

—
Prof. Dr. Stefan Gäth
Geschäftsführender Direktor
Stefan.A.Gaeth@umwelt.uni-giessen.de



*Justus-Liebig Universität
Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement
Professur für Abfall- und Ressourcenmanagement*

Masterarbeit

Vergleichende CO₂-Bewertung von Mehrweg- und Einwegsystemen am Beispiel der Peter Riegel Weinimport GmbH

eingereicht von: Philipp R. Hoerr
(Philipp.Hoerr@gmx.de)

Gießen, den 21.12.2009

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung.....	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2 Kohlenstoffdioxid.....	3
2.1 Treibhauseffekt	3
2.2 Energiesektor	8
2.3 Emissionsfaktoren	11
2.3.1 Fossile Brennstoffe	12
2.3.2 Elektrische Energie.....	14
2.3.2.1 Energiemix-D	14
2.3.2.2 Energiemix-ES	16
2.4 Nahrungsmittelwirtschaft.....	17
2.4.1 Lebensmittelverpackung.....	20
2.4.2 Mehrwegsystem.....	22
2.4.3 Prozesskettenbetrachtung	25
2.4.3.1 Glasherstellung	25
2.4.3.2 Abfüllung.....	26
2.4.3.3 Verpackungsverwertung.....	26
2.4.3.4 Transport.....	27
2.4.3.5 Handel und Konsument	28
2.5 Fragestellung	31
3 Material und Methodik	32
3.1 Material	32
3.1.1 Untersuchungsobjekt	32
3.1.2 Datengrundlage.....	33
3.2 Methodik	34
3.2.1 Ökobilanz	34
3.2.2 Stoff- und Energiebilanz.....	35
3.2.3 Produktlebenszyklus und Systemgrenzen	36

3.3 Prozessstufenanalyse	41
3.3.1 Distributionsmodell	41
3.3.1.1 Distributionsstufe I – Transport 2.....	49
3.3.1.2 Distributionsstufe II – Transport 3	49
3.3.2 Wareneinkauf – Transport 1	52
3.3.3 Flaschenreinigung und Abfüllung	54
3.3.4 Verpackungsherstellung	57
3.3.4.1 Glasflasche	57
3.3.4.2 Einwegkartonage	59
3.3.4.3 PE-Mehrwegkiste	60
3.3.5 Entsorgung.....	61
3.3.5.1 Glasverpackung	62
3.3.5.2 Transportverpackungen	63
4 Ergebnis und Diskussion.....	65
4.1 Prozessschrittbetrachtung	65
4.1.1 Wareneinkauf – Transport 1	65
4.1.2 Flaschenreinigung.....	65
4.1.3 Glasproduktion	66
4.1.4 Produktion Transportverpackung	67
4.1.5 Distribution – Transport 2 & 3	68
4.1.6 Altglasaufbereitung	69
4.1.7 Aufbereitung Transportverpackung.....	70
4.2 Ergebnisübersicht	71
4.3 Fallbetrachtung und Datenvergleich	77
4.3.1 Transport.....	77
4.3.1.1 Break-even-Betrachtung.....	77
4.3.1.2 Vergleich der Transportergebnisse mit Literaturdaten	80
4.3.2 Verpackungsproduktion	82
4.3.2.1 Rücklaufquotenanalyse.....	82
4.3.2.2 Glasproduktion	84
4.3.3 Produktverarbeitung	84
4.4 Diskussion der Studiendurchführung und Ausblick	86
5 Fazit.....	87
6 Zusammenfassung	89
Literaturverzeichnis	91
Anhang.....	102
Erklärung	118

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Treibhausgasemissionen in Deutschland 2006 in Treibhausgas-Äquivalenten	7
Abbildung 2: CO ₂ -Emissionen in Deutschland nach Quellkategorien 2006.....	8
Abbildung 3: Kohlenstoffgehalt von Brennstoffen in Abhängigkeit vom Heizwert	13
Abbildung 4: Energiemix der Stromerzeugung in Deutschland.....	15
Abbildung 5: Spezifische CO ₂ -Gesamtemissionen unter Berücksichtigung der Lebenszyklus-Analyse	15
Abbildung 6: Energiemix der Bruttostromerzeugung in Spanien 2006	17
Abbildung 7: Fließschema einer Lebensmittelprozesskette	19
Abbildung 8: Fließschema Produktlebenszyklus von Verpackungen	21
Abbildung 9: Zahlungsbereitschaft der Konsumenten für klimaverträgliche Produkte.....	29
Abbildung 10: Darstellung der Prozessstufen des Einweg- und Mehrwegverpackungssystems Fa. Riegel	38
Abbildung 11: Mehrwegverpackungsstrom nach PLZ-Gebieten in % der Gesamtmenge.....	46
Abbildung 12: Schematische Darstellung des Distributionsmodells	48
Abbildung 13: Dieselverbrauch in Abhängigkeit der Transportentfernung im Großhandelsvertrieb bei der Fa. Riegel	50
Abbildung 14: Dieselverbrauch in Abhängigkeit der Transportentfernung im Stückgutvertrieb bei der Fa. Riegel	51
Abbildung 15: Nutzenergie Q im Temperaturverlauf ΔT Laugenaufheizprozess Riwella 18/17	56
Abbildung 16: Graphische Darstellung der CO ₂ -Bilanzergebnisse Modell Riegel 2008	73
Abbildung 17: Aggregierte Ergebnisübersicht der CO ₂ -Bilanz Riegel 2008.....	75
Abbildung 18: Break-even-Analyse bezüglich Emissionsvorteilsübergang in Abhängigkeit der Distributionsentfernung Modell Riegel 2008	78
Abbildung 19: Vertriebsmengen in Abhängigkeit der Distributionsentfernung	79
Abbildung 20: Spezifische CO ₂ -Emissionen und CO ₂ -Gesamtsystemdifferenz in Abhängigkeit der Umlaufquote.....	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kumulierter Energieaufwand und Wirkungsgrad der Bereitstellung verschiedener Energieträger.....	11
Tabelle 2: Direkte und indirekte Emissionsfaktoren, Basisdaten fossiler Energieträger	14
Tabelle 3: Emissionsfaktoren Strommix Deutschland und Spanien	17
Tabelle 4: Elemente der Verpackungssysteme im Vergleich.....	33
Tabelle 5: Stoffstrom- und Energiefaktoren der Verpackungssysteme.....	43
Tabelle 6: Verpackungsstrom nach Distributionsweg und Produktzustand für Mehrweg.....	44
Tabelle 7: Stoffstromfaktoren nach Vertriebschienen für Mehrweg	48
Tabelle 8: Spezifische und absolute Emissionswerte und Energiewerte Transport 2 & 3	52
Tabelle 9: Stoffstrom- und Energiemenge Transport 1	53
Tabelle 10: Stoffstrom- und Energiemenge der Flaschenreinigung der Fa. Riegel	57
Tabelle 11: Stoffstrommengen und Systemdaten Glasproduktion der Fa. Riegel	58
Tabelle 12: Spezifische Energiemenge der Glasproduktion	59
Tabelle 13: Spezifische Stoffstrom- und Energiemengen der Einwegkartonageherstellung.....	60
Tabelle 14: Spezifische Stoffstrom- und Energiemengen der PE- Mehrwegkistenherstellung.....	61
Tabelle 15: Spezifische Stoffstrom- und Energiemengen der Altglasaufbereitung	63
Tabelle 16: Spezifische Stoffstrom- und Energiemengen der Aufbereitung der Transportverpackungen.....	64
Tabelle 17: Gesamt- und Spezifische CO ₂ -Emissionen Transport 1.....	65
Tabelle 18: CO ₂ -Emissionen der Flaschenreinigung.....	66
Tabelle 19: CO ₂ -Emissionen der Glasproduktion	67
Tabelle 20: CO ₂ -Emissionen der Transportverpackungsherstellung.....	67
Tabelle 21: Spezifische und absolute Emissions- und Energiemenge Transport 2 & 3.....	69
Tabelle 22: CO ₂ -Emissionen Transport 2 & 3.....	69
Tabelle 23: CO ₂ -Emissionen der Altglasaufbereitung	70
Tabelle 24: CO ₂ -Emissionen der Transportkistenaufbereitung.....	70

Tabelle 25: Ergebnisübersicht der CO ₂ -Bilanz Riegel 2008 bezogen auf die funktionelle Einheit	71
Tabelle 26: Ergebnisübersicht der CO ₂ -Bilanz Riegel 2008 bezogen auf das Verkaufsverpackungsvolumen.....	71
Tabelle 27: Vergleich von Energieverbrauchsdaten von Waschautomaten und kompletter Abfüllstraße	85
Tabelle 28: Quelldaten der Treibstoffverbräuche Logistikmodell Riegel 2008.....	102
Tabelle 29: Fahrzeugparameter, Auslastungen und abgeleitete spezifische Verbrauchswerte	102
Tabelle 30: Basisdaten von Energieträgern	103
Tabelle 31: Stoffstromergebnisse aufgeschlüsselt nach Transportschienen und Produktzuständen Transport 2	104
Tabelle 32: Stoffstromergebnisse aufgeschlüsselt nach Transportschienen und Produktzuständen Transport 3	105
Tabelle 33: Berechnungsgrundlage des durchschnittlichen Vertriebsradius im Großhandel.....	105
Tabelle 34: Berechnung der durchschnittlichen Distributionsemissionen	106
Tabelle 35: Berechnungsübersicht Transport 1	106
Tabelle 36: Berechnungsübersicht Flaschenreinigung	107
Tabelle 37: Temperaturdifferenzen des Reinigungsautomat Riwella 18/17	108
Tabelle 38: Datenblatt Flaschenreinigungsmaschine Riwella 18/17.....	109
Tabelle 39: Berechnungsübersicht Glasproduktion.....	110
Tabelle 40: Berechnungsübersicht Kistenherstellung Einwegkartonage	111
Tabelle 41: Berechnungsübersicht Kistenherstellung-Mehrweg.....	112
Tabelle 42: Berechnungsübersicht Altglasaufbereitung.....	113
Tabelle 43: Berechnungsübersicht Kistenaufbereitung.....	114
Tabelle 44: Durchschnittsverbrauchberechnung für Logistikmodell Riegel 2008.....	114
Tabelle 45: Relationales Logistikmodell zur Berechnung des Durchschnittsverbrauchs	115
Tabelle 46: Kundenliste außerhalb des break- even-Vertriebsradius.....	116
Tabelle 47: Umsatzzahlen Kunden mit Vertriebsradius zwischen 860 und 1025 km.....	117

Abkürzungsverzeichnis

Allgemein

A	Warenausgang
C	Kohlenstoff
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CH ₄	Methan
EEG	Gesetz für den Vorzug Erneuerbarer Energien
EW	Einweg (0,75 L Vol Flasche)
GdB	Gebinde Deutscher Brunnen
GfK	Gesellschaft für Konsumforschung
GH	Großhandel
Gt	Gigatonnen
GWP	Global warming potential
HFKW	Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
IPCC	International Panel of Climate Change
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KEV	Kumulierter Energieverbrauch
KrW-/AbfG	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen innerhalb des Umweltrechts
LMVG	Lebensmittel Hygiene Verordnung
L Vol	Funktionelle Einheit = 1 Liter Verpackungsvolumen
MJ	Megajoule
MW	Mehrweg (1 L Vol Flasche)
N ₂ O	Lachgas
Pal	Europoolpalette, Europalette
PFC	Perfluorierte Kohlenwasserstoffe
PLZ	Postleitzahl
POS	Point of Sale
QS	Qualitätssicherungsdokumentation
SG	Stückgut

SF ₆	Schwefelhexafluorid
S.T.a.R	Systemtransport auf Rädern – Stückguttransportkooperation
UBA	Umweltbundesamt
UV	Ultraviolettes Licht
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
VerpackVO	Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen innerhalb des Umweltrechts
VerpVol	Verpackungsvolumen
Vol	Volumen

Variablen

A [p ₁ /p _s]	Auslastungsfaktor
C [kWh/(kg*(T ₂ -T ₁))]	Spezifischer Wärmekoeffizient
E _{Ges} [g CO ₂ /VerpVol]	CO ₂ Gesamtemission
F _{EW} [0,853]	Energiefaktor für Einweg auf Grund Verpackungsvolumendifferenz
P ₁ [Pal]	Geladene Palettenanzahl
P _S [Pal/LKW]	Max. Palettenstellzahl bei Vollauslastung
P _{T1} [tkm]	Transportleistung
P _{T2} [Palkm]	Transportleistung
Q [kWh, MJ]	Wärmeenergie
T [°C, K]	Temperatur
tkm	Tonnenkilometer
V _{Ges} [L Diesel]	Dieserverbrauch je Vertriebsschiene 2008
V _{LKW} [L Diesel/100 km]	Diesel Verbrauch LKW
V _S [L Diesel/(Pal*100 km)]	Spezifischer Dieserverbrauch LKW je Pal

1 Einleitung

Getränkeverpackungen stehen bezüglich ihrer ökologischen Auswirkungen schon seit den 1970er Jahren im Fokus gesellschaftspolitischer Überlegungen und verursachten seither unterschiedliche und häufig kontroverse Debatten. Anlass hierzu gaben anfänglich insbesondere die Menge und die Entsorgung der Lebensmittelverpackungen. Diese Diskussionen sind heute durch vorhandene Recyclingsysteme, mit dem Ziel geschlossener Wertstoffkreisläufe, weitestgehend entschärft. Seit Anfang der 1990er Jahre liegt nun der Fokus auf den mit der Verpackungserstellung und dem Transport verbundenen CO₂-Emissionen durch den Verbrauch fossiler Energie. Grund hierfür ist die Wirkung des CO₂ als Treibhausgas in der Atmosphäre und die zunehmenden Auswirkungen des Treibhauseffekts auf das Klima.

Konsumenten weisen ein immer größeres Interesse an Produkten mit *umweltschonendem* Zusatznutzen auf (BMU 2008). Durch die Marktconstellation des Käufermarkts im Lebensmittelhandel sind von Seiten des Handels in den letzten Jahren verschiedene Initiativen der ökologischen Kennzeichnung von Produkten eingeführt worden.

Die Peter Riegel Weinimport GmbH in D-78359 Orsingen hat sich auf den Vertrieb importierten Weins im Biosegment spezialisiert. Neben den Bioweinen steigt auch die Anzahl der unter *Fair-Trade*-Bedingungen hergestellten und gehandelten Weinen. Kernelement der Firmenphilosophie der Peter Riegel Weinimport GmbH ist entsprechend der Aspekt der Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung. Hierzu betreibt die Fa. Riegel für die Weinverpackungen ein Mehrwegverpackungssystem – nebst dem in der Weinbranche dominierenden Einwegverpackungssystem. Die ökologische Belastung, die mit einem Mehrweg- oder Einwegverpackungssystem verbunden ist, kann pauschal nicht beantwortet werden. Während Mehrweg auf Grund der hohen Vertriebswege im Weinhandel Gegenstand der Kritik ist, wird Einweg auf Grund des hohen Ressourcenverbrauchs in Verbindung mit der begrenzten Nutzungsphase kritisiert (UBA 2002b).

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist deshalb eine möglichst vollständige Bestimmung der fossilen CO₂-Emissionslast des Mehrweg- und Einwegverpackungssystem entlang des Produktlebenszyklus in Form einer CO₂-Bilanz. Mithilfe dieser Bilanzierung wird die Identifizierung der Parameter und des Ausmaßes der CO₂-Entstehung innerhalb der Getränkeverpackungssysteme bezweckt, um so eine Datengrundlage zur Klärung unternehmerischer Fragestellungen zu schaffen. Um eine möglichst realitätsnahe Modellierung der Stoff- und Energieströme und der damit verbundenen fossilen CO₂-Emissionen aufzuzeigen, wurde

als Untersuchungszeitraum das Geschäftsjahr 2008 festgelegt. Als Untersuchungsobjekte wurden die mengenmäßig wichtigsten Verpackungsgrößen, das 1 L Mehrweg- und das 0,75 L Einwegformat der Fa. Riegel, festgelegt. Als Bezugsgebiet des Füllguts innerhalb der Modellierung wurde Südeuropa gewählt.

Untersucht werden Prozesse der Verpackungsverarbeitung und des Transports. Innerhalb der Verpackungsverarbeitung werden drei Prozessstufen unterschieden: Verpackungsherstellung, Abfüllung, Sammlung und Aufbereitung der Verpackungen. Die Transporte des Wareneinkaufs und die Distribution des Warenvertriebs werden als eigenständige Prozessstufen berücksichtigt. Nachdem auf jeder Prozessstufe die spezifischen Stoff- und Energieströme entlang des Produktlebenszyklus erfasst sind, können hiermit die CO₂-Mengen bestimmt und zwischen den Verpackungssystemen vergleichend dargestellt werden.

1.2 Aufbau der Arbeit

Zunächst wird, nach einigen Erläuterungen zum Kohlenstoffkreislauf, die Relevanz des Treibhausgases CO₂ für den Treibhauseffekt und das Klima vorgestellt. Nebst der Funktionsweise des Treibhauseffekts und der wichtigsten anthropogenen Treibhausgase werden die Hauptquellen und die Hauptsenken des CO₂ identifiziert und der Energiebedarf fossiler Energieträger als CO₂-Hauptemittent beleuchtet. Des Weiteren werden die gesetzlichen Rahmenbedingungen und Definitionen von Verpackungen, die Bestimmung der Prozesskette der Getränkeverpackungsherstellung und die Systemcharakteristika von Mehrwegverpackungen auf dem Weinmarkt erörtert. Vor dem Hintergrund dieser Erkenntnisse der Markt- und Systemcharakteristiken werden am Ende des 2. Kapitels Thesen und Fragen formuliert.

Die Methodik besteht aus drei Schritten. Zuerst wird eine Stoffstromanalyse mit dem Ziel der Identifizierung der Quantität und Pfade der Verpackungen im System erstellt. Stoffströme sind mit Energieverbrauch verbunden, daher werden im zweiten Schritt, der Energiebilanz, die fossilen Energiemengen quantifiziert. Neben den energiebedingten Emissionen werden im dritten Schritt, der CO₂-Bilanz, die prozessbedingten CO₂-Emissionen erfasst.

Nach der Darstellung der Methodik und der vergleichenden Ergebnisdarstellung werden die Emissions-Hot-Spots der Prozesskette mit Literaturdaten verglichen. Außerdem werden in Szenarioberechnungen die Stellgrößen der Logistik und der Verpackungsherstellung betrachtet.

2 Stand der Forschung

2.1 Treibhauseffekt

Die Menge des Elementes Kohlenstoff (C) auf der Erde ist mit 75 Mio. Gt konstant (IPCC 2007). Kohlenstoff kommt dabei in den Kompartimenten Lithosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre vor. Jedes der vier Teilsysteme ist durch Speicher-Kapazität, Verweildauer, Zufluss und Abfluss von Kohlenstoffverbindungen charakterisiert. Dieses System, Kohlenstoffkreislauf genannt, befindet sich im natürlichen ungestörten Zustand in einem (Quasi)-Gleichgewicht. Durch die Verbrennung fossiler Energieträger (im Zuge menschlicher Aktivität) finden Änderungen der Flussrate – primär in der Atmosphäre und der Lithosphäre – statt. Dies hat zur Folge, dass es zu einer Abreicherung von Kohlenwasserstoffen in der Lithosphäre und einer Kohlenstoffanreicherung in der Atmosphäre kommt (Grimmel 2006, Ahamer et al. 2005).

Die kohlenstoffhaltigen Verbindungen CO_2 und CH_4 wirken neben anderen atmosphärischen Gasen als Treibhausgase. Sie verhindern als gasförmige Substanzen in der Atmosphäre die Wärmeabstrahlung, indem sie kurzwellige Sonneneinstrahlung nahezu ungehindert passieren lassen und Teile der langwelligen Rückstrahlung von der Erdoberfläche absorbieren. Die Gase werden dadurch in einen energetisch angeregten Zustand versetzt, der nach kurzer Zeit unter Aussendung infraroter Strahlung wieder in den Grundzustand zurückfällt. Die infrarote Wärmestrahlung wird dabei gleichwertig in alle Richtungen ausgesendet, so dass ein erheblicher Anteil zurück auf die Erde fällt (thermische Gegenstrahlung). Folglich erhöht sich das Energieniveau der Erde durch die Präsenz von Treibhausgasen (DEHST 2009, UBA 2009c). Nach der Herkunft der Treibhausgase wird zwischen dem natürlichen und anthropogenen Treibhauseffekt unterschieden. Der natürliche Treibhauseffekt ist der Teil des Gesamteffekts, der durch die Treibhausgaskonstellation vor dem anthropogenen Eingriff vorhanden war. Dies führte dazu, dass die durchschnittliche Oberflächentemperatur von -18°C auf $+15^\circ\text{C}$ angestiegen ist. Hauptanteil an diesem Effekt hat Wasserdampf als mengenmäßig wichtigstes Treibhausgas. Der natürliche Treibhauseffekt ist eine unverzichtbare Voraussetzung für das Leben auf der Erde (UBA 2009d).

Der anthropogene Teil des Treibhauseffekts beruht auf den Emissionen menschlicher Aktivität. Die atmosphärischen Konzentrationen von Lachgas haben sich seit 1750 um ca. 18 %, von Kohlendioxid um ca. 35 % und die Konzentration von Methan um über 100 % erhöht. Während die Emissionsmenge von Methan in den letzten zehn Jahren rückläufig ist, nimmt

CO₂ hingegen deutlich zu, so dass rund 77 % der Treibhausgasemission CO₂ ist und CO₂ somit das mengenmäßig wichtigste anthropogene Treibhausgas darstellt (WBA 2007).

Nach dem Kyoto-Protokoll, einem völkerrechtlich verbindlichen Abkommen zur Reduzierung des anthropogenen Ausstoßes von Treibhausgasen, werden sechs anthropogen bedingte Treibhausgase unterschieden. Nach der Bedeutung ihres Beitrags am anthropogenen Treibhauseffekt geordnet sind dies CO₂, Lachgas (N₂O) und CH₄ mit dem Basisjahr 1990 und HFKW (Teilhaletenierie Fluorkohlenwasserstoffe), PFC (Perfluorierte Kohlenwasserstoffe) und SF₆ (Schwefelhexafluorid) mit dem Basisjahr 1995 (IPCC 2007).

Jedes dieser Gase deckt mit charakteristischer Absorptionseigenschaft verschiedene Wellenlängen und Energiebereiche im elektromagnetischen Spektrum des sichtbaren und nicht sichtbaren UV- und Infrarotlichtes ab. Das Wirkungspotential der Treibhausgase ist abhängig von ihrem individuell stoffspezifischen Absorptionsverhalten und von dem Absorptionsverhalten anderer Treibhausgase. Wasserdampf absorbiert in einem weiten Wellenlängenbereich die von der Erde emittierte Infrarotstrahlung, jedoch schwankt die Absorptionsintensität entlang des Spektralbereichs. Das Treibhauspotential von CO₂ und CH₄ ist bedeutend, da sie Strahlung in Spektralbereichen absorbieren, in denen Wasserdampf keine oder nur geringe Absorptionsleistung besitzt und die Strahlung dort unter Abwesenheit von CO₂ und CH₄ ungehindert passieren könnte. Neben dem Absorptionsspektrum ist das Treibhauspotential der einzelnen Gase von ihrer Lebensdauer in der Atmosphäre abhängig, die stark unterschiedlich ausfallen können. Um die Wirksamkeit der einzelnen Gase bezüglich des Treibhauseffekts vergleichbar zu machen, werden diese über die Einheit GWP (global warming potential) dargestellt. Berücksichtigte Berechnungsfaktoren sind die stoffspezifische Emissionsmenge, Absorptionseigenschaften, Lebensdauer und die bereits existierende Atmosphärenkonzentration. Die einzelnen Treibhausgase einer bestimmten Gaskonstellation werden dazu in Relation zur Wirksamkeit von CO₂ (GWP_{CO₂} = 1) in CO₂-Äquivalenten auf einen Zeithorizont von 100 Jahren bezogen (GWP_{CH₄} = 21, GWP_{N₂O} = 310) (Uherek 2008, Solomon 2007).

Nach derzeitigem Stand der Wissenschaft gilt der anthropogene Treibhauseffekt als wesentliche Ursache für die zu beobachtenden Klimaänderungen (IPCC 2007): „Der größte Teil des Anstiegs der mittleren globalen Temperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts geht sehr wahrscheinlich auf die Zunahme der vom Menschen verursachten Treibhausgase in der Atmosphäre zurück“ (IPCC 2007, S. 10). Es wird von einem Klimawandel gesprochen, der laut Definition eine „Veränderung der durchschnittlichen Witterungsverhältnisse und der

Extremereignisse über einen längeren Zeitraum in einem bestimmten Gebiet oder global“ (UBA 2009d, S. 52) umfasst.

In den vergangenen Jahrzehnten haben Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse auf der Erde stattgefunden. Zu beobachten ist der Anstieg der globalen mittleren Oberflächentemperatur um $0,74^{\circ}\text{C}$ im Laufe der letzten 100 Jahre sowie eine Beschleunigung des weltweiten Anstiegs des Meeresspiegels von ca. $1,8\text{ mm/a}$ im Jahre 1961 bis hin zur heutigen Anstiegsrate von $3,1\text{ mm/a}$. Der Rückgang der Kontinentalgletscher ist ein weiteres Merkmal dieser Klimaänderung (WBA 2007). Die Erderwärmung wird solange zunehmen, bis sich ein neues Gleichgewicht aus abgehender Wärmestrahlung und ankommender Sonnenstrahlung eingestellt haben wird (UBA 2009b). Zur Begrenzung des Temperaturanstiegs auf 2°C wird im vierten Sachstandsbericht des IPCC mehrfach eine globale Reduktion der Treibhausgasemissionen von 50 - 85 % bis 2050 gegenüber dem Stand von 2000 genannt. Um dies zu erreichen, wird eine Treibhausgasreduktion von 80 - 95 % in den Industrieländern bis 2050 als nötig angesehen (IPCC 2007).

Die Zunahme der weltweiten Treibhausgasemissionen lassen sich nahezu vollständig auf menschliche Aktivität zurückführen. Die CO_2 -Zunahme liegt primär im starken Anstieg der Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl oder Erdgas und in der Ausweitung der industriellen Produktion begründet. Anteil daran hat auch der Landwirtschaftssektor durch großflächig durchgeführte Landnutzungsänderungen, wie der Entwaldung, Ausweitung der Land- und Viehwirtschaft mit erhöhtem Düngemiteleinsatz. Dies verursacht vor allem eine Zunahme der Methan- und Lachgasemissionen. Zusätzlich haben auch die synthetischen Treibhausgase wie beispielsweise Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), Halone und Schwefelhexafluorid (SF_6), die fast ausschließlich durch den Menschen erzeugt werden, durch ihre Persistenz einen erheblichen Einfluss (UBA 2009b).

Zur vollständigen Betrachtung des Treibhauseffekts gilt es, neben dem CO_2 -Systeminput auch den CO_2 -Systemoutput, die CO_2 -Senken, zu betrachten. Eine Zunahme der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre kann durch die Zunahme der weltweiten Emissionen begründet sein, sie kann aber auch durch verminderte Absorptionsleistung von Kohlenstoffsenken generiert oder verstärkt werden. Die Einflussparameter der Senkenleistung sind vielfältig und stark verknüpft, so dass Aussagen zu Senkenkapazitäten und -leistungen heute noch mit einer Unschärfe behaftet sind (WBdB 2006).

Der wichtigste CO_2 -Speicher und die wichtigste CO_2 -Senke ist, mit einem momentanen Speichervolumen von rund 38000 Gt , das Meer (IPCC 2001). Vor dem anthropogenen Atmosphäreneingriff war das Meer in der Kohlenstoffbilanz neutral. Während der steigenden CO_2 -

Konzentrationen in der Atmosphäre im Zuge menschlichen Daseins ist die CO₂-Aufnahmerate der Ozeane annähernd mitgewachsen. Ergebnisse zeigen aber, dass die relative Aufnahmeeffizienz, der jährlich absorbierte Anteil der anthropogenen CO₂-Emissionen, sinkt, und zwar von 28 - 34 % (1980) auf heute 26 %. Vor dem Hintergrund des heutigen wissenschaftlichen Kenntnisstands lautet die Prognose des Absorptionsverhalten der Meere, dass bei steigender atmosphärischer CO₂-Konzentration der durch den Ozean aufgenommene Anteil der hinzukommenden anthropogenen CO₂-Emissionen sinken wird, selbst wenn die absolute Aufnahmerate noch ansteigt (WBdB 2006, IPCC 2001).

Eine Zunahme der Senkenleistung ist im terrestrischen Bereich zu verzeichnen. Vor allem in Waldökosystemen kam es zwischen 1980 und 1990 innerhalb der EU zu einer Steigerung der Speichermenge um 20 % auf 2,3 Gt CO₂. Die Aufnahmemengen schwanken jedoch infolge unterschiedlicher Parameter, die hier nicht näher erläutert werden können, stark, wobei das Klima der einflussreichste (Rückkopplungs-)Faktor ist, denn abhängig vom Klima kann sich die terrestrische Kohlenstoffsенke auch zur CO₂-Quelle entwickeln (Brüning 2001).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die sinkende relative CO₂-Absorptionsrate der Meere bei gleich bleibender Emissionsrate zu einer Erhöhung der atmosphärischen CO₂-Konzentration führen wird. Ob die terrestrische Senke dies kompensieren kann, müssen weitere Untersuchungen zeigen. Auf Grund der mit den CO₂-Emissionen verbundenen deutlichen Auswirkungen auf das Klimasystem sollte bzw. muss es darum gehen, die Emissionsmenge nach Möglichkeit zu begrenzen. Hierzu werden nachfolgend die Treibhausgaszusammensetzung und -quellen in Deutschland identifiziert.

Wie in Abbildung 1 dargestellt sind 87 % der 981,3 Mio. t der Treibhausgasgesamtemissionen in Deutschland im Jahr 2006 CO₂. Lachgas und Methan folgen mit einem Anteil von 11 % an den Gesamtemissionen. Die restlichen Gase kommen in der Summe auf 1,7 %.

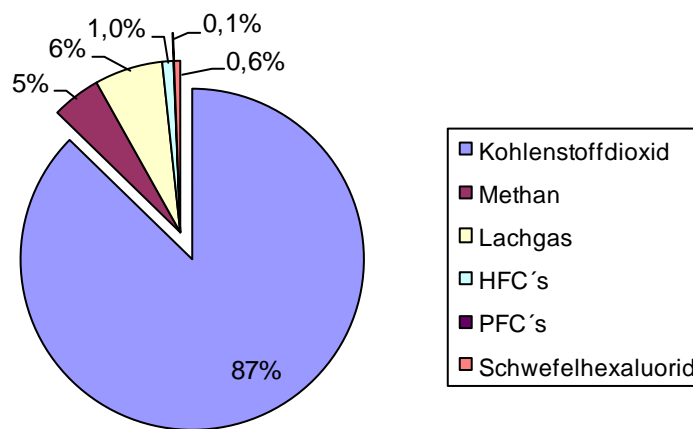


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen in Deutschland 2006 in Treibhausgas-Äquivalenten (UBA 2008b)

Es zeigt sich, dass CO₂ den größten Anteil an den Gesamtemissionen hat. Zur genaueren Betrachtung werden die CO₂-Emissionen folgend nach Quellkategorien aufgeschlüsselt.

Langfristig gebundenes CO₂ wird durch den Energieeinsatz fossiler Brennstoffe oder durch chemische Reaktionen von mineralischen oder erdölbasierenden Rohstoffen während Verarbeitungsprozessen in der Industrie, beispielsweise in der Glas-, Zement- und Metallherstellung, freigesetzt. Die 856,6 Mio. t der CO₂-Emissionen in Deutschland im Jahr 2007 sind zu 91 % energiebedingte Emissionen fossiler Brennstoffe und zu rund 9 % durch industrielle Prozesse verursacht (UBA 2008b). CO₂-Emissionen treten bei der Herstellung und dem Vertrieb von Getränkeverpackungen zum einen durch die Nutzung fossiler Energieträger und zum anderen prozessbedingt innerhalb der Glasproduktion auf. Hier kommt es während der Glasschmelze zur Lösung von Carbonatverbindungen mineralischer Rohstoffe (UBA 2001).

Eine weitere Aufschlüsselung der CO₂-Emissionen nach Quellkategorien ist in Abbildung 2 dargestellt.

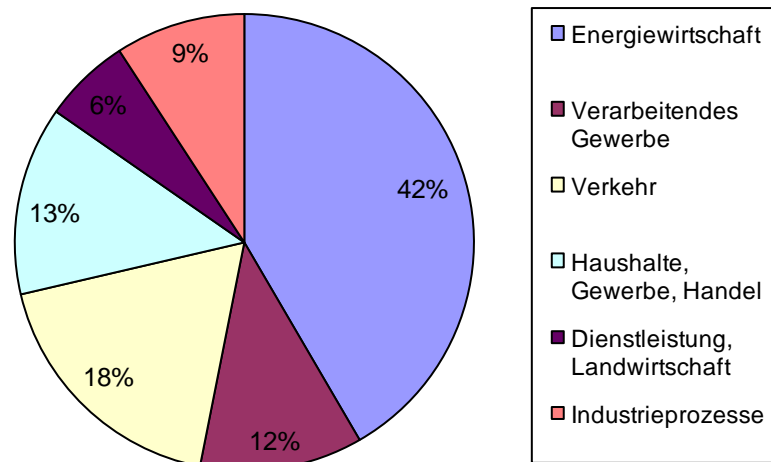


Abbildung 2: CO₂-Emissionen in Deutschland nach Quellkategorien 2006 (UBA 2008a)

Die energiebedingten Emissionen fossiler Brennstoffe teilen sich auf in verschiedene Quellkategorien, wobei die Emissionsmenge der Energiewirtschaft mit 42 % der Gesamtemissionen dominant ist, gefolgt vom Verarbeitenden Gewerbe, Verkehr und Privatverbrauchsstellen. Die Industrie trägt mit einem Anteil von 12 % zu den energiebedingten CO₂-Emissionen bei.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass 87 % der Treibhausgasemissionsmenge in Deutschland CO₂ darstellt und 91 % davon energetisch bedingt ist. Der Anteil der Energiewirtschaft daran beträgt 42 %. Durch industrielle Prozesse, vor allem aus der Zement- und Glasindustrie, stammen 9 % der CO₂-Emissionen.

Auf Grund der CO₂-Emissionsverteilung nach Quellkategorien werden bezüglich der CO₂-Bilanzierung der Weinverpackungen später die industriell bedingten Emissionen der Glasherstellung und der fossilen Energieträger betrachtet. Zur Bestimmung der Emissionen von Energieträgern gilt es jedoch zuerst den Energiesektor und die Energieproduktion genauer zu betrachten.

2.2 Energiesektor

Der Energieverbrauch trägt in hohem Maß zu den CO₂-Emissionen bei. Die Herstellungsprozesse der zu untersuchenden Getränkeverpackungen sind mit Energieeinsatz in Form von fossilen Brennstoffen und elektrischer Energie verbunden. Um die CO₂-Mengen des

benötigten Energieeinsatzes zu bestimmen, gilt es zuerst den theoretischen Zusammenhang von Energiearten und ihren spezifischen Emissionen zu beleuchten.

Unter Energie wird die Fähigkeit eines Systems verstanden, äußere Wirkungen in Form von Arbeitspotential, Kraft, Wärme und Licht hervorzubringen (Wiese et al. 2005). Ein Energieträger wird in einer allgemeinen Definition der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanz e. V. (AGEB) definiert als „alle Quellen oder Stoffe (...), in denen Energie mechanisch, thermisch, chemisch oder physikalisch gespeichert ist“ (AGEB 2008, S. 4). Die Bereitstellung von Energieträgern ist verbunden mit Verarbeitungs- und Umwandlungsprozessen, um, ausgehend von Primärenergieträgern für den Konsumenten, nutzbare Endenergieformen bereitzustellen. Energieträger werden daher nach dem Grad der Umwandlung unterteilt in Primär-, Sekundär- und Endenergieträger.

Primärenergieträger sind Stoffe ohne jegliche technische Umwandlung, wie z.B. Steinkohle, Erdöl und Biomasse, sowie unter den erneuerbaren Energien beispielsweise die Solarstrahlung oder die Windkraft. Aus Primärenergieträgern werden durch einen oder mehrere Umwandlungsprozessen, die mit Umwandlungs- und Verteilungsverlusten verbunden sind, Sekundärenergieträger wie z.B. Diesel, Heizöl oder elektrischer Strom. Die Sekundärenergie stellt eine energetische Zwischenstufe zur Endenergie dar. Die Endenergie ist als die Energiemenge definiert, die dem Verbraucher zur Verfügung steht. Sie entspricht dem Energiegehalt des Primärenergieträgers abzüglich aller Umwandlungs- und Verteilerverluste von der Energiequelle bis hin zum Konsumenten. Die Nutzenergie ist die Energiemenge des Endenergieträgers, die für den zielgerichteten Nutzen durch den Konsumenten, abzüglich der letzten Umwandlungsverluste, zur Verfügung steht (Wiese et al. 2006).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sind vor allem die Stufen der Primärenergie und Endenergie von Bedeutung, da verschiedene Energiedaten der Untersuchung unterschiedliche Bezugsrahmen aufweisen. Zum einen liegen akkumulierte Energiemengendatensätze vor, die die Umwandlungs- und Transformationsverluste berücksichtigen, und zum anderen liegen Endenergiemengen vor, die unter anderem in Eigenerhebungen bestimmt wurden. Dies wirft Probleme bezüglich der Vergleichbarkeit der Energiedaten auf, da die Transformationsverluste von Primärenergieträgern zu verschiedenen Endenergieträgern je nach Endenergieart unterschiedlich ausfallen (s. Tabelle 1). Um im Rahmen der Untersuchung eine Vergleichbarkeit zwischen den Energieträgern gewährleisten zu können, werden diese Transformationsverluste der Endenergieträger mitberücksichtigt und auf dem Niveau der Endenergiemenge inklusive der Vorketten erfasst.

Die Energievorketten werden auch als graue Energie oder indirekte Energie bezeichnet. Die Endenergiemenge ist folglich die direkte (nutzbare) Energie (Breyer 2008, Lübbert 2007). Die Bilanzierung der gesamten Energiemengen wird in Form des Kumulierten-Energie-Aufwands (KEA) vorgenommen. Der KEA berücksichtigt als Maßzahl den gesamten Aufwand an Energieressourcen entlang der kompletten Prozesskette der Endenergiebereitstellung vom Vorkommen der Primärenergieträger bis hin zu der Produkt- bzw. Dienstleistungsnachfrage (Fritsche und Schmidt 2006).

Der zusätzliche Informationsgehalt des KEA, als Verhältnis von Primärenergie zu Endenergie, ist der Wirkungsgrad der Energiebereitstellung durch den Kehrwert (Wirkungsgrad = Endenergie [TJ]/Primärenergie [TJ]) als das Verhältnis von Nutzen zum Aufwand (s. Tabelle 1).

