diese Aussage wird im Kapitel 9.1 mit den Erkenntnissen anderer Studien größtenteils bestätigt. Durch den Vergleich einer dicht besiedelten mit einer dünn besiedelten Region können Auswirkungen der Siedlungsstruktur auf das Ergebnis nachgewiesen werden. Außerdem zeigen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse, dass sich die Einbeziehung zusätzlicher Parameter, wie beispielsweise der Kauf von mehreren Produkten, auf das Ergebnis auswirken.

9.1 Vergleich zu anderen Studien

Ein Vergleich zu anderen bestehenden Studien ist aufgrund der unterschiedlichen funktionellen Einheit sowie der geografischen Systemgrenzen nur eingeschränkt möglich. Bisherige Studien wurden in Japan und den USA durchgeführt. Williams und Tagami (2001) sowie Matthews et al. (2002) verglichen die Vertriebswege von Büchern. Weber et al. (2008) verglichen den Kauf eines USB Sticks im Onlinehandel mit dem stationären Handel. Bisher durchgeführte Studien beziehen sich teilweise ausschließlich auf den Energieverbrauch der Vertriebswege bzw. auf eine Wirkungsabschätzung anhand der Wirkungskategorie Klimawandel. Allerdings zeigen sich, wie in der gegenständlichen Arbeit ermittelt, in anderen Wirkungskategorien teilweise unterschiedliche Ergebnisse. Als Beispiel ist die terrestrische Versauerung zu nennen. In dieser Kategorie wurden aufgrund der Dominanz der Umweltwirkungen der Verpackungsherstellung abweichende Ergebnisse ermittelt.

Die Untersuchung in der gegenständlichen Arbeit ergab, dass der Onlinehandel im Vergleich zum stationären Handel meist geringere Umweltwirkungen verursacht. Weber et al. (2008) kommen in ihrer Studie zum gleichen Ergebnis. Im ländlichen Bereich stimmt dies auch mit der Studie von Williams und Tagami (2001) überein. In dicht besiedelten Regionen weicht das Ergebnis von jenem in dieser Arbeit ab. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Autoren im innerstädtischen Bereich von einem Einkauf mit dem Rad oder zu Fuß ausgegangen sind. Daher wurde für diesen Prozess von Williams und Tagami (2001) kein Energieverbrauch angenommen. Im Gegensatz dazu wurde in dieser Arbeit auch für die dicht besiedelte Region eine Fahrt zur Filiale mit dem PKW bzw. den öffentlichen Verkehrsmitteln in das Modell mitaufgenommen. In der Studie von Matthews et al. (2002) zeigt sich, im Gegensatz zur gegenständlichen Untersuchung, kein signifikanter Unterschied des Energieverbrauches zwischen den beiden Vertriebswegen. Dies lässt sich auf das untersuchte Gebiet und die damit verbundenen Transportwege zurückführen. Die in der Studie angenommenen Entfernungen zum Warenlager und zum Kunden sind deutlich höher als die in dieser Arbeit ermittelten. Diese können durch die Unterschiede in der Siedlungsdichte und Infrastruktur zwischen Österreich und den USA erklärt

werden. In Österreich liegt die durchschnittliche Siedlungsdichte bei 103,6 Einwohner/km² und in den USA bei 35,1 Einwohner/km² (Statista GmbH, 2016). Zusätzlich wird ein Teil des Transportes laut Matthews et al. (2002) im Onlinehandel durch Flugzeuge durchgeführt. Wenn der gesamte Transport des Onlinehandels mit LKW durchgeführt wird, ist der Onlinehandel laut den Autoren wie in der gegenständlichen Arbeit der ökologisch vorteilhaftere Vertriebsweg.

Die Erhebung der gegenständlichen Arbeit hat gezeigt, dass im **stationären Handel** die Privatfahrt zur Filiale (54 %-92 %) und im urbanen Bereich zusätzlich die Energiebereitstellung in der Filiale (38 %) die größten Umweltwirkungen in der Wirkungskategorie Klimawandel verursachen. Dies deckt sich zum Teil mit den Erhebungen von Williams und Tagami (2001). Im ruralen Gebiet kommen die Autoren zu einem ähnlichen Ergebnis. Im urbanen Gebiet weicht das Ergebnis aufgrund der bereits beschriebenen Annahme des zu Fuß bzw. mit dem Rad zurückgelegten Weges zur Filiale ab. Der große Einfluss der Energiebereitstellung in der Filiale in der dicht besiedelten Region deckt sich mit den Erkenntnissen der beiden Autoren. Der große Anteil des Privatverkehrs an den gesamten Umweltwirkungen wurde auch von Weber et al. (2008) und Matthews et al. (2002) ermittelt.

Im **Onlinehandel** dominieren die Verpackungsherstellung (54 %-57 %) und die Energiebereitstellung für den Bestellprozess am Computer (44 %-45 %) das Ergebnis. Die Emissionen durch die Lieferungen der Post („Letzte Meile“) sind mit 5 % der gesamten Umweltwirkungen sehr gering. Dies deckt sich zum Teil mit den Ergebnissen von Williams und Tagami (2001), welche im urbanen Gebiet ebenfalls geringe Auswirkungen durch den Transport der „Letzten Meile“ ermittelt haben. Die Untersuchung von Weber et al. (2008) ergab einen deutlich höheren Anteil der „Letzten Meile“. Dies kann einerseits darauf zurückgeführt werden, dass in der Studie von schlechteren Euroklassen der Fahrzeuge ausgegangen wird, andererseits eine Berechnung mit Durchschnittswerten je Paket erfolgt. Da es sich in der gegenständlichen Arbeit um ein sehr kleines Produkt handelt, wird dem Produkt nur ein geringer Teil der durch den Transport-LKW ausgestoßenen Emissionen angelastet.

Die Sensitivitätsanalyse ergab, dass sich die Umweltwirkung je Produkt beim Kauf von mehreren Produkten bei beiden Vertriebswegen verringert und sich das Ergebnis zu Gunsten des stationären Handels ändert. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Williams und Tagami (2001).

9.2 Unsicherheiten im Rahmen der Arbeit

Einige der in dieser Arbeit getroffenen Annahmen sind kritisch zu betrachten, stimmen teilweise nicht mit den in der Literatur beschriebenen Annahmen überein und bedürfen zusätzlicher Forschungsarbeit. Diese Annahmen bzw. Abweichungen von der Literatur werden im Folgenden erläutert und wurden teilweise im Zuge einer Sensitivitätsanalyse näher untersucht.