Der KEA wurde Anfang der 1990er Jahre unter Beteiligung des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) und des Umweltbundesamts in einem Regelwerk, der VDI Richtlinie 4600, bestimmt. Das Umweltbundesamt unterteilt den KEA in folgende Teilmengen der Primärenergieträger (Fritsche et al. 1999):

KEA_{nichternewerbar} = Summe der fossilen und nuklearen Primärenergien

KEA_{ernewerbar} = Summe der regenerativen Energien

KEA_{andere} = Summe energetisch genutzter Reststoffe

KEA_{Summe} = Summe aller Komponenten

Der Anteil der fossilen und nuklearen Primärenergien zur Erstellung des Gesamt-KEA ist der langfristig klimawirksame Anteil der Gesamtenergie. Die davon ausgehenden CO₂-Emissionen würden ohne anthropogenes Zutun nicht freigesetzt werden. Folglich werden diese im Rahmen der CO₂-Bilanzierung der Getränkesysteme der Fa. Riegel im Weiteren berücksichtigt. Zur Vervollständigung des Ansatzes der Kumulierten Energiemengenbestimmung gilt es, den KEV, den Kumulierten-Energie-Verbrauch, zu erläutern. Er ist, ähnlich wie der KEA, eine Maßzahl für den gesamten Aufwand an Energieressourcen in Form von Primärenergien zur Bereitstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung und wird entsprechend gleich unterteilt. Der KEV bildet den energetischen Aufwand zur Bereitstellung benötigter Stoffe, im Gegensatz zum KEA ohne den Heizwert des Endstoffes, ab. Dies ist relevant, wenn Energieträger – wie zum Beispiel Erdöl – nicht energetisch, sondern stofflich in der Polyethylenherstellung genutzt werden und das Produkt nach der Nutzung durch thermische Verwertung noch zur Energiegewinnung zur Verfügung steht

(Fritsche und Schmidt 2006). Der KEV hat somit den gleichen Wert wie der KEA, wenn der betrachtete Stoff in primärer Anwendung energetisch genutzt wird. In Tabelle 1 ist der KEA das Verhältnis von Primärenergie [kWh], zur Endenergiemenge [kWh] mit dem Wirkungsgrad der Energiebereitstellung für die in der folgenden Untersuchung verwendeten Energieträger dargestellt. Der in der Arbeit berücksichtigte fossile Anteil des KEA ist separat aufgeführt. Bezugspunkte der Energiebereitstellung sind für Erdölprodukte die Raffinerie, für Kohle die Kohlehalden Übertage in Deutschland und für Elektrizität die Abnahmestelle des Konsumenten.

Tabelle 1: Kumulierter Energieaufwand und Wirkungsgrad der Bereitstellung verschiedener Energieträger (Ökoinstitut 2009)

Energieträger	KEA gesamt	Wirkungsgrad gesamt	KEA fossil	Quelle Ökoinstitut 2009 Prozesse
Erdgas	1,115	0,90	1,113	Erdgas-DE-IN-2010
Diesel	1,112	0,90	1,089	Raff\Diesel-EU-2010
Heizöl L	1,143	0,87	1,140	Raff\Öl leicht-DE-HH/KV-2010
Heizöl S	1,125	0,89	1,123	Raff\Öl schwer-DE-2010
Erdöl	1,112	0,90	1,109	Raff\Öl-Produkte-EU-2010
Steinkohle	1,037	0,96	1,037	Steinkohle-DE-Vollwert-2010
Braunkohle	1,015	0,99	1,015	Braunkohle_Tagebau-DE-Lausitz
Elektroenergie D	2,638	0,38	2,224	EI-KW-Park-DE-2010
Elektroenergie ES	2,542	0,39	1,790	EI-KW-Park-ES-2010

2.3 Emissionsfaktoren

Zur Identifizierung der CO₂-Emissionen der verschiedenen Energieträger werden für jeden Energieträger Emissionsfaktoren in kg CO₂ je Energiemenge bestimmt. Im Folgenden wird die Einheit kg CO₂/kWh verwendet. Emissionsfaktoren differenzieren bezüglich folgender Parameter (IZU 2007):

- Energieart: d.h. jeder Energieträger weist charakteristische Emissionswerte auf.
- Bilanzumfang: d.h. alle Treibhausgase werden in CO₂-Äquivalenten erfasst oder es werden nur ausgewählte, wie z. B. CO₂, berücksichtigt.

- Quellbilanz: nur direkte Emissionen werden berücksichtigt, d.h. nur die Emissionen, die am Ort der Energienutzung auftreten.
- Gesamtbilanz: zusätzlich zu den direkten Emissionen werden indirekte Emissionen berücksichtigt, die bei der Gewinnung und Bereitstellung der Energieträger auftreten.

Es wird deshalb für CO₂, unter Vernachlässigung weiterer Treibhausgase, die Emissionsbestimmung bezüglich fossiler und elektrischer Endenergie in Form einer Gesamtbilanz erörtert. Innerhalb einer CO₂-Gesamtbilanz, in welcher verschiedene Energieträger berücksichtigt werden, gilt es, die entsprechenden Energiemengen je nach Energieniveau mit direkten und eventuell zusätzlich mit indirekten Emissionsfaktoren zu bewerten.

2.3.1 Fossile Brennstoffe

Fossile Brennstoffe trugen 2008 zu rund 80 % zur weltweiten Energienachfrage bei. Fossile Brennstoffe sind organische Kohlenstoffablagerungen, die durch biologische und geologische Prozesse gebildet wurden und durch geogene Bedingungen in ihrer Zusammensetzung geprägt sind. Sie können physikalische und chemische Unterschiede aufweisen, selbst wenn sie erdzeitlich gesehen gleichen Alters und gleicher Art sind (IEA 2009, Wiese et al. 2005). Zur exakten Bestimmung der CO₂-Emissionen muss daher zuerst der theoretische Zusammenhang zwischen Brennstoffart und spezifischer CO₂-Emission geklärt werden.

Die Energiemenge einer bestimmten Menge eines fossilen Energieträgers ist stoff- und herkunftsspezifisch und kann durch den Heizwert bestimmt werden. Der Heizwert wird durch vollständige Verbrennung einer definierten Menge eines Energieträgers bestimmt, ohne die Verdampfungswärme des entstehenden Wasserdampfes mit einzubeziehen. Bei jeder Verbrennung fossiler, kohlenstoffhaltiger Energieträger werden CO₂- und H₂O-Emissionen freigesetzt, wobei für jeden Energieträger charakteristische Emissionen hinzukommen (Lübbert 2007). Die theoretische CO₂-Emissionsbestimmung eines Brennstoffs beschreibt Brandt (1991) in der zweistufigen Verbrennungsrechnung. Der erste Schritt ist die Elementaranalyse des Brennstoffs, wie sie auch die Datenbank Gemis (Ökoinstitut 2009) verwendet. Als zweiter Schritt folgen die Analyse der chemischen Verbrennungsreaktionen und die Bestimmung der Rauchgaszusammensetzung.

Die Analyse der Elementzusammensetzung der Energieträger ist der Kern der theoretischen CO₂-Emissionsmengenbestimmung. Dabei wird, exemplarisch für einen Festbrennstoff, zwischen dem brennbaren Anteil Kohlenstoff, Wasserstoff und Schwefel, dem neutralen

Anteil Sauerstoff und Stickstoff sowie dem nicht brennbaren Anteil, dem Wasser- und Ascheanteil, differenziert. Die Massenanteile von Kohlenstoff, Wasserstoff und Schwefel bedingen bei ihrer Verbrennung den Brennwert. Aus diesen Informationen lassen sich der Luftbedarf der Verbrennung und folglich die CO₂-Emissionen der Abgase bestimmen. Hierbei ist durch statistische Analysen verschiedener Brennstoffe unter Standardbedingungen ein linearer Zusammenhang zwischen dem Kohlenstoffgehalt, dem Heizwert und den CO₂-Emissionen eines Brennstoffs identifiziert worden (Brandt 1991).

Eine erste Grobbestimmung der CO₂-Emissionen eines Brennstoffs ist somit durch die Heizwertbestimmung möglich (Beising 2002). In Abbildung 3 ist die Korrelation verschiedener fossiler Brennstoffe nach Brandt abgebildet.

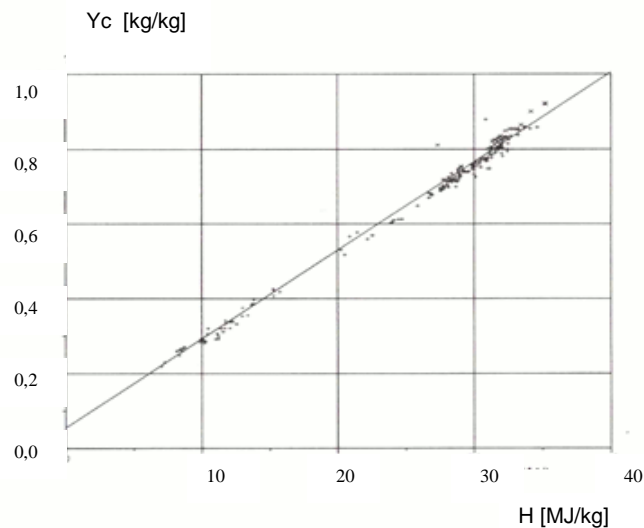


Abbildung 3: Kohlenstoffgehalt Y_c in Abhängigkeit vom Heizwert H (aus: Brandt 1991)

In Tabelle 2 werden die für die CO₂-Bestimmung der Verpackungserstellung benötigten durchschnittlichen Emissionsfaktoren und Brennstoffparameter für fossile Energieträger aufgelistet. Die Emissionsfaktoren sind dabei aufgeteilt nach ihrem direkten und indirekten Anteil an den Gesamtemissionen, wobei der Emissionsbeitrag fossiler Energien innerhalb des indirekten Anteils separat aufgeführt wird. Die indirekten Emissionsfaktoren wurden über den nicht erneuerbaren Energiemengenanteil des KEA für jeden Brennstoff anteilig abgeleitet und stellen somit Näherungswerte dar.

Tabelle 2: Direkte und indirekte Emissionsfaktoren, Basisdaten fossiler Energieträger (Ökoinstitut 2009, BayLfU 2004)

Brennstoffe	CO ₂ -Emission			direkt [kg/kg]	Heizwert [kWh/kg]	Dichte [kg/L]
	direkt [kg/kWh]	indirekt gesamt [kg/kWh]	indirekt fossil [kg/kWh]			
Erdgas	0,201	2,30E-02	2,27E-02	2,59	12,92	7,80E-04
Diesel	0,265	2,97E-02	2,38E-02	3,17	11,97	0,83
Heizöl L	0,268	3,80E-02	3,75E-02	3,17	11,83	0,84
Heizöl S	0,284	3,55E-02	3,45E-02	3,21	11,31	0,9
Erdöl	0,282	3,10E-02	3,07E-02	3,13	11,11	1,0
Steinkohle	0,341	1,26E-02	1,25E-02	2,74	8,06	
Braunkohle	0,412	6,23E-03	6,21E-03	0,99	2,42	

2.3.2 Elektrische Energie

Die Herstellung von elektrischem Strom als Endenergie erfolgt, sofern nicht durch Wasser, Wind und Photovoltaik, über die Umwandlung von Wärmeenergie, die, abgesehen von der Kernenergie, aus der Verbrennung von Energieträgern stammt, mittels Generatoren. Im Gegenzug zur Nutzung eines fossilen Endenergieträgers, der unabhängig vom Ort der Verbrennung immer die gleiche Emissionsmenge freisetzt, ist die Emissionslast von Strom national unterschiedlich und hängt von der Kombination der für die Produktion eingesetzten Primärenergieträgern, dem sogenannten Energiemix, ab (Schlich 2008).

Da die vorliegende CO₂-Bilanz der Weinverpackungen Produktionsstandorte in Spanien (ES) und Deutschland (D) berücksichtigt, wird im Folgenden der Energiemix beider Länder betrachtet und es werden die landesspezifischen Emissionsfaktoren bestimmt.

2.3.2.1 Energiemix-D

Der deutsche Energiemix zur Stromerzeugung, auch Strommix genannt, stellt die Zusammensetzung der verschiedenen Primärenergieträger zur deutschen Stromproduktion dar (Abbildung 4).

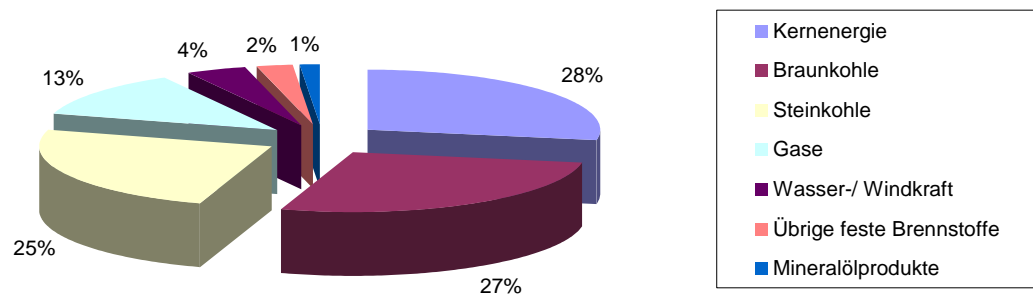


Abbildung 4: Energiemix der Stromerzeugung in Deutschland (BMWi 2008)

Der Strommix setzt sich aus Stromgewinnungsarten, die proportional zur Produktionsmenge Emissionen verursachen, und aus Anlagen, die praktisch *emissionsfrei* betrieben werden, zusammen (Lübbert 2007). Zur ersten Gruppe zählen fossil betriebene Kraftwerke. Zur zweiten Gruppe ohne direkten CO₂-Ausstoß je Kilowattstunde gehören die erneuerbaren Energien wie z.B. Wasserkraft-, Windkraft- und Photovoltaikanlagen. Zu der Gruppe der *emissionsfreien* Anlagen zählt auch die Kernenergie.

Beim internen und exakten Emissionsvergleich zwischen den unterschiedlichen Primärenergien zur Stromgewinnung ist eine komplette Miteinbeziehung des Lebenswegs der Energiesorten notwendig, wie in Abbildung 5 für den deutschen Strommarkt dargestellt. Es wird deutlich, dass die CO₂-Emissionen bei fossilen Kraftwerken am höchsten sind.

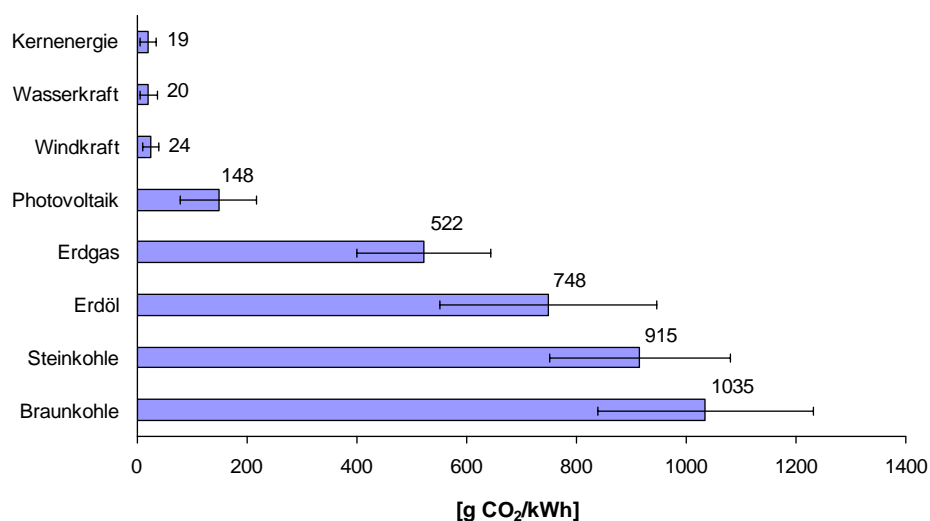


Abbildung 5: Spezifische CO₂-Gesamtemissionen unter Berücksichtigung der Lebenszyklus-Analyse (BMWi 2009)

Es stellt sich die Frage, wie sich die variablen, direkten zu den indirekten CO₂-Emissionen in der Lebenszyklusbetrachtung verhalten.

Haupteinflussgröße auf den Emissionsfaktor ist der Wirkungsgrad der Stromproduktion. Daneben ist der Einfluss der Laufzeiten der Kraftwerke von Bedeutung, da sich der CO₂-Anteil des Baus der Stromproduktionsanlagen zu den variablen Emissionen, bezogen auf die ganze Lebenszeit des Kraftwerks, hinzuaddiert. Bei den erneuerbaren Energien und der Kernenergie ist das zu berücksichtigen, da diese Energien praktisch keine Emissionen während der Stromgewinnung, sondern lediglich im Vorfeld bei der Erstellung der Anlagen verursachen (Lübbert 2007, Bode 2006). Betrachtet man die CO₂-Aufwendung des Baus fossil betriebener Großkraftwerke bezüglich der CO₂-Amortisation oder Energierücklaufzeit, zeigt sich, dass sich die Einmaleffekte des Anlagenbaus in wenigen Monaten neutralisieren und als sekundär angesehen werden können und somit die variablen CO₂-Emissionen der Brennstoffe die Gesamtemissionen der Energiegewinnung dominieren (Lübbert 2007).

Der CO₂-Ausstoß der Stromproduktion betrug im Jahr 2007 349 Gt. Bei einem Stromverbrauch in Deutschland von 560 TWh ergibt dies einen CO₂-Emissionsfaktor von 625 g CO₂/kWh (UBA 2009a).

2.3.2.2 Energiemix-ES

Der spanische Strommix ist in Abbildung 6 dargestellt. Der spanische Strommarkt zeichnet sich durch eine steigende Nachfrage und eine hohe Importrate aus. Der Anteil an gasbetriebenen Kraftwerken und erneuerbaren Energien wächst überproportional an. Bei den erneuerbaren Energien wächst vor allem die Windenergie jährlich im zweistelligen Bereich. Im Gegenzug ist der Anteil der Photovoltaik mit unter einem Prozent der installierten Leistung bemerkenswert gering (IEA 2009, ECE 2007).

Der CO₂-Emissionsfaktor des spanischen Energiemix liegt bei 456 g/kWh im Jahr 2007. Im Vergleich zum Emissionsfaktor der deutschen Elektrizitätsproduktion mit einem 40%igen Anteil der Kohleverstromung und einem Emissionsfaktor von 624 g/kWh wirkt sich der hohe Gasanteil und der hohe Anteil erneuerbarer Energien senkend auf den spanischen Emissionsfaktor aus (ECE 2008, ECE 2007).

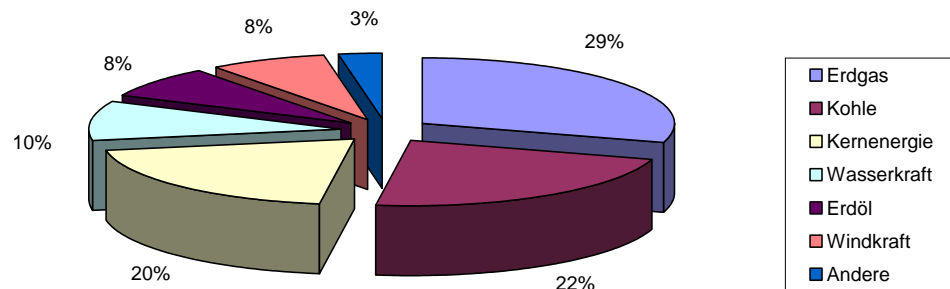


Abbildung 6: Energiemix der Bruttostromerzeugung in Spanien 2006 (ECE 2007)

In Tabelle 3 sind die Gesamtemissionsfaktoren und der fossil bedingte Anteil für den deutschen und spanischen Strommix im Vergleich aufgelistet.

Tabelle 3: Emissionsfaktoren Strommix Deutschland (D) und Spanien (ES) (UBA 2009a, ECE 2008)

Strommix	KEA	CO ₂ -Äquivalent indirekt gesamt [kg/kWh]	CO ₂ -Emission indirekt fossil [kg/kWh]	Quelle Ökoinstitut Prozesse
Elektroenergie D	2,638	0,648	0,625	EI-KW-Park-DE-2010
Elektroenergie ES	2,542	0,478	0,456	EI-KW-Park-ES-2010

2.4 Nahrungsmittelwirtschaft

Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit ist das Verpackungssystem der Fa. Riegel für Biowein. Da Verpackungen im Lebensmittelbereich direkt mit dem Produkt selbst verbunden sind, gilt es zunächst, die Charakteristika und Prozesskette der Nahrungsmittelwirtschaft und, darauf aufbauend, der Lebensmittelverpackungen zu betrachten.

Rund 25 % der Treibhausgasemissionen in den EU-25 Staaten sind der Ernährung zuzuschreiben (Koerber et al. 2008). Einflussfaktoren auf die CO₂-Menge im Bereich

Ernährungsmarkt sind zum einen auf der Angebotsseite in der Prozesskette der Produktion zu finden, zum anderen auf der Nachfrageseite in Form der Quantität und Qualität der Nachfrage. Die Bedeutung des weltweiten CO₂-Emissionsanteils für die Nahrungserstellung und -bereitstellung wird auf Grund einer steigenden Anzahl an Konsumenten und einer erhöhter kcal-Nachfrage pro Kopf vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern zunehmen. Zusätzlich zur steigenden Nachfrage passen Konsumenten aus Entwicklungs- und Schwellenländern ihre Ernährungsgewohnheiten mit zunehmendem Wohlstand und steigender Urbanisierung an westliche Ernährungsweisen an, was mit einer weiteren Erhöhung der Treibhausgasemissionen verbunden ist. Dies ist darin begründet, dass der westliche Ernährungsstil mit erhöhtem Konsum von tierischen und zuckerhaltigen Produkten sowie Getränken wie Bier, Wein und Limonaden einhergeht, die gegenüber traditionellen Lebensmitteln eine höhere CO₂-Emissionslast in der Produktionsphase aufweisen (Koerber et al. 2008). Drei Viertel der Treibhausgasemissionen der Lebensmittelproduktion stammen aus der Produktion tierischer Produkte. Die spezifischen Emissionen der pflanzlichen Produktion liegen je kg Produkt in der Landwirtschaft bei rund 1/10 der Produktion tierischer Produkte (Koerber et al. 2008).

Der Weinanbau hat in Relation zu einfachen Ackerfrüchten einen relativ hohen spezifischen Ressourcenverbrauch an Land, Wasser und Betriebsmitteln. In einer Studie von Colman und Päster (2007) im Auftrag der American Association of Wine Economists wurden sechs verschiedene Weineinweggebinde für den amerikanischen Markt im globalen Handel bezüglich ihrer Treibhausgasemissionen analysiert. Die Anbaugebiete dabei sind unter anderem Australien, Südamerika und Europa. Gegenstand der Untersuchung ist der komplette Lebenszyklus des Weins ausgehend von der Primärproduktion in der Landwirtschaft, der Verpackungserstellung und Verarbeitung über die internationalen Transporte bis hin zu Konsumenten. Die Emissionslast in CO₂-Äquivalenten beträgt nach diesen Ergebnissen im Durchschnitt 2 kg CO₂/Liter Wein.

Die Lebensmittelwirtschaft in Deutschland sorgt für eine ganzjährige Versorgung der Bevölkerung mit ausreichenden Mengen an frischen Lebensmitteln. Die Angebotsseite der westlichen Ernährungswirtschaft ist dadurch in zunehmendem Maße dem volkswirtschaftlichen Prozess der Arbeitsteilung und Spezialisierung in Verbindung mit der zunehmenden Bedeutung nationaler und internationaler Transporte unterworfen. Nur ein geringer Anteil der landwirtschaftlichen Produkte gelangt in unveränderter Form zum Verbraucher. Neben der Landwirtschaft sind somit mehrere Wirtschaftszweige an der Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln beteiligt. Diese wirtschaftlichen Wert-

schöpfungsstufen umfassen grob drei Funktionsstufen: Die Landwirtschaft, das Ernährungsgewerbe mit der Verarbeitung und dem Handel und zuletzt die Konsumenten. Die Funktionsbedingung dieser Wertschöpfungskette sind Logistik und Distributionsstrukturen zwischen den einzelnen Prozessstufen (Hollstein 2001).

Die vertikale Steuerung und Optimierung der Lebensmittelproduktion wird seit den 1990iger Jahren unter dem Begriff Food Chain Management geführt. Dabei wird, wie in Abbildung 7 dargestellt, die Kette der Lebensmittelherstellung – von der Urproduktion über Transport und Verarbeitung für den Handel – bis hin zum Kauf durch den Verbraucher als ein ganzheitlicher Prozess betrachtet, mit dem Ziel der Prozessoptimierung. Gegenstand der Betrachtung sind dabei u. a. Stoff- und Informationsströme (IML 2009).

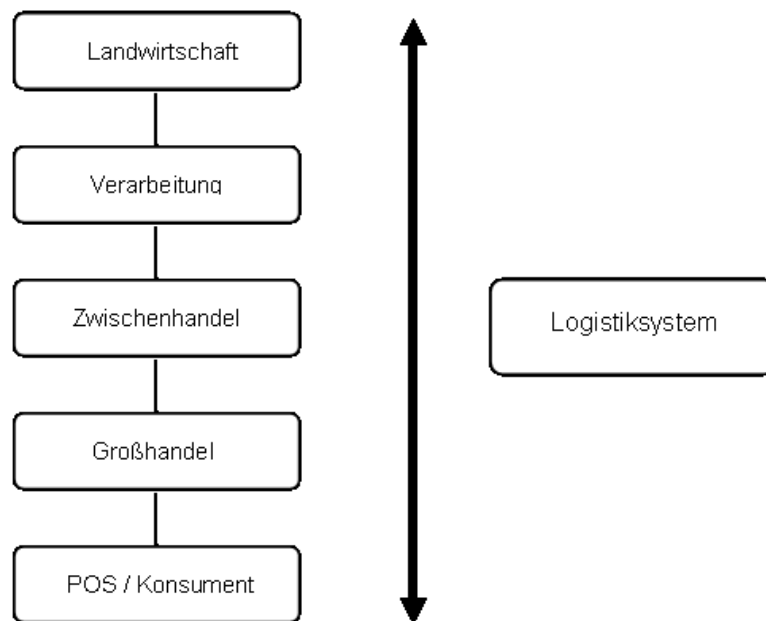


Abbildung 7: Fließschema einer Lebensmittelprozesskette

Die verschiedenen Akteure der Wertschöpfungskette haben verschiedene Interessen. Sie bilden weder eine homogene kollektive Gruppe noch sind sie autonom am Lebensmittelmarkt tätig. Eine Analyse oder Optimierung des Energieverbrauchs oder der CO₂-Emissionen muss somit, mit dem zukünftigen Ziel einer stufenübergreifenden Integration aller Akteure in Entscheidungsprozesse, alle Teilnehmer der Wertschöpfungskette mit einschließen (Brand 2006).

Des Weiteren wird der Produktlebenszyklus der Weinverpackung mit den Prozessschritten der Verpackungsherstellung, Verpackungsverarbeitung, Abfüllung und Entsorgung im

Produktlebenszyklus näher betrachtet. Dies geschieht in Anlehnung an die Food-Chain-Prozesskette. Daran anschließend wird die Logistik als parallel verlaufender Prozess entlang der kompletten Wertschöpfungskette beleuchtet.

Auf Grund eines Überangebots an Lebensmitteln in westlichen Ländern kam es in den letzten Jahrzehnten zu einer Änderung des Käufer-Händler-Verhältnisses am Lebensmittelmarkt. Die Marktkonstellation hat sich vom Verkäufermarkt hin zum Käufermarkt entwickelt. Die gestärkte Marktposition der Konsumenten hat von Seiten der Hersteller und des Handels zu einer verstärkten Fokussierung auf die Bedürfnisse des Konsumenten geführt. Dies bewirkte eine Richtungsänderung der Prozesssteuerung entlang der Wertschöpfungskette in der Food-Chain, die heute ausgehend vom Konsumenten über den Handel bis hin zum Landwirt vollzogen wird. Dadurch ist die Informationsgewinnung an der Prozessschnittstelle zwischen Handel und Konsument von besonderer Bedeutung für unternehmerischen Erfolg und funktionierende Innovationen (Hollstein 2001). Als letzter Punkt 2.4.3.5 wird daher der Konsument und der Handel bezüglich den Einstellungen und Handlungen hinsichtlich der CO₂-Thematik betrachtet.

2.4.1 Lebensmittelverpackung

Untersuchungsgegenstand ist das Mehrweg- und Einwegverpackungssystem der Fa. Riegel. Die Prozesskette der Food-Chain wird für die Betrachtung der Verpackungen modifiziert als Produktlebenszyklus in Abbildung 8 dargestellt. Der Produktlebenszyklus wird als Kreislauf aufeinander folgender Produktlebensphasen, beginnend bei der Produktentwicklung bis hin zur Produktentsorgung verstanden und ergänzt somit die Food-Chain-Prozesskettenbetrachtung um die Prozessstufe der Entsorgung (Eversheim und Schuh 2005).

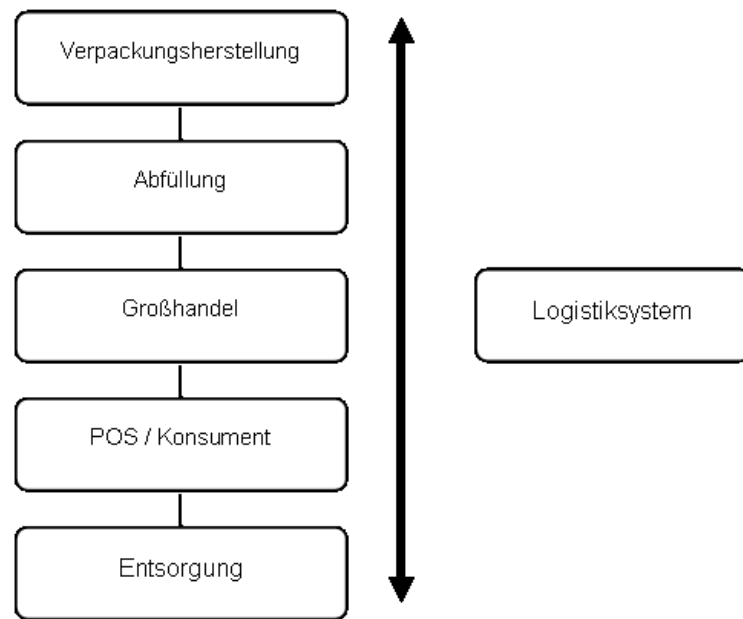


Abbildung 8: Fließschema Produktlebenszyklus von Verpackungen

Der Gesetzgeber hat bezüglich Verpackungen primäres Interesse an einer umweltgerechten Entsorgung des Verpackungsmaterials, an der volkswirtschaftlichen Minimierung des Ressourcenverbrauchs für Verpackungen sowie an der Unversehrtheit der Konsumenten durch den Konsum der mit den Verpackungen verbundenen Produkte. Daher sind Verpackungen im Lebensmittelbereich, nach dem Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft (KrW-/AbfG) des deutschen Umweltrechts und nach verschiedenen Verordnungen des Lebensmittelrechts, bezüglich ihrer Eignung und Handhabung geregelt.

Lebensmittelrechtliche Anforderungen an die Verpackung und an die Lebensmittelproduktion sind vielfältig. Anforderungen an die Lebensmittelproduktion sind im Lebensmittel, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetz LFGB festgelegt, wo auch Vorschriften für Lebensmittelverpackungen innerhalb der Fertigpackungsverordnung geregelt sind. Die Lebensmittelhygiene wird in der europäischen Verordnung (EG) Nr. 852/2004 und in der Lebensmittelhygieneverordnung im LFGB geregelt, die beide jeweils ausdrücklich die ganze Prozesskette mit einschließen.

Nach §3(1) der Verpackungsverordnung innerhalb des KrW-/AbfG sind Verpackungsarten definiert:

- Verpackungen sind „aus beliebigen Materialien hergestellte Produkte zur Aufnahme, zum Schutz, zur Handhabung, zur Lieferung oder zur Darbietung von Waren, die vom Rohstoff bis zum Verarbeitungserzeugnis reichen können und vom Hersteller an den Vertreiber oder Endverbraucher weitergegeben werden“.

- Verkaufsverpackungen sind definiert als Verpackungen, die mit der Verkaufseinheit verbunden sind und ebenfalls beim Endverbraucher anfallen.
- Umverpackungen werden zusätzlich zu Verkaufsverpackungen ohne Funktion bezüglich Hygiene, Haltbarkeit oder Schutz verwendet.
- Transportverpackungen werden im Transport eingesetzt, um die Ware vor Schäden zu bewahren und den Transport zu vereinfachen.
- Nach §3(2) sind die Eigenschaften von Getränkeverpackungen unter Bedingung der Gültigkeit des LFGB §1(1), dass diese geschlossene oder überwiegend geschlossene Verpackungen für flüssige Lebensmittel sind.
- §3(3) „Mehrwegverpackungen im Sinne dieser Verordnung sind Verpackungen (...), die nach ihrem Gebrauch mehrfach für den gleichen Zweck wieder verwendet werden“ (LFGB). Einwegverpackungen werden darauf aufbauend im Ausschlussverfahren bestimmt, als diejenigen Verpackungen, die keine Mehrwegverpackungen sind.

2.4.2 Mehrwegsystem

Es existieren verschiedene Organisationsformen von Mehrwegsystemen. Das Mehrwegsystem der Fa. Riegel ist ein geschlossenes Kreislaufsystem mit einem Abfüller, d.h. dass die Mehrweggebinde nach der Nutzungsphase durch den Konsumenten zu Fa. Riegel zurückkehren und nicht von anderen Anbietern des gleichen Formats zurückgenommen werden. Neben diesem System wird in der Weinbranche auch die Mehrwegsystemorganisation durch offene Kreislaufsysteme mit mehreren Abfüllern durchgeführt (GVM 2000a).

Eine Kenngröße der Effektivität eines Mehrwegsystems ist die Umlaufzahl. Die Umlaufzahl gibt die Anzahl der Nutzungen während der Lebensdauer eines Mehrwegpackmittels wieder. Die Lebensdauer ist der Zeitraum ab der Primärfüllung bis zum Ausscheiden aus dem Kreislaufsystem Mehrweg. Die Nutzung entspricht der Anzahl der Füllungen. Aussagegegenstand der Umlaufzahl ist dabei nicht die Betrachtung einzelner Verpackungen, sondern die durchschnittliche Umlaufzahl aller Mehrwegverpackungen in einem gewissen Zeitraum. Sie ist definiert als der Quotient aus Anzahl der Füllungen und der Anzahl der aus dem System ausgeschiedener Verpackungen einer festgelegten Zeitdauer (GVM 2000b). Es steht fest, dass bei allen Getränkeparten ein Abwärtstrend der Mehrwegquoten vorliegt und dass im Branchenschnitt die Umlaufzahl bei Weinmehrweggebinden im Vergleich zu anderen Getränkeformaten gering ist. Die Bestimmung der durchschnittlichen Umlaufzahl auf dem

Weinmarkt ist jedoch auf Grund branchenspezifischer Charakteristika nur erschwert festzustellen. Die Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung (GVM) (2000) hat unterschiedliche Faktoren identifiziert. Wichtigster Faktor ist ein hoher Grad der Spezialisierung und der Größenvariabilität der am Markt beteiligten Betriebe. Es ist üblich in der Weinbranche, die Mehrwegflaschenreinigung in spezialisierten Spülzentren außerhalb der Abfüllbetriebe vornehmen zu lassen. Die Gesamtanzahl abfüllender Betriebe ist mit 20000 Ende der 1990er Jahre im Branchenvergleich hoch, wobei die Abfüllleistung von wenigen Großbetrieben und einer Großzahl an Kleinbetrieben bewältigt wird. Weitere Faktoren, welche die Umlaufzahlbestimmung beeinflussen, sind außerdem (GVM 2000b):

- Geringe Unterscheidbarkeit zwischen Einweg und Mehrweg, so dass eine exakte Unterscheidung in ein Mehrweg- und Einwegsystem überregional kaum möglich ist.
- Regionale Besonderheiten z.B. geprägt durch betriebsindividuelle Kistensysteme aus Plastik, Kartonage oder Holz.
- Niedriges oder kein Pfand.
- Unklare Mengenabnahme der Gastronomie, die überproportional häufig Mehrweg verwendet.
- Hohe Anzahl an reinen Abfüllbetrieben, die eine erhöhte Menge an Einweg in das Mehrwegsystem infiltriert.

Eine Analyse aller Zukäufe und Abfüllungen der Einweg und Mehrwegflasche, Typ Schlegel 1 L Vol, im Bundesgebiet 1995 ergab drei Umläufe der Mehrwegflaschen. Hierzu wurde von der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung (1997) in einer Untersuchung aus Zukauf und Abfüllmengen der Spülzentren ermittelt, dass jede Einwegflasche, die in das Retoursystem von Mehrweg gelangt, im Schnitt ca. 1,8mal umläuft. Aus diesen und weiteren Parametern ergibt sich der Branchenschnitt von rund 5 Umläufen (GVM 2000b). Aus den Auswertungen der Verpackungsverluste und der daraus resultierenden Neukaufquote an Glasflaschen für das Mehrwegsystems der Fa. Riegel 2008 ergibt sich eine Umlaufzahl von 3,9 für die 1 L Mehrwegflasche. Diese liegt folglich 1,1 Umläufe unter dem Branchenschnitt. Vergleicht man diesen Wert mit anderen Getränkemehrwegsystemen, so zeigt sich, dass die Umläufe gering sind. Die 0,7 L Brunnenflasche weiß (GdB) beispielsweise wurde Mitte der 1990er Jahre mit rund 100 Umläufen gemessen. Die Mehrwegsystemeinheiten des Verbands

der Fruchtsaftindustrie kamen im Mittel immerhin noch auf 25 bis 35 Umläufe (GVM 2000a).

Der Unterschied der Mehrwegverpackungen gegenüber den Einwegverpackungen ist, dass neben neuen auch gebrauchte Verpackungsmittel verwendet werden, d.h., dass die produzierte Verpackungsmenge bei Mehrweg gegenüber Einweg um die Umlaufquote verringert ist. Die Umlaufzahl eines Mehrwegsystems nimmt somit Einfluss auf die relative energetische Bedeutung einzelner Prozessstufen entlang des Produktlebenszyklus, je nach dem ob eine Prozessstufe umlaufabhängig oder umlaufunabhängig ist.

Die einzelnen Prozessstufen des Verpackungslebenszyklus unterscheiden sich in ihrer Abhängigkeit von der Umlaufzahl zwischen den Verpackungssystemen wie folgt:

- Mehrweg:
 - umlaufzahlabhängige Prozesse: Verpackungsherstellung und -entsorgung sowie Abfüllung und Flaschenreinigung
 - umlaufzahlunabhängige Prozesse: Wareneinkauf und Distribution
- Einweg:
 - umlaufzahlunabhängige Prozesse: Alle Prozessstufen werden pro Abfüllung einmal durchlaufen.