Laut der Österreichischen **Post** erfolgt die **Zustellung** in 90 % der Fälle beim ersten Versuch. Dies weicht von Literaturangaben ab. In anderen Studien wird angegeben, dass nur 22 % der Befragten bei der Erstzustellung zu Hause anzutreffen waren. Gründe hierfür könnten sein, dass die Post Pakete auch an Nachbarn übergibt (persönliche Erfahrung), die Pakete direkt vor die Haustüre stellt (persönliche Erfahrung) und auch Einwurfbboxen eingerichtet hat. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde die Auswirkung einer nicht möglichen ersten Zustellung auf

das Ergebnis analysiert. Dies hat eine Änderung des Ergebnisses zu Gunsten des stationären Handels ergeben. Aufgrund der hohen Relevanz dieses Parameters für das Ergebnis ist in diesem Bereich weiterer Forschungsbedarf gegeben.

Eine weitere Unsicherheit im Rahmen der Arbeit ist der angenommene Wert des **Modal Splits** - also der Anzahl der Personen die öffentliche Verkehrsmittel nutzen - in Niederösterreich. Dieser beruht zwar auf Literaturwerten, welche sich auf ganz Niederösterreich beziehen, allerdings ist fraglich, ob diese für den Bezirk Zwettl aufgrund der Infrastruktur ebenso übernommen werden können. Mangels anderer Daten wurden für die Berechnung der Umweltauswirkungen der Nutzung der öffentlichen Verkehrsmittel die Daten der Wiener Linien herangezogen. Allerdings werden im Bezirk Zwettl ausschließlich Busse eingesetzt, in Wien zusätzlich zu den Bussen auch U-Bahnen und Straßenbahnen. Dieser Bereich der Arbeit weist daher ebenfalls zusätzlichen Forschungs- und Erhebungsbedarf auf.

Die **Berechnung der Transportdistanzen** von und zur **Filiale** bzw. zur **Post** erfolgte anhand einer in der Literatur beschriebenen Methode. Die Transportdistanzen sind ein Indikator über die wahren Transportdistanzen. Diese können in der Realität allerdings zum Teil erheblich abweichen und haben, wie in der gegenständlichen Arbeit beschrieben, großen Einfluss auf das Ergebnis. Im Zuge der Sensitivitätsanalyse wurde eine nur anteilige Zurechnung der Transportdistanz durchgeführt. Dies hat ergeben, dass durch eine Veränderung der Distanz zur Filiale das Ergebnis stark abweicht und die Transportdistanz ergebnisrelevant ist. Im Falle einer geringeren Transportdistanz zur Filiale ist der traditionelle Vertriebsweg aus ökologischer Sicht oft zu bevorzugen.

Der relativ hohe Wert der **Energiebereitstellung für die online Bestellung am Computer**, der auf Basis von Literaturwerten angenommen wird, ist ebenso zu hinterfragen. Bei der Nutzung von energieeffizienteren Geräten oder auch der Nutzung von Mobiltelefonen für die Bestellung würde dieser Wert geringer ausfallen.

Zusätzlich wird der nötige Energieaufwand für die Errichtung und die Verwaltung des Online Shops nicht in die Erhebung miteinbezogen. Um die Verlässlichkeit des Modells zu erhöhen, müsste mit Hilfe einer Monte Carlo Simulation die Anzahl der gekauften Produkte, die Transportmittel, die Zustellversuche sowie die Retourwaren miteinbezogen werden. Allerdings werden hierfür bessere statistische Erfahrungswerte benötigt.

Es zeigt sich, dass in einigen Bereichen der gegenständlichen Arbeit noch zusätzlicher Forschungsbedarf besteht, insbesondere bei der Erhebung von Unternehmensdaten unterschiedlicher Branchen.

9.3 Vergleich Sonnentor GmbH und Deichmann-Obuwie Sp. z o.o.

Das Unternehmen Sonnentor vertreibt großteils kleine und leichte Produkte wie Gewürze und Tees auf dem sehr kleinräumigen Gebiet Österreich. Das Unternehmen verfügt im Vergleich zu großen, international agierenden Unternehmen wie Zalando und Amazon über einen sehr kleinen Webshop. Die erhobenen Daten sind unternehmensspezifisch und schwer auf andere Unternehmen übertragbar. Um mögliche Unterschiede der Vertriebswege von Sonnentor Produkten zu jenen anderer Unternehmen aufzuzeigen, wurden Daten des Unternehmens Deichmann-Obuwie Sp. z o.o. erhoben. Diese werden im Kapitel 6 beschrieben und im Folgenden im Vergleich zu den Daten der Sonnentor GmbH diskutiert.

Beim **Transport zu den Filialen** wird bei Sonnentor aufgrund der Größe der Produkte eine deutlich höhere Anzahl der Produkte pro Umverpackungskarton versendet. Daher fällt bei Deichmann (82 g) eine deutlich größere Menge an Umverpackungskarton je Produkt an als bei Sonnentor (13,68 g).

Ein weiterer Unterschied der beiden Unternehmen kann bei der Nachfrage nach **Einkaufstragetaschen** der beiden Unternehmen beobachtet werden. Bei Deichmann nehmen mit 99 % fast alle Kunden das Angebot der Tragetaschen in Anspruch, bei Sonnentor ist es nur ein Bruchteil der Kunden (<8 %). Ein möglicher Grund könnte sein, dass im Fall des Unternehmens Sonnentor ein Entgelt für die Tragetaschen zu bezahlen ist und diese somit weniger nachgefragt werden (Amelung und Rehm, 2014). Weitere mögliche Gründe sind die Größe der Produkte (bei Sonnentor großteils sehr kleine Produkte, die Produkte bei Deichmann hingegen sind im Vergleich größer) und das höhere Umweltbewusstsein von Sonnentorkunden. Um eine Vergleichbarkeit der beiden Unternehmen zumindest ansatzweise zu ermöglichen, wurden die Anzahl der Verkaufsabschlüsse von Sonnentor auch für Deichmann-Obuwie Sp. z o.o. angenommen und so die theoretisch notwendige Anzahl an Einkaufstaschen und deren Gesamtgewicht ermittelt. Dies ergab einen Wert von 622,5 kg pro Jahr. Bei der untersuchten Sonnentor Filiale wurden in dem Jahr der Beobachtung nur rund 8 kg Papiertragetaschen ausgegeben. Es entstehen demnach deutlich weniger Abfälle durch Tragetaschen bei Sonnentor im Vergleich zu Deichmann.

Da die Produkte von Deichmann deutlich größer sind als jene von Sonnentor, werden für den **Versand der Produkte im Onlineshop** größere und schwerere Kartons mit einem Gewicht von 174 g verwendet. Das Gewicht des Transportkartons des Unternehmens Sonnentor ist mit 34 g bedeutend geringer. Allerdings werden der Lieferung von Sonnentor zusätzlich Füllmaterial und eine Informationsbroschüre beigelegt. Deichmann beschränkt sich auf die Beigabe von wenigen Blättern Papier mit einem geringem Gewicht. Insgesamt wird vom Unternehmen Sonnentor fast gleich viel Verpackungs- bzw. Werbematerial (176,85 g) wie von Deichmann (189 g) an den Kunden gesandt, obwohl das Produkt bedeutend kleiner ist.

Eine weitere Diskrepanz zwischen den in dieser Arbeit verwendeten Werten mit jenen der Literatur ergibt sich auch bei den **Retouren**. Die Angaben zu Retoursendungen von Online Waren sind in anderen Studien deutlich höher als die zurückgesendeten Waren von Sonnentor (0,001 %). Fördös et al. (2014) schreiben in einer Studie von einer Rücksendequote von 15 – 50 % der Waren im Onlinehandel. Die geringeren Retouren können bei Sonnentor zum einen auf die Produkte zurückgeführt werden, zum anderen könnte auch die Zielgruppe von Sonnentor eine Erklärung für die geringen Werte sein. Da die Produkte von Sonnentor keine bestimmte Passform haben müssen, ist die geringe Anzahl an zurückgesendeten Produkten realistisch. Bei den Produkten des Vergleichsunternehmens Deichmann-Obuwie Sp. z o.o. handelt es sich um Schuhe bei denen die Passform entscheidend ist. Daher wurde im Vorfeld erwartet, dass das Unternehmen, im Vergleich zu Sonnentor, deutlich höhere Rücksendequoten hat. Dies konnte nicht nachgewiesen werden. Die Rücksendequoten des Onlinehandel von Deichmann-Obuwie Sp. z o.o. sind mit 1,84 % sehr gering. Dies lässt vermuten, dass die Rücksendequoten im Onlinehandel auch bei anderen Unternehmen nicht so groß sind wie in der Literatur angegeben. In diesem Gebiet besteht weiterer Forschungsbedarf. Wie sich im Rahmen der Sensitivitätsanalyse gezeigt hat, haben die Retoursendungen erhebliche Auswirkungen auf das Ergebnis und sollten daher bei einer Betrachtung immer miteinbezogen werden.

Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden Unternehmen. Daraus kann abgeleitet werden, dass eine Umlegung der Ergebnisse auf andere Unternehmen insbesondere auf Unternehmen einer anderen Branche, sowie auf andere Produkte nur bedingt möglich ist. Unternehmens- und produktspezifische Eigenheiten müssen in die Betrachtung miteinbezogen werden und können das Ergebnis zum Teil erheblich beeinflussen.

9.4 Schlussfolgerungen

Aus der gegenständlichen Arbeit lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Eine **generelle Aussage** über den besten Vertriebsweg ist nicht möglich. Allerdings ist es aus ökologischer Sicht in ländlichen Regionen oft besser im Onlinehandel einzukaufen.
Im urbanen Bereich ist der Einkauf im stationären Handel oftmals der ökologisch sinnvollere Vertriebsweg. Dies gilt vor allem beim gleichzeitigen Einkauf von mehreren Produkten.
- Eine **Übertragung der Ergebnisse** auf andere Produkte und Unternehmen ist nur bedingt möglich. Der Vergleich zur bestehenden Literatur und zwischen den Unternehmen Deichmann-Obuwie Sp. z o.o. und Sonnentor GmbH zeigt beispielsweise deutliche Unterschiede der Größe und des Gewichts der eingesetzten Verpackungen.
- **Konsumenten** sollten bei der Wahl des Vertriebsweges mehrere Aspekte einbeziehen. Beispiele sind die Distanz zur Filiale, die Infrastruktur der Region und die Anzahl der gekauften Produkte. Um einen erfolgreichen ersten Zustellversuch zu gewährleisten, sollte im Vorhinein überlegt werden wo das Paket entgegengenommen werden kann. Beim Kauf im stationären Handel sollte, wenn möglich, auf den Kauf von Einwegtragetaschen verzichtet werden.
- Verbesserungspotential des Onlinehandels von **Sonnentor** gibt es aus abfallwirtschaftlicher Sicht bei den ausgegeben Werbematerialien. Den Online Bestellungen wird eine Broschüre beigelegt, welche in der Produktion, beim Transport und der Entsorgung der Abfälle Emissionen verursacht.
Weiters ist die Verwendung des Füllmaterials für nicht zerbrechliche Produkte nicht nötig und verursacht zusätzliches Gewicht. Allerdings ist positiv anzumerken, dass das im Rahmen der Fallstudie betrachtete Unternehmen alte Umverpackungskartons als Füllmaterial verwendet und somit nicht zusätzliches Material produziert werden muss.
- Trotz der deutlich höheren Menge an Verpackungen beim Onlinehandel wirken sich die **abfallwirtschaftlichen Prozesse** nicht auf das Ergebnis aus. Dennoch ist es sinnvoll diese zu minimieren, da ein großer Teil der Umweltwirkungen auf die Produktion der Verpackungen zurückzuführen ist.

10. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Masterarbeit wird die ökologische Relevanz der Vertriebswege Onlinehandel und stationärer Handel von Sonnentor verglichen. Um die möglichen Unterschiede von dichten und dünnen Siedlungsgebieten auf das Ergebnis zu zeigen, wird die Analyse für zwei Gebiete durchgeführt. Zum einen ist das Wien als dicht besiedeltes Gebiet, zum anderen der Bezirk Zwettl als dünn besiedeltes Gebiet. Die Wirkungsabschätzung erfolgt anhand der in der Forschung gängigen Wirkungskategorien wie Klimawandel, terrestrische Versauerung und fossiler Ressourcenverbrauch.

Es zeigt sich, dass ein Kauf über den Onlinehandel aus ökologischer Sicht oft die bessere Option ist. Allerdings ist eine generelle Aussage über den besten Vertriebsweg nicht möglich, weil hierfür unterschiedliche Aspekte berücksichtigt werden müssen. Die Annahme des Basisszenarios, welches den Kauf von nur einem Produkt miteinbezieht, ist eine Vereinfachung und in der Praxis oft nicht der Regelfall. Allerdings gibt das Basisszenario Erkenntnisse über die für den Vergleich wichtigen Prozesse. Die durch den Privatverkehr verursachten Emissionen beim stationären Handel haben erheblichen Einfluss auf das Ergebnis. Die durchschnittliche Distanz zur Filiale ist im Szenario des dicht besiedelten Gebietes deutlich geringer im Vergleich zum dünn besiedelten Gebiet Zwettl. Zusätzlich ist anzumerken, dass in Wien die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel dominiert und nur 40 % der Fahrten mittels PKW erfolgen. In Zwettl zeigt sich hingegen eine Dominanz der Nutzung des PKWs mit einem Anteil von 80 %. Die Energiebereitstellung für die Filiale wirkt sich ebenfalls wesentlich auf das Ergebnis des stationären Handels aus. Es zeigt sich, dass dieser Prozess in Wien in der Kategorie Klimawandel einen Anteil von 38 % der Emissionen hat. Im Szenario des Onlinehandels dominieren in den Wirkungskategorien Klimawandel und Verbrauch fossiler Ressourcen die Prozesse Verpackungsherstellung und die Energiebereitstellung für den Bestellvorgang am Computer. In der Wirkungskategorie terrestrische Versauerung werden in beiden Regionen durch den Prozess der Verpackungsherstellung über 80 % der Emissionen verursacht. Dies lässt sich auf die im Zuge der Papierherstellung emittierten SO₂ Emissionen zurückführen.