Die Umlaufzahl eines Systems hat somit Einfluss auf die relative Bedeutung einzelner Prozessstufen bezüglich ihres Anteils am Gesamtenergie- und Gesamtressourcenverbrauch innerhalb eines Getränkesystems. Das bedeutet weiter, dass sich, im Vergleich zwischen den Gebindetypen, die Bedeutung der vor- und nachgelagerten Prozesse, der Packmittelherstellung und -entsorgung, in Abhängigkeit zur Anzahl der Verwendung verändert. Das bedeutet, dass im Systemvergleich von Mehrweg und Einweg bei Mehrweg die umlaufzahlunabhängigen Prozesse energetisch relativ dominieren und im Gegensatz dazu bei Einweg die Abfüllung und Flaschenproduktion von größerer relativer Bedeutung sind bezüglich des Energieverbrauchs (GVM 2000b).

2.4.3 Prozesskettenbetrachtung

2.4.3.1 Glasherstellung

Die Fa. Riegel verwendet als Weingetränkeverpackung ausschließlich Glasflaschen. Grund hierfür sind stoffliche Anforderungen an Lebensmittelverpackungen, die unter anderem in der europäischen Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 – über Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen – geregelt sind, mit dem inhaltlichen Grundsatz, dass Materialien, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen, ausreichend inert sein müssen. Des Weiteren müssen nach europäischer Verordnung (EG) Nr. 852/2004, Kapitel X(4) „Umhüllungen und Verpackungen, die für Lebensmittel wieder verwendet werden, (...) leicht zu reinigen und erforderlichenfalls leicht zu desinfizieren sein.“ Glas wird trotz Innovationen auf dem Verpackungsmarkt hinsichtlich polyethylen-basierender Verpackungen auf Grund der physikalischen Anforderungen, die Wein an die Verpackung stellt, bevorzugt. Anforderungen bezüglich langer Lagerfähigkeit, UV-Resistenz und Gasdichtigkeit macht die Weinflasche aus Glas zum gängigsten Transport- und Lagerbehälter auf dem Weinmarkt. Die negative Seite von Glasverpackungen ist ein relativ hohes spezifisches Gewicht.

In Deutschland wurden 2007 in der Glasindustrie insgesamt 7,5 Mio. t Glas und Mineralfasern hergestellt, wobei der Anteil der Behältergläser rund 4 Mio. t betrug (UBA 2009e). Der Altglasanteil der Produktion schwankt zwischen 50 und 90 % und ist von der Art des Zielproduktes und der Anlage abhängig (BMU 2001). Bei Behältergläsern lag er im Jahr 2007 im Bereich von 56 - 75 % (UBA 2009d). Die Glasschmelze ist die energetisch zentrale Phase der Glasherstellung. Der Energieaufwand des Schmelzprozesses kann jedoch durch die Verwendung von Altglas reduziert werden. „Pro 10 Prozent Scherbeneinsatz reduziert sich die Schmelzenergie um rund 3 Prozent“ (BVG 2009). Dies bedeutet, dass sich der Energiebedarf der Glasschmelze bei 90 % Altglaseinsatz um bis zu 27 % reduzieren kann. Daher ist die Verwendung von Fremdscherben von ökonomischer und ökologischer Bedeutung. Der Energiebedarf der Glasherstellung kann abgesehen von der verwendeten Altglasmenge auf Grund der Prozessführung und Produktionstechnik different ausfallen. So existieren verschiedene Methoden der Verbrennungsluftvorheizung durch Wärmetausch mit der Abgasluft, die einen Wärmestrom von 800 - 1400° C erreichen. Die Sauerstoff-Brennstoff-Beheizung setzt 90%igen Sauerstoff zur Verbrennung ein und verringert so das Abgasvolumen und den damit verbundenen Wärmeverlust um etwa zwei Drittel.

Die in der Glasherstellung verwendeten Energieträger der Feuerung bestehen aus einem Mix fossiler und elektrischer Energie, wobei Hauptenergieträger Gas, Heizöl und Elektrizität sind. Ca. 75 % der Energie wird während der Glasschmelze verbraucht (UBA 2001).

Neben den CO₂-Emissionen innerhalb der Verbrennungsgase fossiler Energieträger sind auch die prozessbedingten CO₂-Emissionen als Bestandteil der Gemengegase, die durch Bildung von Glasoxiden und einhergehender Reduktion von Carbonatverbindungen der Rohstoffe entstehen, von Bedeutung. Als CO₂-Hauptquellen werden Kalzium-, Magnesium- sowie Natrium- und Bariumcarbonate angesehen (UBA 2007). Der Anteil an Altglas reduziert die prozessbedingten CO₂-Emissionen proportional zur eingesetzten Altglasmasse.

2.4.3.2 Abfüllung

Der Prozessablauf der Abfüllung erfolgt nach lebensmittelrechtlichen Anforderungen. Die Fa. Riegel füllt die Weinmenge in Deutschland in einem Betrieb mit integrierter Flaschenreinigung ab. Der Verarbeitungsprozess beginnt mit der Lagerung der Verpackungen, die räumlich getrennt nach Einweg- und Mehrwegverpackungen stattfindet. Nach der Flaschenreinigung erfolgt die Abfüllung des in Stahltanks gelagerten Weins. Es folgt die Abpackung in Mehrwegkisten oder Einwegkartonagen und schließlich die Lagerung der Fertigprodukte.

2.4.3.3 Verpackungsverwertung

In Deutschland waren im Jahr 2001 6,5 % der Verpackungsabfälle Getränkeverpackungen (UBA 2002a). Zur Bestimmung der Verwertung der Getränkeverpackungen gilt es, zuerst die gesetzlich vorgesehenen Abfallpfade und Grundlagen der Abfallentsorgung zu betrachten. „Abfall (...) [umfasst] jeden beweglichen Stoff oder Gegenstand, dessen sich sein Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss.“ (VO (EG) Nr. 2008/98) Nach der europäischen Richtlinie (EG) Nr. 2008/98 ist die Abfallbewirtschaftung so zu gestalten, dass der Abfallvermeidung die oberste Priorität zukommt, gefolgt von der Wiederverwendung und dem stofflichen Recycling. Die prioritär folgenden Verwertungspfade sind die energetische Nutzung und die Beseitigung von Abfällen. Mithilfe dieser Richtlinie soll die EU zu einer Recycling-Gesellschaft werden.

In der deutschen Gesetzgebung regelt das KrW-/AbfG mit dem Ziel der Förderung der Kreislaufwirtschaft die Entsorgungs- und Verwertungspfade von Abfällen. Die integrierte Verpackungsverordnung (VerpVO) verfolgt dieses Ziel bezüglich der im Geltungsbereich des KrW-/AbfG in Verkehr gebrachten Verpackungen. Die VerpVO verfolgt mit der Vermeidung, der Wiederverwendung, der stofflichen Verwertung, der anderweitigen

Verwertung und der Entsorgung der Verpackungsabfälle die in §1 festgelegte Abfallhierarchie der EU Richtlinie (EG) Nr. 2008/98.

Grundlage der angestrebten geschlossenen Stoffkreisläufe ist die in §6 der VerpVO geregelte Rücknahmepflicht von Verkaufsverpackungen. Der Vertreiber wird verpflichtet, gebrauchte Verpackungen unentgeltlich zurückzunehmen und entweder einer ordnungsgemäßen Entsorgung zuzuführen oder sein Recht in Anspruch zu nehmen, nach §6, Absatz 2 diese an den Hersteller weiterzugeben. Der Vertreiber von Verpackungen kann, sofern er an einem flächendeckenden Entsorgungssystem teilnimmt, von der Rücknahmepflicht befreit werden. Um bei Getränkeverpackungen die Menge an Mehrweg zu erhöhen und den eben vorgestellten Grundsätzen und Gesetzen, der Abfallvermeidung und der geschlossenen Kreislaufströme gerecht zu werden, wurde Ende 2002 ein Pflichtpfand für bestimmte Getränkeformate eingeführt, wovon Weinverpackungen jedoch befreit sind (GVM 2009).

Das Duale System Deutschland (DSD) ist der größte Anbieter flächendeckender Entsorgungsleistung in Deutschland. Die vom dualen Systemen gesammelte und einer Verwertung zugeführte Abfallmenge betrug 2008 rund 4,2 Mio. t.

Die für die Betrachtung der Verpackungen der Fa. Riegel wichtigen Zahlen für die Entsorgung ihrer Getränkeverpackungen sind die im Bundesgebiet durchschnittlichen Erfassungsquoten für Altglas und Altpapier, die 2007 bei 83,5 % und 86,9 % lagen (BMU 2009).

2.4.3.4 Transport

Die Weindistribution weist gegenüber anderen Getränkesegmenten die höchsten Transportentfernungen auf. Dies liegt zum einen an den Standortansprüchen im Weinbau, da Wein nur in speziellen Gebieten angebaut werden kann, und zum anderen an Konsumtrends in Form erhöhter Nachfrage ausländischer Weine. Der Branchenschnitt der Transportentfernung liegt ohne Berücksichtigung der im Ausland getätigten Transportleistung des Imports und ohne Rückfahrten bei durchschnittlich 700 Kilometern ab deutscher Grenze (prognos 1997). Transport ist abhängig vom Weg und der Beschaffenheit der Ladung und wird über die Transportleistung bestimmt. Die Transportleistung ist definiert durch das Produkt von Transportaufkommen (M) und der Transportentfernung (S) innerhalb eines bestimmten Zeitraums. Genauer betrachtet handelt es sich um die Transportarbeit, da der Faktor Zeit nicht mitberücksichtigt wird. Der Begriff Transportarbeit ist aber nicht geläufig und wird daher nicht verwendet (Holderied 2005).

$$P_{TI} = M * S \quad (\text{Gleichung 1})$$

P_{TI} [tkm] = Transportleistung

M [t] = Transportmasse

S [km] = Transportstrecke

Eine wichtige Größe zur Erfassung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen ist die Auslastung der Transportmittel. Die Auslastung ist definiert als Ausschöpfung der Leistungsfähigkeit eines Systems, wobei der Auslastungsgrad die Maßzahl darstellt. Der Auslastungsgrad ist im LKW-Straßentransport entweder auf die Transportmasse oder auf die Transportfläche bezogen. Der flächenbezogene Ansatz bezieht sich meist auf die Anzahl der Transportverpackungen Europoolpletten (Pal) in Form des Quotienten der realisierten Leistung (Ist-Palentenzahl) zur potentiellen Leistung (Max-Palettenzahl) pro LKW-Ladefläche (Heinrich 2006). Desweiteren wird hier der flächenbezogene Ansatz der Transportleistungsberechnung verwendet.

2.4.3.5 Handel und Konsument

Nach der Darstellung der wichtigsten Prozessschritte des Verpackungslebenszyklus gilt es im Folgenden, die Motivation des Handels und der Verbraucher bezüglich der CO₂-Thematik zu beleuchten. Die Einstellung der Bundesbürger zum Thema Umweltschutz und Klimawandel ist für Staat und Unternehmen von Interesse und Gegenstand verschiedener Untersuchungen. Nach einer Erhebung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) stufen 90 % der Bundesbürger Aktivitäten im Bereich Umweltschutz für wichtig ein. Die Folgen des Klimawandels werden von 80 % als real empfunden. Gleichzeitig steigt der Anteil derjenigen, die die Folgen für zu bewältigen halten (BMU 2008). Eine Studie der Gesellschaft für Konsumforschung (GfK 2007), die den Einfluss des Klimawandels auf den Konsum untersuchte, zur Frage, was die Verbraucher konkret für die Umwelt zu tun bereit sind, zeigt auf, dass 57 % der Befragten bereit sind, in Zukunft mehr regionale Produkte kaufen zu wollen, was implizit bedeutet, dass Konsumenten regionale Produkte als klimaschonender betrachten (GfK 2007).

Bezüglich einer erhöhten Zahlungsbereitschaft umweltschonender Produkte hat das UBA (2008) eine Studie durchgeführt, mit dem Ergebnis, dass bei 43 % der deutschen Konsumenten eine erhöhte Zahlungsbereitschaft für klimafreundlichere Produkte vorliegt (Abbildung 9) (UBA 2000c).

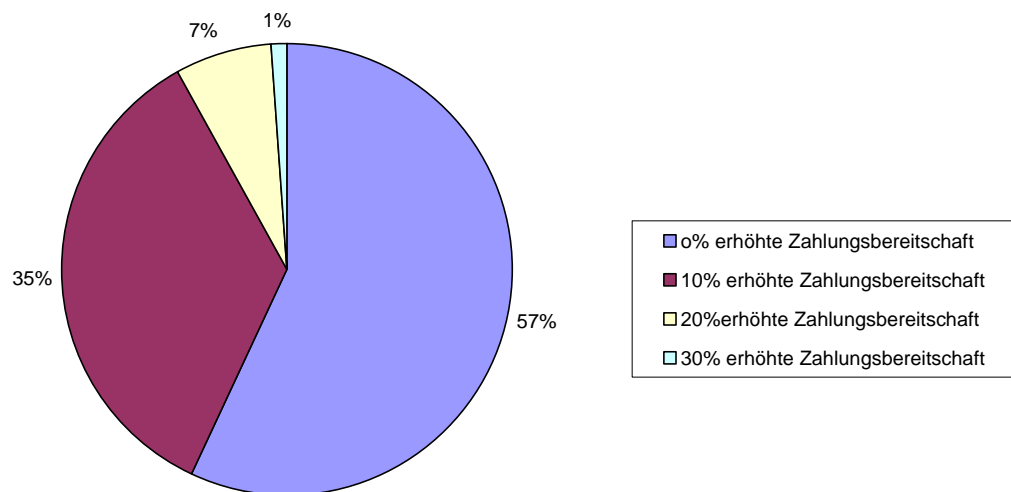


Abbildung 9: Zahlungsbereitschaft der Konsumenten für klimaverträgliche Produkte 2008 (UBA 2008c)

Es ist nicht ersichtlich, welcher Warenkorb der Befragung zu Grunde gelegt wurde. Daher lässt sich, unter Berücksichtigung der hohen Preissensibilität der Konsumenten beim Lebensmittelkauf in Deutschland, nicht bestimmen, ob diese Ergebnisse auch für Lebensmittel Gültigkeit besitzen. Nichtsdestotrotz zeigt das Schema die Tendenz, dass die Konsumenten theoretisch eine erhöhte Zahlungsbereitschaft für Produkte mit umweltbezogenem Zusatznutzen besitzen.

Der Handel reagiert mit unterschiedlicher Geschwindigkeit auf die Interessen und Bedürfnisse der Konsumenten bezüglich *klimafreundlicher* Produkte. Es werden im Folgenden einige Beispiele gegeben:

- Tesco, das weltweit viertgrößte Handelsunternehmen hat 2007 damit begonnen, ausgewählte Produkte mit Carbon-Labels zu kennzeichnen. Angestrebt wird die Kennzeichnung von 70 000 Produkten (Höfinhoff 2007).
- Wal-Mart, weltweit Nr. 1 der Handelsunternehmen, will im Rahmen neu aufgelegter Consumer-Social-Responsibility-Initiativen seine Produkte in den nächsten fünf Jahren bezüglich der CO₂-Emissionen kennzeichnen. Ziel ist ein leicht verständlicher Nachhaltigkeitsindex, der neben den prozesskettenbedingten CO₂-Emissionen auch Ressourcenverbrauch und transparente Vorketten beinhalten soll (Krost 2009).

- REWE, zweitgrößter Lebensmittelhändler Deutschlands, befindet sich bezüglich eines Nachhaltigkeitssiegel noch in der Konzeptionsphase (Krost 2009).

Um die Vergleichbarkeit zwischen den unterschiedlichen Labels gewährleisten zu können, müssten diese unter gleichen Rahmenbedingungen berechnet werden. Eine Veränderung innerhalb der Prozesskette würde den CO₂-Wert verändern. Die Angleichung der Berechnungsmatrix und die Einführung eines zeitnahen Informationssystems im Sinne eines institutionellen Controllings entlang der Prozesskette stellen die Herausforderungen des CO₂-Labeling dar. Wesentlicher als die eigentliche CO₂-Kennzeichnung ist die Generierung und Umsetzung von Erkenntnissen aus der Analyse der Produktlebenszyklen und der Prozesse eines Unternehmens, mit dem Ziel, den Verbrauch von Ressourcen zu minimieren (Lenzen 2008).

Ein Beispiel für die Problematik der Vergleichbarkeit und der Grenzziehung von Bezugsbereichen bei der CO₂-Kennzeichnung liefert eine Veröffentlichung des österreichischen Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008). Dieses propagiert den Konsum saisonaler und regionaler Produkte und die Kennzeichnung von Konsumgütern mit einem hohen CO₂-Verbrauch. Grundlage dafür ist eine Untersuchung der Transportwege und der damit verbundenen Emissionslast. In diesem Zusammenhang wird der *CO₂-Rucksack* als Maßgröße verwendet. Diese Maßgröße ist in Anlehnung an den *Ökologischen Rucksack* verwendet worden, der in einer Modellbetrachtung von Friedrich Schmidt-Bleek erstmals 1994 genannt wurde. Der Begriff „ökologischer Rucksack“ bildete sich aus Untersuchungen zu der Frage, welche Menge an Ressourcen bei der Herstellung, dem Gebrauch und der Entsorgung eines Produktes oder einer Dienstleistung verbraucht werden (bpb 2009). Im Gegensatz dazu betrachtet der CO₂-Rucksack ausschließlich den Ressourcenverbrauch in Form der Emissionsmenge CO₂. Da sich die Darstellung des österreichischen Lebensamtes aber lediglich auf den Transport bezieht, ist die Titulierung mit der Maßgröße CO₂-Rucksack irreführend, da sie nur ein Teilsegment der Produktionskette berücksichtigt.

2.5 Fragestellung

Die Fa. Riegel betreibt den Absatz von Biowein über ein Einweg- und Mehrwegsystem. Die verschiedenen Verarbeitungsstufen und Marktstrukturen wurden erörtert. Der Weintransport ist, wie die Ausführungen weiter oben gezeigt haben, von hoher Bedeutung innerhalb des Verpackungslebenszyklus. Daneben ist die Umlaufzahl eine bedeutende Stellgröße der Effizienz eines Mehrwegsystems. Es wird zwischen umlaufzahlabhängigen und umlaufzahlunabhängigen Prozessstufen differenziert, die sich in ihrer energetischen Bedeutung in den relativen CO₂-Emissionen widerspiegeln. Zuerst gilt es zu überprüfen, ob dies, unter Berücksichtigung der charakteristischen Besonderheiten des Weinmarkts mit der geringen Umlaufzahl und der hohen Transportentfernung, auch für das Mehrwegsystem der Fa. Riegel in 2008 gilt. Im Folgenden werden darauf aufbauend folgende Fragestellungen durch Szenarioberechnungen geklärt:

Szenario 1:

Auf Grund der Tatsache, dass die Herstellung von Verpackungen als fixe und die des Transports als variable Energien angesehen werden können, stellt sich die Frage, in welchem Vertriebsradius Mehrweg gegenüber Einweg ökologisch vorteilhafter ist.

Szenario 2:

Hier gilt es, den Einfluss der Umlaufquote auf die CO₂-Bilanzergebnisse zu klären. Welches CO₂-Einsparpotential ist durch eine Erhöhung der Rücklaufmenge im Allgemeinen und durch die Angleichung der Rücklaufquote an den Branchenschnitt realisierbar?

3 Material und Methodik

Untersuchungsgegenstand ist das Verpackungssystem der Fa. Riegel für den bestehenden Vertrieb von Biowein bezüglich CO₂-Emissionen für das Geschäftsjahr 2008. Es existieren parallel verlaufende Verpackungsarten, das Flaschengebindeeinwegsystem (Einweg) und das Flaschengebindemehrwegsystem (Mehrweg). Diese werden in einer vergleichenden Bilanz betreffend der CO₂-Emissionen entlang des Produktlebenszyklus vergleichend betrachtet.

3.1 Material

3.1.1 Untersuchungsobjekt

Der Begriff Produkt steht im Folgenden als Oberbegriff für die physischen Verpackungen ohne Füllgut, die jeweils aus dem Flaschenkörper, der Verkaufs- oder Primärverpackung und aus der Transportverpackung bestehen. Der Prozessbegriff steht als solcher für Dienstleistungen und Waren zur Erstellung der Produkte. Die jeweilige Kombination aus Verpackungsprodukten und Verarbeitungs- und Transportprozessen ergibt das Getränkeverpackungssystem, mit der Funktion der Bereitstellung von Füllgut zum Verkauf und Konsum. Primärverpackungen sind im Mehrwegsystem Glasflaschen mit 1 L Füllvolumen, im Einwegsystem 0,75 L Glasflaschen. Die Transportverpackung des Mehrwegfüllgutes der Fa. Riegel sind 12 und 6 Flaschen fassende Polyethylen (PE)-Kisten, deren Transport gestapelt auf Paletten (Pal) stattfindet. Die Verwendungshäufigkeit der 12er und 6er Kisten lag in 2008 bei jeweils ca. 50 %, so dass, wie in Tabelle 4 dargestellt, im Modell das arithmetische Mittel des Füllvolumens und des Gewichts der Mehrwegkisten verwendet wird. Diese Vereinfachung ist möglich, da beide Kistentypen über das gleiche spezifische Gewicht verfügen. Die Transportverpackung des Einwegfüllguts ist eine 6 Flaschen fassende Einwegkartonage. Die funktionalen Produktunterschiede zwischen den Systemen führen während der Distribution bei Mehrweg zu 2 verschiedenen Produktzuständen. Erster Produktzustand ist eine mit Flaschen gefüllte Mehrwegkiste. Die Flaschen können in diesem Zustand gefüllt (Vollgut) bzw. leer (Leergut) sein. Die Leerkiste, eine Mehrwegkiste ohne Flaschen, ist der zweite Produktzustand. Das Einwegformat dagegen kommt nur im Zustand Vollgut vor. Die physischen Produktunterschiede zwischen dem Einweg- und Mehrwegsystem verursachen Unterschiede im Volumen pro Transporteinheit Pal. Die maximale Stapelhöhe von Vollgut auf der Europalette sind 4 Kistenlagen, so dass das Transportvolumen pro Palette bei Einweg 450 L/Pal beträgt und bei Mehrweg 384 L/Pal. Der Rücktransport von

Mehrweggebindeeinheiten setzt sich zusammen aus dem Leergut und Leerkisten, die jeweils beide in der Praxis mit 4 oder 5 Kistenlagen je Pal transportiert werden und in der Bilanzierung mit 4,5 Kistenlagen/Pal modelliert sind (s. Tabelle 4).

Tabelle 4: Elemente der Verpackungssysteme im Vergleich

Verpackungs- elemente	VerpVol [L Vol]	Menge [Stück/Pal]		Material	Masse [kg/Stück]
		4 Palettenlagen	5 Palettenlagen		
<u>Einweg</u>					
Glasflasche	0,75	600	x	Weiß- und Grünglas	0,45
Einwegkarton	4,5	100	x	Wellkartonage	0,15
<u>Mehrweg</u>					
Glasflasche	1	384	480	Weiß- und Grünglas	0,60
Mehrwegkiste Modell 9- Flaschen Kiste	9	43	53	Polyethylen	1,88

VerpVol = Verpackungsvolumen

3.1.2 Datengrundlage

Die Daten lassen sich in 3 Kategorien einteilen:

- Massestromdaten
- Prozessdaten
- Energiedaten und spezifische Emissionsfaktoren

Daten zum Massestrom sind Primärdaten der Fa. Riegel in Form von Absatzzahlen und Retourmengen für das Mehrwegsystem im Geschäftsjahr 2008. Die Stoffströme der Produktionskette wurden unter Beteiligung der Verantwortlichen der Fa. Riegel für Einkauf, Abfüllung, Logistik und Distribution und Verkauf unter der Leitung von Henry Mühlbauer, Verkaufsleiter, erörtert (Orsingen 10.07.2009). Prozessdaten sind je nach Verfügbarkeit direkt vor Ort, telefonisch oder als Sekundärdaten aus der Literatur entnommen. Hauptliteraturquelle für Daten der Verpackungsherstellung und -verwertung ist die Materialsammlung der Ökobilanz für Getränkeverpackungen II des Umweltbundesamtes (s. UBA 2000b).

Eigenerhebungen wurden für den Prozessschritt der Flaschenreinigung sowie für die Transport- und Distributionsmodellierung durchgeführt. Die Datenerfassung für den Produktionsschritt der Abfüllung und Flaschenreinigung wurde bei der Fa. Vinerum vor Ort durchgeführt (Radolfzell, 10.07.2009). Die Transporte wurden durch Befragungen der Verantwortlichen der Fa. Riegel und beteiligter Spediteure und Großhändler modelliert. Die Energiebasisdaten und Emissionsfaktoren sind der Datenbank Gemis 4.4. des Instituts für angewandte Ökologie e. V. entnommen und durch Daten aus Studien des Umweltbundesamtes und der AG Energiebilanzen ergänzt.

3.2 Methodik

Zur Bestimmung der Umweltrelevanz eines Produktes gibt es verschiedene Verfahren wie zum Beispiel das in Kapitel 2.4.3.5 vorgestellte Verfahren des ökologischen Rucksacks. Das bedeutendste Instrument zur Bestimmung der durch Produkte und Prozesse verursachten Umwelteinwirkungen ist die Ökobilanz.

3.2.1 Ökobilanz

Die Methodik einer Ökobilanz ist nach DIN 14040 bis 14044 festgelegt und stellt ein Instrument dar, um die Umweltbelastung von Produkten und Prozessen zu bestimmen und zu vergleichen (UBA 2002a). Ein weitergehendes Anwendungsgebiet für die Ökobilanz beschreibt das UBA in der Veröffentlichung „Handreichung Bewertung von Ökobilanzen“ (2000) wie folgt: „Eine Ökobilanz ist das Umweltprotokoll eines Produktes, eines Herstellungs- oder anderer Verfahrensprozesse einer Dienstleistung oder eines Produktionsstandorts (...)“ (UBA 2000a, S. 1). Der Regelfall ist jedoch, dass vergleichende Ökobilanzen für Produkte (Prozesse) erstellt werden (UBA 2002b, UBA 2000a).

Die Funktion einer Ökobilanz ist primär die Informationsgenerierung für Entscheidungsträger in Politik und Industrie. Aus den Erkenntnissen können beispielsweise Optimierungspotentiale der Umwelteigenschaften eines Produktes identifiziert oder Gefahrenpotentiale erkannt werden (UBA 1999a).

Es geht bei einer Ökobilanz darum, Umweltaspekte und potentielle Umweltauswirkungen eines Produktes oder Prozesses entlang des gesamten Lebenswegs, von der Wiege bis zur Bahre, zu identifizieren und zu bewerten. Der Lebensweg umfasst die Rohstoffgewinnung, Produktion, Abfallbehandlung sowie das Recycling inklusive der Anwendung des Produktes durch den Konsumenten (DIN 14044). Es werden folglich auch die Herstellung der Vorprodukte, die Vorketten der verwendeten Rohstoffe, die Energiebereitstellung und die Transporte berücksichtigt (UBA 2000a). Eine Ökobilanz besteht nach DIN 14040 und DIN

14044 aus vier Phasen. In der ersten Phase werden das Ziel der Untersuchung und die Rahmenbedingungen festgelegt. In diesem Schritt werden, nebst dem Gegenstand der Untersuchung, der Untersuchungsrahmen und die Systemgrenzen der Studie festgelegt, wodurch der Detaillierungsgrad bestimmt wird. Gegenstand der zweiten Phase, der Sachbilanz, ist die Erfassung der systemrelevanten Input- und Outputdaten auf jeder Prozessstufe entlang des Produktlebenszyklus. Input als auch Output umfassen Stoff- und Energieflüsse, die dem System zugeführt bzw. abgeführt werden. In Phase drei, der Wirkungsabschätzung, werden die Umweltauswirkungen der Input- und Outputströme in Qualität und Quantität abgeschätzt. Zur Bestimmung der Umweltwirkungen jedes einzelnen Stoff- und Energiestroms werden diese durch Transformation in Wirkungsindikatoren den verschiedenen Wirkungskategorien wie beispielsweise Treibhauseffekt, Ozonabbau, Eutrophierung, Versauerung, Landverbrauch oder Wasserverbrauch zugeordnet. Der Wirkungsindikator der Kategorie Treibhauseffekt beispielsweise ist das CO₂-Äquivalent. Die vierte und letzte Phase der Ökobilanz ist die Phase der Auswertung. Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung werden zielgerichtet mit den Ergebnissen der Sachbilanz und des Untersuchungsrahmens zusammengebracht, um Empfehlungen und Schlussfolgerungen zu diskutieren und abzuleiten. Die abschließende Auswertung der Ökobilanz ist laut Andreas Troge, Präsident des UBA a. D., ein ‚heißes Eisen da Umwelteinwirkungen gleichgestellt oder hierarchisch im Sinne einer Priorisierung eingestuft werden müssen‘ (vgl. UBA 1999a, S. 2). Diesem Sachverhalt wird durch die Beteiligung von Sachverständigen, Fachvertretern und durch bewährte Prüfverfahren begegnet (DIN ISO 14040, DIN ISO 14044, UBA 1999a).

Der nachfolgende Bilanzierungsansatz bezüglich der vergleichenden Betrachtung von Getränkeverpackungssystemen hat nicht den Anspruch auf die Berücksichtigung eines umfassenden ökologischen Wirkungsspektrums, sondern will lediglich fossile CO₂-Mengen, die durch den Produktlebenszyklus der Verpackungen bedingt sind, als Untersuchungsgröße betrachten. Die CO₂-Bilanz wird in Anlehnung an die Methodik einer Sachbilanz mit der Erfassung der Input- und Outputmengen der Verpackungen und den damit verbundenen Energiemengen erstellt.

3.2.2 Stoff- und Energiebilanz

Die vergleichende CO₂-Bilanzierung hat zum Ziel, fossile CO₂-Emissionen der Produktion und des Transports der Einweg- und Mehrwegverpackungen entlang des Produktlebenszyklus zu bestimmen. Angestrebt wird eine vergleichende Aussage über die Qualität und Quantität der CO₂-Emissionen. Eine vergleichende Bilanzierung ist möglich, da die Ver-

packungssysteme die gleiche Funktion haben und den gleichen Zweck erfüllen (UBA 1999a).

Der methodische Bilanzierungsprozess besteht aus drei Schritten:

Der erste Schritt ist eine Stoffstromanalyse. „Eine Stoffstromanalyse dient als Instrument dazu, Informationen über den gesamten Lebensweges eines Stoffes zu erfassen, zu analysieren und zu bewerten“ (Biebler und Mahammad 2004, S. 16). Hier wird die Stoffstromanalyse mit dem Ziel vorgenommen, die Art und Menge der Stoffströme und deren Wege entlang des Produktlebenszyklus innerhalb des Einweg- und Mehrwegsystems zu identifizieren. Die Stoffströme sind mit Energieeinsatz verbunden, der durch eine Energiebilanz quantifiziert wird.

Im zweiten Schritt, der Energiebilanz, wird der Energieverbrauch der Verarbeitungsprozesse und der Transportprozesse qualitativ und quantitativ ermittelt. Dieser wird auf jeder Prozessstufe ermittelt und vergleichend dargestellt. Die Energiestromdaten des zu bilanzierenden Verpackungssystems liegen in zwei unterschiedlichen Energieträgerarten vor. Bei den eigenständig durchgeführten Erhebungen sind die energetischen Aufwendungen als mengenmäßige Endenergieträger Diesel und Heizöl sowie Elektrizitätsmengen erfasst worden. Die ergänzenden Daten des UBA liegen für die Glasherstellung auch als Endenergieträger vor, weitere Daten des UBA dagegen liegen als KEA vor und zwar in zurückgerechneter Form als Primärenergiemengen (s. UBA 2000b). Um die Datenbasis der Energieaufwendungen auf ein vergleichbares Niveau zu setzen, werden die Energieträger inklusive des Energieverbrauchs ihrer Vorketten bilanziert. D.h. die Energieströme der Eigenerhebungen und der Glasproduktion werden um den indirekten fossilen Anteil der Energiebereitstellung ergänzt.

Der dritte Schritt ist die eigentliche CO₂-Bilanzierung. Hier werden die Energiemengen mit CO₂-Emissionsfaktoren bewertet, die für jeden Energieträger spezifisch sind. Die Ergebnisse der einzelnen Brennstoffe in der Energiebilanz werden hierzu mit den direkten Emissionsfaktoren multipliziert. Die Ausnahme ist hier die elektrische Energie, die nicht mit direkten Emissionsfaktoren bewertet werden kann, da elektrische Energie keine direkten Emissionen freisetzt und somit diese folglich mit den indirekten Emissionsfaktoren bewertet wird. Die Ergebnisse der Prozessstufen werden entlang des Produktlebenszyklus vom Rohprodukt bis zur Entsorgung für jede Produktionsstufe einzeln bilanziert.

3.2.3 Produktlebenszyklus und Systemgrenzen

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit müssen Bilanzierungsrahmen und die Systemgrenzen der Modellierung der Verpackungssysteme festgelegt werden. Hierzu wird zuerst die Kompatibilität der Randparameter des Einweg- und des Mehrwegsystems auf Produktebene und auf Prozessebene abgeklärt.

Der zeitliche und geographische Bezugsrahmen ist für beide Systeme gleich. Es handelt sich um das Geschäftsjahr 2008 und um den gleichen Bezugsraum für den Wareneinkauf in Spanien und gleichen Absatzraum der Fa. Riegel Deutschland, Schweiz, Österreich und Belgien. Der Distributionsraum wurde unter den Bedingungen von Deutschland modelliert. Die Absatzmengen und Entfernungen der Kunden in den Nachbarländern sind berücksichtigt. Es gelten somit die gleichen Grundannahmen und Randparameter auf der Produktebene. Die Prozessdatenqualität unterscheidet sich zwischen den kumulierten UBA Daten und den selbst erhobenen Daten des Transports und der Abfüllung im zeitlichen Bezugsraum. Die Eigenhebungen wurden eigens im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführt und die UBA Datensätze beziehen sich auf den Zeitraum Ende der 1990iger Jahre. Da aber auf den einzelnen Prozessstufen jeweils für Einweg und Mehrweg Daten gleicher Qualität, d.h. Daten gleicher Datenbasis verwendet werden, sind relative Vergleichsaussagen zwischen den Systemen möglich (vgl. UBA 2002a).

Der Produktlebenszyklus in Abbildung 10 der zu vergleichenden Verpackungssysteme ist im Verlauf vom Rohprodukt bis zur Fertigproduktdistribution für Einweg und Mehrweg gleich. Der Bilanzrahmen gibt die Systemgrenze vor. Die relevanten Prozessstufen entlang ihres Produktlebenszyklus befinden sich innerhalb des Bilanzierungsrahmens. Die Prozesskette beginnt mit der Produktion des Primär- und Transportverpackungsmaterials, setzt sich mit dem Transport des Abfüllguts aus Spanien zum Firmensitz der Fa. Riegel fort, geht dann über in den Bereich der Verarbeitung durch den Abfüllprozess zu Fertigprodukten. Den abschließenden Prozessschritt stellt die Distribution mit angeschlossener Verpackungsentsorgung oder dem Rücktransport der Mehrweggebinde dar:

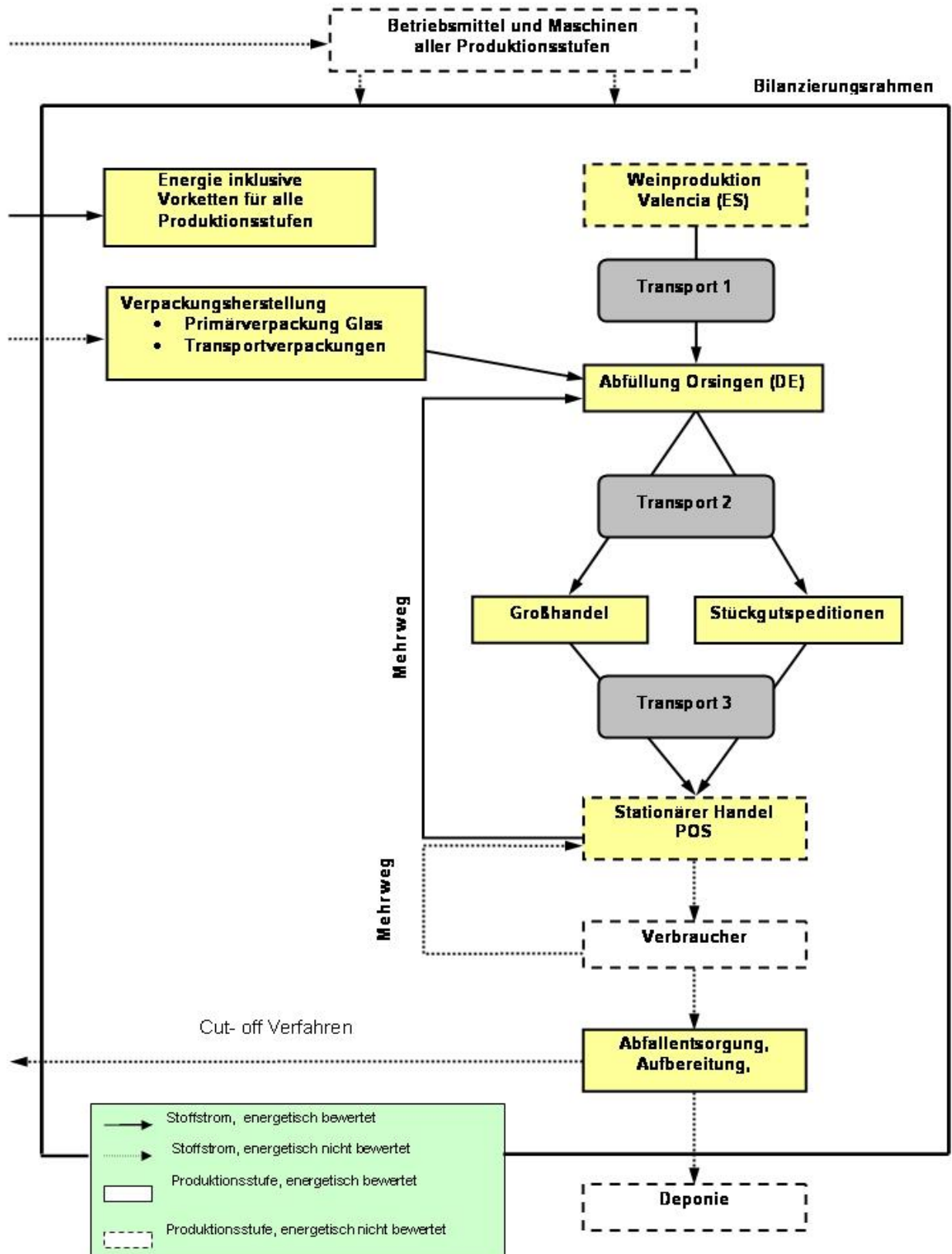


Abbildung 10: Darstellung der Prozessstufen des Einweg- und Mehrwegverpackungssystems Fa. Riegel

Keine Berücksichtigung finden die Prozessstufen ausserhalb des Bilanzierungsrahmens. Dies sind, wie in Abbildung 10 dargestellt, die Produktion der Produktionsmittel, die Vorketten der Verpackungsrohstoffe, sowie die Deponierung oder thermische Verwertung der Verpackungsreststoffe am Ende des Produktlebenszyklus.