Eine detaillierte Betrachtung der Entsorgungsprozesse der Verpackungen hat ergeben, dass diese nur einen geringen Anteil (max. 5 %) an den gesamten Umweltauswirkungen der beiden Vertriebswege haben. Allerdings führt eine Verlagerung der Einkäufe auf den Onlinehandel zu einem erhöhten Abfallaufkommen beim Endkonsumenten. Durch einen Kauf im Onlinehandel fallen 7-mal so viele Abfälle an als im stationären Handel. Dies lässt sich vor allem auf die nötige Transportverpackung sowie auf das an den Kunden gesandte Werbematerial zurückführen.

Bestehende Unsicherheiten werden mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse untersucht, um die Verlässlichkeit des Modells zu überprüfen. Konkret werden folgende Prozesse näher betrachtet: Erstzustellung nicht möglich, verschiedene Euroklassen der PKWs für den privaten Transport, Rückgabe/Rücksendung des Produktes, Einkauf am Weg und der Kauf von mehreren Produkten. Das Ergebnis weicht bei der Betrachtung zusätzlicher Aspekte sehr stark ab. Bei einem nicht möglichen ersten Zustellversuch hat der stationäre Handel geringere Umweltauswirkungen im Vergleich zum Onlinehandel. Im Falle einer zurückgesendeten bzw. in der Filiale zurückgegebenen

Ware ist im dicht besiedelten Untersuchungsgebiet Wien der stationäre Handel aus ökologischer Sicht besser zu bewerten, in Zwettl der Onlinehandel. Bei Einkäufen am Weg wird nur ein Teil der Transportdistanz dem Produkt zugerechnet. Ab einer Zurechnung von 50 % verursacht der stationäre Handel in Wien geringere Umweltwirkungen als der Onlinehandel. In Zwettl zeigt sich, dass dies erst ab einer Zurechnung von <5 % der Transportdistanz auf das Produkt der Fall ist. Beim Kauf von mehreren Produkten ist in Wien der stationäre Handel aus ökologischer Sicht zu bevorzugen. In Zwettl verursacht der Onlinehandel auch beim Kauf von mehreren Produkten (5) geringe Umweltwirkungen als der stationäre Handel. Erst beim Einkauf von 13 Produkten werden durch die Prozesse des stationären Handels im Vergleich zum Onlinehandel geringere Emissionen verursacht.

Es zeigt sich, dass bei der Wahl des Vertriebsweges mehrere Aspekte beispielsweise die Anzahl der verkauften Produkte und die Siedlungsdichte miteinbezogen werden müssen und eine generelle Aussage des ökologisch sinnvolleren Vertriebsweges nicht möglich ist.

11. Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1: Siedlungsabfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen 2014 – einzelne Fraktionen (Umweltbundesamt GmbH, 2015a) | 7 |
| Abb. 2: Bestandteile einer Ökobilanz nach ISO 14040..... | 14 |
| Abb. 3: Vereinfachte Darstellung des Modells stationärer Handel..... | 24 |
| Abb. 4: Vereinfachte Darstellung des Modells Onlinehandel..... | 25 |
| Abb. 5: Grad der Urbanisierung in Österreich (Statistik Austria, 2016a) | 26 |
| Abb. 6: Elektrizitätsmix Österreich 2012..... | 29 |
| Abb. 7: Übersicht über die Sonnentor Filialen und Verkaufsstellen im Bezirk Zwettl. | 32 |
| Abb. 8: Übersicht über die Sonnentor Filialen und Verkaufsstellen in Wien | 33 |
| Abb. 9: Hubs der Österreichischen Post (Österreichische Post AG, 2006) | 34 |
| Abb. 10: Garagen und Dependancen der MA 48 | 37 |
| Abb. 11: Abfallsammel- und Transportdistanzen je funktioneller Einheit (Sonnentor) in m | 49 |
| Abb. 12: Verwendete Verpackungen und sonstige Materialien je Vertriebsweg von Sonnentor in g..... | 50 |
| Abb. 13: Vergleich der Abfallzusammensetzung aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen nach Umweltbundesamt (2015) mit 2 Sonnentor Filialen | 51 |
| Abb. 14: Umweltauswirkungen der Entsorgungsprozesse in der Wirkungskategorie Klimawandel..... | 52 |
| Abb. 15: Wirkungskategorien normiert | 54 |
| Abb. 16: Ergebnis der Wirkungskategorie Klimawandel..... | 56 |
| Abb. 17: Vergleich der Szenarien in Wien in der Wirkungskategorie Klimawandel ... | 57 |
| Abb. 18: Ergebnis der Wirkungskategorie Terrestrische Versauerung..... | 58 |
| Abb. 19: Vergleich der Szenarien in Wien in der Wirkungskategorie Terrestrische Versauerung..... | 58 |
| Abb. 20: Ergebnis der Wirkungskategorie Verbrauch fossiler Ressourcen | 59 |
| Abb. 21: Vergleich der Szenarien in Wien in der Wirkungskategorie Verbrauch fossiler Rohstoffe..... | 60 |
| Abb. 22: Sensitivitätsanalyse Euroklassen | 62 |
| Abb. 23: Sensitivitätsanalyse Anzahl der gekauften Produkte Wirkungskategorie Klimawandel..... | 63 |
| Abb. 24: Wirkungskategorie Klimawandel - Szenario Erstzustellung nicht möglich... | 64 |
| Abb. 25: Anteilige Zurechnung des Privattransportes zum Produkt - Wirkungskategorie Klimawandel..... | 66 |

12. Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tab. 1: Vor- und Nachteile des Onlinehandels für Käufer nach Fürdos 2014 | 4 |
| Tab. 2: Vor- und Nachteile des Onlinehandels der Händler nach Fürdos 2014 | 5 |
| Tab. 3: Übersicht über die in der gegenständlichen Arbeit relevanten Abfallfraktionen | 6 |
| Tab. 4: Darstellung der kommunalen Sammlung und Verwertung von Abfällen in Wien für ausgewählte Fraktionen | 10 |
| Tab. 5: Darstellung der kommunalen Sammlung und Verwertung von Abfällen in Zwettl für ausgewählte Fraktionen | 11 |
| Tab. 6: Privat zurückgelegte Transportkilometer im Szenario stationärer Handel | 34 |
| Tab. 7: Transportdistanzen und Transportfahrzeuge der Post..... | 35 |
| Tab. 8: Sammlung und Transport von Papier in Wien (Salhofer et al, 2002) | 36 |
| Tab. 9: Sammlung und Transport von Papier im Bezirk Zwettl (Salhofer et al, 2002) | 36 |
| Tab. 10: Sammel- und Transportdistanzen von Restmüll in Wien | 38 |
| Tab. 11: Sammel- und Transportdistanzen von Restmüll in Zwettl (Quelle: anonym, 2016/eigene Berechnungen) | 38 |
| Tab. 12: Zusammenfassung Sammel- und Transportwege der Abfälle in km/t..... | 39 |
| Tab. 13: EU Emissionsgrenzwerte für Benzin Autos (in g/km)..... | 41 |
| Tab. 14: EU Emissionsgrenzwerte für Diesel Autos (in g/km)..... | 41 |
| Tab. 15: Personenkraftwagen in Österreich Stand 31.12.2015 | 42 |
| Tab. 16: EU Emissionsgrenzwerte für Diesel LKW (in g/kWh)..... | 43 |
| Tab. 17: Heizwerte der Abfallfraktionen | 45 |
| Tab. 18: Abfälle (in g) der betrachteten Produkte je Vertriebsweg von Sonnentor und Deichmann | 48 |
| Tab. 19: Übersicht über die besten Szenarien je Wirkungskategorie | 53 |
| Tab. 20: Dominanzanalyse der Wirkungskategorien | 55 |
| Tab. 21: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse | 61 |
| Tab. 22: Sensitivitätsanalyse Kauf mehrerer Produkte Übersicht | 63 |
| Tab. 23: Distanz zur Postfiliale | 64 |
| Tab. 24: Übersicht über die Ergebnisse Szenario Retourwaren | 65 |

13. Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------|---|
| Bzw. | beziehungsweise |
| CO ₂ | Kohlendioxid |
| G | Gramm |
| GaBi | Ganzheitliche Bilanzierung |
| G/D | Garage/Dependance |
| G | Gewerbe |
| Kg | Kilogramm |
| K | Kommunal |
| kWh | Kilowattstunden |
| LCA | Life Cycle Assessment |
| LKW | Lastkraftwagen |
| LLDPE | Linear low-density polyethylene = Polyethylen mit sehr niedriger Dichte |
| OH | Onlinehandel |
| ODP | Ozonabbaupotential |
| PKW | Personenkraftwagen |
| MA | Magistratsabteilung |
| MBA | Mechanisch biologische Anlage |
| MVA | Müllverbrennungsanlage |
| MJ | Megajoule |
| NÖ | Niederösterreich |
| SH | Stationärer Handel |
| SO ₂ | Schwefeldioxid |
| T | Tonne |
| Z.B. | zum Beispiel |

14. Gleichungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Formel 1: Standardabweichung (Spiegel und Stephens, 2003)..... | 28 |
| Formel 2: Berechnung der Stichprobe (Bundesministerium des Innern, 2016)..... | 28 |

15. Literaturverzeichnis

FACHLITERATUR

- Amelung, A., Rehm, R., 2014. Umweltschutz sauber eintüten – Die EU reduziert den Plastiktütenverbrauch. Köln. Institut für Wirtschaftspolitik an der Universität zu Köln.
- Arntzen, H., Bredhal, A., Bökenkamp, G., Degel, M., Gschnell, F., Haake, F., Moltmann, S., Rauh, M., o.J.. Ökobilanz Verpackungspapier vom Wald bis zum Rohverpackungspapier. Flensburg.
- Austropapier, 2014. Jahresbericht der Österreichischen Papierindustrie 2013. Wien.
- Bare, J., Hofstetter, P., Pennington, D., Haes, H., 2000. Life Cycle Impact Assessment Workshop Summary- Midpoints versus Endpoints: The Sacrifices and Benefits. State of the Art Life Cycle Impact Assessment, Landsberg, S. 319-326.
- Beigl, P. 2001. Vergleich der Umweltauswirkungen und der Kosten von kommunalen Entsorgungssystemen. Wien. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur.
- Beigl, P., Salhofer, S., 2004. Comparison of ecological effects and costs of communal waste management systems. Resources, Conservation & Recycling 41, Wien, S. 83-102.
- Beigl, P., Salhofer, S., 2015. Ökologischer Vergleich von Sammelsystemen für Leicht- und Metallverpackungen im Land Salzburg. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 67, Wien, S. 377–383.
- BMVIT, 2012. Gesamtverkehrsplan für Österreich. Wien.
- Borken, J., Patyk, A., Reinhardt, G., 1999. Basisdaten für ökologische Bilanzierungen. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft GmbH. Braunschweig / Wiesbaden.
- Bundesministerium des Innern, 2016. Handbuch für Organisationsuntersuchungen und Personalbedarfsermittlung. Berlin.
- Curran, M. A., Mann, M., Norris, G., 2005. The international workshop on electricity data for life cycle inventories. Journal of Cleaner Production 13, S. 853-862.
- Czasch, A., 2016. persönliche Mitteilung, Angestellter der Österreichischen Post AG.
- Domening, M., 2001. Nicht gefährliche Abfälle in Österreich - Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2001. Klagenfurt. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamt.
- Eisted, R., Larsen, A., Christensen, T., 2009. Collection, transfer and transport of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contribution. Waste management & research 27, Kongens Lyngby, S. 738-745.
- European Commission, 2010. ILCD Handbook - General guide for Life Cycle Assessment. Publications office of the European Union. Ispra.
- Frohner, D., Punesch, E., 2015. Niederösterreichischer Abfallwirtschaftsbericht 2014. St.Pölten. Bericht im Auftrag des Land Niederösterreich.
- Fürdös, A., 2014. VCÖ-Hintergrundbericht: Online-Handel und seine Auswirkungen auf den Verkehr. Wien.