Innerhalb des Bilanzierungsrahmens werden Hilfs- und Betriebsstoffe vernachlässigt. Auch die Lagerung und Präsentation der Ware am Point of Sale (POS) sowie der Vorratskauf, der die Lagerung und den Transport der Ware des Konsumenten umfasst, wird für die CO₂-Bilanz nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass keine Gebindepräferenz bezüglich der Weinsorte besteht. Folglich entsteht im weitesten Sinne kein energetischer Unterschied durch den Weinanbau und Kelterungsprozess zwischen den Verpackungssystemen, wodurch der Weinanbau und der Kelterungsprozess ebenfalls vernachlässigt werden. Die Energiestoffströme werden für die Prozessstufen mit Vorketten bilanziert.

Um dem Anspruch, alle relevanten Energie- und Stoffströme zu erfassen, gerecht zu werden, werden zusätzliche Abschneidekriterien auf Produktebene und Prozessebene festgelegt (vgl. UBA 2002a). Die Qualität und die Quantität der Produktelemente der jeweiligen Verpackungssysteme und deren Prozesskette bedingen die Intensität und den Energieverbrauch der Verarbeitungsprozesse. Systemdifferenzen sind folglich

- produktspezifisch, durch qualitative und quantitative Unterschiede der Verpackungsprodukte verursacht und
- prozessspezifisch, durch Produktspezifikation hervorgerufene Systemdifferenzen.

Abschneidekriterien müssen daher sowohl die Produkt- wie auch die Prozessebene betrachten. Mit dem Ziel einer Identifizierung der quantitativ und qualitativ bedeutenden Stoffe bezüglich des Energieaufwandes rücken – aus Gründen des Bilanzausschlusses – vor allem Stoffe in den Fokus, die unter der Begebenheit der vergleichenden Bilanzierung in beiden Systemen in gleicher Qualität und Quantität je Produkteinheit Verwendung finden und die dadurch zwischen den Verpackungssystemen keine Stoffstrom- und Energiestromunterschiede verursachen. Diese gleichen Produktelemente und Prozesse können methodisch vernachlässigt werden. Unter diesem Aspekt werden die Packhilfsmittel Verschlüsse, Etiketten und Kapseln vernachlässigt ebenso wie die Transportverpackung Paletten in der Bilanz nicht berücksichtigt wird.

Ein weiteres Abschneidekriterium beruht auf der Annahme der Ökobilanz für Getränkeverpackungen des UBA, „dass die wichtigen ökologischen Wirkungskategorien sehr stark mit der Masse der im System fließenden Materialien und Energieträger korrelieren“ (UBA 2002a, S. 13). Vor dem Hintergrund dieser Aussage kann die Masse von einzelnen Stoffen in Relation zur Gesamtmasse eines Stoffstroms innerhalb einer Prozessstufe als Abschneidekriterium herangezogen werden. Stoffe, deren Masse jeweils unter 1 % der Gesamtoutputmasse einer Prozessstufe liegen, können vernachlässigt werden. Die 1%-Massengrenze gilt auch für Verpackungselemente, die zwischen den Verpackungssystemen differieren sind. Voraussetzung ist zum einen, dass die Massensumme der vernachlässigbaren Stoffe nicht über 5 % der Gesamtoutputmasse pro Prozessstufe beträgt, und zum anderen, dass diese Stoffe auf den Grad des Umwelteinflusses überprüft worden sind und als vernachlässigbar eingestuft werden. Es handelt sich bei diesen Stoffen, nebst den Packhilfsmitteln beider Systeme, um die Umverpackungen in Form von Palettensicherungsschnüren für Mehrweg sowie Palettensicherungsfolien und Klebeband zum Verschließen der Kartonage für Einweg (vgl. UBA 2000a).

Entlang des Produktlebenszyklus gibt es also wenig Prozessunterschiede zwischen den Verpackungssystemen. Bis auf den Prozess der Flaschenreinigung und -abfüllung finden alle am gleichen Produktionsstandort unter gleichen Randbedingungen statt. Die Einwegabfüllung wird an zwei Standorten durchgeführt. Ein Teil der Einwegware wird in Spanien abgefüllt und entsprechend als Erzeugerabfüllungen auf Paletten nach Orsingen transportiert. Der andere Teil wird, wie die Füllgutmenge für Mehrweg, als Tankware von Spanien nach Orsingen transportiert. Mehrweg wird ausschließlich in Orsingen abgefüllt. Die Menge der importierten Erzeugerabfüllungen ist marktbedingt und wird des Weiteren als fix angesehen. Um die Vergleichbarkeit der Systeme zu gewährleisten, werden die Produktionsparameter der Abfüllung des Standortes Orsingen auch für die Produktionsstandorte der Erzeugerabfüllungen in Südeuropa zu Grunde gelegt. Die Verpackungsherstellung wird nach dem gleichen Prinzip für beide Verpackungssysteme nach den Produktionsparametern des deutschen Markts modelliert. Zwischen den Gebindetypen unterscheidet sich die Distribution, da bei den Mehrweggebinden der Rücktransport der Leerverpackungen stattfindet. Die weiteren Transportwege wie z.B. die der Abfallentsorgung oder der Anlieferung der Verpackungsmittel zur Abfüllung, die in Abbildung 10 nicht explizit als Produktionsstufen gekennzeichnet sind, werden in den akkumulierten Daten des UBA als Branchenschnittwerte jeweils bei der ausgehenden Produktionsstufe anteilig berücksichtigt. Im

Rahmen der Prozesskette wurde das Recycling der Verpackungsbestandteile mit dem Cut-Off-Verfahren modelliert, d.h. ohne Gut- und Lastschriften für Recycling.

Um die Vergleichbarkeit der Modellergebnisse zwischen den Systemen zu gewährleisten, muss eine gemeinsame Bezugsgröße der Berechnungen definiert werden. Die funktionelle Einheit kann als eine solche Bezugsgröße der Berechnungen herangezogen werden (UBA 2000a). Die funktionelle Einheit beträgt:

1 Liter Verpackungsvolumen [L Vol].

Dieses Verpackungsvolumen entspricht dem Volumen der Mehrwegverpackungseinheit und stellt eine gängige Gebindegröße auf dem deutschen Weinmarkt dar.

3.3 Prozessstufenanalyse

Im Folgenden werden die einzelnen Produktionsstufen entlang des Produktlebenszyklus bezüglich der Datenerfassung und der Analysemethodik dargestellt. Zu Beginn werden die Fertigverpackungsstoffströme innerhalb der Prozessstufe des Transports erörtert und dann, in chronologischer Reihenfolge des Produktlebenszyklus, die Verpackungsstoffströme und Energiemengen der einzelnen Prozessstufen dargestellt. Die Energiebilanzergebnisse werden dann als spezifische Energiemenge, bezogen auf den jeweiligen Gesamtoutput an Fertigprodukten des Verpackungssystems, in der funktionellen Einheit wiedergegeben.

3.3.1 Distributionsmodell

Die Transportprozesse 1 - 3 werden als eigenständige Produktionsstufen betrachtet und bilanziert. Zu Beginn der Distributionsanalyse gilt es festzuhalten, dass die Stoffströme der Distribution für Mehrweg als realistische Abbildung des Geschäftsjahres 2008 erstellt werden und das Einwegformat im Vergleich dazu relativ betrachtet wird. Die Energiemenge dieser Stoffströme wird dann für Einweg und Mehrweg getrennt berechnet. Die Transporte finden ausschließlich als Straßengüterverkehr statt, wobei CO₂ direkt durch die Verbrennung von Diesel als LKW-Treibstoff und indirekt durch dessen Bereitstellung freigesetzt wird. Basis der Energieverbrauchsrechnung der Transporte 1 - 3 ist die Transportleistung (s. Gleichung 1, Kapitel 2.4.3.4). Die Transportmasse wird im Modell durch die Größe Palettenstellplatz in Abhängigkeit der Gesamtladefläche und des Palettenvolumens ersetzt. Die resultierende Gleichung der Transportleistung in Abhängigkeit des Palettenvolumens ist in Gleichung 2 dargestellt:

$$P_{T2} = P_I * S \quad (\text{Gleichung 2})$$

P_{T2} [Pal*km]	= Transportleistung
P_I [Pal]	= geladene Palettenanzahl
S [km]	= Transportkilometer

Energetische Unterschiede zwischen dem Einweg- und dem Mehrwegsystem resultieren aus Unterschieden der:

- Verpackungsformen mit unterschiedlichem Transportvolumen pro Pal und
- Distributionsstrukturen mit Unterschieden der Transportentfernung durch Retourfahrten und
- Transportauslastungen.

Die Transportkilometerbestimmung zu den einzelnen Großhandels- und Einzelhandelskunden wurde auf den Hauptstrecken mittels eines Logistikplaners MapPoint 2008 (Microsoft 2009) ermittelt. Auf den Peripheriestrecken zu den rund 700 Endkunden wurden diese über Distanzberechnungen auf der Basis von Geokoordinaten der OpenGeoDB (Hoppe 2009) nach Postleitzahlen (PLZ) berechnet.

Auf Grund der zwei unterschiedlichen Flaschenvolumina der Gebindesysteme hat Mehrweg ein Palettenvolumen von 384 L Vol/Pal und Einweg 450 L Vol/Pal, so dass das Einwegformat über eine zusätzliche relative Transportleistung von 17,19 % je Transporteinheit gegenüber Mehrweg verfügt. Einweg verursacht folglich 85,33 % des spezifischen Energieverbrauchs von Mehrweg pro Liter Volumen Vollgut. Leergut und Leerkistenretour werden, da bei Einweg nicht existent, für Mehrweg in vollem Umfang energetisch miterfasst. In Tabelle 5 sind die Stoffmengen und die Faktoren der energetischen Bewertung zwischen den Verpackungssystemen bezogen auf eine Pal abgebildet.

Tabelle 5: Stoffstrom- und Energiefaktoren der Verpackungssysteme

Palettvolumen	Mehrweg	Einweg	Differenz	Energiefaktor	
	[L Vol/Pal]	[L Vol/Pal]	(Vol MW-Vol EW) [L]	Mehrweg	Einweg
<u>Vollgut</u>					
4 Lagen/Pal	384	450	-66	1	0,853
<u>Retour</u>					
4,5 Lagen/Pal	432	x	432	1	0

Die Fahrten im Distributionsmodell werden als Zielfahrten modelliert, d. h. die Transportabschnitte der Hin- und Rückfahrt werden bei Mehrweg einzeln betrachtet. Bei Einweg wird die Rückfahrt des LKW über den Auslastungsgrad berücksichtigt, d.h. wenn davon auszugehen ist, dass die Auslastung der Rückfahrt nicht vollständig von anderen Gütern ausgereizt wird, ist dieser anteilige, nicht genutzte Auslastungsgrad der Rückfahrt zu berücksichtigen. Die Gesamtauslastung der Fahrt wird dann als arithmetisches Mittel der Auslastung der Rückfahrt und der Auslastung der Hinfahrt berechnet. Es wird davon ausgegangen, dass bei Mehrweg die Auslastung der Hinfahrt die Gleiche ist wie die bei der Rückfahrt, dass also die gleiche Menge an Retouware zurückgebracht wie verteilt wird. Der Auslastungsgrad entspricht folglich bei beiden Systemen dem arithmetischen Mittel der Einzelauslastungsgrade. Die Ergebnisse der spezifischen Dieselverbräuche unter Berücksichtigung verschiedener Auslastungsgrade auf den verschiedenen Transportschienen sind Tabelle 29 im Anhang zu entnehmen.

Der vereinfachte, flächenbezogene Modellansatz zur Bestimmung der Transportleistung ist weitestgehend möglich durch gesetzliche Normen im Fahrzeugbau und gesetzliche Einteilung in Fahrzeugklassen bezüglich der Abmasse der Ladefläche und des maximalen Ladegewichts. Es kann deshalb angenommen werden, dass Fahrzeuge gleicher Tonnageklasse über eine annähernd kongruente Ladefläche und somit über die annähernd gleiche Anzahl an Palettenstellplätzen verfügen. Folglich ist eine konstante Relation der Auslastung über Palettenstellplätze innerhalb einer Fahrzeugklasse gegeben. Die im Modellfall angenommenen Transportfahrzeuge sind 40 t LKW und 7,5 - 12 t LKW mit einer durchschnittlichen Anzahl an Palettenstellplätzen 33 Pal/Lkw (40 t) und 13 Pal/Lkw (7,5 - 12 t). Der Spritverbrauch der beiden LKW-Klassen stammt aus der Datenbank Gemis (Ökoinstitut 2009). Sie umfassen verschiedene Straßenprofile und liegen im Schnitt bei 43 L/100 km beim 40 t LKW und 22 L/100 km bei der 12 t Variante (s. Tabelle 29 im Anhang) (Ökoinstitut 2009). Der Energieaufwand der Stoffströme wird unter Einbeziehung des Auslastungsgrads in Form des spezifischen Dieselverbrauchs in $L \text{ Diesel}/(\text{Pal} \cdot 100 \text{ km})$ nach Gleichung 3 berechnet.

$$V_S = V_{LKW} / P_S * 1 / A \quad \text{(Gleichung 3)}$$

V_S [L Diesel/(Pal*100 km)]	= spezifischer Dieserverbrauch je LKW pro Pal
V_{LKW} [L Diesel/100 km]	= Diesel Verbrauch LKW
P_S [Pal/LKW]	= max. Palettenstellzahl bei Vollaustlastung
P_I [Pal/LKW]	= geladene Palettenanzahl
A [P_I/P_S]	= Auslastungsfaktor

Der Gesamtenergieaufwand pro Transport wird durch Multiplikation des spezifischen Energieaufwands je Palette und der Transportleistung berechnet:

$$V_{Ges} = V_S * (P_{T2} / 100) * (F_{EW}) \quad \text{(Gleichung 4)}$$

V_{Ges} [L Diesel]	= Dieserverbrauch je Vertriebsschiene 2008
V_S [L Diesel/(Pal*100 km)]	= spezifischer Dieserverbrauch je LKW pro Pal
P_{T2} [Pal*km]	= Transportleistung
F_{EW} [0,853]	= Palettenvolumendifferenzfaktor für Einwegberechnung

Die Distributionsanalyse zeigt, dass sich der Kundenstamm der Fa. Riegel bezüglich der Mehrwegdistribution in drei Gruppen unterteilen lässt: den Großhandel, den Einzelhandel und die Handelsketten. Im Folgenden werden der Einzelhandel und die Handelsketten als eine Größe unter Einzelhandel zusammengefasst.

Die Verpackungsströme für 2008 sind in Tabelle 6 für die Vertriebsschienen Großhandel und Stückgut dargestellt.

Tabelle 6: Verpackungsstrom nach Distributionsweg und Produktzustand für Mehrweg 2008

MW-Menge	Vollgut			Leergutretour			Leerkistenretour		
	GH	SG	Gesamt	GH	SG	Gesamt	GH	SG	Gesamt
[L Vol]	764 021	557 427	1 321 448	658 966	378 942	1 037 908	106 663	173 475	280 138
[Pal]	1 990	1 452	3 441	1 525	877	2 403	247	402	648

GH = Großhandelsvertrieb

SG = Stückgutvertrieb

Das Distributionsmodell wird folglich zwischen zwei Vertriebsschienen, dem Großhandelsvertrieb und dem Stückgutvertrieb, unterschieden. Während der Großhandel seine Waren im Werkverkehr abholt, wird der Stückgutvertrieb im Speditionsverbund abgewickelt. Die Vertriebsschiene des Stückgutvertriebs teilen sich in verschiedene Vertriebspfade auf. Die Vertriebsschienen des Großhandelsvertriebs wie auch des Stückgutvertriebs werden in zwei Distributionsstufen modelliert. Untersuchungsgegenstand der ersten Stufe, der Hauptdistribution, sind die Strecken der zwei Vertriebsschienen bis zum Großhandel und bis zur Verteilerspedition im Zielgebiet. Die zweite Stufe, die Feindistribution, erfolgt im Anschluss zur Hauptdistribution mit der Verteilung der Ware vom Großhandel zu dessen eigenen Kunden und den Verteilerspeditionen zu den Kleinkunden der Fa. Riegel. Der Energieaufwand der Speditions- und Hauptlager wird, da keine Unterschiede zwischen Einweg- und Mehrweglagerung besteht, nicht berücksichtigt

Der Großhandel wickelt 58 % der Jahresabsatzmenge mit eigenem Fuhrpark im Werkverkehr ab. 42 % der Ware wird über Speditionsverkehr, den sogenannten Stückgutverkehr, zum Einzelhandel oder POS vertrieben.

Der Großhandel umfasst 25 Kunden, die die Logistik des Mehrwegsystems in Eigenregie durchführen. Die Einwegware bezieht der Großhandel über Stückgutspeditionen. Die Abholung der Mehrwegware im Werkverkehr wird mit 40 t LKW bestritten und zeichnet sich durch kurze, d.h. direkte Wege und durch einen hohen Auslastungsgrad aus. Der Großhandel als Ganzes nimmt 73 % der Jahresproduktionsmenge ab, wobei wie bereits gesagt 58 % in Eigenregie transportiert werden. Der Rücktransport setzt sich aus 63 % Leergutquote und entsprechend modellierten 37 % Leerkisten zusammen. Bemerkenswert ist hierbei, dass die zwei größten Kunden 40 % der Jahresabsatzmenge abnehmen.

Über Stückgutlogistik wird im Modell der Transport der kompletten Einwegware und der Mehrwegformate für Einzelhandel abgewickelt. Gemeint sind damit Auftragsspeditionen, die sich im Verbund zu Stückgutkooperationen zusammengeschlossen haben, um einen schnellen und effizienten Warenfluss zu gewährleisten. Es handelt sich hierbei um die Belieferung von 739 Kunden mit einem Anteil am Gesamtabsatz von 42 %. Die Retour setzt sich aus einer Leergutquote von 68 % und einem Leerkistenanteil von 31 % zusammen. Die Konzeptionsgrundlage des Stückgutlogistikmodells der einzelnen Transportwege zu den Kunden ist auf der Vertriebsstruktur der Stückgutkooperation S.T.a.R-Systemtransport auf Rädern aufgebaut, basierend auf der Preisliste der Jahresmitte 2008 für den Transport pro Palette, wobei weitestgehend davon ausgegangen wird, dass die Höhe der Transportpreise die

Entfernung der Vertriebswege wiedergeben. Ergänzende Informationen und Strukturkennzahlen zum Stückgutvertrieb sind vom stellvertretenden Geschäftsführer der S.T.a.R.-Speditionskooperation, Herr Frank Ringelband, zur Verfügung gestellt worden (Ringelband 2009). Das Speditionssystem funktioniert über zwei Großverteilungszentren, dem Haupthub und dem Südhub, also zweier Umschlaglagern an jeweils logistisch sinnvollen Standorten. Diese Umschlaglager werden von allen beteiligten Speditionen, die über ganz Deutschland geographisch homogen verteilt sind, in regelmäßigem Turnus angefahren, um Waren anzuliefern bzw. mitzunehmen und entsprechend ihrer Zielgebiete in ganz Deutschland zu verteilen. Abbildung 11 zeigt den Firmensitz der Fa. Riegel, den Haupthub und den Südhub, sowie den relativen Massestrom der gesamten Mehrwegdistribution nach PLZ-Gebieten in Prozent für das Geschäftsjahr 2008. 73 % der Absatzmenge wird im Süden in den PLZ-Gebieten 7, 8, 9 vertrieben, 8,2 % der Menge geht nach Belgien und 0,6 % in die Schweiz und nach Österreich

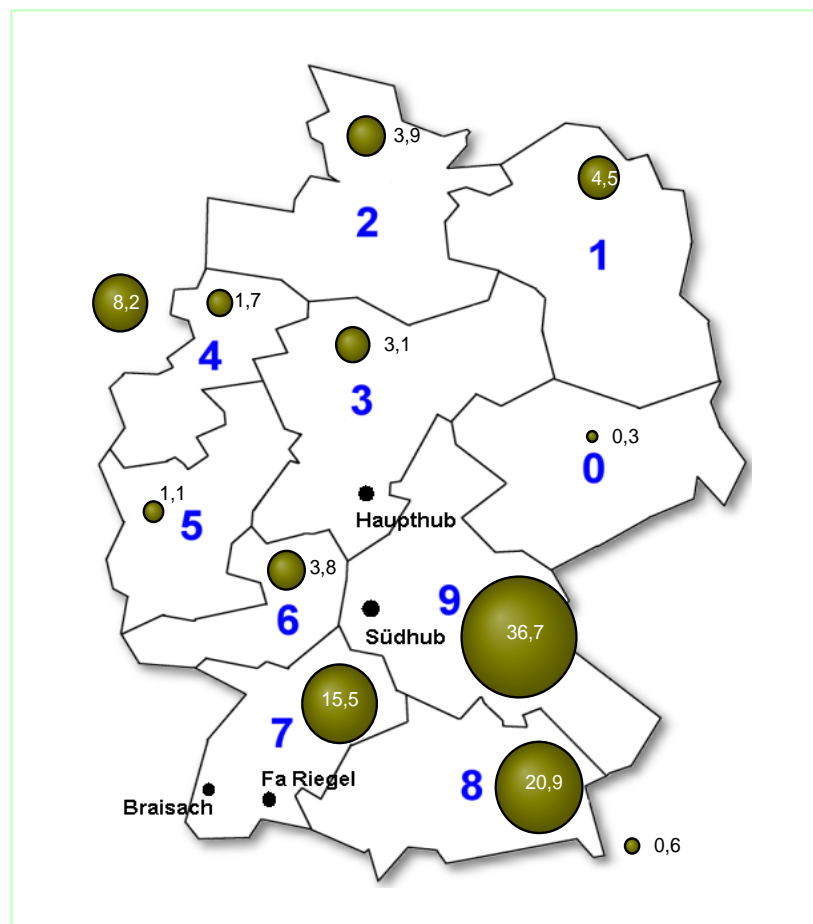


Abbildung 11: Mehrwegverpackungsstrom nach PLZ-Gebieten in % der Gesamtmenge

Innerhalb der Stückgutkooperation ist die lokale Spedition Fa. Andres zuständig für den PLZ Bereich 78 Orsingen. Sie holt die Mehrweg- und Einwegware ab und liefert sie über eine Entfernung von 26 km zunächst zum Stammsitz der Spedition, um sie von dort aus direkt im Regionalverkehr in die PLZ-Zielgebiete 77, 78, 79 zu den Kunden zu liefern oder aber für den Weitertransport im Fernverkehr zum Süd- oder Haupthub zu kommissionieren.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass, wie in Abbildung 12 gezeigt wird, die Transportschiene Großhandel die Ware mit dem eigenen Fuhrpark abwickelt. Die Transportschiene Stückgut besteht aus der Abholung der gesamten Ware durch eine lokale Spedition, mit anschließender Aufteilung in drei nachfolgend aufgeführte Transportpfade:

- Großhandel
A Abholung durch Großhandel

- Stückgut
B Abholung durch Lokalspedition
B_I Vertrieb nach 77 Braisach für die PLZ Bereiche 77 und 79
B_{II} Vertrieb über Südhub an die regionalen Stückgutspeditionen
für die PLZ Bereiche 7, 8 und 9 außer 77 - 79
B_{III} Vertrieb über Haupthub an die regionalen Stückgutspeditionen
für die PLZ Bereiche 0 - 6

→ auf die Transportpunkte A bis B_{III} folgt die Feindistribution, die in Kapitel 3.3.1.2 den Weitervertrieb in den Güterstrom A_F für den Großhandel und den des Stückgutvertriebs B_F unterschieden wird.

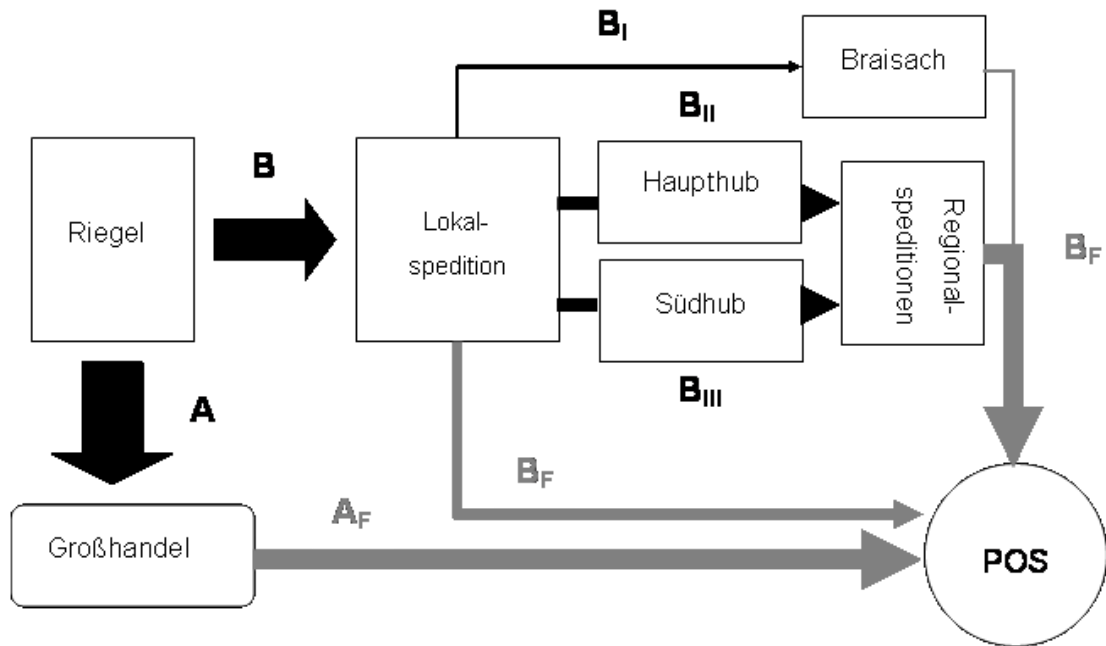


Abbildung 12: Schematische Darstellung des Distributionsmodells

Die Vertriebsmengen teilen sich auf den Transportschienen gemäß Tabelle 7 auf. Die Jahresabnahmemengen des Großhandelsvertriebs und Speditionsvertriebs werden getrennt betrachtet und entsprechen innerhalb der Transportschienen jeweils dem Mengenfaktor 1,0. Der Verpackungsstrom teilt sich innerhalb des Stückgutvertriebs entsprechend den Mengenfaktoren in Tabelle 7 auf.

Tabelle 7: Stoffstromfaktoren nach Vertriebsschienen für Mehrweg

Stückgut	Mengenfaktor	Großhandel	Mengenfaktor
Gesamt:		Gesamt:	
557568 L Vol	0,422	764021 L Vol	0,578
Stückgutschiene	1	Großhandelsschiene	1
davon		davon	
B Abholung Sped Andres	1	A Abholung GH	1
Fernverkehrsstrecken	0,957		
aufgeteilt in			
B _I Regiovertrieb Braisach	0,0172		
B _{II} Fernvertrieb Südhub	0,7		
B _{III} Fernvertrieb Haupthub	0,24		
B _F Feindistribution	1	A _F Feindistribution	1

Die Mehrwegware für die Feindistribution durch die Fa. Andres im PLZ-Gebiet 78 beträgt für den bilanzierten Zeitraum 58 Paletten Neuware, Retour 29 Paletten Leergut und 23 Paletten Leerkisten. Diese fallen im Prozessschritt Transport 2 nach der Abholung aus der Bilanz heraus und werden direkt zu Transport 3, dem Feinvertrieb, zugeordnet. Der Verpackungsumfang entspricht dem Mengenfaktor 0,043.

3.3.1.1 Distributionsstufe I – Transport 2

Die Hauptstrecken zeichnen sich durch eine hohe Palettenauslastung und folglich durch einen niedrigen spezifischen Treibstoffverbrauch pro Palette aus. Die Hauptdistribution über Fernstrecken zu Großkunden wird im Branchenschnitt zu über 90 % mit Sattelzügen und mit 40 t LKW-Gespannen durchgeführt (prognos 1997). Dies deckt sich mit den Informationen der Stückgutkooperation und des Großhandels bezüglich deren Fuhrparkkonstellation auf Fernstrecken. Daher wird die Modellierung im Folgenden für Transport 2 mit 40 t LKW vorgenommen. Die exakten Auslastungen sind in Tabelle 8 im nächsten Kapitel (Kapitel 3.3.1.2) in der Gesamtübersicht einzusehen.

Die durchschnittliche Wegstrecke einer Palette bis zum Großhandel beträgt rund 434 km (s. Tabelle 31 im Anhang). Der Stückgutvertrieb weist auf den unterschiedlichen Transport-schienen unterschiedliche Entfernungen auf. Die durchschnittliche Wegentfernung für die PLZ-Gebiete 0 bis 6 beträgt 746 km. Genauer betrachtet sind es im Teilgebiet PLZ 3 bis 6 rund 665 km, im Schnitt 90 km weniger Strecke, und im Teilgebiet PLZ 0, 1 und 2 mit jeweils 860 km Entfernung entsprechend mehr. Transporte ins Zielgebiet PLZ 7, 8, 9 haben eine durchschnittliche Entfernung von 496 km und Region PLZ 77, 79 rund 133 km (s. Tabelle 31 im Anhang). Mit wenigen Ausnahmen wie den PLZ-Gebieten 77, 79 und einigen wenigen Großhändlern liegt eine homogene Rückgabestruktur der Mehrweggebinden vor. Es kommt kaum zu Streckendifferenzen zwischen Anlieferung und Abholung der Ware. Die Unterschiede lassen sich vermutlich auf Bestandsänderungen zurückführen.

Die Energiebilanz von Transportprozess 2 wird in Kombination mit Transportprozess 3 im nächsten Kapitel (Kapitel 3.3.1.2) erstellt

3.3.1.2 Distributionsstufe II – Transport 3

Die Transportstufe 3 umfasst die Feindistribution mit Verteiler- und Sammelfahrten von den Großhändlern und den lokalen Speditionen zum POS. Sie unterscheiden sich in ihrer Transportleistung durch Menge und Entfernung. Die Flottenstruktur ist im Modell auf beiden

Vertriebschienen die Gleiche. Die Fuhrparkstruktur für den Großhandel und die Stückgutverteilung wird im Folgenden zu 36 % mit 40 t LKW und zu 64 % mit 7,5 - 12 t LKW modelliert. Die Annahmen basieren auf der Erhebung von prognos 1997 zur Distributionsstruktur im Weinmarkt Mitte der 1990er Jahre. Die Fahrten haben eine Auslastung von 80 % im Mehrwegvertrieb und 60 % im Einwegvertrieb (vgl. prognos 1997). Die Großhandelskunden der Fa. Riegel beliefern ihren Kundenstamm ausgehend vom Sitz des Lagers mit dem eigenem Fuhrpark in Verteilerfahrten in lokalen, regionalen und nationalen Vertriebsradien. Der Feinvertriebsradius wird aus nach Absatzmengen gewichteten Einzelvertriebsradien ermittelt. Dieser beträgt im Großhandel 411 km und wird mit 50 % bei 206 km für alle Fahrten angenommen (s. Tabelle 33 im Anhang). Die Kombination der Hauptstrecken und Feindistribution ergibt für den Großhandelsvertrieb das in Abbildung 13 gezeigte Energieprofil entlang des Transportwegs, dargestellt nach spezifischem Energieverbrauch/Pal. Es zeigt, dass Mehrweg in der Gesamtbetrachtung auf Grund der Retourfahrten einen höheren Durchschnittsverbrauch hat.

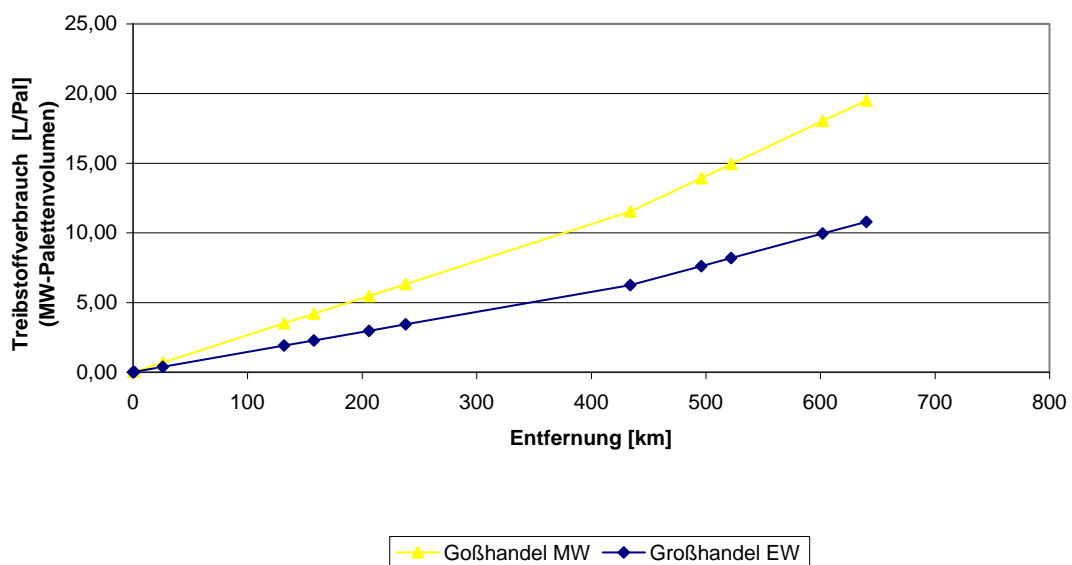


Abbildung 13: Dieselverbrauch in Abhängigkeit der Transportentfernung im Großhandelsvertrieb bei der Fa. Riegel

Die Feindistribution der Stückgutlogistik wird über eine Entfernung von 80 km modelliert. Die Auslastung liegt zu Fahrtbeginn bei 90 %, sinkt jedoch, bezogen auf die 80 km Fahrtstrecke, im Laufe der Fahrt auf im Durchschnitt 60 % (prognos 1997). Die verschiedenen Transportschienen der Hauptstrecken und Feindistribution ergeben für den Speditionsvertrieb das in Abbildung 14 gezeigte Energieprofil entlang des Transportwegs, dargestellt durch den spezifischen Energieverbrauch L Diesel/Pal.

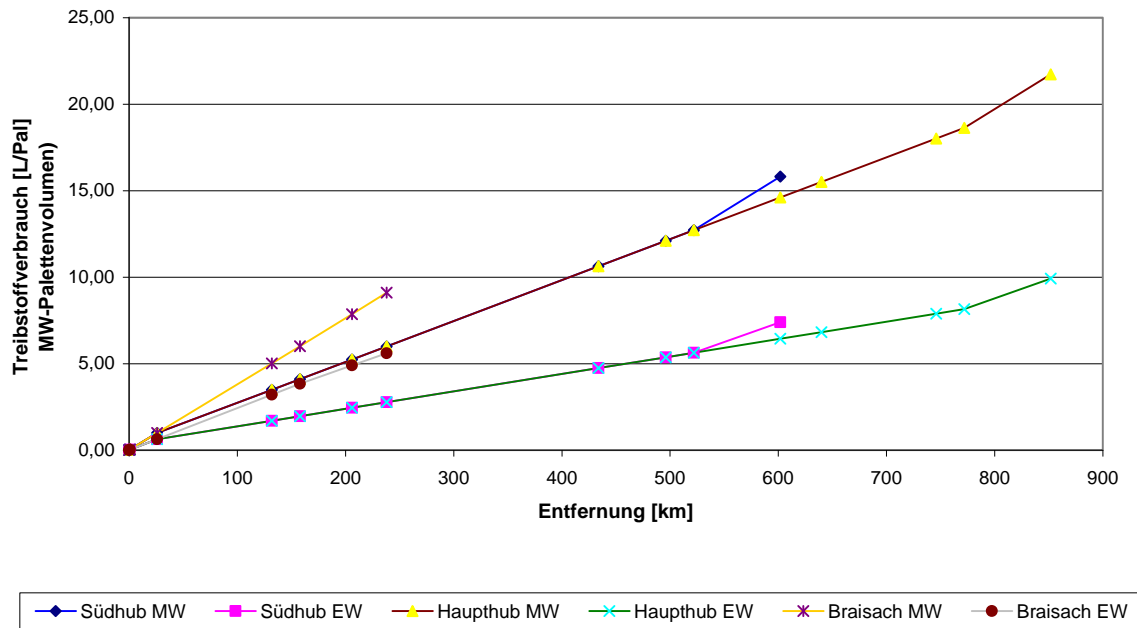


Abbildung 14: Dieserverbrauch in Abhängigkeit der Transportentfernung im Stückgutvertrieb bei der Fa. Riegel

Es zeigt sich, dass das Mehrwegformat in der Gesamtbetrachtung auf Grund der Rückfahrten des Leerguts einen höheren Verbrauch pro Transportkilometer aufweist. Der Spritverbrauch des Einwegformats wird zusätzlich um den Faktor 0,853 auf Grund des im Vergleich höheren Palettenvolumens gesenkt. Mehrweg weist aber im Durchschnitt höhere Auslastungen auf, da bei Einweg vor allem im Feinvertrieb die Rückfahrten ohne Fremdladung stattfinden und dadurch zur Einwegbilanz hinzugezählt werden. So liegt der spezifische Einwegverbrauch an Kraftstoff bei rund 55 % des spezifischen Mehrwegverbrauchs. Die Auslastungen, Treibstoff- und Energieverbrauchswerte der einzelnen Transportschienen sind in Tabelle 8 für den Großhandel und den Stückgutvertrieb für Mehrweg und Einweg dargestellt. Die Energiewerte sind inklusive der Vorketten. Die Basisdaten der LKW Verbrauchswerte stammen aus der Datenbank Gemis des Ökoinstituts (s. Tabelle 29 im Anhang) (Ökoinstitut 2009). Der spezifische Dieserverbrauch und die Energiemengen sind auf den einzelnen Transportschienen der Transportstufe 2 und 3 nachfolgend in Tabelle 8 aufgeführt. Der spezifische Verbrauch in L/(Pal*100 km) für Mehrweg umfasst hier nur die Hinfahrt, somit also die Hälfte des Gesamtverbrauchs. Diese Darstellung ist zugunsten einer besseren Vergleichbarkeit der Auslastungen zwischen den Verpackungsformaten gewählt worden.

Tabelle 8: Spezifische und absolute Emissionswerte und Energiewerte Transport 2 & 3

Distribution - Transport 2 & 3		Großhandel		Stückgut				
		A	A _F	B	B _I	B _{II}	B _{III}	B _F
Mehrweg								
Treibstoff	[L]	21 648	14 992	1 349	118	11 259	5 826	4 230
Energiemenge KEA	[kWh/a]	234 216	162 201	14 595	1 281	121 810	63 036	45 764
Energiemenge spezifisch	[kWh/L Vol]	0,31	0,21	0,03	0,13	0,31	0,47	0,08
Auslastung	[%]	89	80	75	75	100	100	80
Treibstoffverbrauch	[L/(Pal*100 km)]	1,328	1,936	1,900	1,900	1,182	1,182	1,936
Einweg								
Treibstoff	[L]	12 442	9 030	918	80	5 086	2 632	2 559
Energiemenge KEA	[kWh/a]	134 616	97 695	9 932	868	55 027	28 476	27 683
Energiemenge spezifisch	[kWh/L Vol]	0,18	0,13	0,02	0,09	0,14	0,21	0,05
Auslastung	[%]	70	60	50	50	100	100	60
Treibstoffverbrauch	[L/(Pal*100 km)]	1,688	2,581	2,850	2,850	1,182	1,182	2,581

A Abholung durch Großhandel

A_F Feinvertrieb durch Großhandel

B Abholung durch Lokalspedition in Stückgutvertrieb

B_I Vertrieb nach PLZ 77 Braisach für die PLZ Bereiche 77 und 79 in Stückgutvertrieb

B_{II} Vertrieb über Südhub an die regionalen Stückgutspeditionen für die PLZ Bereiche 7, 8, 9 außer PLZ 77 - 79

B_{III} Vertrieb über Haupthub an die regionalen Stückgutspeditionen für die PLZ Bereiche 0 - 6

B_F Feinvertrieb durch Stückgutspeditionen

Bei Mehrweg geht man vereinfacht davon aus, dass bei einer Lieferung die gleiche Menge an Leergut wieder zurückgenommen wird. Es ergeben sich daraus Auslastungen von 75 - 100 %. Die Auslastungen entsprechen dem Mittelwert aus den Einzelauslastungen der Hin- und der Rückfahrt, wobei davon ausgegangen wird, dass außer im Großhandelsvertrieb keine zusätzlichen Waren auf den Rückfahrten zugeladen werden. Der Speditionsvertrieb wird mit Fremdladung modelliert. Diese erreichen auf den Hauptstrecken 100 % und im Feinvertrieb bis zu 60 % Auslastung. Das heißt, dass die Einwegformate im Speditionsvertrieb auf Direktfahrten die gleichen Auslastungen auf der Hinfahrt erreichen und den gleichen spezifischen Treibstoffverbrauch haben wie das Mehrwegformat. Auf den Verteilerfahrten liegen die Auslastungen von Einweg 20 % unter den Mehrwegtransportauslastungen.

3.3.2 Wareneinkauf – Transport 1

Die Fa. Riegel bezieht ihre Weine vor allem aus den Regionen Italien und Spanien. Im Modell wurde deshalb die spanische Region Valencia als Standort für den Wareneinkauf an Biowein ausgewählt. Valencia wird wegen der für alle Weinbezugsgebiete durchschnittlichen

Entfernung zum Sitz der Fa. Riegel als repräsentativer Standort betrachtet. Die Abfüllung unterscheidet sich hinsichtlich der Gebindetypen. 60 % der Abfüllung der Einwegformate findet in den Erzeugerregionen statt, 40 % entsprechend in Orsingen bei der Fa. Vinerum. Die Mehrweggebinde werden ausschließlich in Orsingen abgefüllt. Die Produktions- und Lagerbedingungen des Abfüllungsprozesses sind für beide Verpackungssysteme gleich. Der gekelterte Wein, der in Mehrweg abgefüllt wird, lagert in Stahltanks. Der Einwegwein lagert abgefüllt in Flaschen. Es existiert kein erfassbarer signifikanter Energieverbrauchsunterschied zwischen den Lagerarten. Zum einen werden die Lagerräume nicht aktiv beheizt, zum anderen ist die Lebenszeit der robusten Stahltanks nicht abzuschätzen, wodurch der Energieaufwand der Herstellung nicht auf die Gesamtlagermenge der Lebenszeit der Tanks umgelegt werden kann. Daher wird auf der Prozessstufe des Wareneinkaufs ausschließlich der Transport von Valencia nach Orsingen berücksichtigt. Die Transportentfernung von Valencia nach Orsingen beträgt 1500 km. Im Modell wird der gesamte Jahreseinkauf an Füllgut in Valencia vorgenommen. Die Stoffströme sind in Tabelle 9 dargestellt. Die Mehrwegweinemenge ist Tankware und wird komplett in Tanklastzügen mit 28 m³ Ladevolumen transportiert. Der Anteil des Einwegweins, der in Orsingen abgefüllt und in Tanklastzügen transportiert wird, beträgt 40 % der Einwegmenge. 60 % der Einwegmenge sind Erzeugerabfüllungen und werden in Flaschen abgefüllt, auf Pal in Sattelzügen nach Orsingen transportiert. Der Energieverbrauch besteht ausschliesslich aus Dieselkraftstoff und ist mit 39 L/100 km für die beiden Fahrzeugtypen gleich (Ökoinstitut 2009).

Tabelle 9: Stoffstrom- und Energiemenge Transport 1

Weineinkauf - Transport 1		Mehrweg	Einweg	
		Tankzug	Tankzug	Sattelzug
Transportmenge 2008	[L Vol]	1 321 448	2 025 000	3 000 000
Transportdistanz einfach	[km]	1 500	1 500	1 500
LKW Auslastung	[%]	100	100	100
Treibstoff	[L/a]	27 609	42 308	118 182
Energiemenge KEA	[kwh/a]	298 709	457 744	1 278 647
Energiemenge spezifisch	[kwh/L Vol]	0,23	0,23	0,43
Energiemenge spezifisch	[kwh/L Vol]	0,23		0,35

Es zeigt sich, dass Einweg einen höheren spezifischen Energieeinsatz auf dieser Transportstrecke aufweist.

3.3.3 Flaschenreinigung und Abfüllung

Abfüller der Fa. Riegel ist die Fa. Vinerum in Radolfzell. Betriebsinformationen über den Prozess der Reinigung und Abfüllung wurden während einer Betriebsbesichtigung in Erfahrung gebracht.

Die Fa. Vinerum dient neben dem Kommissionierungslager am Standort der Fa. Riegel als Logistiklager zum Vertrieb sortenreiner Paletten. Es wird im Modell davon ausgegangen, dass keine Bestandsänderungen an gefüllten und leeren Verpackungen im Zeitraum 2008 vorlagen, so dass zum einen die Anzahl der Abfüllungen derjenigen des Absatzes entsprechen, und zum anderen die Anzahl der Neuverpackungen die Defizitmenge aus Absatz und Rücklaufquote ist. Somit sind die Input- und Outputstoffströme der Verpackungen mengenmäßig ausgeglichen. Der Input besteht folglich aus den Produktkomponenten der Primär- und Transportverpackungen, die zum Endprodukt zusammengefügt werden. Die Produktionsstraße der Reinigung und Abfüllung wird für beide Gebindetypen genutzt. Die Prozessgeschwindigkeit der Abfüllstraße wird vom limitierenden Faktor, dem Flaschenwaschautomaten vorgegeben und ist im Modell zwischen den Verpackungsformaten mit 3800 Flaschen/h gleich. Zwei Teilprozesse unterscheiden sich entlang der Produktionslinie zwischen den Gebindetypen. Zum einen wird eine Verpackungsmaschine für Einweg, die Vollgut in die Einwegtransportkartongagen einsetzt und verklebt, auf Grund des geringen Energieverbrauchs, vernachlässigt. Zum anderen zählt der Kistenwaschautomat für Mehrwegkisten als weiterer Teilprozess. Dieser wird mit Passivwärme des Flaschenwaschautomaten betrieben und wird daher über die Bilanzierung des Waschautomaten mit berücksichtigt. Die Lagerung der Roh- und Endprodukte findet in Räumen statt, die ausschließlich passiv beheizt werden und somit nicht als Energieverbrauchsstelle geltend gemacht werden.

Am Standort der Fa. Vinerum in Radolfzell werden nebst der Abfüllung noch Büroflächen und ein Ladengeschäft betrieben. Es ist nicht möglich, den Gesamtenergieverbrauch auf die einzelnen Verbrauchsstellen zu schlüsseln. Daher wurde ein Relativansatz gewählt, um den Energieverbrauch der Verpackungsarten entlang der Produktionslinie zu quantifizieren. Der Flaschenreinigungsautomat ist zum einen der einzige Prozessabschnitt innerhalb des Reinigungs- und Abfüllprozesses, der zwischen den Gebindetypen messbare Unterschiede im Energieverbrauch verursacht, und zum anderen kann auf Grund einschlägiger Erfahrungs-

werten der Anlagenbetreiber davon ausgegangen werden, dass der Reinigungsautomat innerhalb der Abfüllstraße den mit Abstand größten Energieverbrauch aufweist. Es wird deshalb lediglich der Flaschenreinigungsautomat als Verursacher von Emissionsdifferenzen zwischen den Gebindesystemen betrachtet. Der Energieverbrauch des Waschautomaten besteht zum einen aus thermischer Endenergie in Form von Wasserdampf, und zum anderen aus elektrischer Endenergie. Die Energieverbrauchsdifferenzen bei der Reinigung liegen in der Verfahrensführung begründet. Die Reinigung und Abfüllung der Gebindetypen findet nach Bedarf in unregelmäßigem Turnus statt. Die Mehrwegeinheiten werden mit aktiv beheizter Natronlauge (NaOH 2%) (6200 L) mit einer Laugentemperatur von durchschnittlich 80° C gereinigt. Die Lauge für die Reinigung der fabrikneuen Einwegeinheiten wird mit Restwärme der Mehrwegabfüllungen gefahren. Die Temperaturführung unterliegt nach §4 LMVG (Lebensmittel Hygiene Verordnung) der Verantwortung und Kontrolle der Betriebsstätten. Zur Bestimmung der Verbrauchsenergiemenge wurde freundlicherweise das Stammdatenblatt (s. Tabelle 38 im Anhang) des Flaschenwaschautomaten Typ Riwella VB 18/17 vom Hersteller zur Verfügung gestellt (Schmitt 2009). Zur Quantifizierung des Gesamtenergieverbrauchs der Waschanlage wurde die von der Fa. Vinerum nach europäischer Verordnung (EG) 852/2004 erstellte Qualitätssicherungsdokumentation der Verfahrensführung von Einweg- und Mehrwegabfüllphasen mit entsprechender Laugentemperatur ausgewertet (s. Tabelle 37 im Anhang). Der Waschvorgang der Mehrwegformate benötigt thermische Energie in Form von Dampf zum einen für die Aufheizung der Lauge auf die geforderte Prozesslaugentemperatur von 80° C und zum anderen für die Erhaltung der Temperatur während der Mehrwegwaschphase. Zur Berechnung des Energieaufwands wird auf Basis der Maschinendaten der Energieverlauf in Abhängigkeit der Temperatur mit Gleichung 5 berechnet.

$$Q = M * C * (\Delta T) \quad \text{(Gleichung 5)}$$

Q [kWh] = Wärmeenergie

M [kg] = Laugenmasse

C [kWh/(kg*K)] = spezifischer Wärmekoeffizient

ΔT [K] = $(T_2 - T_1)$ Temperaturdifferenz aus Zieltemperatur und Starttemperatur des Aufheizprozesses

Die Konstante spezifische Wärmekapazität C [kWh/(kg*K)] der verwendeten Lauge gibt einen linearen Zusammenhang der Zustandsgrößen Masse m [kg], Temperatur T [K] und der Wärmeenergie Q [kWh] vor. Durch Parallelverschiebung der aus den Maschinendaten gebildeten Funktion ergibt sich entsprechend Abbildung 16 die prozessbeschreibende Zuordnung mit dem Schnittpunkt der Abszisse bei 80°C Prozesstemperatur.

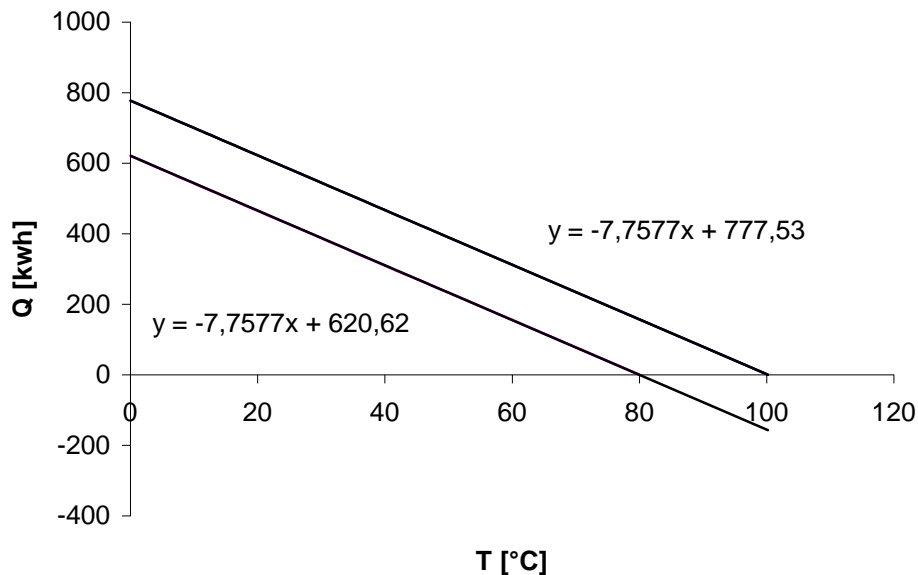


Abbildung 15: Nutzenergie Q im Temperaturverlauf ΔT Laugenaufheizprozess Riwella 18/17

Der Endenergieträger der Dampfproduktion ist Heizöl. Die durchschnittliche Wasserbezugstemperatur des Dampfkessels beträgt 25°C und wird nach Erhitzung mit 90°C abgegeben. Der Abgasverlust nach DIN 1942 liegt bei rund 10 %. Mit einem Strahlungsverlust der Leitungen von ca. 1 %, erreicht der Dampfkessel folglich einen Wirkungsgrad von 89 % (Czinkewitz 2009). Elektrische Energie fällt beim Betrieb der Maschine unabhängig der Verpackungsformate in gleicher Menge je Flasche an. Die Auswertung ergibt eine Laufzeit für Mehrwegabfüllungen von 621 h/a und für die Einwegformate 1297 h/a. Die Intensität des Aufheizprozesses der Lauge für Mehrweg ist bedingt durch die Phasen der Abkühlung. Die Lauge kühlt während Produktionspausen wie dem Wochenende und Tageswechsel sowie durch das Fahren von Einwegformaten, die lediglich von der Restwärmekapazität der Lauge profitiert, unterschiedlich stark ab. Basierend auf der Qualitätssicherung (QS) Dokumentation betrug die Jahrestemperaturdifferenz der Lauge 5395 K in 2008. Dies ergibt bei einer spezifischen Wärmekapazität von $4,12\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ eine Endenergie von rund $8,7\text{ kWh}/\text{K}$ oder rund $47\,000\text{ kWh}/\text{a}$ für den Aufheizprozess unter Berücksichtigung des Wirkungsgrads (89 %) des Heizkessels (s. Tabelle 36 im Anhang). Die Stoffströme- und

absoluten sowie spezifischen Energiemengen sind in Tabelle 10 dargestellt. Der Verbrauch thermischer Energie während der Prozessführung liegt bei einer benötigten Endenergiemenge von 118 kWh/h bei rund 73000 kWh/a. Die elektrische Leistungsaufnahme ist während des Betriebs 17,6 kW.

Tabelle 10: Stoffstrom- und Energiemenge der Flaschenreinigung der Fa. Riegel

Flaschenreinigung		Mehrweg	Einweg
Heizöl L	[kg/a]	10 156	
Energiemenge Heizöl L	[kwh/a]	137 444	
Elektrische Energie	[kwh/a]	10 930	22 827
Energiemenge KEA	[kwh/a]	161 752	44 823
Abfüllmenge Vinerum	[L Vol/a]	1 321 448	2 025 000
Energiemenge spezifisch	[kwh/L Vol]	0,122	0,022

3.3.4 Verpackungsherstellung

3.3.4.1 Glasflasche

Das Gebindeformat des Mehrwegsystems ist eine 1 L Glasflasche und des Einwegsystems eine 0,75 L Glasflasche. Je System besteht der Glasmassenstrom aus Grün- und Weißglas in charakteristischen Anteilsmengen. Der Anteil bei Mehrweg (Einweg) ist 78 % (69 %) Grünglas und 22 % (31 %) Weißglas. Hersteller der Flaschen ist die Fa. Saint Gobain/ Oberland. Auf Grund konservativer Informationspolitik seitens der Fa. Saint Gobain/Oberland stehen exakte Informationen über den Energieverbrauch der Behälterglasherstellung nicht zur Verfügung. Als Datengrundlage werden daher akkumulierte Datensätze für die Weiß- und Grünglasherstellung des UBA herangezogen. Die Daten repräsentieren 67 % der deutschen Hohlglashersteller im Jahr 1996 und beruhen auf Informationen der Flaschenvereinigung für Behälterglasindustrie e. V. Der aggregierte Datensatz gibt die Herstellung am Produktionsstandort Deutschland wieder ohne die Vorketten der Grundmaterialien (UBA 2000b). Die Prozessstufe beginnt mit der Gemengeaufbereitung gefolgt von Schmelz- und Arbeitswanne, Feeder, Hohlglasmaschine, Kühlofen und endet mit der Verpackungsmaschine. Der Altglasanteil für die Glasproduktion beträgt im akkumulierten Datensatz jeweils im gewichteten Mittel für Weißglas (Grünglas) 65 % (86 %). Die Altglasquote stimmt mit heute verwendeten Mengen überein. (UBA 2009d). Der

akkumulierte Gesamtenergieverbrauch stellt sich aus den fossilen Sekundärenergiearten Diesel, Erdgas und Schweröl zusammen sowie elektrischer Energie, die jeweils um den indirekten Energieanteil erweitert werden. Die Produktionsmengen ergeben sich aus den Differenzen von Abfüllungen zu Rücklaufmengen abzüglich des verarbeitungsbedingten Bruchanteils der Flaschen entsprechend Tabelle 11. Im Auftrag der Fa. Riegel wurden für Mehrweg (Einweg) 343292 (6,7 Mio.) Flaschen oder rund 206 (3015) t Behälterglas hergestellt.

Tabelle 11: Stoffstrommengen und Systemdaten Glasproduktion der Fa. Riegel

Glasproduktion		Mehrweg	Einweg
Gewicht	[kg/Flasche]	0,60	0,45
Gewicht spezifisch	[kg/L Vol]	0,60	0,60
Menge			
Ausgangsmenge	[L Vol/a]	1 321 448	5 025 000
Rücklaufmenge	[L Vol/a]	1 037 908	0,00
Rücklaufquote brutto	[%]	78,5	0,00
Vorsortierung 12 m ³ Scherben	[Flasche/a]	7 314	
Bruch 5%	[Flasche/a]	51 867	
Wiederverwendungsquote netto	[%]	74,50	100
Neukaufmenge	[L Vol/a]	343 292	5 025 000
Neukaufmenge Glas	[kg/a]	205 975	3 015 000

Neben der Differenz aus Warenausgangsmenge und Rücklaufquote wird die Neukaufquote bei Mehrweg zusätzlich durch qualitäts- und verfahrensbedingter Aussonderung bei der Vorsortierung und Flaschenreinigung ergänzt.

Das Mehrwegsystem hat eine nicht sortenreine, primäre Rücklaufquote von 78,5 %. Die erste Qualitätsprüfung durch Vorsortierung von Hand ergibt einen Ausschuss an Fremdformaten von 12 m³ Altglas oder bei einem zu Grunde gelegten Durchschnittsgewicht von 0,525 kg/Fremdformat 7314 Flaschen pro Jahr. Die brutto Rücklaufquote sinkt dadurch um 1 % auf 77,5 %. Hinzu kommt der interne, verfahrensbedingte Bruchanteil bei der Abfüllung. Gemäß Informationen des Betriebsleiters der Fa. Südglas e. G. Braisach und der Fa. Vinerum liegt der Bruchanteil bei Mehrweg im Branchenschnitt bei 5 % (Czwartek 2009). Die jährliche Neukaufmenge an Glasverpackungen bei Mehrweg liegt somit bei 343292 Einheiten oder

25,5 % der Absatzmenge. Es ergibt sich die Umlaufzahl von 3,9 für das Jahr 2008 (s. Tabelle 39 im Anhang). Die Energieträger der Glasherstellung sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Spezifische Energiemenge der Glasproduktion (UBA 2000b)

Glasproduktion		Mehrweg	Einweg
Diesel	[kg/a]	343	4 909
Energiemenge Diesel	[kWh/a]	4 477	63 995
Erdgas	[kg/a]	11 742	174 183
Energiemenge Erdgas	[kWh/a]	168 850	2 504 739
Schweröl	[kg/a]	4 669	68 650
Energiemenge Schweröl	[kWh/a]	59 301	871 937
Energie elektrisch (Endenergie)	[kWh/a]	32 670	478 213
Energiemenge KEA	[kWh/a]	305 286	4 379 689
Produktionsmenge	[kg/a]	205 975	3 015 000
Energiemenge spezifisch	[kWh/L Vol]	0,23	0,87

3.3.4.2 Einwegkartonage

Wellpappkartonagen sind die Transportverpackung des Einwegverpackungssystems. Sie wird von Wellpappe Forchheim GmbH hergestellt und über den Großhändler Fa. Kellereibedarf Reinhardt bezogen. Die Informationsbeschaffung über den Herstellungsprozess und Energieverbrauch gestaltete sich als schwierig. Über Telefonate mit der Herstellerfirma und dem Großhändler konnten ausschließlich grundlegende Herstellungsparameter des Wellpappetyps identifiziert und geklärt werden (Steffen 2009). Bei der Wellpappe handelt es sich um eine 1-wellige Rundriffelform mit einer integrierten Feinwelle, der sogenannten B-Welle, mit einem Gewicht von 0,15 kg pro Weinkarton. Ein Karton hat ein Verpackungsvolumen von 6 Einwegflaschen. Es ergibt sich eine Jahresproduktionsmenge von 1,117 Mio. Stück. Zur Ermittlung des Energiebedarfs wird als Datengrundlage der akkumulierte Datensatz aus der Ökobilanz für Getränkeverpackungen, basierend auf der Ökobilanz für graphische Papiere des UBA (Bezugsjahr 1997), herangezogen (s. Tabelle 40 im Anhang). Dieser umfasst die

Herstellung von Wellpappe aus Pappenrohstoffe inklusive der Aufbereitung von Recyclingpappen und Altpapier als Produktionsgrundstoff. Es werden keine Vorketten berücksichtigt. Der Herstellungsprozess benötigt entsprechend Tabelle 13 elektrische und thermische Energie (UBA 2000b).

Tabelle 13: Spezifische Stoffstrom- und Energiemengen der Einwegkartonageherstellung (UBA 2000b)

Einwegkartonage		Einweg
Erdgas	[kg/a]	23 450
Energiemenge Erdgas	[kWh/a]	302 974
Erdöl	[kg/a]	6 583
Energiemenge Erdöl	[kWh/a]	73 134
Braunkohle	[kg/a]	25 628
Energiemenge Braunkohle	[kWh/a]	62 019
Steinkohle	[kg/a]	8 811
Energiemenge Steinkohle	[kWh/a]	71 013
Energiemenge KEA	[kWh/a]	509 140
Produktionsmenge	[kg/a]	167 500
Energiemenge spezifisch	[kWh/L Vol]	0,101

3.3.4.3 PE-Mehrwegkiste

Die Transportverpackung der Mehrweeinheiten sind PE-Mehrwegkisten. Der Bestand an Mehrwegkisten übersteigt den jährlichen Bedarf deutlich. Somit lässt sich durch den Buchbestand keine eindeutige Aussage über die Rücklaufquote oder den Verschleiß der Kistenformate treffen. Auch eine langfristige Bestandsbetrachtung mehrerer Perioden würde durch die Unregelmäßigkeit des Kistenneukaufs, der nicht mit den Absatzzahlen korreliert, keine genauen Aussagen zulassen. Die Gesellschaft für Verpackungsforschung geht in einer Näherungsstudie bei Wein im 1 L Mehrwegsystem von 23 Umläufen aus. Basierend auf einer Jahresumlaufzahl von 1,5 bei einer geschätzten Lebensdauer von 15 Jahren (GVM 2009). 23 Kistenumläufe entsprechen bei der Fa. Riegel einer Neukaufmenge von 6384 Einheiten oder rund 12 t PE pro Jahr. Die Produktion findet im Spritzgussverfahren statt. Die Produktionsdaten des UBA entsprechen dem Mittelwert von drei Herstellern im Zeitraum

1995 - 1997. Der Anteil des Regranulateinsatzes schwankt zwischen den Herstellern von 0 % bis 100 % und wurde hier mit 50 % angesetzt (UBA 2000b). Bei der PE-Mehrwegkiste werden erdölbasierende Rohstoffe, die nicht als Brennstoff verwendet werden sondern in das Produkt physisch übergehen, als Brennstoffe berücksichtigt und gehen somit direkt in die CO₂-Bilanz ein, so dass die Vergleichsbasis des KEA gegeben ist.

Tabelle 14: Spezifische Stoffstrom- und Energiemengen der PE-Mehrwegkistenherstellung (UBA 2000b)

PE-Mehrwegkiste		Mehrweg
Erdgas	[kg/a]	207
Energiemenge Erdgas	[kWh/a]	2 675
Erdöl	[kg/a]	82
Energiemenge Erdöl	[kWh/a]	910
Braunkohle	[kg/a]	4 022
Energiemenge Braunkohle	[kWh/a]	9 733
Steinkohle	[kg/a]	1 377
Energiemenge Steinkohle	[kWh/a]	11 095
Energiemenge KEA	[kWh/a]	24 413
Produktionsmenge	[kg/a]	11 970
Energiemenge spezifisch	[kWh/L Vol]	0,018

3.3.5 Entsorgung

Innerhalb der Systemgrenzen bezüglich der zu untersuchenden Verpackungssysteme werden hier die ersten Prozessstufen, die Sammlung und Aufbereitung, der Abfallpfade Wiederverwendung und Verwertung, berücksichtigt. Es wird das cut-off-Allokationsmodell angewendet. Die Herstellung der Verpackungselemente, die als Endprodukt bei der Entsorgung anfallen, werden in vollem Umfang belastet, ohne Gutschrift der anfallenden Sekundärrohstoffe (UBA 2002a). Die Verpackungsmenge an Glas und Kartonage der Einwegverpackung fällt am Ende des Produktlebenszyklus in vollem Umfang als Verpackungsabfall an.

Beim Mehrwegsystem sind im Modell 25,5 % der Glasverpackungen und 4,4 % der Mehrwegkisten als Abfälle aus dem Mehrwegkreislauf ausgeschieden. Der Grund hierfür sind Qualitätsmängel, die nach dem LFBG keine Wiederverwendung zulassen oder Verpackungseinheiten, die vom Verbraucher dem Kreislauf entzogen werden. Der Anteil solcher Reststoffe, die der Sortierung und Aufbereitung zum Sekundärrohstoff zugeführt werden, ist stoffspezifisch und wird im Weiteren stellvertretend für das Gesamtmodell auf Struktur- und Parameterbasis für Deutschland modelliert. Beide Verpackungssysteme werden im Folgenden mit den Verfahren der Erfassung und Sortierung von Altpapier und Altglas bilanziert.

3.3.5.1 Glasverpackung

Mittels 300000 Sammelstellen für Altglas in Deutschland wurde bei Privathaushalten eine Erfassungsquote von 86,2 % an Behälterglas im Jahr 2007 erreicht. Die Erfassungsquote charakterisiert die tatsächlich erfasste Wertstoffmenge als prozentualen Anteil am Gesamtpotenzial. Die Verwertungsquote ergibt sich aus der Differenz der Erfassungsquote der Abfälle und der Besatzquote durch Sortierabfälle. Diese bestehen beim Altglasmix aus verunreinigtem Glas, Verschlüssen, Kapseln und Etiketten und haben einen Umfang von 2,4 Gew%. Die resultierende Verwertungsquote der Altglasmenge, die der Aufbereitung zugeführt wird, ergibt 83,7 % (BMU 2009). Der Unterschied der Erfassungsquote zwischen Mehrweg und Einwegflaschen wird nicht genauer betrachtet und als gleich angenommen.

Der Glasstoffstrom, der aus dem System ausscheidet, betrug 2008 bei Mehrweg rund 205 t und bei Einweg rund 3000 t. Der Altglasstoffstrom von rund 177 t im Jahr 2008 bei Mehrweg, der verwertet wird, setzt sich nach Herkunft zusammen aus 31 t Bruch bei der Abfüllung und rund 4 t Fremdformate bei der händischen Vorsortierung sowie 142 t der Privathaushalte. Bei Einweg fällt Glas nur bei den Privathaushalten an, wobei hier die Verwertungsmenge rund 2600 t beträgt.

Datensatzquelle der Altglassortierung ist die Ökobilanz II für Getränkeverpackungen. Die akkumulierten Energiedaten in Tabelle 15 entstammen einer mittleren Sortieranlage. Die Fremdscherben werden zuerst zerkleinert und durchlaufen dann mehrere maschinelle und händische Sortierstufen. Sammelfahrten und Lieferung der sortierten Altglasmenge sind im Datensatz inbegriffen (UBA 2000b).

Tabelle 15: Spezifische Stoffstrom- und Energiemengen der Altglasaufbereitung (UBA 2000b)

Altglasaufbereitung		Mehrweg	Einweg
Erdgas	[kg/a]	36	519
Energiemenge Erdgas	[kWh/a]	472	6 711
Erdöl	[kg/a]	730	10 388
Energiemenge Erdöl	[kWh/a]	8 110	115 412
Braunkohle	[kg/a]	712	10 130
Energiemenge Braunkohle	[kWh/a]	1 723	24 514
Steinkohle	[kg/a]	243	3 463
Energiemenge Steinkohle	[kWh/a]	1 961	27 910
Energiemenge KEA	[kWh/a]	12 266	174 547
Aufbereitungsmenge	[kg/a]	181 589	2 584 120
Energiemenge spezifisch	[kWh/L Vol]	0,009	0,035

3.3.5.2 Transportverpackungen

Der Stoffstrom der Transportverpackungen, der einer Entsorgung zugeführt wird, hat bei den PE-Mehrwegkisten ein Volumen von rund 11 t. Es ist von einer hohen Verwertungsquote von 95 % auszugehen, da Weinkisten für Konsumenten wenig alternative Verwendungsmöglichkeiten bieten, so dass davon ausgegangen werden muss, dass 95% der Kisten, die aus dem Kreislauf ausscheiden am Standort Orsingen auf Grund funktionaler Mängel dem Recycling zugeführt werden (vgl. GVM 200b). Der Stoffstrom der Einwegkartonage, die im Handel und in den Privathaushalten anfallen, hat einen Umfang von rund 168 t im betrachteten Zeitraum und geht zu 86,9 % der Verwertung zu (BMU 2009).

Die Energieverbrauchsdaten der Sortierung und Aufbereitung der Transportverpackungen in Tabelle 16 sind akkumulierte Datensätze des Umweltbundesamtes, die den durchschnittlichen Branchenstand Ende der 1990iger Jahre wiedergeben. Die Energiemenge bei Einweg ist elektrische Energie, die bei der Sortierung der Wellkartonage in einer mittleren Anlage verbraucht wird und für die Energiebilanz um den indirekten Anteil erweitert wird. Bei den PE-Kästen handelt es sich um eine Plastikaufbereitungsanlage mittlerer Größe. Der akkumulierte Energieverbrauch in Form des KEA beinhaltet den Prozess der Sortierung und Mahlung der unbrauchbar gewordenen PE-Kästen (UBA 2000b).

Tabelle 16: Spezifische Stoffstrom- und Energiemengen der Aufbereitung der Transportverpackungen (UBA 2000b)

PE- & Kartonkistenaufbereitung		Mehrweg	Einweg
Erdgas	[kg/a]	9	
Energiemenge Erdgas	[kWh/a]	113	
Erdöl	[kg/a]	153	
Energiemenge Erdöl	[kWh/a]	1 700	
Braunkohle	[kg/a]	170	
Energiemenge Braunkohle	[kWh/a]	412	
Steinkohle	[kg/a]	58	
Energiemenge Steinkohle	[kWh/a]	469	
Energie elektrisch (Endenergie)	[kWh/a]		1 157
Energiemenge KEA	[kWh/a]	2 694	2 574
Aufbereitungsmenge	[kg/a]	10 773	145 558
Energiemenge spezifisch	[kWh/L Vol]	2,04E-03	5,12E-04

4 Ergebnis und Diskussion

4.1 Prozessschrittbetrachtung

4.1.1 Wareneinkauf – Transport 1

Die spezifischen CO₂-Emissionen, wie in Tabelle 17 dargestellt, fallen beim Transport von Valencia nach Orsingen zwischen den Verpackungssystemen different aus. Die Transportauslastung in der Fernverkehrslogistik ist grundsätzlich hoch und ist hier mit 100 % festgesetzt. Der Unterschied der spezifischen CO₂-Menge zwischen den Verpackungssystemen ist, da beide LKW den gleichen Spritverbrauch haben, durch die Unterschiede der Ladekapazität bedingt. Diese umfasst bei Tanklastzügen 280 hl und bei Sattelschleppern 148,5 hl. Die relativen Unterschiede der Ladekapazitäten spiegeln in Relation, unter Berücksichtigung der Frachtverteilung auf die Fahrzeugtypen, die Differenzen der CO₂-Emissionen zwischen den Verpackungsformaten wieder. Die spezifische Emissionslast der Tanklastzüge gegenüber dem Transport der Fertigware auf Pal liegt bei rund 50 % weniger CO₂-Emissionen.

Tabelle 17: Gesamt- und Spezifische CO₂-Emissionen Transport 1

Weineinkauf -Transport 1		Mehrweg	Einweg*
CO ₂ Menge	[kg CO ₂ /a]	79 158	460 144
CO₂ Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	0,0600	0,0916

* 60% Erzeugerabfüllungen, 40% Abfüllung Fa. Vinerum

Das Mehrwegformat verursacht 60 g und das Einwegformat 92 g CO₂/L Vol. Auf die Jahresmenge bezogen liegen die CO₂-Emissionen des Mehrwegformats um 35 % unter den Emissionen der Einwegformate.

4.1.2 Flaschenreinigung

Wie in Tabelle 18 dargestellt verursacht das Mehrwegformat mit 33 g CO₂/L Vol gegenüber dem Einwegformat mit 5,9 g CO₂/L Vol das annähernd sechsfache der Emissionslast. Zum einen liegt dies an der charakteristischen Verfahrensführung der Fa. Vinerum, bei dem der thermische Energieeinsatz der Einwegformate lediglich aus Restwärme des Mehrwegwasch-

prozesses besteht und somit der thermische Energiebedarf des Laugenaufheizprozesses in vollem Umfang dem Mehrwegformat angerechnet wird. Der thermische Energieaufwand der Mehrwegflaschenreinigung beläuft sich im Untersuchungszeitraum auf über 90 % des gebindespezifischen Gesamtenergieverbrauchs. Neben den thermischen Energiedifferenzen tragen auch die Emissionsunterschiede des verwendeten Stroms zu den Systemdifferenzen bei. Der zu Grunde gelegte Emissionsfaktor für Mehrweg entspricht dem CO₂-Ausstoß des deutschen Strommix mit 0,624 kg CO₂/kWh. Der elektrische Emissionsfaktor für Einweg, der entsprechend den Abfüllmengen an den jeweiligen Standorten mit dem Faktor 0,4 für den Emissionsfaktor des deutschen Strommix und mit 0,6 für den spanischen Strommix bewertet wird, liegt bei 0,524 kg CO₂/kWh.

Tabelle 18: CO₂-Emissionen der Flaschenreinigung

Flaschenreinigung		Mehrweg	Einweg
CO ₂ Menge gesamt	[kg CO ₂]	43 569	29 658
CO₂ Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	0,0330	0,0059

4.1.3 Glasproduktion

Die produzierte Glasmasse für das Einwegformat liegt um den Faktor 14,5 über der Mehrwegproduktionsmenge im Jahr 2008. 75 % des Energieverbrauchs der Glasherstellung findet während des Teilprozesses der Glasschmelze statt. Auf Grund der gleichen spezifischen Glasmasse je Füllvolumen der Einweg- und Mehrwegflasche, spiegeln die CO₂-Emissionen annähernd die relativen Produktionsmengen wider (Tabelle 19). Einziger Verfahrensunterschied ist die abweichende Weiß- und Grünglasquote und der Emissionsfaktor der elektrischen Energie, der bei Einweg den Strommix Spaniens produktionsmengenanteilig berücksichtigt. Die prozessbedingten CO₂-Emissionen belaufen sich auf durchschnittlich 0,193 kg CO₂/kg Behälterglas unter Berücksichtigung des Altglasanteils (UBA 2009d). Die Emissionen fossiler Energien liegen bei der Glasproduktion bei 0,310 kg CO₂/kg Behälterglas (UBA 2000b).

Tabelle 19: CO₂-Emissionen der Glasproduktion

Glasproduktion		Mehrweg	Einweg
CO ₂ Menge Brennstoff	[kg CO ₂ /a]	71 979	1 012 441
CO ₂ Menge Prozess	[kg CO ₂ /a]	39 753	581 895
CO₂ Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	0,0846	0,3173

Die spezifische CO₂-Emission liegt bei Einweg annähernd um das 3,8fache über der Emission der Mehrwegglasproduktion. Dieses Verhältnis spiegelt die Umlaufquote der Mehrwegverpackungen wider.

4.1.4 Produktion Transportverpackung

Die CO₂-Emissionen der Kistenformate sind entsprechend Tabelle 20 für Mehrweg 8,2 g und für Einweg 26,1 g CO₂/L Vol.

Tabelle 20: CO₂-Emissionen der Transportverpackungsherstellung

Kistenproduktion		Mehrweg	Einweg
CO ₂ Menge Energie	[kg CO ₂ /a]	8 585	130 986
CO ₂ Menge Prozess	[kg CO ₂ /a]	2 274	0
CO₂ Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	0,0082	0,0261

Eine Relation der Produktionsemissionen und der Umlaufzahl zwischen der PE-Kistenherstellung und der Kartonageherstellung sind zum einen auf Grund der Materialunterschiede nicht möglich und zum anderen auf Grund prozessbedingter Emissionen bei der PE-Verarbeitung. PE-Granulat hat einen prozessbedingten CO₂-Ausstoß von 0,190 kg CO₂/kg Granulat (Boustead 2005). Die Kartonageherstellung hat keinen prozessbedingten Ausstoß an fossilem CO₂ (UBA 2009d). Der Energieverbrauch pro kg Herstellungsmasse liegt bei der Einwegkartonage um exakt 1 kWh über der Energiemenge, die ein Kilogramm PE-Kistenherstellung benötigt. Betrachtet man die spezifischen Energieverbräuche der Kistentypen im Vergleich auf 1 L Packvolumen, so verursacht die Mehrwegkiste mit 0,42 kWh/L Vol das

4,2fache an Energie gegenüber der Einwegkartonage mit 0,1 kWh/L. So lässt sich bei ausschließlicher Betrachtung des Herstellungsprozesses ableiten, dass sich die Mehrwegkisten ab 5 Umläufen energetisch amortisieren. Ab dieser Umlaufzahl ist auch der Vorteilsübergang der PE-Kiste gegenüber der Einwegkartonage bezüglich den CO₂-Emissionen, d.h. ab 5 Umläufen sind die spezifischen Produktionsemissionen an CO₂ bei der Mehrwegkiste geringer als bei der Kartonage.