- Geimer, M., Synek, P., 2011. Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen. Scientific Publishing. Karlsruhe.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. D., Struijs, J., Zelm, R., 2009. ReCiPe 2008 - A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Amersfoort.
- Gora, W., Mann, E., 1999. Handbuch Electronic Commerce. Springer Verlag. Berlin.
- Guinée, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H., de Bruijn, H. & MAJ, v. D. R. a. H., 2002. Handbook on Life Cycle Assessment - Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Heinemann, G., 2013. Der neue Online Handel. Springer Gabler. Mönchengladbach.
- Klöpffer, W., Renner, I., Schmidt, E., Tappeser, B., Gensch, C. O., Gaugitsch, H., 2001. Methodische Weiterentwicklung der Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen (LCA) gentechnisch veränderter Pflanzen. Wien. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamt.
- Klöpffer, W., Grahl, B., 2009. Ökobilanz (LCA) - Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KG. Weinheim.
- Kloud, V., 2016. persönliche Mitteilung, Angestellter der MA 48.
- KMU Forschung Austria, 2014. Internet-Einzelhandel 2014. Wien
- Kollouch, J., Mühlbach, D., Reißner, K., 2015. Nachhaltigkeitsbericht 2014 - Österreichische Post AG. Wien.
- Larsen, A. W., Christensen, T. H., Lieberknecht, P., 2009. Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance. Waste management & research, Lyngby, S 652-659.
- Leonardi, J., Baumgartner, M., 2004. CO2 efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential. Transportation Research Part D 9, Hamburg, S. 451–464.
- Ligthart, T., Valkering, M., 2013. Life Cycle Assessment of beverage carton collection systems. Utrecht.
- MA 48., 2015. Die 48er Umwelterklärung 2015. Wien.
- MA 48., 2016. Leistungsbericht 2015. Wien.
- Matthews, H. S., Williams, E., Tagami, T., 2002. Energy implications of online book retailing in the United States and Japan. Environmental impact assessment review, Pittsburgh, S. 493-507.
- Mock, P., 2015. European vehicle market statistics - Pocketbook 2015/16. International Council on Clean Transportation Europe. Berlin.
- Mötzl, H., 2011. Consequential LCA – ein anderes Konzept der Lebenszyklusanalyse. IBO Magazin, Wien, S. 9-12.
- Musielak, M., 2016. persönliche Mitteilung. Angestellter von Deichmann - Obuwie Sp. z o.o..
- Nentwig, J., 1994. Kunststoff-Folien. Carl Hanser Verlag. Kitzingen.

- Punesch, E., 2016. Niederösterreichischer Abfallwirtschaftsplan Planungsperiode 2016-2020. St.Pölten. Bericht im Auftrag des Land Niederösterreich
- Reimüller, A., Monizza, G., Stangherlin, S., Endre, T., 2005. SF6 Technologie in der Energieübertragung und -verteilung. ABB Technik 3. Ratingen.
- Salhofer, S., Wassermann, G., Schneider, F., Stotter, M., Fischer, T., Odic, M., Maurer, K., 2002. Ökologische Relevanz von Abfalltransporten. Wien.
- Scheiber, K., Göd, M., 2015. ARA Leistungsreport 2014. Wien.
- Schildhauer, T., 2003. Lexikon Electronic Business. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH. München.
- Schwarz, T., Rübenbauer, W., Kreindl, G., 2015. Abfallsammlung und -transporte: eine gesamtheitliche Umweltbetrachtung für Österreich. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 67, Leoben, S. 384-390.
- Sonnemann et al., 2003. Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes. Lewis Publishers. Ohio.
- Spiegel, M., Stephens, L., 2003. Statistik - Das Lehrbuch. Heidelberg.
- Statistik Austria, 2013. Gebäude und Wohnungen 2011 nach überwiegender Gebäudeeigenschaft und Bundesland. Wien.
- Stepper, M., 2016. Innenstadt und stationärer Einzelhandel – ein unzertrennliches Paar? Raumforschung Raumordnung, Kaiserlautern, S. 151-163.
- Sterkl, T., 2016. persönliche Mitteilung, Angestellte bei Sonnentor GmbH.
- Taylor, C., Koomey, J., 2008. Estimating Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Internet Advertising. Fairfax.
- Thon, J., 2013. Sammlung von Restmüll, Altstoffen und Problemstoffen. Wien.
- Umweltbundesamt GmbH., 2015a. Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2015. Wien.
- Umweltbundesamt GmbH., 2015b. Klimaschutzbericht 2015. Wien.
- Urban et al., 2005. Optimierung der Abfallwirtschaft. Kassel.
- VCÖ, 2015. Multimodale Mobilität im Trend. Wien.
- Volk et al., 2012. Wiener Abfallwirtschaftsplan 2013-2018, Anhang 1: Ist-Zustand der Wiener Abfallwirtschaft. Wien.
- Weber, C., Hendrickson, C., Jaramillo, P., Matthews, S., Nagengast, A., Nealer, R., 2008. Life Cycle Comparison of Traditional Retail and E-commerce Logistics for Electronic Products: A Case Study of buy.com. Pittsburgh.
- Wien Energie., 2015. Wien Energie-Welt Spittelau. Wien.
- Williams, E., Tagami, T., 2001. Energy analysis of e-commerce and conventional retail distribution of books in Japan. EnviroInfo 2001: Sustainability in the Information Society. Metropolis Verlag. Zürich.
- Wohlmuth, E., 2016. persönliche Mitteilung, Angestellte des Zwettler Abfallwirtschaftsverbandes.
- Zeilinger, D., 2016. persönliche Mitteilung, Angestellter bei Brantner Dürr GmbH.

NORMEN

- ISO 14040, 2006. Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen.
- ISO 14044, 2006. Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen.

INTERNETQUELLEN

- Austropapier, 2016. Faktencheck Schulhefte,
http://www.austropapier.at/mediacenter/aktuelles/aktuelles/news/faktencheck-schulheftekauf/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=c3231506d26563bcaabb58401e29a882 (Zugriff am 25.05.2016)
- Bauforumstahl, 2016. Heizwerte,
<https://www.bauforumstahl.de/upload/documents/brandschutz/kennwerte/Heizwertkunststoff.pdf> (Zugriff am 29. 06 2016)
- Brantner Walter GmbH, 2016. Über uns,
<http://www.brantner.com/de/entsorgung/ueber-uns/aktuelles/aktuelles-detail/artikel/brantner-setzt-ein-zeichen-fue.html> (Zugriff am 29. 03 2016).
- Bundesministerium der Finanzen Deutschland, 2016. AfA-Tabellen.
http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/afa-tabellen.html (Zugriff am 19. 07 2016)
- Cushionpack, 2016. Technische Daten.
http://cushionpack.com/51/Produkte/Technische_Daten.html (Zugriff am 05. 04 2016)
- Deichmann, 2016. Geschichte.
<https://corpsite.deichmann.com/unternehmen/geschichte/> (26. 07 2016)
- Ecopoint Inc., 2016. Summary of worldwime engine emission standards.
<http://dieselnet.com/standards/#eu> (Zugriff am 30. 03 2016)
- Energie AG, Abfälle von A-Z: Altholz.
<http://umweltservice.energieag.at/Gewerbe/Entsorgung/Abfaelle-von-A-Z/Altholz/Altholz.html> (Zugriff am 27. 07 2016)
- Gungl, E., 2012. Thermische Abfallbehandlung.
<http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/10009935/4336040/> (Zugriff am 29. 06 2016)
- Langer Transport Service, 2016. Lademasse. www.langer-transport-service.de/lademasse.pdf (Zugriff am 14. 04 2016)
- MA 48., 2016. Müllsammelfahrzeuge.
<https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/entsorgung/muellabfuhr/richtlinien/muellsammelfahrzeuge.html> (Zugriff am 27. 07 2016).
- Österreichische Post AG., 2006. Vorleistungsabgeltung Paket Inland.
https://www.post.at/files/Vorleistungsabgeltung_Paket_Inland_2006.pdf (Zugriff am 02.03.2016)

- Plastics Europe., 2016. Erzeugung und Verarbeitung.
<http://www.plasticseurope.de/das-ist-kunststoff/erzeugung-verarbeitung.aspx>
(Zugriff am 26. 07 2016)
- Statista GmbH, 2016. Bevölkerungsdichte.
<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/165799/umfrage/bevoelkerungsdichte-in-den-usa/> (Zugriff am 05. 08 2016).
- Statistik Austria, 2016a. Gliederung nach städtischen und ländlichen Gebieten.
http://www.statistik.at/web_de/klassifikationen/regionale_gliederungen/stadt_land/index.html (Zugriff am 22. 03 2016).
- Statistik Austria, 2016b. Kraftfahrzeuge – Bestand.
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (Zugriff am 30. 03 2016)
- Thinkstep, 2016. <http://www.gabi-software.com/>.
- Treyer Paletten GmbH, 2016. Europaletten für die Industrie und internationale Weltwirtschaft direkt vom Hersteller. <http://treyer.com/de/europaletten.html>
(Zugriff am 15. 03 2016)
- Umweltbundesamt GmbH, 2016b. Transport von Gütern auf der Straße.
<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/verkehr/fahrzeugtechnik/lkw/>
(25. 03 2016)
- Wien Energie, 2016. Müllverbrennungsanlagen.
<http://www.wienenergie.at/eportal3/ep/channelView.do?channelId=-49065>
(Zugriff am 22. 04 2016)
- Wiener Linien, 2016a. Zahlen, Daten, Fakten.
<http://www.wienerlinien.at/eportal3/ep/programView.do?pageTypeld/66528/programId/67199/channelId/-47395> (Zugriff am 15. 04 2016)
- Wiener Linien, 2016b. 17 Prozent weniger Energieverbrauch.
<http://www.wienerlinien.at/eportal3/ep/contentView.do?pageTypeld=66526&channelId=-47186&programId=74577&contentId=69470&contentTypeld=1001>
(Zugriff am 15. 04 2016)

16. Anhang

Anh. 1: Umrechnungsfaktoren der Wirkungskategorie Klimawandel nach Goedkoop et al. (2013)

| Substances | | |
|--|----------|----|
| 1-Propanol, 3,3,3-trifluoro-2,2-bis(trifluoromethyl)-, HFE-7100 | 297 | kg |
| Butane, 1,1,1,3,3-pentafluoro-, HFC-365mfc | 794 | kg |
| Butane, perfluoro- | 8,86E+03 | kg |
| Butane, perfluorocyclo-, PFC-318 | 1,03E+04 | kg |
| Carbon dioxide | 1 | kg |
| Carbon dioxide, fossil | 1 | kg |
| Carbon dioxide, land transformation | 1 | kg |
| Chloroform | 31 | kg |
| Dimethyl ether | 1 | kg |
| Dinitrogen monoxide | 298 | kg |
| Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b | 2,31E+03 | kg |
| Ethane, 1-chloro-2,2,2-trifluoro-(difluoromethoxy)-, HCFE-235da2 | 350 | kg |
| Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b | 725 | kg |
| Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a | 124 | kg |
| Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140 | 146 | kg |
| Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a | 4,47E+03 | kg |
| Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a | 1,43E+03 | kg |
| Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113 | 6,13E+03 | kg |
| Ethane, 1,1,2-trifluoro-, HFC-143 | 353 | kg |
| Ethane, 1,1,2,2-tetrafluoro-, HFC-134 | 1,10E+03 | kg |
| Ethane, 1,2-dibromotetrafluoro-, Halon 2402 | 1,64E+03 | kg |
| Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114 | 1,00E+04 | kg |
| Ethane, 1,2-difluoro-, HFC-152 | 53 | kg |
| Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124 | 609 | kg |
| Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123 | 77 | kg |
| Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115 | 7,37E+03 | kg |
| Ethane, fluoro-, HFC-161 | 12 | kg |
| Ethane, hexafluoro-, HFC-116 | 1,22E+04 | kg |
| Ethane, pentafluoro-, HFC-125 | 3,50E+03 | kg |
| Ether, 1,1,1-trifluoromethyl methyl-, HFE-143a | 756 | kg |
| Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-347mcc3 | 575 | kg |
| Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-347mcf2 | 374 | kg |
| Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl methyl-, HFE-254cb2 | 359 | kg |
| Ether, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356mec3 | 101 | kg |
| Ether, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356pcc3 | 110 | kg |
| Ether, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356pcf2 | 265 | kg |
| Ether, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356pcf3 | 502 | kg |
| Ether, 1,2,2-trifluoroethyl trifluoromethyl-, HFE-236ea2 | 989 | kg |
| Ether, 1,2,2-trifluoroethyl trifluoromethyl-, HFE-236fa | 487 | kg |
| Ether, 2,2,3,3,3-Pentafluoropropyl methyl-, HFE-365mcf3 | 11 | kg |
| Ether, di(difluoromethyl), HFE-134 | 6,32E+03 | kg |

| | | |
|---|----------|----|
| Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245cb2 | 708 | kg |
| Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245fa1 | 286 | kg |
| Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245fa2 | 659 | kg |
| Ether, ethyl 1,1,2,2-tetrafluoroethyl-, HFE-374pc2 | 557 | kg |
| Ether, nonafluorobutane ethyl-, HFE569sf2 (HFE-7200) | 59 | kg |
| Ether, pentafluoromethyl-, HFE-125 | 1,49E+04 | kg |
| Hexane, perfluoro- | 9,30E+03 | kg |
| HFE-227EA | 1,54E+03 | kg |
| HFE-236ca12 (HG-10) | 2,80E+03 | kg |
| HFE-263fb2 | 11 | kg |
| HFE-329mcc2 | 919 | kg |
| HFE-338mcf2 | 552 | kg |
| HFE-338pcc13 (HG-01) | 1,50E+03 | kg |
| HFE-347pcf2 | 580 | kg |
| HFE-43-10pccc124 (H-Galden1040x) | 1,87E+03 | kg |
| Hydrocarbons, chlorinated | 10,6 | kg |
| Methane | 25 | kg |
| Methane, biogenic | 22,3 | kg |
| Methane, bromo-, Halon 1001 | 5 | kg |
| Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211 | 1,89E+03 | kg |
| Methane, bromodifluoro-, Halon 1201 | 404 | kg |
| Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301 | 7,14E+03 | kg |
| Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22 | 1,81E+03 | kg |
| Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13 | 1,44E+04 | kg |
| Methane, dibromo- | 1,54 | kg |
| Methane, dichloro-, HCC-30 | 8,7 | kg |
| Methane, dichloro-, HCC-30 | 8,7 | kg |
| Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12 | 1,09E+04 | kg |
| Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21 | 151 | kg |
| Methane, difluoro-, HFC-32 | 675 | kg |
| Methane, fluoro-, HFC-41 | 92 | kg |
| Methane, fossil | 25 | kg |
| Methane, iodotrifluoro- | 0,4 | kg |
| Methane, monochloro-, R-40 | 13 | kg |
| Methane, tetrachloro-, CFC-10 | 1,40E+03 | kg |
| Methane, tetrachloro-, CFC-10 | 1,40E+03 | kg |
| Methane, tetrafluoro-, CFC-14 | 7,39E+03 | kg |
| Methane, trichlorofluoro-, CFC-11 | 4,75E+03 | kg |
| Methane, trifluoro-, HFC-23 | 1,48E+04 | kg |
| Nitrogen fluoride | 1,72E+04 | kg |
| Pentane, 2,3-dihydroperfluoro-, HFC-4310mee | 1,64E+03 | kg |
| Pentane, perfluoro- | 9,16E+03 | kg |
| PFC-9-1-18 | 7,50E+03 | kg |
| PFPME | 1,03E+04 | kg |
| Propane, 1,1,1,2,2,3-hexafluoro-, HFC-236cb | 1,34E+03 | kg |