4.1.5 Distribution – Transport 2 & 3

Der Großhandel liegt bei den CO₂-Emissionen je Liter Verpackungsvolumen unter denen des Stückgutvertriebs, obwohl sich die Transportstrecken, mit im Schnitt 640 km im Großhandel und 634 km im Stückgutvertrieb nur wenig unterscheiden. Dies liegt an der höheren Auslastung, die sich in einer besseren CO₂-Effizienz auf die zurückgelegten Kilometer auswirkt (Tabelle 21). Das Distributionsmodell der Fa. Riegel für den Absatz der Mehrwegbinde im Geschäftsjahr 2008 und die Relativbetrachtung der Einwegformate zeigt entsprechend Tabelle 22 auf, dass Mehrweg rund 0,129 kg CO₂/L Vol und Einweg rund 0,071 kg CO₂/L Vol emittiert. Einweg hat somit 55 % der Emissionen des Energieaufwands in der Distribution gegenüber Mehrweg. In der näheren Betrachtung der einzelnen Distributionsschienen weist das Einwegformat während der Feindistribution im Schnitt 60 % der Emissionen des Mehrwegformats auf. Die mengenmäßig bedeutenden Hauptstrecken verursachen für Einweg dagegen nur rund 40 - 50 % der CO₂-Emissionen des Mehrwegtransports auf gleicher Strecke. Innerhalb des Distributionsmodells hat Mehrweg auf Grund der Retourware annähernd die doppelte Kilometerleistung. Hinzu kommt der um rund 15 % geringere spezifische Energieverbrauch bezüglich der Palettenvolumendifferenz von Einweg gegenüber Mehrweg. Die LKW-Rückfahrten, die dem Einwegtransport zugeschrieben werden können, sind über die Auslastung mitberücksichtigt. Einweg weist zwischen 0 % und 35 % schlechtere Ladekapazitätsauslastungen auf als das Mehrwegformat, so dass Einweg schließlich rund 55 % der Mehrwegemissionsmenge verursacht (s. Tabelle 22).

Tabelle 21: Spezifische und absolute Emissions- und Energiemenge Transport 2 & 3

Distribution - Transport 2 & 3		Großhandel		Stückgut				
		A	A _F	B	B _I	B _{II}	B _{III}	B _F
Mehrweg								
Treibstoff	[L]	21 648	14 992	1 349	118	11 259	5 826	4 230
CO ₂ -Emission	[kg CO ₂]	62 129	43 026	3 872	340	32 312	16 721	12 140
CO ₂ -Emission	[g CO ₂ /L Vol]	81,3	56,3	6,9	35,4	82,7	124,6	21,8
Auslastung	[%]	89	80	75	75	100	100	80
Treibstoffverbrauch	[L/(Pal*100km)]	1,328	1,936	1,900	1,900	1,182	1,182	1,936
Einweg								
Treibstoff	[L]	12 442	9 030	918	80	5 086	2 632	2 559
CO ₂ -Emission	[kg CO ₂]	35 709	25 915	2 635	230	14 597	7 554	7 343
CO ₂ -Emission	[g CO ₂ /L Vol]	46,7	33,9	4,7	24,0	37,4	56,3	13,2
Auslastung	[%]	70	60	50	50	100	100	60
Treibstoffverbrauch	[L/(Pal*100km)]	1,688	2,581	2,850	2,850	1,182	1,182	2,581

A Abholung durch Großhandel

A_F Feinvertrieb durch Großhandel

B Abholung durch Lokalspedition in Stückgutvertrieb

B_I Vertrieb nach PLZ 77 Braisach für die PLZ Bereiche 77 und 79 in StückgutvertriebB_{II} Vertrieb über Südhub an die regionalen Stückgutspeditionen für die PLZ Bereiche 7, 8, 9 außer PLZ 77 - 79B_{III} Vertrieb über Haupthub an die regionalen Stückgutspeditionen für die PLZ Bereiche 0 - 6B_F Feinvertrieb durch Stückgutspeditionen

Die spezifischen Emissionen der Transportschienen aus Tabelle 21 werden zur Gewinnung eines CO₂-Durchschnittwertes entsprechend ihrer Transportmengen gewichtet (Tabelle 22).

Tabelle 22: CO₂-Emissionen Transport 2 & 3

Distribution - Transport 2 & 3		Mehrweg	Einweg
CO ₂ -Menge	[kg CO ₂ /a]	170 540	357 385
CO₂-Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	0,1290	0,0711

4.1.6 Altglasaufbereitung

Für die Altglasaufbereitung sind für beide Formate die gleichen Verfahrensbedingungen der Erfassung und Aufbereitung modelliert worden. Wie in Tabelle 23 zu sehen, sind die Gesamtemissionen des Einweg entsprechend der größeren produzierten Glasmasse um das

rund 14,3fache höher als bei Mehrweg. Die Relation der spezifischen Emissionen zwischen den Formaten entspricht annähernd der Umlaufzahl der Mehrwegformate.

Tabelle 23: CO₂-Emissionen der Altglasaufbereitung

Altglasaufbereitung		Mehrweg	Einweg
CO ₂ Menge gesamt	[kg CO ₂]	3 738	53 198
CO₂ Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	0,0028	0,0106

4.1.7 Aufbereitung Transportverpackung

Tabelle 24 weist für Einweg rund 13 % geringere Gesamtemissionen gegenüber dem Mehrwegformat aus, obwohl die verarbeitete Kistenmasse im Jahr 2008 bei Einweg mit 168 t Kartonage gegenüber Mehrweg mit 11 t Polyethylen um das 15fache höher liegt. Der Verarbeitungsprozess ist zum einen auf Grund der Materialunterschiede in der Verfahrensführung mit unterschiedlichem Energieaufwand verbunden, zum anderen wird die bei der Altpapiersortierung benötigte thermische Energie aus Papierreststoffen gewonnen. Diese Papierreststoffe setzen bei der Verbrennung lediglich biogenes CO₂ frei und gehen somit nicht in die vorliegende CO₂-Bilanz ein. Bezogen auf die Jahresabsatzmenge, zeigt die spezifische Emissionsmenge noch einen für Mehrweg vierfach höheren CO₂-Wert auf. Die Emissionswerte der Aufbereitung des Transportkistenmaterials sind in Relation zu den vorgelagerten Prozessstufen gering.

Tabelle 24: CO₂-Emissionen der Transportkistenaufbereitung

Transportkistenaufbereitung		Mehrweg	Einweg
CO ₂ Menge gesamt	[kg CO ₂]	832	723
CO₂ Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	6,29E-04	1,44E-04

4.2 Ergebnisübersicht

Die Ergebnisse der CO₂-Bilanz werden für die einzelnen Prozessschritte des Verpackungslebenszyklus in den folgenden Tabellen und Grafiken vergleichend betrachtet. Die Ergebnisse sind relative Durchschnittswerte für die Fa. Riegel Weinimporte im Geschäftsjahr 2008 unter den in Kapitel 3 angesetzten Randbedingungen und dem gewählten Transport-szenario. Tabelle 25 zeigt die CO₂-Emissionswerte der einzelnen Prozessstufen in Absolutwerten mit der Einheit kg CO₂/L Vol und Relativwerten in Prozent.

Tabelle 25: Ergebnisübersicht der CO₂-Bilanz Riegel 2008 bezogen auf die funktionelle Einheit

CO ₂ Bilanz [kg CO ₂ /L Vol]	Mehrweg		Einweg	
	absolut	relativ	absolut	relativ
Wareneinkauf - Transport 1	0,060	19	0,092	18
Flaschenreinigung	0,033	10	0,006	1
Glasproduktion	0,085	27	0,317	61
Produktion Transportverpackung	0,008	3	0,026	5
Distribution - Transport 2 & 3	0,129	40	0,071	14
Altglasaufbereitung	0,003	1	0,011	2
Transportkistenaufbereitung	6,3E-04	0	1,4E-04	0
Endsumme 2008	0,319	100	0,523	100

Die durchschnittlichen fossilen CO₂-Emissionen der Verpackungsströme entlang des Produktlebenszyklus sind im Modell Riegel 2008 für das Mehrwegverpackungssystem 319 g CO₂/L Vol und für das Einwegverpackungssystem 523 g CO₂/L Vol. Auf der Vergleichsgröße der funktionellen Einheit liegt die Emissionsmenge des Mehrwegformats bei 61 % des Einwegformats.

Das Bilanzergebnis Riegel 2008, bezogen auf die Vergleichseinheit des Verkaufsverpackungsvolumens am POS, ist in Tabelle 26 abgebildet.

Tabelle 26: Ergebnisübersicht der CO₂-Bilanz Riegel 2008 bezogen auf das Verkaufsverpackungsvolumen

CO ₂ Bilanz [kg CO ₂ /VerpVol]	Mehrweg [1 L Vol]	Einweg [0,75 L Vol]
	absolut	absolut
CO₂ Emission spezifisch	0,319	0,392

Es zeigt sich, dass Mehrwegverpackungen am POS im Durchschnitt 2008 eine um 18,6 % geringere CO₂ Last als Einwegverpackungen aufweisen.

Es fällt beim Wertevergleich der Verpackungssysteme auf, dass die absoluten CO₂-Werte der Summe der Transportemissionen, bestehend aus Wareneinkauf und Distribution, beim Einwegsystem mit 163 g CO₂/L Vol im Gegensatz zu Mehrweg mit 189 g CO₂/L Vol relativ hoch ausfallen, wenn man bedenkt, dass in der Distribution die Einwegemissionen lediglich 55 % der Mehrwegemissionen betragen. Dies liegt an der Mitbilanzierung des Transports der Prozessstufe Wareneinkauf, der entgegen der grundlegenden Tendenz, dass Transporte im Mehrwegsystem relativ höhere CO₂-Werte aufweisen, diese in dem Fall bei Einweg größer sind, so dass die gesamten CO₂-Transportemissionen bei Mehrweg nur 26 g oder 16 % höher liegen als die des Einwegsystems. Es gilt festzuhalten, dass die Zusammensetzung der Transportformen Faßware und Erzeugerabfüllungen innerhalb des Einwegimports, die jeweils durch unterschiedliche spezifische CO₂-Emissionen gekennzeichnet sind, eine hohe Marktsensibilität aufweist und somit den höchsten variablen Bilanzparameter im zukünftigen Zeitverlauf darstellen wird. Bedingt durch diesen Sachverhalt ist der Transport des Wareneinkaufs die einzige bedeutende CO₂-Bilanzstellgröße des Einwegformats. Aus diesem Grund wird zur methodentheoretischen Präzisierung im Folgenden der Transport 1 innerhalb der Bilanzergebnisse dynamisch betrachtet, indem neben dem Hauptmodell *Riegel 2008*, wie es im Laufe der Arbeit erörtert wurde, zwei weitere Nebenfalldarstellungen betrachtet werden. In diesem Kontext werden neben dem Modell *Riegel 2008*, dessen Transportstufe 1 durch 100 % Faßware bei Mehrweg sowie der Kombination aus 40 % Faßware und 60 % Erzeugerabfüllung bei Einweg gekennzeichnet ist, mit den theoretischen Fallbeispielen *Faßware 2008*, bestehend aus 100 % Faßware bei Mehrweg und 100 % Faßware bei Einweg, sowie *Erzeugerabfüllung 2008*, bestehend aus 100% Faßware bei Mehrweg und 100% Erzeugerabfüllung bei Einweg, ergänzt. Die Fallergebnisse werden im Folgenden in Form von Schaubildern in absoluten Bilanzergebnissen (Abbildungen 16) und aggregierten Bilanzergebnissen (Abbildungen 17) dargestellt.

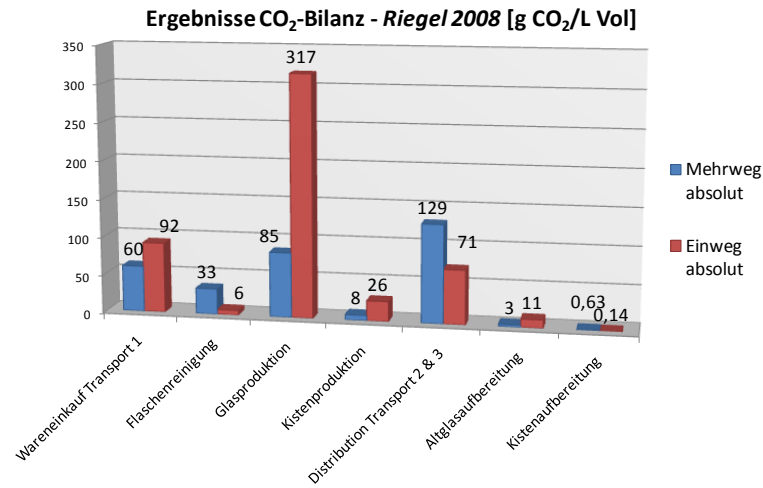


Abbildung 16: Graphische Darstellung der CO₂-Bilanzergebnisse Modell Riegel 2008

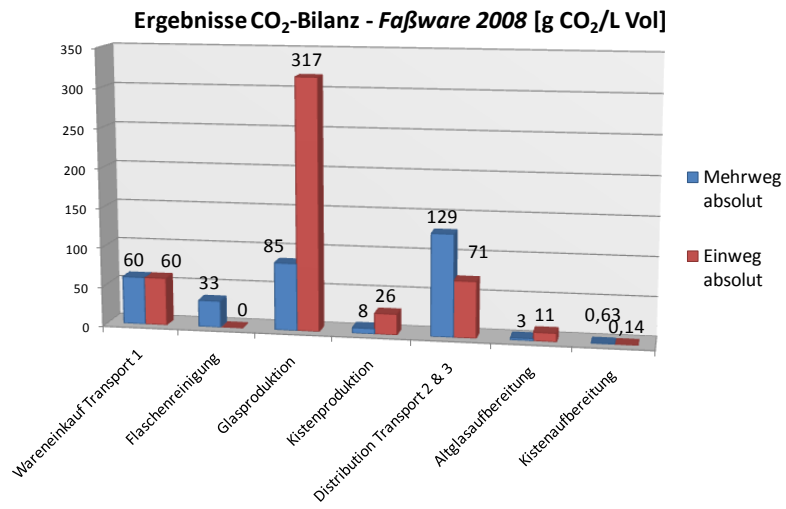


Abbildung 16 a: Graphische Darstellung der CO₂-Bilanzergebnisse Modell Faßware 2008

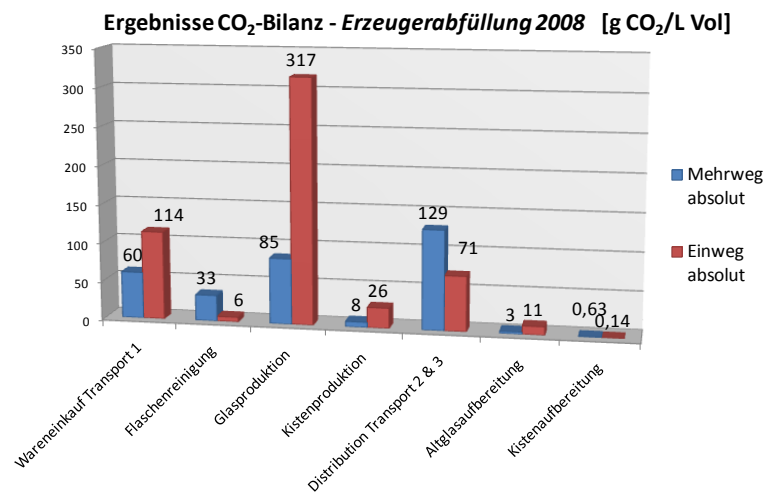


Abbildung 16 b: Graphische Darstellung der CO₂-Bilanzergebnisse Modell Erzeugerabfüllung 2008

Die Emissions-Hot-Spots der Verpackungssysteme sind entsprechend der in Kapitel 2.4.2 erwähnten Systemcharakteristika ausgefallen, da bei Mehrweg die umlaufzahlunabhängige Prozessstufe der Distribution die Mehrweggesamtemission dominiert und bei Einweg die Prozessstufe der Glasherstellung den größten CO₂-Posten einnimmt, der bei Mehrweg um die Umlaufzahl relativ verringert ist. Noch deutlicher wird die relative Systemcharakteristik bestätigt, wenn man die Emissionssumme aller umlaufunabhängigen Prozesse bei Mehrweg, den Transport des Wareneinkaufs, die Distribution und die Flaschenreinigung, betrachtet (s. Abbildungen 17). Sie verursachen rund 70 % der Gesamtemissionen bei Mehrweg im Modell Riegel 2008. Dagegen ist hier der relativ größte Anteil der Einwegemission bei den Prozessen zu finden, die bei Mehrweg umlaufzahlbedingt geringer ausfallen, wie der Verpackungsherstellung. Die Einwegverpackungsherstellung, als Summe aus Glas- und Kartonageherstellung, trägt im Fall Riegel 2008 den größten Anteil mit rund 66 % zu den Einweggesamtemissionen bei. Die umlaufabhängige relative Emissionslastenverteilung zwischen dem Mehrweg- und dem Einwegsystem trifft folglich, trotz der allgemeinen Weinmarktcharakteristika, einer geringen Umlaufzahl und einer hohen Transportdistanz, für das Modell Riegel 2008 zu. Im Fallbeispiel Faßware 2008 in Abbildung 16 a verstärkt sich dieser Effekt durch eine Reduktion der Emissionen für Einweg innerhalb des Imports. Die Grenze der bilanziellen Relationskonstanz der umlaufabhängigen Emissionsverteilung zwischen dem Einweg und dem Mehrwegsystem ist im Fallbeispiel Erzeugerabfüllung 2008 erreicht. Bedingt durch eine 100%ige Importquote von Erzeugerabfüllungen bei Einweg gegenüber dem kompletten Import von Faßware bei Mehrweg, liegen die Gesamttransportemissionen der Verpackungssysteme mit einer Differenz von lediglich 4 g CO₂/ L Vol fast gleich auf. Die Emissionen entlang des Produktlebenszyklus sind in den Abbildungen 17 zu den funktionalen Bereichen der Verpackungsherstellung, Verarbeitung, Transporte und Entsorgung zusammengefasst. Der aggregierte Ergebnisvergleich in Tabelle 17 zeigt für das Hauptmodell Riegel 2008 anschaulich, dass bei Mehrweg die Prozessstufen der Transporte mit 60 % der Gesamtemission dominieren. Im Einwegsystem stellt dagegen die umlaufzahlunabhängige Prozessstufe der Verpackungsherstellung mit 66 % den größten Emissionsposten dar. Den zweitgrößten Anteil beanspruchen die Prozessabschnitte der Verpackungsherstellung mit 29 % bei Mehrweg und die Transporte mit rund 31 % im Einwegsystem. Die Verpackungsverarbeitung (Flaschenreinigung) stellt im Mehrwegsystem die drittgrößte CO₂-Einzelemissionsmenge mit 11 % Anteil an der Gesamtemission dar, wobei diese im Einwegsystem auf Grund der für Einweg vorteilhaften Prozessführung einen geringen Anteil von 1 % hat.

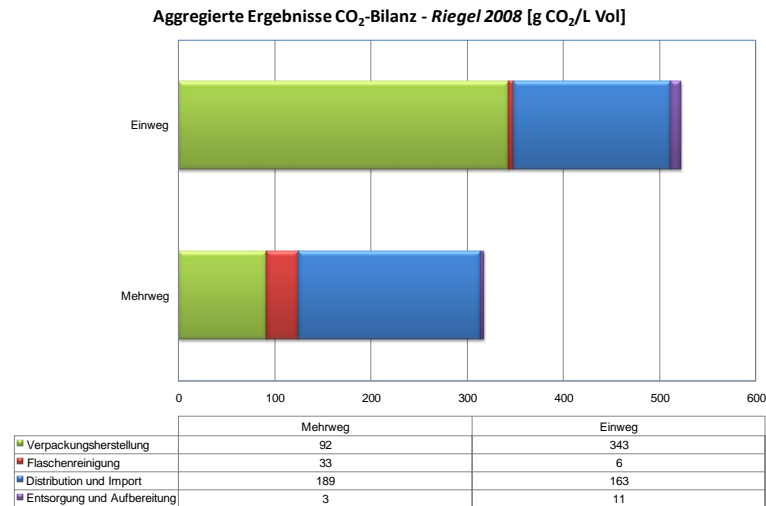


Abbildung 17: Aggregierte Ergebnisübersicht der CO₂-Bilanz Riegel 2008

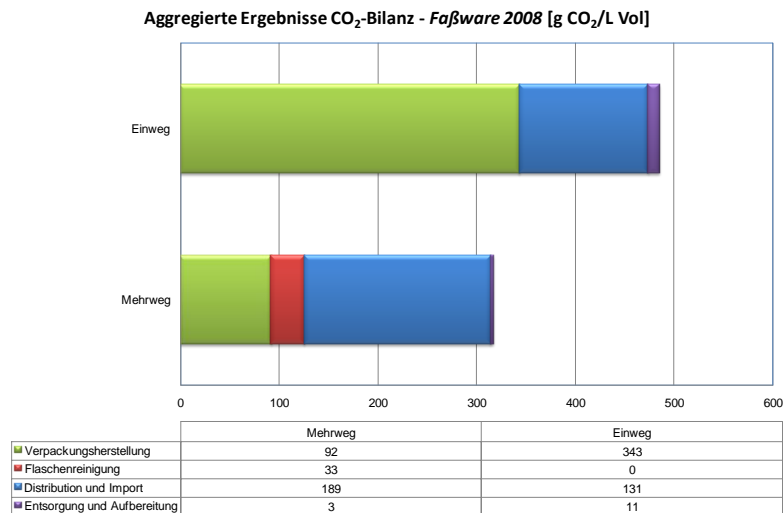


Abbildung 17 a: Aggregierte Ergebnisübersicht der CO₂-Bilanz Faßware 2008

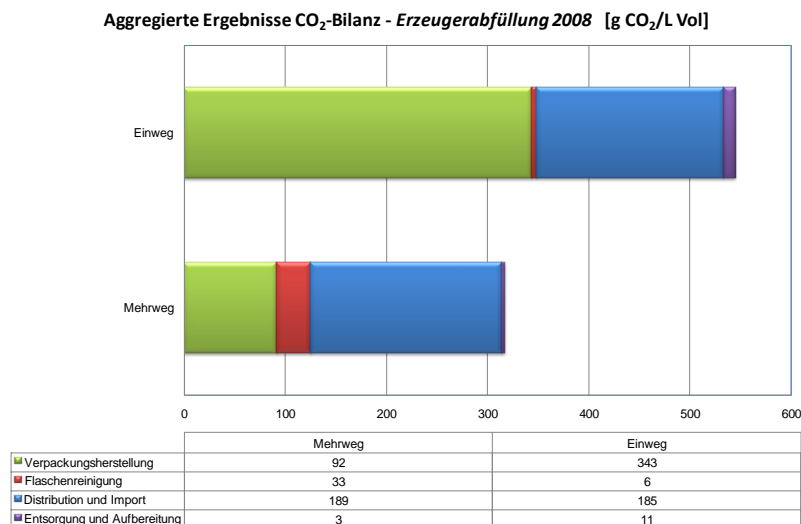


Abbildung 17 b: Aggregierte Ergebnisübersicht der CO₂-Bilanz Erzeugerabfüllung 2008

In allen drei Fallbeispielen sind bei Einweg und Mehrweg die Bereiche der Verpackungsherstellung und des Transports die zwei größten CO₂-Posten im System, jedoch, auf Grund der Umlaufzahl, in unterschiedlicher Rangfolge. Dies zeigt zum einen die Bedeutung der Umläufe im Mehrwegsystem auf das relative CO₂-Verteilungsverhältnis und zum anderen die Bedeutung der Prozessstufen Verpackungserstellung und Transport als Ganzes auf.

Die Bedeutung der Transporte für das Bilanzergebnis wird zusätzlich durch die dynamische Betrachtung der Konstellation aus Faßware und Erzeugerabfüllung beim Import innerhalb des Einwegtransports deutlich. Dargestellt für Faßware 2008 in Abbildung 17 a und für Erzeugerabfüllung 2008 in Abbildung 17 b, zeigt sich, dass mit zunehmendem Importanteil an Erzeugerabfüllungen die charakteristische umlaufabhängige Emissionsverteilung zwischen den Verpackungssystemen an Gültigkeit verliert. Die Abbildungen der Fallbetrachtung Erzeugerabfüllung 2008 weisen zum einen in Abbildung 16 b die absoluten CO₂-Emissionen der Prozessstufe Import für Einweg mit annähernd doppelter Höhe gegenüber dem Mehrwegsystem aus, zum anderen hat dieser Fall nun in Abbildung 17 b bei Einweg die gleichen aggregierten CO₂-Transportemissionsmengen wie das Mehrwegformat. Dies bedeutet, dass sich die Emissionslast des erhöhten Transportaufwands des Mehrwegformats, der durch den Rücktransport der Leerverpackungen sowie die schlechtere Volumenrelation pro Palette von Mehrweg gegenüber dem Einwegformat geschuldet ist, durch eine 100%ige Importquote von Erzeugerabfüllungen innerhalb des Einwegformats annähernd aufheben würde. Innerhalb des Fallbeispiels Faßware 2008 weist der Import des Einwegformats die gleiche spezifische CO₂-Emission auf als das Mehrwegformat. Die relative Bedeutung der CO₂-Emission aller Transporte des Einwegsystems sinkt in der aggregierten Betrachtung im Modell Faßware 2008 entsprechend.

Bei der Betrachtung der absoluten Emissionsmengen der Glasherstellung und Entsorgung lässt sich die These der umlaufzahlabhängigen Emissionsrelation bestätigen, da bei Einweg diese annähernd um den Faktor der Umlaufzahl von 3,9 höher liegt. Bei der Transportverpackungsherstellung ist auf Grund der Materialunterschiede die Umlaufrelation nicht gegeben. Der Energieaufwand der Aufbereitung der Polyethylenkisten ist sogar trotz der 23 Umläufe höher als der Einwegkartonagen.

4.3 Fallbetrachtung und Datenvergleich

Im Folgenden werden die Ergebnisse der drei aggregierten Prozessbereiche Verpackungsherstellung, Transport und Verarbeitung genauer erörtert und verglichen. Für die Emissions-Hot-Spots, Transport und Verpackungsherstellung werden Modell-Szenarien erstellt. Beim Transport als variable Prozessstufe muss die Frage geklärt werden, in welchem Vertriebsradius Mehrweg das ökologisch vorteilhaftere Verpackungsformat bezüglich der CO₂-Emissionen ist.

Für die Verpackungserstellung ist die Modifizierung der Umlaufzahl Gegenstand der Betrachtung, um die Emissionsveränderungen bei einer Laufzahlerhöhung zu quantifizieren.

4.3.1 Transport

4.3.1.1 Break-even-Betrachtung

Mittels der Break-even-Berechnung soll der Punkt des ökologischen Vorteilsübergangs in Hinsicht auf CO₂ zwischen den Verpackungssystemen in Abhängigkeit der Distributionsentfernung bestimmt werden. Dafür soll des Weiteren die Distribution (Transport 2 und 3) als variable Emissionsgröße betrachtet werden, wobei die restlichen Prozessstufen bezüglich ihrer Emission als fix anzusehen sind. Ausgangspunkt des Szenariums sind die CO₂-Sockel der fixen Emissionen der einzelnen Gebinde auf Basis des Verkaufsverpackungsvolumens. Die CO₂-Menge ohne die Distribution liegt exemplarisch im Modell Riegel 2008 für das Mehrwegsystem bei 190 g CO₂/L Vol (190 g CO₂/VerpVol) und bei Einweg bei 452 g CO₂/L Vol (339 g CO₂/VerpVol). Die fixe CO₂-Sockeldifferenz der Systeme liegt folglich bei 262 g CO₂/L Vol (149 g CO₂/VerpVol). Um die Frage zu klären, in welchem Vertriebsradius das Mehrwegformat gegenüber dem Einwegformat mit Bezug auf die CO₂-Emission vorteilhafter ist, wird der durchschnittliche Treibstoffverbrauch für die Distributionsstruktur im Geschäftsjahr 2008 verwendet. Entsprechend des nach Transportleistung gewichteten Einzelverbrauch auf den unterschiedlichen Transportschienen liegt der durchschnittliche Verbrauch für Mehrweg bei 3,370 L/(Pal*100km) und für Einweg bei 1,91 L/(Pal*100km) unter Angleichung des Palettenvolumens und Berücksichtigung der Rückfahrten. Dies ergibt eine durchschnittliche spezifische Transportemission von 25,19 g CO₂/(VerpVol*100km) für das Mehrwegformat und 10,68 g CO₂/(VerpVol*100km) für das Einwegformat (s. Tabelle 44 f. im Anhang). Die Vertriebsradiusbestimmung wird auf Basis des Verkaufsverpackungsvolumens vorgenommen. Die Emissionsfunktionen der Transporte berücksichtigen die

relevanten Rückfahrten. Der Vorteilsübergang zwischen den Systemen bezüglich der CO₂-Emissionen ergibt sich durch den Schnittpunkt der Emissionsgeraden ausgehend vom jeweiligen fixen CO₂-Sockel der Verpackungssysteme entsprechend Abbildung 18. Die Funktionen der durchschnittlichen Distributionsemissionen lauten:

$$\text{Mehrweg: } E_{\text{Ges}} = 25,19 S + 190 \quad (\text{Gleichung 6})$$

$$\text{Einweg: } E_{\text{Ges}} = 10,68 S + 339 \quad (\text{Gleichung 7})$$

E_{Ges} [g CO₂/VerpVol] CO₂-Gesamtemission in Abhängigkeit der
Distributionsentfernung S
S [100 km] Distributionsentfernung

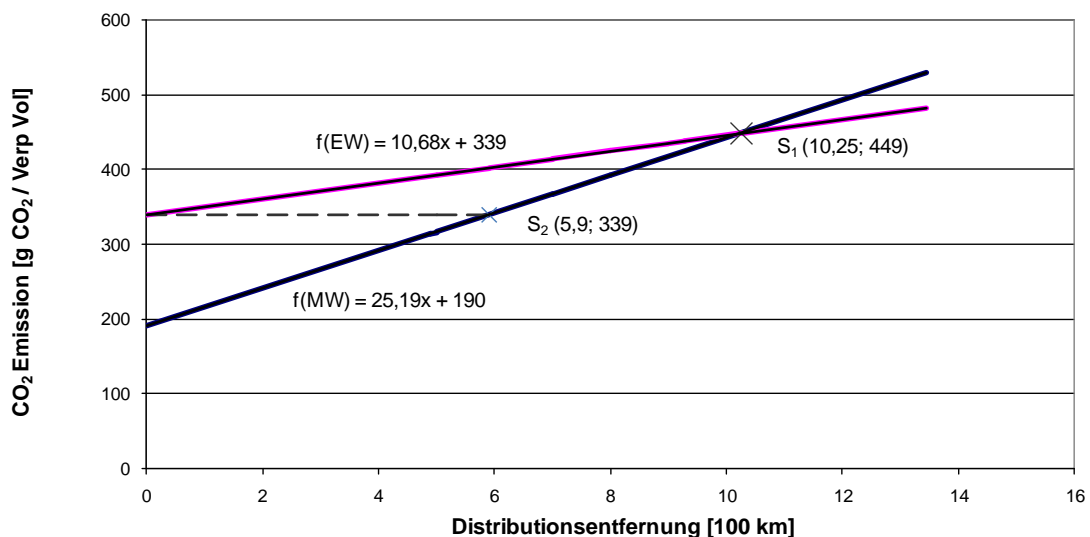


Abbildung 18: Break-even-Analyse bezüglich Emissionsvorteilsübergang in Abhängigkeit der Distributionsentfernung Modell Riegel 2008

Wenn, wie im Szenariobeispiel für die Fa. Riegel, zwei simultan laufende Verpackungsformate vertrieben werden, liegt der Übergang des ökologisch vorzüglicheren Verpackungssystems (s. Abbildung 18: S₁) bezüglich der CO₂-Emission bei einem Vertriebsradius von rund 1025 Straßenkilometern. Die Emissionslast beider Formate liegt bei dieser Distributionsentfernung bei 432 g CO₂/VerpVol. Dieses Ergebnis gilt für die Parameter und Auslastungsquoten des Transportmodells Riegel 2008 und ist nur unter der Bedingung gültig, dass das Verpackungssystem Mehrweg in vollem Umfang aufgebaut und die

Produktionsemissionslast dieser Mehrwegverpackungen in der Vergangenheit schon abgeschrieben ist.

Eine Liste der 65 Kunden, deren Belieferung durch Grob- und Feindistribution mit einem durchschnittlichen Vertriebsradius größer 1025 km verbunden ist, findet sich in Tabelle 46 im Anhang. Die Absatzmenge dieser Kundengruppe beträgt mit rund 123000 L Vol, 9,3 % der Jahresabsatzmenge von Mehrweg, wobei unter diese Kundengruppe ein Großkunde fällt mit einer anteiligen Absatzmenge von 88 %.

Ein zweiter Betrachtungsansatz ist es, die Distributionsentfernung von Mehrweg zum Energiegleichgewicht der fixen Einwegemissionen von 339 g CO₂/VerpVol zu bestimmen. Der Schnittpunkt S₂ gibt dieses Energiegleichgewicht bei einem Radius von 590 km an (s. Abbildung 18: S₂).

Die Emissionslast des Imports ist in dem bei der Break-even-Betrachtung im fixen CO₂-Sockel enthalten, wodurch sich bei der dynamischen Betrachtung der Importkonstellation aus Faßware und Erzeugerabfüllung bei Einweg der Distributionsgrenzradius ändert. Durch einen ausschließlich aus Erzeugerabfüllung bestehenden Einwegimport, wie im Modell Erzeugerabfüllung 2008 besprochen, liegt der Grenzradius bei 1141 km, beim Modell Faßware 2008, dem ausschließlichen Faßwarenimport von Einweg entsprechend niedriger bei 862 km.

Zur graphischen Verdeutlichung der Grenzradien zeigt Abbildung 19 die Kundenstruktur mit einer Abnahmemenge von mehr als einer Palette Mehrweg in 2008 in Abhängigkeit der kompletten Distributionsdistanz. Die Trendlinie gibt als Näherungswert die durchschnittliche Transportentfernung zu jedem Kunden durch den y-Achsenabschnitt mit 628 km an, wobei diese nur minimal von der berechneten durchschnittlichen Distanz von 637 km abweicht.

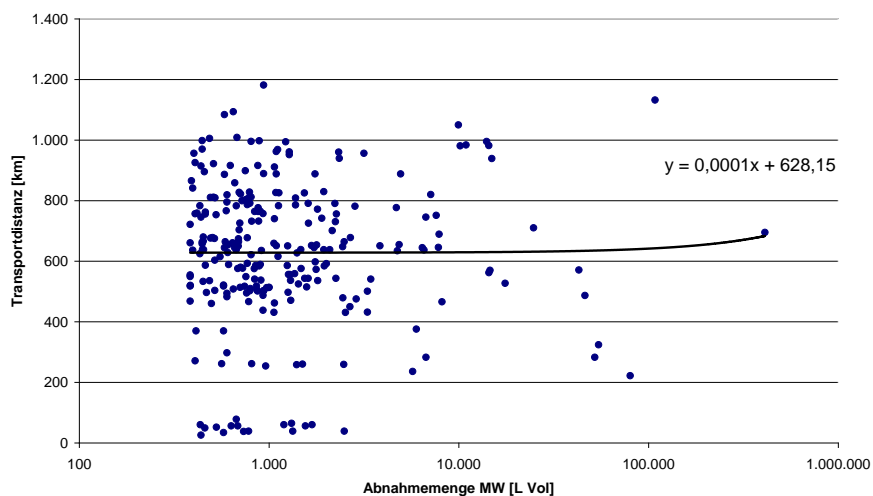


Abbildung 19: Vertriebsmengen in Abhängigkeit der Distributionsentfernung

Ein Ziel der Fa. Riegel könnte es folglich sein, durch eine im Mehrweg eingesparte Energiemenge, die zu einer Vertriebsradiusserhöhung von rund 50 km führt, alle Kunden im Rahmen der Jahresdurchschnittsemissionswerte und -distributionsentfernung zu erreichen.

Grund der Distanzlänge des Vertriebsradius im Schnittpunkt S_1 aus Abbildung 18 ist die CO_2 -Sockeldifferenz, die in ihrer Höhe zum einen durch die Einwegverpackungsproduktion verursacht wird und zum anderen durch den für Mehrweg emissionseffizienteren Transport im Prozessschritt „Einkauf“ mittels Tanklastzüge aus Spanien. Ein weiterer Grund ist die Steigungsdifferenz zwischen den Emissionsgeraden, die, obwohl bei Mehrweg und Einweg die jeweils relevanten Rückfahrten berücksichtigt sind, in Relation zur Sockeldifferenz moderat ausfällt.

Einflussgrößen auf die relative Steigung der Geraden zueinander sind zum einen der spezifische Verbrauch in Größe der Fahrzeugauslastung und zum anderen die Zusammensetzung des Fuhrparks auf den verschiedenen Transportschienen.

Findet die Flottenstruktur beim Transport der Verpackungsarten wie im vorgeschlagenen Modell in gleichen Relationen Verwendung, ist auch hier der Faktor der Auslastung der Fahrzeuge ausschlaggebend für die Systemdifferenzen. Die Auslastungen sind weitestgehend der Ökobilanz für Getränkeverpackungen II des UBA entnommen und führen dadurch unter Berücksichtigung der relevanten Rückfahrten zu den Steigungsverläufen der Emissionsgeraden. Ein weiterer Grund für die moderat ausfallenden Gesamtkraftstoffaufwendungen zwischen den Systemen ist die gesamte Distributionssituation. Die Weindistribution weist gegenüber anderen Getränkesegmenten die höchsten Transportentfernungen auf, wobei die größten Entfernungen der Transport von Importwein aus Südeuropa verursacht (prognos 1997). Innerhalb Deutschlands kommen im Branchenschnitt weitere 700 Kilometern ohne Berücksichtigung der Rückfahrten hinzu. Diese wurden im Jahr 1995 zu 80 % im Speditionsverkehr und zu 20 % im Werksverkehr mit Großlastkraftwagen durchgeführt. Diese Entfernungen mindern den Effekt von Transportteilabschnitten der Feindistribution, die durch höhere spezifische Verbrauchsunterschiede zwischen den Verpackungssystemen gekennzeichnet sind. Der Gesamttreibstoffverbrauch der Systeme fällt, als Ganzes betrachtet, moderat aus. Der Grund hierfür liegt in der Streckenführung begründet, da die Hauptkilometermengen unter Fernverkehrsbedingungen durchgeführt werden, bei denen große LKW mit geringem spezifischem Treibstoffverbrauch zum Einsatz kommen.

4.3.1.2 Vergleich der Transportergebnisse mit Literaturdaten

Das Distributionsszenario für Riegel 2008 wurde in Anlehnung an das Distributionsschema der Ökobilanz für Getränkeverpackungen UBA 1997 erstellt. Das Distributionsmodell Riegel

wie auch das des UBA gehen von einem zweistufigen Berechnungsansatz aus. So weist das UBA die durchschnittlichen einfachen Transportentfernungen auf den relevanten Vertriebsstrecken der ersten Distributionsstufe zwischen 550 - 750 km aus, die auf Großlastkraftwagen zurückgelegt wird. Hinzu kommt die zweite Distributionsstufe mit einer durchschnittlichen Entfernung von 120 km. Folglich beträgt die Absolutdistanz im UBA Szenario im Branchenschnitt zwischen 670 und 870 km (prognos 1997). Im Szenario Riegel wurde die erste Distributionsstufe über Entfernungsrechnung bestimmt, während die zweite Distributionsstufe über Modellierung in Anlehnung an die UBA-Daten erstellt worden ist. Nach Berechnungen (s. Tabelle 31 f. im Anhang) beträgt die Entfernung von Riegel 2008 zu den Endkunden im Durchschnitt 630 - 640 km. Die Differenz kann auf die südlich exponierte Lage des Firmensitzes oder auf einer in Relation zum Branchenschnitt bedeutenderen regionalen Kundenstruktur zurückzuführen sein.

Die Strukturen des Fuhrparks wurden im Feinvertrieb unter Vernachlässigung von solchen Fahrzeugklassen vorgenommen, die einen geringen Anteil an den jeweiligen Distributionsabschnitten haben. Dies sind Kleintransporter und Klein-LKW mit einem Anteil an der Transportleistung von unter 5 %. Ebenfalls vernachlässigt wurden Direktabholungen von Konsumenten mit Privat-PKW (vgl. prognos 1997). Unterschiedliche Annahmen zwischen den Distributionsmodellen des UBA und der Fa. Riegel sind bezüglich des Treibstoffverbrauchs und der damit verbundenen Emissionsmenge angesetzt worden. Die Datenbasis des UBA geht von einer lastenabhängigen Treibstoffallokation aus. Die Studie des UBA beziffert den Verbrauch für 40 t LKW je nach Auslastung und Fahrtstrecke zwischen 28 - 60 L Diesel/100 km (UBA 2000b). Die hier angewendeten Gemis-Daten zum Treibstoffverbrauch liegen auf Autobahnstrecken bei 39 L Diesel/100 km für 40 t - bei 50 % Auslastung - und im Feinvertrieb, als Streckenmix aus 50 % Innerortstrecken und 50 % Außerortstrecken bei 47 L Diesel/100km (s. Tabelle 28 im Anhang).

Schröder (2007) quantifiziert in ihrer Studie der vergleichenden Energiebilanzierung der regionalen und überregionalen Weinproduktion den Energieverbrauch der Verteilerdistribution in einem lastenabhängigen Transportmodell für den Weinmarkt in Deutschland. Der spezifische Energieverbrauch für den Transport des Weines von Winzern und Genossenschaften zum Handel wurde hier im Mittel mit 0,044 kWh/(hl*km) errechnet (Schröder 2007). Dies entspräche für den Mehrwegoutput der Fa. Riegel von 1321448 L Vol Warenumfang und der durchschnittlichen Transportdistanz von 440 km einer spezifischen CO₂-Emission bei Mehrweg von 0,163 kg CO₂/L Vol. Dieser Wert liegt rund 20 % über dem in der vorliegenden Arbeit berechneten Modellwert. Grund hierfür kann eventuell der oben

besprochene Einfluss der Lademasse auf den Transport oder die Berücksichtigung kleinerer Fahrzeugklassen sein.

Der Grenzdistributionsradius für das Mehrwegformat würde sich durch 20 % höheren spezifischen Energieverbrauch um 16 % auf 860 km verringern. Die CO₂-Sockeldifferenz der zwei Systeme würde lediglich auf Grund der Erhöhung der Emissionen im Wareneinkauf um 6 g CO₂ zunehmen, da die Distribution im Sockel nicht enthalten ist. Dafür würden sich die Steigungen der Distributionsgeraden bei Mehrweg und Einweg jeweils um 20 % erhöhen, was folglich zu der Radiusabnahme führt. Ein ökologisch vorteilhafter Vertriebsradius von 860 km für Mehrweg würde 111 Kunden der Fa. Riegel mit einem Umsatzvolumen an Mehrweg von 225000 L Vol oder 17 % der Gesamtmenge aus der Mehrwegbelieferung ausschließen. (s. Tabelle 47 im Anhang). Es sei darauf hingewiesen, dass LKW-Verbrauchsberechnungen auf Basis der Lademasse in t*km in der Literatur eine Streuung von bis zu 30 % aufweisen, ein Prozentsatz, der durch individuelle Annahmen der Streckenkonstellation noch erhöht wird (vgl Schröder 2007, UBA 200b).

4.3.2 Verpackungsproduktion

4.3.2.1 Rücklaufquotenanalyse

Die Umlaufzahl ist als wichtiger Parameter der CO₂-Emissionsmenge eines Mehrwegsystems identifiziert worden, in dem die Emissionsmengen der Verpackungsproduktion auf die Nutzungsphasen umgelegt werden und sich so um den Faktor der Umläufe verringern. Die Neukaufquote an Flaschen des Mehrwegsystems Riegel liegt im Jahr 2008 bei 74,5 %, was einer Umlaufquote von 3,9 entspricht. Der Branchenschnitt liegt laut prognos (1997) bei 5 Umläufen (prognos 1997). Es stellt sich die Frage, in welchem Maße sich die Flaschenumlaufzahl auf die CO₂-Bilanz bei einer Anhebung auf den Branchenschnitt von 5 Umläufen auswirkt. Abbildung 20 zeigt in drei Kurvenverläufen den spezifischen CO₂-Verlauf der Glasproduktion, bezogen auf die Jahresmenge für Mehrweg (Y1) und die CO₂-Differenz der Verpackungssysteme in Abhängigkeit der Umlaufzahl in Bezug auf die funktionelle Einheit (Y2) und auf das Verkaufsverpackungsvolumen (Y3).

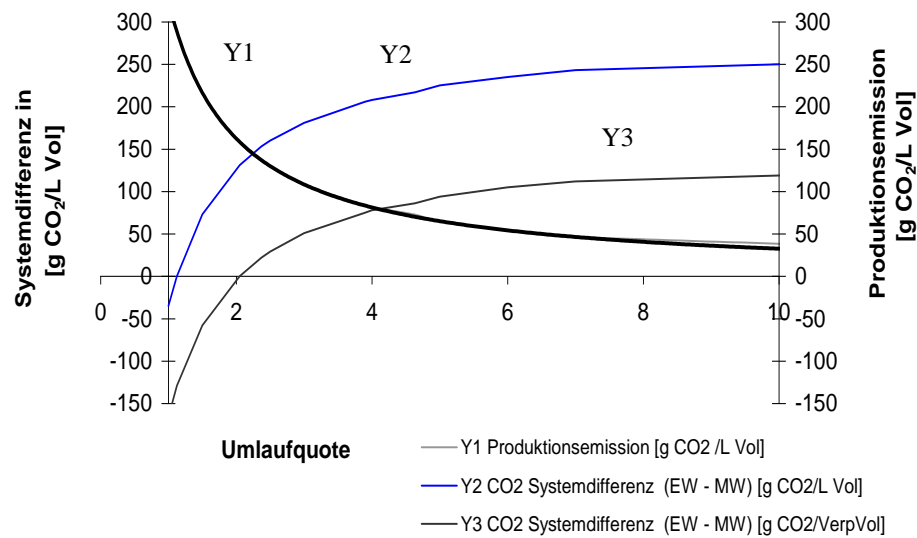


Abbildung 20: Spezifische CO₂-Emissionen und CO₂-Gesamtsystemdifferenz in Abhängigkeit der Umlaufquote

Die Produktionsemissionsfunktion Y1 zeigt einen degressiven sinkenden Verlauf der spezifischen CO₂-Emissionen je Flasche bei Erhöhung der Umlaufquote. Die Systemdifferenzkurven verlaufen in Abhängigkeit der Umlaufzahl progressiv. Die Systemdifferenz der Einwegemissionen zu den Mehrwegemissionen ist in Y2 und Y3 bei einem Umlauf von 1 negativ, d.h., das Einwegformat schneidet bei den Emissionsgesamtwerten besser ab. Die Bilanz dreht sich in Y2 bei rund 1,2 Umläufen zu Gunsten des Mehrwegsystems. Das weist darauf hin, dass der Großteil der CO₂-Systemgesamtdifferenz auf die Mengenunterschiede der Glasproduktion zurückzuführen ist und dass ein 1 L Vol Einwegformat im CO₂-Vergleich zu einem Mehrwegformat mit dem gleichen Volumen unter den Modellbedingungen von 3,9 Umläufen weit abgeschlagen ist. In Y3, der Modellierung auf Vergleichsbasis des Verkaufsverpackungsvolumens, ist das Einwegsystem unterhalb einer Umlaufzahl von rund 2,1 im Vorteil. Dies bedeutet für das Mehrwegsystem der Fa. Riegel, dass auf Vergleichsbasis des Verkaufsvolumens ein Umlaufzahlpuffer von 1,8 Umläufen besteht, bevor das Mehrwegsystem seinen Vorteilscharakter bezüglich CO₂-Emissionen verliert. Dies entspricht einer Puffermenge an Flaschenretouren von rund 300 Tsd. oder 30 % der heutigen Retourmenge. Die Abbildung veranschaulicht, dass sich die Umlaufquote von 3,9 im Jahr 2008 in einer kritischen Zone befindet. Die Bedeutung des Steigungsverlaufs der spezifischen Emissionskurven kommt bei sinkender Umlaufzahl immer stärker zum Tragen, so dass es aus ökologischen Gründen angebracht ist, die Rücklaufquote zu stabilisieren und zu steigern. Bei einer Steigerung der Umlaufquote von 3,9 auf den Branchenschnitt von 5

wäre eine Einsparung der spezifischen CO₂-Emissionen der Mehrweggebinde von 18 g CO₂/L Vol oder eine Ersparnis in der Jahresglasproduktion von rund 74,5 Tsd. Flaschen zu verzeichnen. Der ökologisch vorteilhafte Vertriebsradius bezüglich CO₂-Emissionen würde sich für Mehrweg erhöhen, so dass alle Kunden mit Mehrweg erreichbar wären. Die Umlaufquote entspricht einer Stellgröße, durch welche CO₂-Ersparnis erzielt werden kann und die es unbedingt zu stabilisieren und zu steigern gilt. Durch den abflachenden Kurvenverlauf wird jedoch auch verdeutlicht, dass das Verhältnis des Aufwands zum Einsparertrag mit steigender Umlaufzahl immer größer wird.

4.3.2.2 Glasproduktion

Die in der Bilanz verwendeten Daten zur Glasproduktion stammen aus der Materialsammlung der Ökobilanz für Getränkeverpackungen II des UBA (UBA 2000b). Es handelt sich dabei um die Inputs der fossilen Energieträger für den Prozess der Glasherstellung von Grün- und Weißglas. Die prozessbedingten CO₂-Emissionen belaufen sich laut dem Nationalen Inventarbericht 2009 auf 125 - 261 g CO₂/kg Glas, wobei der angegebene Mittelwert von 193 g CO₂/kg Glas verwendet wurde.

Die Emissionsmenge der Glasproduktion unterscheidet sich zwischen dem Einweg- und dem Mehrwegsystem minimal auf Grund unterschiedlichen Grün- und Weißglasanteils und dem mengenmäßig berücksichtigten spanischen Stromanteils in der Einwegglasproduktion. Die Weißglasherstellung ist mit höheren Schmelztemperaturen und geringerem Fremdscherben-einsatz verbunden. Es wurde angenommen, dass das Einwegglas die gleiche Qualität, Masse und Dichte hat wie das Mehrwegglas. In Zukunft ist damit zu rechnen, dass im Rahmen des technischen Fortschritts in der Verpackungstechnik, beispielsweise in Form von leichten, dünnwandigen Flaschen mit geringerer spezifischer Glasmasse, Emissionseinsparpotentiale zu realisieren sind. Dies würde in der CO₂-Betrachtung dem Einwegformat relative Vorteile verschaffen. Es ist auch zu erwarten, dass die CO₂-Emissionsmenge der Glasherstellung noch etwas zurückgehen wird, obwohl die großen Einsparpotentiale, wie sie durch Erhöhung des Fremdscherbeneinsatzes in der Produktion oder durch Abgaswärmetauscher in den letzten 20 Jahren erreicht wurden, nicht mehr zu erwarten sind (UBA 2001).

4.3.3 Produktverarbeitung

Die Verarbeitung der Produkte beinhaltet die Prozessstufe der Abfüllung, die bei Mehrweg 11 % und bei Einweg 1 % der Gesamtemissionen ausmacht. Es handelt sich beim Abfüller der Fa. Riegel um die Fa. Vinerum, einem mittelständischen Abfüllbetrieb mit einer Abfüllanlage kleinerer Dimension, mit einer maximalen Abfüllleistung von 4000 Flaschen/h.

PackForce (1997) hat in einer Studie die Branche der Lohnabfüller untersucht und angemerkt, dass die mengenmäßige Bedeutung von Kleinanlagen in der Weinabfüllung hoch ist, doch die vermarkteten Produktionsmengen aus Kleinanlagen im Vergleich zur Gesamtproduktionsmenge an Wein zu vernachlässigen sind. Die energetische Bilanz der Kleinanlagen ist im Branchenschnitt schlecht, da sie wegen des saisonalen Stoßgeschäftes überdimensioniert sind und dadurch im Jahresschnitt nur zu 20 % ausgelastet sind (PackForce 1997). Die Energieverbrauchswerte des Waschautomaten der Fa. Vinerum werden nachfolgend zur Relativierung mit den Daten einer kompletten Abfüllanlage, bestehend aus Flaschenreinigung, Abfüllung und dem Abpackprozess, mit einer Nennleistung 10000 L Vol/h verglichen. Zusätzlich werden die Energieverbrauchsdaten der thermischen und elektrischen Energie des Flaschenwaschautomaten der Vergleichsanlage einzeln ausgewiesen (Tabelle 27). Die Energieverbrauchsdaten der Großanlage sind mit dem Quotienten 2,5 auf das Leistungsniveau der Kleinanlage relativiert.

Tabelle 27: Vergleich von Energieverbrauchsdaten von Waschautomaten und kompletter Abfüllstraße

Datenvergleich Abfüllstrasse	Vinerum	Vergleichsanlage	
	Waschautomat	Waschautomat	Abfüllstrasse
Leistungsaufnahme elektrisch effektiv [kwh/h]	17,6	17,4	50,4
Leistungsaufnahme Sattedampf [kwh/h]	327	254	269
CO₂ Menge [kg CO₂/h]	112	90	115

Die Ergebnisse sind relativierte Werte der Verbrauchsstammdaten der Anlagen bezogen auf eine Betriebsstunde zur Einschätzung der Datenqualität bezüglich der Prozessstufe Flaschenreinigung. Die Ergebnisse bestätigen zum einen die in Kapitel 2.4.3.2 getroffene Annahme, der Reinigungsautomat habe den größten Energieverbrauch innerhalb der Abfüllanlage. Zum anderen wird gezeigt, dass die Werte des Waschautomaten der Fa. Vinerum, bezogen auf die gleiche Nennleistung, größer sind als diejenigen eines Waschautomaten größerer Bauart. Die Wertedifferenz der Dampfabnahme sowie der CO₂-Gesamtemission könnten auf Effizienzsteigerungen durch eine größere Dimensionierung der Vergleichsanlage zurückzuführen sein. Im Betrieb liegt die Kleinwaschanlage noch im Energieverbrauchsfeld einer kompletten Abfüllstraße.

4.4 Diskussion der Studiendurchführung und Ausblick

Zur Modellierung eines derart komplexen Sachverhalts wie der Erstellung einer CO₂-Produktbilanz für ein Unternehmen, das, wie im Falle der Fa. Riegel, auf dem freien Markt agiert und sich dadurch in einem Prozess ständiger Veränderung befindet, waren Bilanzierungsgrenzen und Modellabstraktion nötig. Die vor- und nachgelagerten Prozessketten der Verpackungserstellung und -entsorgung, welche die absoluten CO₂-Bilanzmengen erhöhen würden, konnten nicht berücksichtigt werden. Vorgelagerte Prozesse wären vor allem für die Bilanzierung der Glasherstellung von Bedeutung, da diese den größten Massestrom im Produktlebenszyklus einnimmt.

Es ist zu erwarten, dass die Bedeutung sekundärer Rohstoffe in Zukunft deutlich zunehmen wird. Daher ist es sicherlich von Interesse, die Ergebnisentwicklung bei einer Änderung des Bewertungsverfahrens der Abfälle vom cut-off-Verfahren hin zum closed-loop-Verfahren zu betrachten. Hier würde eine emissionsmengenabhängige Gutschrift der Produktionsstufe zukommen, aus deren Produkte die Sekundärrohstoffe ursächlich hervorgegangen sind, in Höhe der durch den Einsatz der Sekundärrohstoffe eingesparten Emissionsmenge. Dies würde sich vor allem für die Einwegkartonagen positiv auf die Bilanz auswirken. Das UBA gibt hier allgemeine Näherungswerte von bis zu maximal 5 % Energieeinsparungspotential pro Prozessstufe an (UBA 2002a).

Transparente und kongruente Systemgrenzen sind im Rahmen der Vergleichbarkeit von CO₂-Bilanzen unverzichtbar. Dies gilt vor allem im systematischen Einsatz des Verfahrens bei unterschiedlichen Untersuchungsobjekten wie z. B. im Rahmen der CO₂-Kennzeichnungsinitiativen von Seiten des Lebensmittelhandels. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse im Rahmen des Marktwettbewerbs oder eines Benchmarkingprojekts zu gewährleisten, ist es zwingend nötig, über gleiche Randparameter und Erfassungsgrenzen zu verfügen. Bei Einführung eines flächendeckenden CO₂-Labelings ist die Einführung eines allgemein gültigen Systemstandards und eines Controllings, das entsprechende Kommunikationswege und Steuerungsansätze zur dauerhaften Systemanpassung initiiert, sicherlich unabdingbar. Die heute schon entwickelten und bewährten Planungs-, Steuerungs- und Koordinationsstrukturen des Food-Chain-Managements, die um einen Kanal für Informations- und Stoffströme bezüglich CO₂ erweitert werden könnten, würden sich hierfür anbieten.

5 Fazit

Das Bilanzergebnis der CO₂-Emissionen für das Mehrweg- und das Einwegsystem zeigt für den untersuchten Zeitraum 2008 Vorteile für Mehrweg auf. Mehrweg verursachte 61 % der Emissionen, die die gleiche Produktmenge Einweg verursachte. Auf der Vergleichsbasis der Verkaufsvolumen schneidet das Mehrweggebinde sogar um 19 % besser ab, trotz eines 25 % geringeren Inhaltsvolumen des Einweg. Die Gebinde weisen systemcharakteristische Emissionsunterschiede in den verschiedenen Prozessstufen des Produktlebenszyklus auf. Das Mehrweggebindingesystem hat die Emissions-Hot-Spots in umlaufunabhängigen Prozessstufen Transport und der Flaschenreinigung, die rund 70 % der Gesamtemission verursachen. Da bei Einweg hingegen alle Prozessstufen umlaufzahlabhängig sind, dominiert hier, gefolgt vom Transport, eindeutig die Glasproduktion mit 61 % der Gesamtemission des Einwegsystems. Trotz oder wegen der geringen Umlaufzahl im Mehrwegsystem wird durch die umlaufzahlbedingten relativen Emissionsdifferenzen die Bedeutung der Umlaufzahl und die dadurch eingesparte Energiemenge deutlich. Da die Glasherstellung den mit Abstand größten Stoffstrom und CO₂-Emittenten darstellt, ist die Umlaufzahl die Stellgröße für Material- und Emissionseinsparungen im Mehrwegsystem. Dieses Ergebnis stimmt mit der Aussage des UBA überein, „dass die wichtigen ökologischen Wirkungskategorien sehr stark mit der Masse der im System fließenden Materialien und Energieträger korreliert“ (UBA 2002a, S. 13). Weitere Ergebnisse und die sich daraus ergebenden Verbesserungspotentiale:

- Die Ergebnisse der Break-even-Berechnung schließen auf dem hier erstellten ladungsvolumenbasierten Distributionsansatz rund 9 % der Kunden mit einem Absatzvolumen von rund 9 % aus dem Mehrwegsystem aus. Der lastenabhängige Distributionsansatz nach Schröder (2007) würde rund 15 % der Kunden mit einem Absatzvolumen von rund 17 % aus dem Mehrwegsystem ausschließen. Durch eine Erhöhung der Umlaufzahl auf 5 könnten alle Kunden mit Mehrweg erreicht werden.
- Die Transportkapazitätsauslastung ist neben der Fahrzeuggröße die Stellgröße im Verpackungssystemvergleich beim Transport. Die Auslastung sollte erhöht werden; das gilt umso mehr, je geringer die maximale Nutzlast des Transportmittels ist. Die Transporte der Stückgutkooperationen auf den

Hauptstrecken stellen sich im Vergleich als die effizientesten dar. Die Transportemissionen stellen bei Mehrweg den größten Posten und bei Einweg die zweitgrößte Emissionsquelle dar. Im Vergleich zur Glasherstellung fallen die Transportemissionen in diesem Szenario jedoch moderat aus.

- Die Flaschenreinigung ist der drittgrößte Emissionsposten im Mehrwegsystem. Einsparpotentiale liegen hier bei größeren und effizienteren Anlagen.
- Der Import der Erzeugerabfüllungen ist im Vergleich zum Tanklasttransport mit rund 95 % höheren Emissionen verbunden. Die Einwegeffizienz könnte durch Verlagerung der Erzeugerabfüllung nach Deutschland verbessert werden und somit kann in Verbindung mit einer ausgelasteten Kapazitätserweiterung der Abfüllanlage die Gesamteffizienz des Einweg- und des Mehrwegsystems verbessert werden.
- Die Bedeutung der Glasproduktion innerhalb der Energie- und CO₂-Bilanz ist bemerkenswert. Daher gilt es, den Glasmassestrom durch den Ausbau des Mehrwegsystems und einer Einstellung des Vertriebs von 1 L Vol Einwegflaschen zu reduzieren.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden ein Mehrweg- und Einwegverpackungssystem bezüglich der CO₂-Emissionen vergleichend analysiert. Dies wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. Peter Riegel Weinimport GmbH in D-78359 Orsingen für die gängigsten Verpackungsformate, der 0,75 L Einwegglasflasche in der Einwegkartonage und der 1 L Mehrwegglasflasche im Polyethylenkasten, durchgeführt. Ziel war eine möglichst realitätsnahe Modellierung der mit den Verpackungen verbundenen fossilen CO₂-Emissionen auf der Basis der Umsatzzahlen im Zeitraum 2008. Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden alle Berechnungsschritte in der funktionellen Einheit 1 L Verpackungsvolumen für Einweg und Mehrweg vorgenommen. Durch die Analyse der Lebensmittelwirtschaft bezüglich ihrer Bedeutung als CO₂-Emittent, wurde aus der Food-Chain, der Lebensmittelprozesskette, der Untersuchungsrahmen abgeleitet. Dieser Produktlebenszyklus umfasst den Wareneinkauf des Füllguts ebenso wie die Verpackungsherstellung, die Abfüllung, die Distribution und die Aufbereitung der Verpackungselemente. Vorketten der Verpackungsherstellung wurden nicht berücksichtigt. Die Quellkategorien fossilen CO₂ im Verpackungserstellungsprozess sind zum einen energiebedingte CO₂-Emissionen aus der Nutzung von Energieträgern und zum anderen prozessbedingte Emissionen, die durch chemische Reaktionen aus den Rohstoffen während der Glas- und Polyethylenherstellung freigesetzt werden. Auf Grund der Bedeutung fossiler Energieträger als CO₂-Quelle innerhalb von Herstellungs- und Verarbeitungsprozessen wurden die Vorketten der Energiebereitstellung berücksichtigt. In einem ersten Schritt wurden hierfür über eine Stoffstromanalyse die Stoffmengen und die Logistikstruktur bestimmt. Auf der Basis der Stoffstrommengen sind die Energieaufwendungen der relevanten Prozesse innerhalb des Produktlebenszyklus erfasst worden, wobei diese für die Flaschenreinigung und den Transport eigens erhoben wurden. Weitere Prozessdaten sind vor allem der Ökobilanz für Getränkeverpackungen II des Umweltbundesamtes (2000) entnommen worden. Angesichts unterschiedlicher Datenqualität von Eigenerhebungen und Literaturdaten wurden zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit die Energiemengen als kumulierter Energieaufwand auf dem Niveau von Endenergiemengen gegenübergestellt. Die CO₂-Bilanzergebnisse wurden durch Bewertung der Energiemengen mit spezifischen Emissionsfaktoren berechnet und für Einweg und Mehrweg auf jeder Prozessstufe verglichen.

Die im Rahmen dieser Untersuchung erzielten Bilanzergebnisse sprechen klar *für* das Mehrwegsystem, als dem durchschnittlich emissionseffizienteren System. Die Glasherstellung stellt im Einwegsystem den mit Abstand größten Emissionsposten dar, wobei im Mehrwegsystem der Transport dominiert und die Emissionen der Glasherstellung gegenüber dem Einwegsystem um den Faktor der Umlaufzahl erniedrigt sind. Hieraus lässt sich die Bedeutung der Umlaufzahl für die absolute Emissionsmenge innerhalb des Mehrwegsystems ableiten. Indem im Mehrwegsystem die spezifische Energiemenge der umlaufabhängigen Prozessstufen um die Anzahl der Umläufe erniedrigt wird, ändert sich, im Systemvergleich die energetische Bedeutung einzelner Prozessstufen innerhalb des jeweiligen Systems. Somit fungiert im Einwegsystem die Verpackungsherstellung, im Mehrwegsystem der Transport als Emissions-Hot-Spot. Darauf aufbauende Stellgrößenbetrachtungen der Umlaufzahl und der Distributionsentfernung zeigen, dass schon durch eine Erhöhung von *einem* zusätzlichen Umlauf alle Kunden mit Mehrweg emissionseffizienter erreicht werden könnten als mit Einweg. Grund für diese eindeutigen Ergebnisse ist der Prozess der Glasherstellung, bei der nebst rund 330 g CO₂/kg Glas aus Energieträgern nochmals fast zwei Drittel prozessbedingte Emissionen freigesetzt werden. Dies erklärt zudem, weshalb Einwegglasflaschen in der Bilanz eine Vorrangstellung als Emissionsquelle einnimmt. Die Prozessstufe des Transports konnte als wichtige Emissionsquelle identifiziert werden, jedoch reicht dieser auf Grund effizienter Transportsysteme nicht an die Emissionsmenge der Glasherstellung heran.

Eine Break-even-Analyse, mit dem Ziel der Bestimmung des emissionsbedingten Vorteilsübergangs der Verpackungssysteme in Abhängigkeit der Distributionsentfernung, ergab einen für Mehrweg vorteilhaften Vertriebsradius von rund 860-1025 km. Es konnten außerdem Grenzumlaufquoten auf der Basis der funktionellen Einheit und des Verkaufsverpackungsvolumens bestimmt werden, bei denen Mehrweg seinen Vorteilscharakter verliert. In der Diskussion werden die Prozessstufen der Emissions-Hot-Spots dynamisch betrachtet und verglichen. Abschließend wurde die kritische Auseinandersetzung mit den Bilanzierungsgrenzen und dem gewählten volumenbasierten Logistikanatz diskutiert.

Literaturverzeichnis

(Ahamer et al. 2005) Ahamer Dr. G., Gobiet Dr. A., Rauch Dr. H.: Welt im Wandel? - Vergleich dreier sozioökonomischer, klimatischer & technologischer Zukunftsperspektiven. Praktikumsendbericht aus dem SS 2005, Fachbereich Umweltsystemwissenschaften, Karl-Franzens-Universität Graz. Internet: http://www.uni-graz.at/ip4_welt_wande_endbericht.pdf (15.11.2009)

(AGEB 2008) Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V.: Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland. Deutsches Institut für (Wirtschaftsforschung, Berlin. Internet: <http://www.ag-Energiebilanzen.de/componenten/download.php?filedata=1224339910.pdf&filename=VorwortA.pdf&mimetype=application/pdf> (04.09.09)

(AGEB 2009) Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.: Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2008 nach Energieträgern. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin. Internet: [http://www.ag-energiebilanzen.de/componenten/download.php?filedata=1243422119.pdf&filename=BRD_Stromerzeugung1990-2008 %2027Mai2009.pdf&mimetype=application/pdf](http://www.ag-energiebilanzen.de/componenten/download.php?filedata=1243422119.pdf&filename=BRD_Stromerzeugung1990-2008%2027Mai2009.pdf&mimetype=application/pdf) (20.09.09)

(Bay LfU 2004) Bayrisches Landesamt für Umweltschutz: Klima Schützen. Kosten Senken. Ein Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe, Augsburg

(BDJ 2009) Bundesministerium der Justiz: Verordnung über Anforderungen an die Hygiene beim Herstellen, Behandeln und Inverkehrbringen von Lebensmitteln. Berlin. Internet: [http://bundesrecht.juris.de/lmhv_2007/\(23.09.09\)](http://bundesrecht.juris.de/lmhv_2007/(23.09.09))

(Beising 2002) Beising Dr. R.: Laboranalysen von Brennstoffen zur Emissionsbestimmung. In: Präsentation: Erstellung einer Datenbasis für Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Deutschland, Workshop am 17. September 2002 im Umweltbundesamt, Berlin

- (Biebler und Mahammad 2004) Biebler H., Mahammad M.: Stoffstrommanagement - Grundlagen und Praxisbeispiele. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin
- (BMLFUW 2008) Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Der "CO₂-Rucksack" von Lebensmitteln. Wien. Internet: <http://lebensmittel.lebensministerium.at/article/articleview/55395/1/1471> (22.09.09)
- (BMU 2008a) Bundesministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit: Umweltschutz als eines der wichtigsten Probleme. Berlin. Internet: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=17156> (20.09.09)
- (BMU 2008b) Bundesministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit: Bewältigung der Umweltprobleme des Klimawandels. Berlin. Internet: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=17158> (20.09.09)
- (BMU 2008c) Bundesministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit: Zahlungsbereitschaft für klimaverträgliche Produkte 2008. Berlin. Internet: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=17197> (21.09.09)
- (BMU 2009) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Verpackungen gesamt Verbrauch, Verwertung, Quoten 1991 bis 2007. Berlin. Internet: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/entw_verbrauch_verwertung_bf.pdf (10.07.09)
- (BMWI 2009) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Energiemix – Einstiegsinformationen. Berlin. Internet: <http://www.energie-verstehen.de/Energieportal/Navigation/energiemix,did=249668.html?view=renderPrint> (04.07.2009)
- (BMWI 2008) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Einsatz von Energieträgern zur Stromerzeugung. Deutschland 2007, Berlin. Internet:

<http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energiestatistiken,did=180896.html>
(05.09.2009)

(Bode 2006) Bode S., Groscurth W.: Zur Wirkung des EEG auf den „Strompreis“. Discussion Paper 348, Institute of International Economics, Hamburgisches Welt-Wirtschafts-Archiv, Hamburg. Internet: http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Kosten/HWWA_EEG_drueckt_Strompreis.pdf (25.10.09)

(Boustead 2005) Boustead I.: High Density Polyethylene (HDPE). Eco-profiles of the European Plastics Industry. Plastics Europe, Brussels. Internet: <http://lca.plasticseurope.org/hdpe4.htm> (10.11.09)

(bpb 2009) Bundeszentrale für politische Bildung: Ökologischer Rucksack. Glossar, Bonn. Internet: <http://www1.bpb.de/themen/YK5ZLW,90,0,Glossar.html> (24.09.09)

(Brand 2006) Brand K.: Von der Agrarwende zur Konsumwende?. Die Kettenperspektive. Ergebnisband 2, oekom Verlag, München.

(Brandt 1991) Brandt F.: Brennstoffe und Verbrennungsrechnung. 2. Aufl., Vulkan Verl, Essen.

(Breyer 2008) Breyer W.: Treibhausgas und Kernenergie. Argumente. Energie, Umwelt und Gesellschaft. AREVA NP GmbH, Unternehmenskommunikation, Erlangen. Internet: http://www.arevanp.com/de/liblocal/docs/Germany_pdf/presse/argumente/argumente_Treibhausgase_05_07_Nachdruck_08.pdf (02.09.09)

(Brüning 2001) Brüning C.: Kohlenstoffsinken gegen den Treibhauseffekt?. Europäische Kommission, Brüssel. Internet: <http://ec.europa.eu/research/news-centre/de/env/01-03-env01.html> (22.09.09)

(BVG 2009a) Bundesverband Glasindustrie e.V.: Aus Alt wird Neu. Umwelt und Energie. Düsseldorf. Internet: <http://www.bvglas.de/umwelt-energie/glasrecycling/> (21.09.2009)

- (BVG 2009b) Bundesverband der Glasindustrie e.V.: Glas und Nachhaltigkeit. Recycling. Deutschland-Vorreiter in Sachen Glasrecycling, Düsseldorf. Internet: <http://www.glasaktuell.de/glas-nachhaltigkeit/recycling/>(16.09.09)
- (Colman und Päster 2007) Colman T., Päster P.: Red, White and “Green”: The cost of carbon in the global wine trade. AAWE working paper No.9, Editor Victor Ginsburgh, New York. Internet: http://www.wine-economics.org/workingpapers/AAWE_WP09.pdf (1.10.2009)
- Czinkewitz 2009) Czinkewitz W., Projektverantwortlicher: Persönliche Mitteilung. Loos Deutschland GmbH, Gunzenhausen, (10.07.09).
- (Czwartek 2009) Czwartek H, Geschäftsführer und Vorstandsvorsitzender: Persönliche Mitteilung. Südgals e.G, Breisach, (15.07.2009).
- (DEHSt 2009) Deutsche Emissionshandelsstelle (Hrsg.), Umweltbundesamt: Treibhauseffekt. Glossar, Berlin. Internet: http://www.dehst.de/cIn_162/nN_476140/DE/Service/Glossar/Functions/glossar,lv2=478278,lv3=486698.html (25.09.09)
- (ECE 2007) European Commission of Energy: Spain Energy Mix. Fact Sheet. Brüssel. Internet: http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/factsheets/mix/mix_es_en.pdf (30.07.09)
- (ECE 2008) European Commission of Energy: The Emission Factors. Technical annex to the SEAP template, instructions document, Brüssel. Internet: http://www.eumayors.eu/mm/staging/library/Annex_emission_factors.pdf (30.07.09)
- (Eversheim 2005) Schuh G., Eversheim W.: Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. Ergebnisse des Sonderforschungsbereiches (SFB) 361 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) an der RWTH Aachen, Springer Verlag, Berlin.
- (Fritsche und Schmidt 2006) Fritsche U., Schmidt K.: Handbuch zu Gemis 4.4.. Öko Institut. Institut für angewandte Ökologie e.V., Darmstadt.

- (Fritsche et al. 1999) Fritsche U., Jenseit W., Hochfeld Ch.: Methodikfragen bei der Berechnung des Kumulierten Energieaufwands (KEA). Arbeitspapier im Rahmen des UBA- F&E- Vorhabens Nr. 104 01 123: Erarbeitung von Basisdaten zum Energieaufwand und der Umweltbelastung von energieintensiven Produkten und Dienstleistungen für Ökobilanzen und Öko- Audits, Institut für angewandte Ökologie e.V., Darmstadt. Internet: <http://www.oeko.de/service/kea/dateien/kea-methodik.pdf> (05.10.09)
- (GfK 2007) Gesellschaft für Konsumforschung, Corporate Communications: Einfluss des Klimawandels auf den Konsum. Nürnberg. Internet: http://www.gfk.com/group/press_information/press_releases/001243/index.de.html (22.09.09)
- (Grimmel 2006) Grimmel E.: Kreisläufe der Erde. Eine Einführung in die Geographie. 3. Auflage, LIT Verlag, Berlin.
- (Grünig 2009) Grünig G.: Eco Challenge. Test und Technik, Verkehrsrundschau, H.26, Springer Transport Media GmbH, München.
- (GVM 2009) Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH: Im Blickpunkt. Mehrwegquoten 2007. Wiesbaden. Internet:http://www.gvm-wiesbaden.de/pdf/infocus/2009_08EWMW2007_de.pdf (11.11.09)
- (GVM 2000a) Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH: Bericht 2. GVM-Marktanalyse 1996. In: Ökobilanz für Getränkeverpackungen II. Materialsammlung. Forschungsvorhaben Nr. 103 50 504, Umweltbundesamt, Berlin.
- (GVM 2000b) Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH: Bericht 3. Umlaufzahlen.1997. In: Ökobilanz für Getränkeverpackungen II. Materialsammlung. Forschungsvorhaben Nr. 103 50 504, Umweltbundesamt, Berlin.
- (Heinrich 2006) Heinrich M.: Transport- und Lagerlogistik, Friedr. Vieweg & Sohn GmbH, 6. Aufl, Wiesbaden.

- (Hensler 2005) Hensler, Dr. G.: Klima schützen - Kosten senken. Leitfaden für Industrie und Gewerbe, 1. Auflage, Bayrisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg.
- (Höfinghoff 2007) Höfinghoff T.: Neue Ökolabel. Der Mensch als CO₂-Emittent. Frankfurter Allgemeine Zeitung, Nr. 23, S. 35, Frankfurt am Main.
- (Holderied 2005) Holderied C.: Güterverkehr, Spedition und Logistik. Oldenbourgverlag Wissenschaftsverlag GmbH, München.
- (Hollstein 2001) Hollstein A.: Wertschöpfungsketten der deutschen Getreidewirtschaft. Eine Analyse der Mengen- und Werteströme. Dissertation, AgriMedia GmbH, Gießen.
- (Hoppe 2008) Hoppe M.: OpenGeoDB. Hoppe- Media, Duisburg. Internet:
<http://opengeodb.hoppe-media.com/>. (15.06.09)
- (IEA 2009a) International Energy Agency: Electricity/Heat in Spain in 2006. Paris. Internet:
http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=ES (20.08.09)
- (IEA 2009b) International Energy Agency: Key world energy statistics. Paris. Internet:
http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2009/key_stats_2009.pdf (20.08.09)
- (IML 2009) Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik: Food Chain Management. Dortmund, Internet: <http://www.foodchainmanagement.de:8080/>(18.09.09)
- (IPCC 2001) Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.
- (IPCC 2007) Intergovernmental Panel on Climate Change: „Klimaänderung 2007: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger“. 4. Sachstandsbericht des IPCC (AR4), Berlin.