| | | |
|--|----------|----|
| Propane, 1,1,1,2,3,3-hexafluoro-, HFC-236ea | 1,37E+03 | kg |
| Propane, 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoro-, HFC-227ea | 3,22E+03 | kg |
| Propane, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-, HCFC-236fa | 9,81E+03 | kg |
| Propane, 1,1,2,2,3-pentafluoro-, HFC-245ca | 693 | kg |
| Propane, 1,1,3,3-tetrafluoro-, HFC-245fa | 1,03E+03 | kg |
| Propane, 1,3-dichloro-1,1,2,2,3-pentafluoro-, HCFC-225cb | 595 | kg |
| Propane, 3,3-dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoro-, HCFC-225ca | 122 | kg |
| Propane, perfluoro- | 8,83E+03 | kg |
| Sulfur hexafluoride | 2,28E+04 | kg |
| Trifluoromethylsulfur pentafluoride | 1,77E+04 | kg |

Anh. 2: Umrechnungsfaktoren der Wirkungskategorie Terrestrische Versauerung nach Goedkoop et al. (2013)

| Substances | | |
|------------------|------|----|
| Ammonia | 2,45 | kg |
| Nitrogen dioxide | 0,56 | kg |
| Nitrogen oxides | 0,56 | kg |
| Sulfur dioxide | 1 | kg |
| Sulfur monoxide | 1 | kg |

Anh. 3: Umrechnungsfaktoren der Wirkungskategorie Fossiler Ressourcenverbrauch nach Goedkoop et al. (2013)

| Substances | | |
|--|---------|----|
| Coal, 18 MJ per kg, in ground | 0,0677 | kg |
| Coal, 26.4 MJ per kg, in ground | 0,0992 | kg |
| Coal, 29.3 MJ per kg, in ground | 0,11 | kg |
| Coal, brown | 0,0372 | kg |
| Coal, brown, 10 MJ per kg, in ground | 0,0375 | kg |
| Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground | 0,03 | kg |
| Coal, feedstock, 26.4 MJ per kg, in ground | 0,0992 | kg |
| Coal, hard | 0,0717 | kg |
| Energy, from coal | 0,00375 | MJ |
| Energy, from coal, brown | 0,00375 | MJ |
| Energy, from gas, natural | 0,00356 | MJ |
| Energy, from oil | 0,00375 | MJ |
| Energy, from peat | 0,00375 | MJ |
| Energy, from sulfur | 0,00375 | MJ |
| Gas, mine, off-gas, process, coal mining/kg | 0,178 | kg |
| Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3 | 0,142 | m3 |
| Gas, natural, 30.3 MJ per kg, in ground | 0,12 | kg |
| Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground | 0,138 | m3 |
| Gas, natural, 36.6 MJ per m3, in ground | 0,145 | m3 |
| Gas, natural, 46.8 MJ per kg, in ground | 0,184 | kg |
| Gas, natural, feedstock, 35 MJ per m3, in ground | 0,138 | m3 |
| Gas, natural, feedstock, 46.8 MJ per kg, in ground | 0,184 | kg |
| Gas, natural/m3 | 0,136 | m3 |
| Gas, off-gas, oil production, in ground | 0,142 | m3 |
| Gas, petroleum, 35 MJ per m3, in ground | 0,138 | m3 |
| Methane | 0,198 | kg |
| Oil, crude | 0,172 | kg |
| Oil, crude, 38400 MJ per m3, in ground | 152 | m3 |
| Oil, crude, 41 MJ per kg, in ground | 0,162 | kg |
| Oil, crude, 42 MJ per kg, in ground | 0,166 | kg |
| Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground | 0,168 | kg |
| Oil, crude, 42.7 MJ per kg, in ground | 0,169 | kg |
| Oil, crude, feedstock, 41 MJ per kg, in ground | 0,162 | kg |
| Oil, crude, feedstock, 42 MJ per kg, in ground | 0,166 | kg |

Anh. 4: Umrechnungsfaktoren der Wirkungskategorie Ozonabbaupotential nach Goedkoop et al. (2013)

| Substances | | |
|--|---------|----|
| Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b | 0,07 | kg |
| Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b | 0,12 | kg |
| Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140 | 0,12 | kg |
| Ethane, 1,1,1-trifluoro-2,2-chlorobromo-, Halon 2311 | 0,14 | kg |
| Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-2-bromo-, Halon 2401 | 0,25 | kg |
| Ethane, 1,1,2-trichloro- | 0,12 | kg |
| Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113 | 1 | kg |
| Ethane, 1,2-dibromotetrafluoro-, Halon 2402 | 6 | kg |
| Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114 | 0,94 | kg |
| Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124 | 0,02 | kg |
| Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123 | 0,02 | kg |
| Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115 | 0,44 | kg |
| Hydrocarbons, chlorinated | 0,00617 | kg |
| Methane, bromo-, Halon 1001 | 0,38 | kg |
| Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211 | 6 | kg |
| Methane, bromodifluoro-, Halon 1201 | 1,4 | kg |
| Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301 | 12 | kg |
| Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22 | 0,05 | kg |
| Methane, dibromodifluoro-, Halon 1202 | 1,3 | kg |
| Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12 | 1 | kg |
| Methane, monochloro-, R-40 | 0,02 | kg |
| Methane, tetrachloro-, CFC-10 | 0,73 | kg |
| Methane, trichlorofluoro-, CFC-11 | 1 | kg |
| Propane, 1,3-dichloro-1,1,2,2,3-pentafluoro-, HCFC-225cb | 0,03 | kg |
| Propane, 3,3-dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoro-, HCFC-225ca | 0,02 | kg |