- (IZU 2007): Bayerisches Landesamt für Umwelt, Infozentrum Umwelt Wirtschaft (IZU)
(Hrsg.): CO₂-Bilanz und CO₂-Emissionsfaktoren. Anfrage von Handwerkskammer.
Augsburg Internet: http://www.izu.bayern.de/faq/detail_faq.php?pid=0503010100202
(26.09.09)
- (KBA 2009) Bundesamt für Güterverkehr, Kraftfahrzeugbundesamt (Hrsg.): Statistische
Mitteilung des KBA und des BAG. Verkehrsaufkommen im Jahr 2008 nach
Entfernungsstufen und Art der Fahrt. Flensburg.
- (Koerber et al. 2008) Koerber von K. (Hrsg.), Kretschmer J., Prinz S.: Globale
Ernährungsgewohnheiten und –trends. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten:
„Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung“, Berlin.
Internet: http://www.wbgu.de/wbgu_jg2008_ex10.pdf (19.09.09)
- (Krost 2009) Krost H.: Musterknabe. Lebensmittelzeitung, Nr.30, Frankfurt am Main.
- (Lenzen 2008) Lenzen Dr. E.: Umweltdialog. Wie viel sind uns unsere Lebensmittel wert?.
Verlag UmweltDialog, Münster. Internet: [http://www.umweltdialog.de/umweltdialog/
verbraucher/2009-02-05_Wie_viel_sind_uns_unsere_Lebensmittel_wert.php](http://www.umweltdialog.de/umweltdialog/verbraucher/2009-02-05_Wie_viel_sind_uns_unsere_Lebensmittel_wert.php) (15.11.09)
- (Lide 2007) Lide D.: Handbook of Chemistry and Physics. Taylor & Francis, 88th Edition,
London.
- (Lübbert 2007) Lübbert Dr. D.: CO₂-Bilanzen verschiedener Energieträger im Vergleich. Zur
Klimafreundlichkeit von fossilen Energien, Kernenergie und erneuerbaren Energien. Info-
Brief, Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, Fachbereich WD 8, Berlin.
- (LZ 2009) Lebensmittelzeitung: Top 150 Händler Welt 2008 Ranking. Frankfurt am Main.
Internet: <http://www.lz-net.de/rankings/handelwelt/pages/show.prl?id=322> (20.09.09)
- (Machat 2007) Machat M., Werner K.: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-
Emissionen des deutschen Strommix. Umweltbundesamt, Dessau. Internet:
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3195.pdf> (23.09.09)

(Microsoft 2009) Microsoft Deutschland GmbH: MapPoint 2008. Software.

Unterschleißheim. Internet: <http://www.microsoft.com/germany/mappoint/features.aspx>
(05.07.2009)

(Ökoinstitut 2009) Institut für angewandte Ökologie e.V.: Gemis. 4.4.Darmstadt

(pack force 1997) Luxenhofer Dr.: Bericht 5. Abfüllanlagen 1997. Ökobilanzmodul Abfüllen und Abpacken von Getränken in Gebinden bis 2 ltr in der BRD - 1997." Ökobilanzen für Getränkeverpackungen. In: Ökobilanz für Getränkeverpackungen II. Materialsammlung. Forschungsvorhaben Nr. 103 50 504, Umweltbundesamt, Berlin.

(prognos 1997) Prognos und Luxenhofer Dr.: Bericht 6. Distributionsanalysen und Distributionsszenarien 1997. In: Ökobilanz für Getränkeverpackungen II. Materialsammlung. Forschungsvorhaben Nr. 103 50 504, Umweltbundesamt, Berlin.

(Reichel 2009) Reichel J.: Sparsam wie zuvor - aber sauberer. Test und Technik. Verkehrsrundschau , H. 32, Springer Transport Media GmbH, München.

(Ringelband 2009), Ringelband F., Assistenz der Geschäftsführung: Persönliche Mitteilung. S.T.a.R. System Transport auf Rädern Kooperationsges. mbH, Homburg (20.06.09).

(Schlich 2008) Schlich Prof. Dr. E.: Äpfel aus deutschen Landen- Energieumsätze bei Produktion und Distribution. 1. Auflage, Cuvillier Verlag, Göttingen.

(Schmitt 2009) Schmitt F.. Verkauf Wein-, Sekt-, Fruchtsaft- und Spirituosenanlagen: Persönliche Mitteilung. Fa. Seitz KHS AG, Bad Kreuznach, (25.06.09).

(Schröder 2007) Schröder S.: Vergleichende Energiebilanzierung der regionalen und überregionalen Produktion von Wein und Äpfeln. Dissertation. Cuvillier Verlag, Göttingen.

- (Solomon 2007) Solomon S.: Technical Summary. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge
- (StmWIVT 2009) Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie: Erläuterungen zu Energiebilanzen. München. Internet: http://www.stmwivt.bayern.de/pdf/energie-und-rohstoffe/energieversorgung/energiebilanz/A_tabelle.pdf (03.09.09)
- (UBA 1999a) Umweltbundesamt: Bewertung in Ökobilanzen. Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren. Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043. Berlin.
- (UBA 1999b) Umweltbundesamt: KEA: mehr als eine Zahl. Basisdaten und Methoden zum Kumulierten Energieaufwand (KEA). Berlin: Internet: <http://www.oeko.de/service/kea/dateien/broschuere.pdf> (20.08.09)
- (UBA 2000a) Umweltbundesamt: Hintergrundpapier. „Handreichung Bewertung in Ökobilanzen“. Berlin.
- (UBA 2000b) Umweltbundesamt: Ökobilanz für Getränkeverpackungen II. Materialsammlung. Text 38/00, Berlin.
- (UBA 2001) Umweltbundesamt: Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU). Merkblatt über Beste Verfügbare Techniken in der Glasindustrie, Berlin. Internet: <http://www.bvt.umweltbundesamt.de/archiv/glasindustrie.pdf> (02.10.09)
- (UBA 2002a) Umweltbundesamt: Ökobilanz für Getränkeverpackungen II/Phase 2. Forschungsbericht 103 50 504. Text 51/02, Umweltforschungsplan des BMU, Berlin.
- (UBA 2002b) Umweltbundesamt: Hintergrundpapier. Ökobilanz für Getränkeverpackungen für alkoholfreie Getränke und Wein II. Phase 2. Berlin.

(UBA 2004) Umweltbundesamt: Klimaänderung. Festhalten an der vorgefassten Meinung?.

Wie stichhaltig sind die Argumente der Kritiker?. Berlin. Internet:

<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2694.pdf> (25.09.09)

(UBA 2008a) Umweltbundesamt: Energiebedingte Emissionen von Luftschadstoffen.

Kohlenstoffdioxid. Berlin. Internet: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=17116>

(UBA 2008b) Umweltbundesamt: Nahzeitprognosen für den Ausstoß von Kohlendioxid und

andere Treibhausgase im Jahr 2007. Berlin. Internet: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2008/pdf/pd08-016-1.pdf> (15.08.09)

(UBA 2008c) Umweltbundesamt: Umweltbewusstsein der Deutschen auf hohem Niveau.

Presseinformation Nr. 085/2008, Dessau. Internet: http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2008/pd08-085_umweltbewusstsein_der_deutschen_auf_hohem_niveau.htm (20.09.09)

(UBA 2009a) Umweltbundesamt: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen

des deutschen Strommix 1990-2007. Dessau. Internet:

<http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf> (01.08.09)

(UBA 2009b) Umweltbundesamt: Klimaänderung. Wichtige Erkenntnisse aus dem 4.

Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen der

Vereinten Nationen (IPCC). Dessau. Internet: http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/themen/nachhaltigkeit/umwelt/Klimawandel_Bericht_neu.pdf (10.10.09)

(UBA 2009c) Umweltbundesamt: Klimaschutz –Grundlagen. Dessau. Internet: <http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/klimaaenderungen/grundlagen/index.htm> (25.09.09)

(UBA 2009d) Umweltbundesamt: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen

Treibhausgasinventar 1990 – 2007. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009, Dessau.

-
- (UBA 2009e) Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt - Umweltzustand in Deutschland. Verwertung von Altglas. Berlin. Internet: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2313> (15.09.09)
- (Uherek 2008) Uherek Dr. E: Die Treibhausgase Kohlendioxid und Methan. Max Planck Institute for Chemistry, Mainz. Internet: http://www.atmosphere.mpg.de/enid/a353c0ed5e7ac0b370439453825425ed,0/2__Strahlung__Treibhausgase/-_CO2__CH4_24u.html (26. 09.09)
- (WBA 2007) Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung. Empfehlungen an die Politik. Berlin. Internet:<http://www.bmelv.de/cae/servlet/contentblob/382594/publicationFile/23017/GutachtenWBA.pdf> (13.10.09)
- (WBdB 2006) Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung. Globale Umweltveränderungen: Die Zukunft der Meere - zu warm, zu hoch, zu sauer. Berlin. Internet: http://www.wbgu.de/wbgu_sn2006.html (22.09.09)
- (Wiese et al. 2006) Kaltschmitt M., Streicher W., Wiese A. (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 4. Aufl., Springer Verlag, Berlin

Anhang

Tabelle 28: Quelldaten der Treibstoffverbräuche Logistikmodell Riegel 2008

Basisdaten des Verbrauchs (Gemis)				
40 t			Stufe I	Stufe II
2010 LKW-D-Sattelzug-AB-2010 Autobahn	[L/100 km]	39	39	
2011 LKW-D-Sattelzug-AO2010 Außerorts	[L/100 km]	36,66		47,015
2012 LKW-D-Sattelzug-AO2010 Innerorts	[L/100 km]	57,37		
7,5 - 12 t				
2010 LKW-D-Solo-AB-mittel-2010 Autobahn	[L/100 km]	21,84	21,84	
2011 LKW-D-Solo-AO-mittel-2010 Außerorts	[L/100 km]	19,68		22,995
2012 LKW-D-Solo-IO-mittel-2010 Innerorts	[L/100 km]	26,31		

(Für die Verteilerfahrten sind die Anteile der Innerorts- und Außerortsfahrten 1:1 bewertet worden.)

Tabelle 29: Fahrzeugparameter, Auslastungen und abgeleitete spezifische Verbrauchswerte

Parameter Logistik		MW	EW	Quelle
Fahrzeugparameter				
Distributionsstufe I				
Verbrauch Güterfernverkehr 40to	[L/100 km]	39,00	39,00	Gemis
Verbrauch Nahverkehr 12to	[L/100 km]	21,84	21,84	Gemis
Distributionsstufe II				
Verbrauch Güterfernverkehr 40to	[L/100 km]	47,02	47,02	Gemis
Verbrauch Nahverkehr 12to	[L/100 km]	23,00	23,00	Gemis
Pal Stellplätze 40to	[Pal/LKW]	33,00	33,00	Grünig
Pal Stellplätze 12to	[Pal/LKW]	13,00	13,00	Reichel
Faktor Volumendifferenz	Bewertungsfaktor	0,8533	0,8533	Berechnet
Emissionsfaktor	[kg CO ₂ /L Diesel]	2,87	2,87	Gemis
Auslastungen Stückgut				
Binnenregionalverkehr Fahrten bis 150 km	[%]	75	50	UBA
Binnenfernverkehr Fahrten über 151 km	[%]	100	100	Star
Verteilerfahrten	[%]	80	60	UBA
Auslastungen Großhandel				
Direktabhöler Auslastung	[%]	89	70	UBA
Verteilerfahrten Auslastung GH	[%]	80	60	UBA
Verbrauch Stückgut				
	[L/(Pal*100 km)]			
Binnenregionalverkehr Fahrten bis 150 km		1,900	2,850	Berechnet
Binnenfernverkehr Fahrten über 151 km		1,182	1,182	Berechnet
Verteilerfahrten		1,936	2,581	Berechnet
Verbrauch Großhandel				
	[L/(Pal*100 km)]			
Direktabhöhlung		1,328	1,688	Berechnet
Verteilerfahrten		1,936	2,581	Berechnet

Tabelle 30: Basisdaten von Energieträgern

Brennstoffe	CO ₂ -Emission			Heizwert [kwh/kg]	Dichte [kg/L]	Quelle Ökoinstitut 2009 Quelle Bay LfU 2004 Produkte
	direkt [kg/kwh]	indirekt gesamt [kg/kwh]	indirekt fossil [kg/kwh]			
Erdgas	0,201	2,30E-02	2,27E-02	2,59	12,92	7,80E-04 Wärme-Prozess-Glas-DE-2010-Erc
Diesel	0,265	2,97E-02	2,38E-02	3,17	11,97	0,83 Raff\Diesel-EU-2010
Heizöl L	0,268	3,80E-02	3,75E-02	3,17	11,83	0,84 Raff\Öl leicht-DE-HH/KV-2010
Heizöl S	0,284	3,55E-02	3,45E-02	3,21	11,31	0,9 Raff\Öl schwer-DE-2010
Erdöl	0,282	3,10E-02	3,07E-02	3,13	11,11	1,0 Raff\Öl-Produkte-EU-2010
Steinkohle	0,341	1,26E-02	1,25E-02	2,74	8,06	Steinkohle-Tiefbau-DE-Vollwert-201
Braunkohle	0,412	6,23E-03	6,21E-03	0,99	2,42	Braunkohle_Tagebau-DE-Lausitz-2

**Tabelle 31: Stoffstromergebnisse aufgeschlüsselt nach Transportschienen und Produktzuständen
Transport 2**

Transport 2		Mehrweg			
		Ausgang	Leergut	Leerkisten	Gesamt
A Fernvertrieb Grosshandel					
Transportmenge	[L Vol/a]	764 021	656 063	107 958	1 528 042
Transportmenge	[Pal/a]	1 990	1519	250	3 759
Transportleistung	[Pal*km]	863 660	647 094	119 500	1 630 254
Entfernung einfache Fahrt	[km/Pal]	434	426	478	434
B Spedition Andres					
Transportmenge	[L Vol/a]	557 568	378 864	173 664	1 110 096
Transportmenge	[Pal/a]	1 452	877	402	2 731
Transportleistung	[Pal*km]	37 752	22 802	10 452	71 006
Entfernung einfache Fahrt	[km/Pal]	26	26	26	26
B_I Regionalvertrieb nach Braisach für Zielbereiche PLZ 77, 79					
Transportmenge	[L Vol/a]	9 599	3 310	6 289	19 198
Transportmenge	[Pal/a]	25	8	14	47
Transportleistung	[Pal*km]	3 300	1 012	1 921	6 233
Entfernung einfache Fahrt	[km/Pal]	132	127	137	133
B_{II} Fernvertrieb über Südhub für Zielbereiche PLZ 7, 8, 9					
Transportmenge	[L Vol/a]	390 593	300 983	89 691	781 267
Transportmenge	[Pal/a]	1 017	697	208	1 922
Transportleistung	[Pal*km]	504 342	345 753	102 551	952 646
Entfernung einfache Fahrt	[km/Pal]	496	496	495	496
B_{III} Fernvertrieb über Haupthub für Zielbereiche PLZ 0 - 6					
Transportmenge	[L Vol/a]	134 224	65 185	69 039	268 448
Transportmenge	[Pal/a]	350	151	160	661
Transportleistung	[Pal*km]	260 996	112 809	119 185	492 990
Entfernung einfache Fahrt	[km/Pal]	746	747	745	746

**Tabelle 32: Stoffstromergebnisse aufgeschlüsselt nach Transportschienen und Produktzuständen
Transport 3**

Transport 3 Feindistribution		Mehrweg			Gesamt
		Ausgang	Leergut	Leerkisten	
A_F Feinvertrieb durch Grosshandel Stufe I & II					
Transportmenge	[L Vol/a]	764 021	656 063	107 958	1 528 042
Transportmenge	[Pal/a]	1 990	1 519	250	3 759
Transportleistung Stufe I	[Pal*km]	409 940	312 914	51 500	774 354
Entfernung einfache Fahrt	[km/Pal]	206	206	206	206
B_F Feinvertrieb durch Speditionen					
Transportmenge	[L Vol/a]	557 568	378 864	173 664	1 110 096
Transportmenge	[Pal/a]	1 452	877	402	2 731
Transportleistung	[Pal*km]	116 160	70 160	32 160	218 480
Entfernung einfache Fahrt	[km/Pal]	80	80	80	80

Tabelle 33: Berechnungsgrundlage des durchschnittlichen Vertriebsradius im Großhandel

KdNr	Vollgutmenge	Art des Feinvertriebs	Entfernung	spez. Entfernung	
655	205.164	GH national	nat	800	214,83
100529	108.193	GH für NL und Belgien	nat	800	113,29
2146	80.046	GH regional Süddeutschland	reg200	200	20,95
50126	54.540	GH regional Baden	reg100	100	7,14
3	52.081	GH regional Baden-Württemberg	reg150	150	10,23
1362	46.242	GH regional Bayern	reg150	150	9,08
1334	42.942	GH regional Nürnberg	reg150	150	8,43
365	24.768	GH regional Mitteldeutschland	reg200	200	6,48
587	17.556	GH regional Chiemsee	reg100	100	2,30
102966	14.934	GH regional H, HH	reg150	50	0,98
588	14.614	GH regional Nordbayern	reg150	50	0,96
211505	14.406	GH regional Frankfurt	reg100	100	1,89
581	14.400	GH regional Berlin	reg100	100	1,88
103900	10.926	GH regional Berlin	reg100	100	1,43
100243	10.165	GH regional Berlin	reg100	100	1,33
102998	9.948	GH regional HH	reg100	100	1,30
1397	8.160			50	0,53
101921	7.116	GH NRW, HH, FFM	reg200	200	1,86
102835	6.712			200	1,76
105756	5.972	GH Süddeutschland	reg250	250	1,95
2961	5.710	GH regional Bodensee	reg150	150	1,12
602	3.300	GH regional München	reg100	100	0,43
101617	2.670			100	0,35
102808	2.526	GH regional Süddeutschland	reg250	250	0,83
106768	930			100	0,12
			4.650		411

Tabelle 34: Berechnung der durchschnittlichen Distributionsemissionen

Ergebnisrechnung		Großhandel		Stückgut				
		A	AF	B	BI	BII	BIII	BF
Mehrweg								
CO ₂ Emission	[g CO ₂ /L Vol]	81,3	56,3	6,9	35,4	82,7	124,6	21,8
Mengenfaktor I		1,0	1,0	1,0	0,017	0,700	0,240	1,0
CO ₂ Emission	[g CO ₂ /L Vol]		137,6					117,1
Mengenfaktor II		0,578		0,422				
CO₂ Emission MW	[g CO₂/L Vol]			129,0				
Ergebnisrechnung		Großhandel		Stückgut				
		A	AF	B	BI	BII	BIII	BF
Einweg								
CO ₂ Emission	[g CO ₂ /L Vol]	46,7	33,9	4,7	24,0	37,4	56,3	13,2
Mengenfaktor I		1,0	1,0	1,0	0,017	0,700	0,240	1,0
CO ₂ Emission	[g CO ₂ /L Vol]		80,7					58,0
Mengenfaktor II		0,578		0,422				
CO₂ Emission EW	[g CO₂/L Vol]			71,1				

Tabelle 35: Berechnungsübersicht Transport 1

Weineinkauf Transport 1		MW	EW	
		Tankzug	Tankzug	Sattelzug
Transportkapazität	[L Vol/LKW]	28 000	28 000	14 850
Transportauslastung	[%]	100	100	100
Dieserverbrauch	[L/100 km]	39,00	39,00	39,00
Distanz	[km/Fahrt]	1 500	1 500	1 500
Transportmenge 2008	[L Vol]	1 321 448	2 025 000	3 000 000
Transportenfernungssumme	[km]	70 792	108 482	303 030
spezifischer Dieserverbrauch	[L/(hl*100 km)]	0,14	0,14	0,26
Treibstoff	[L]	27 609	42 308	118 182
Energimenge primär	[kwh/a]	214 936	329 370	920 050
Energiemenge KEA	[kwh/a]	298 709	457 744	1 278 647
Transportmenge 2008	[L Vol]	1 321 448	2 025 000	3 000 000
Energieumsatz spezifisch	[kwh/L Vol]	0,21	0,32	
CO₂ Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	0,0600	0,0917	

Tabelle 36: Berechnungsübersicht Flaschenreinigung

Flaschenreinigung Vinerum		MW	EW	Quelle
Mengenstrom:				
Menge_A_gesamt	[L Vol/a]	1 321 448	5 025 000	Riegel
Menge_A_Orsing	[Flaschen/a]	1 321 448	2 700 000	Riegel
Menge_A_Orsing	[L Vol/a]	1 321 448	2 025 000	Riegel
Reinigungsautomat				
Laugentemperatur	°[C]	82	x	Vinerum
Maschinen_Bruttoleistung	[Flaschen/h]	4 000	4 000	Vinerum
Maschinen_Nettoleistung	[Flaschen/h]	3 800	3 800	Vinerum
Bruch	[%]	5	5	Vinerum
Laufleistung laut QS *0,9	[h/a]	621	1 297	QS-Dok & B
Laufleistung Minimum	[h/a]	348	711	Berechnet
Lauge				
Dichte Natronlauge 2%	[kg/L]	1,021	x	Handbook Physiks
Laugenmenge netto	[L]	6 200	x	Fa Seitz/ Fa Vinerum
Spezifische Wärmekapazität c Natronlauge	[KJ/(m*K)]	4,412	4,412	Berechnet
Energie Fixdaten				
Heizwert Heizöl L	[kwh/L]	9,94	9,94	Ökoinstitut
Dichte Heizöl L	[kg/L]	0,84	0,84	Ökoinstitut
Wirkungsgrad Dampfkessel	[%]	89	89	Fa Loos
Wirkungsgradfaktor Dampfkessel		1,124	1,124	Berechnet
Wärmeverbrauch (Datenblatt)				
Energie Gesamt beim Anheizen von 12° C	[kwh]	684	x	Fa Seitz
Energie Gesamt beim Anheizen von 40 C	[kwh]	467	x	Fa Seitz
Energie Gesamt im Betrieb	[kwh/h]	105	x	Fa Seitz
Energiemultiplikator Wärmeenergie von 0,5l auf 1l		1,6	x	Fa Seitz
Leistungsaufnahme effektiv	[kW]	17,6	17,6	Fa Seitz
Strommix Deutschland 2006	[kg CO ₂ /kwh]	0,625	0,625	Ökoinstitut
Strommix Spanien	[kg CO ₂ /kwh]	0,456	0,456	Ökoinstitut
Bewerteter Strommix mengenspezifisch nach D & ES	[kg CO ₂ /kwh]	0,625	0,5236	Berechnet
Emissionsfaktor Heizöl L	[kg CO ₂ /kwh]	0,31	0,31	Gemis
Aufheizwerte der Lauge aus QS Dokumentation				
Wochenendumstellung	[K/a]	1 446 x		QS- Dokumentation
Tageswechsel	[K/a]	2 340 x		QS- Dokumentation
Gebinde Umstellung	[K/a]	1 609 x		QS- Dokumentation
Summe	[K/a]	5 395 x		QS- Dokumentation
Rechnung:				
Q= c* m / 1000 * (kwh/ 3,6 MJ)				Berechnet
Energie Q für 1 Kelvin	[kwh/K]	7,76		Berechnet
Endenergiemengen: (Direktrechnung ohne KEA)				
Strom	[kwh/a]	10 930	22 827	Berechnet
Anheizen	[kwh/a]	47 065		Berechnet
Betrieb	[kwh/a]	73 183		Berechnet
Strom	[kg CO ₂ /a]	6 831	11 952	Berechnet
Anheizen	[kg CO ₂ /a]	14 590		Berechnet
Betrieb	[kg CO ₂ /a]	22 687		Berechnet
Strom	[kgCO ₂ /L Vol]	0,0052	0,0059	Berechnet
Anheizen	[kgCO ₂ /L Vol]	0,0110		Berechnet
Betrieb	[kgCO ₂ /L Vol]	0,0172		Berechnet
Ergebnis	[kgCO ₂ /L Vol]	0,0334	0,0059	Berechnet

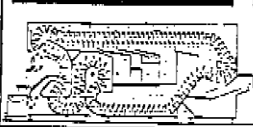
Tabelle 37: Temperaturdifferenzen des Reinigungsautomat Riwell 18/17 laut QS- Dokumentation

Monat 2008	Woche 1				Woche 2				Woche 3				Woche 4				Wochenendumstellung	Tageswechsel	MW Umstellung
jan	Umstellung	47				52						42	42						
	Tagwechsel	42	42			42	42			42	42	42							
	Wochenende	62				64						42	42				183		
																	126	336	
feb	Umstellung					57	42			47									
	Tagwechsel	42				42	42			42	42								
	Wochenende									57									
																	114	252	203
mrz	Umstellung	25				57				25	30								
	Tagwechsel	40	40							40									
	Wochenende					62													
																	117	160	162
apr	Umstellung	25																	
	Tagwechsel	40	40			42				42									
	Wochenende	25				52				62									
																	139	164	82
mai	Umstellung					62				57	47		52						
	Tagwechsel	42									42								
	Wochenende	62				62				57									
																	181	84	218
jun	Umstellung				57					57									
	Tagwechsel										42	42							
	Wochenende	57								62									
																	176	168	114
jul	Umstellung	57				57				52			52						
	Tagwechsel		42										42	42					
	Wochenende									57									
																	57	168	275
aug	Umstellung																		
	Tagwechsel																		
	Wochenende																		
																	0	42	57
sep	Umstellung															57	57		
	Tagwechsel				25	42		42		47	42								
	Wochenende	25				52													
																	139	198	114
okt	Umstellung												57						
	Tagwechsel	40	40	40	40	52			47	42				42	42				
	Wochenende	25					57												
																	139	427	57
nov	Umstellung					57													
	Tagwechsel					42	42		47		42	42							
	Wochenende		25			57													
																	201	257	57
dez	Umstellung	25								62									
	Tagwechsel										42			42					
	Wochenende																		
																	57	84	87
																	1446	2340	1609
																	Ensumme	5395	

Tabelle 38: Datenblatt Flaschenreinigungsmaschine Riwella 18/17 (Fa. Seitz)

25-JUN-2009 11:33 VON -KHS WORMS ABT5-SVT +49-6247-97-3344 T-984 P.001/001 F-289

SEITZENZINGER NO 77



Flaschenreinigungsmaschine RIWELLA VB
Bauübersicht und Technische Daten nach VDI 2653 Bl. 3

max. Fl. Ø
92

RIWELLA VB 1
Ket. 165/Kot. 103

50-DATENZITR

Allgemeine Angaben	Maschinentyp	8/8				12/11				18/17				24/21			
		8/8	12/11	18/17	24/21	8/8	12/11	18/17	24/21	8/8	12/11	18/17	24/21	8/8	12/11	18/17	24/21
	Kernteilung	165															
	Korbteilung	103															
	Flaschenzellen-innen Ø	103															
	Anzahl der Gehäuseteile	100															
	Großter Flaschen Ø	1															
	Kleinster Flaschen Ø ¹⁾	92															
	Große Flaschenhöhe	55															
	Kleinste Flaschenhöhe ¹⁾	360															
	Flaschen in der Reihe	170				170				170				170			
	Flaschenkörper in der Maschine	8				11				17				21			
	Flaschenkörper beschickt	114				114				114				114			
	Anzahl der Flaschen in der Maschine	108				108				108				108			
Leistungsangaben	Nennleistung x 1000	864	1188	1836	2268	864	1188	1836	2268	864	1188	1836	2268	864	1188	1836	2268
	Schallwert	2,8	3,8	6,0	7,4	2,2	3,0	4,7	5,8	2,2	3,0	4,7	5,8	2,2	3,0	4,7	5,8
	Durchlaufzeit	18,5															
	Regelbereich mechanisch x 1000	23,13															
Vorwärmung	hierbei Durchlaufzeit	1,0/3,1	1,4/4,2	2,2/6,6	2,7/8,1	0,85/2,5	1,15/3,3	1,8/5,2	2,2/6,5	1,0/3,1	1,4/4,2	2,2/6,6	2,7/8,1	0,85/2,5	1,15/3,3	1,8/5,2	2,2/6,5
	Vorwärmzeit (gesamt)	287,8															
	Behandlungszeit (effektiv)	82,2															
	Verwärmzeit (gesamt)	585,9															
Lauge	Behandlungszeit (effektiv)	359,8															
	Verwärmzeit (gesamt)	732,4															
Rückkühlung	Verwärmzeit (gesamt)	395,2 (Lq. unterget. 3,6 min.)															
	Behandlungszeit (effektiv)	494,0 (Lq. unterget. 4,5 min.)															
Spritzzeiten	Vorspritzung	236,4															
	Lauge-Spritzung	295,5															
	W.W.-Zwischenspritzung	73,5															
	Warm-Wasser-Spritzung	45,7															
	Kalt-Wasser-Spritzung	6,53															
	Frison-Wasser-Spritzung	19,6															
Verbrauchsangaben ²⁾	Wasserverbrauch (12°C)	1,12				1,52				2,4				2,96			
	Wärmeverbrauch b. Ann. x 1000 (12°C)	1382				1776				2464				2938			
	Wärmeverbrauch b. Ann. x 1000 (40°C)	921				1198				1682				2014			
	Wärmeverbrauch im Betrieb x 1000	140,5				190,7				301,0				371,0			
	Leistungsaufnahme instalt. (Ansenblüw.)	18,0				19,5				22,0				26,5			
	Leistungsaufnahme effektiv	14,4				15,6				17,5				21,2			
Badinhalt	Vorwärmbad/Vorspritzung	0,8				1,0				1,43				1,72			
	Lauge I	3,3				4,3				6,1				7,3			
	Lauge II	0,5				0,7				0,95				1,15			
	Lauge III	--															
	W.W.-Zwischenspritzung	--															
	Warm-Wasser	0,5															
	Kalt-Wasser	0,5															
Hauptgewichte	Betriebsgewicht ³⁾	13,6				16,5				21,3				24,8			
	Nettogewicht	8,1				9,5				11,7				13,4			
	Gewicht des schwersten Teiles	8,1				9,5				11,7				13,4			
	Volumen d. schwersten Teiles	21,8				28,4				40,1				48,5			
Hauptabmessungen	Länge ohne Kabinett	7390															
	Länge mit Kabinett ⁴⁾	7690															
	Breite der Gehäuseteile	1150	1500	2130	2560	1150	1500	2130	2560	1150	1500	2130	2560	1150	1500	2130	2560
	Breite über alles einschl. Poost	2250	2600	3300	3760	2250	2600	3300	3760	2250	2600	3300	3760	2250	2600	3300	3760
	Höhe mit Fußspindel	2830															
	Höhe Flaschenzufransport	775															
	Höhe Flaschenabtransport	1490															
	Einbringöffnung (b x h) Kompaktma.	2,45x2,9	2,8x2,9	3,5x2,9	3,96x2,9	2,45x2,9	2,8x2,9	3,5x2,9	3,96x2,9	2,45x2,9	2,8x2,9	3,5x2,9	3,96x2,9	2,45x2,9	2,8x2,9	3,5x2,9	3,96x2,9
	Einbringöffnung (b x h) geteilte Masch.	--															

VAW 4/83

2) Die Verbrauchsangaben sind bezogen auf 0,5 l Flaschen bei voller Nennleistung (frisch-essertemperatur 12°C, Lq 1-Temperatur 80°C, Lq II-Temperatur 60°C), ohne Sonderausstattungen.
Multiplikatoren:
(Bei Neuauslegung der Maschine auf andere Flaschengrößen)
bei 0,33 l Fl x 1,25 für Wasserverbrauch u. x 0,88 für Wärmeverbrauch
bei 0,7 l Fl x 1,25 für Wasserverbrauch u. x 1,24 für Wärmeverbrauch
bei 1,0 l Fl x 1,02 für Wasserverbrauch u. x 1,5 für Wärmeverbrauch

1) Die Bearbeitung der Flaschen, die unter dem min. Flaschen Ø und unter der min. Flaschenhöhe liegen, kann erst nach Probeauf zugestagt werden.
3) Betriebsgewicht = Nettogewicht + Wasser + 0,02 der Flaschen (0,5 l Euro = 370 g/fl)
4) Kabinett = 300mm angebot

Bodenbelastung - Betriebsgewicht
Projektionsfläche
Bezeichnungswahl:
VB 18/21/1 = Grundtyp 18 Fl/Reihe,
hier mit 21 Fl/Reihe, Variation 1

50-DATENZITR

Tabelle 39: Berechnungsübersicht Glasproduktion

Glasproduktion		Mehrweg	Einweg
Gewicht	[kg/Flasche]	0,60	0,45
Gewicht spezifisch	[kg/L Vol]	0,60	0,60
Menge			
Ausgangsmenge	[L Vol/a]	1 321 448	5 025 000
Rücklaufmenge	[L Vol/a]	1 037 908	0,00
Rücklaufquote brutto	[%]	78,5	0,00
Vorsortierung 12 m ³ Scherben	[Flasche/a]	7 314	
Bruch 5%	[Flasch/a]	51 867	
Wiederverwendungsquote netto	[%]	74,50	100
Neukaufmenge	[L Vol/a]	343 292	5 025 000
Neukaufmenge Glas	[kg/a]	205 975	3 015 000
Glaszusammensetzung Neukauf			
Weißglasquote	[%]	22,3	30,8
Grünglasquote	[%]	77,7	69,2
Menge Weissglas	[kg/a]	45932	928620
Menge Grünglas	[kg/a]	160043	2086380
Energieaufwand			
Parameter und Energieaufwand fossil für Grün und Weißglas			
Quelle (UBA 2000b)		Grünglas	Weißglas
Diesel	[kg/ kg Glas]	0,00177	0,00131
Erdgas	[kg/ kg Glas]	0,05500	0,06400
Schweröl	[kg/ kg Glas]	0,02240	0,02360
Energie elektr	[kj/ kg Glas]	571,00000	571,00000
Fremdscherbenanteil	[kg/ kg Glas]	0,84800	0,62500
Energie elektr	[kWh/ kg Glas]	0,15861	0,15861
Glasproduktion			
		Mehrweg	Einweg
Diesel	[kg/a]	343	4 909
Energiemenge Diesel	[kWh/a]	4 477	63 995
Erdgas	[kg/a]	11 742	174 183
Energiemenge Erdgas	[kWh/a]	168 850	2 504 739
Schweröl	[kg/a]	4 669	68 650
Energiemenge Schweröl	[kWh/a]	59 301	871 937
Energie elektrisch (Endenergie)	[kWh/a]	32 670	478 213
Energiemenge KEA	[kWh/a]	305 286	4 379 689
Produktionsmenge	[kg/a]	205 975	3 015 000
Energiemenge spezifisch	[kWh/L Vol]	0,23	0,87
Energiemenge	[kWh/a]	305 286	4 379 689
Produktionsmenge	[L Vol/a]	343 292	5 025 000
Energiemenge/ Flasche	[kWh/L Vol]	0,773	0,780
Emissionsfaktor Strom	[kg CO ₂ /kg]	0,625	0,5236
Glasproduktion			
		Mehrweg	Einweg
CO ₂ Menge Brennstoff	[kg CO ₂ /a]	71 979	1 012 441
CO ₂ Menge Prozess	[kg CO ₂ /a]	39 753	581 895
CO₂ Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	0,0846	0,3173

Tabelle 40: Berechnungsübersicht Kistenherstellung Einwegkartonage

Einwegkartonage		Einweg
Erdgas	[kg/a]	23 450
Energiemenge Erdgas	[kWh/a]	302 974
Erdöl	[kg/a]	6 583
Energiemenge Erdöl	[kWh/a]	73 134
Braunkohle	[kg/a]	25 628
Energiemenge Braunkohle	[kWh/a]	62 019
Steinkohle		8 811
Energiemenge Steinkohle	[kWh/a]	71 013
Produktionsmenge	[kg/a]	167 500
Energiemenge je Stück	[kWh/kg]	3,040
CO2 Menge gesamt	[kg CO ₂ /a]	130 986
CO2 Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	0,0261

Tabelle 41: Berechnungsübersicht Kistenherstellung-Mehrweg

Polyethylen- Kisten		Mehrweg
Erdgas	[kg/a]	207
Energiemenge Erdgas	[kWh/a]	2 675
Erdöl	[kg/a]	82
Energiemenge Erdöl	[kWh/a]	910
Braunkohle	[kg/a]	4 022
Energiemenge Braunkohle	[kWh/a]	9 733
Steinkohle		1 377
Energiemenge Steinkohle	[kWh/a]	11 095
Produktionsmenge	[kg/a]	11 970
Energiemenge je Stück	[kWh/a]	2,040
CO ₂ Menge fossil gesamt	[kg CO ₂ /a]	8 585
CO ₂ Menge Prozess gesamt	[kg CO ₂ /a]	2 274
CO₂ Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	0,0082

Tabelle 42: Berechnungsübersicht Altglasaufbereitung

Altglasaufbereitung		Mehrweg	Einweg
Verpackungsvolumen	[Flaschen/a]	1 321 448	6 700 000
Altglasmenge Vorsortierung	[kg Glas/a]	3 840	x
Altglasmenge Abfüllung	[kg Glas/a]	31 099	x
Altglasmenge verblieben bei K	[kg Glas/a]	170 124	3 015 000
Verwertungsmenge PrivatHH	[kg Glas/a]	142 394	2 523 555
Verwertungsmenge Gesamt	[kg Glas/a]	181 589	2 584 120
Altglasaufbereitung		Mehrweg	Einweg
Erdgas	[kg/a]	36	519
Energiemenge Erdgas	[kWh/a]	472	6 711
Erdöl	[kg/a]	730	10 388
Energiemenge Erdöl	[kWh/a]	8 110	115 412
Braunkohle	[kg/a]	712	10 130
Energiemenge Braunkohle	[kWh/a]	1 723	24 514
Steinkohle	[kg/a]	243	3 463
Energiemenge Steinkohle	[kWh/a]	1 961	27 910
Aufbereitungsmenge	[kg/a]	181 589	2 584 120
Energiemenge je kg	[kWh/kg]	0,068	0,068
CO ₂ Menge gesamt	[kg CO ₂ /a]	3 738	53 198
CO₂ Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	0,0028	0,0106

Tabelle 43: Berechnungsübersicht Kistenaufbereitung

PE & Kartonkistenrecycling		Mehrweg	Einweg
Erdgas	[kg/a]	9	
Energiemenge Erdgas	[kWh/a]	113	
Erdöl	[kg/a]	153	
Energiemenge Erdöl	[kWh/a]	1 700	
Braunkohle	[kg/a]	170	
Energiemenge Braunkohle	[kWh/a]	412	
Steinkohle	[kg/a]	58	
Energiemenge Steinkohle	[kWh/a]	469	
Energie elektrisch	[kWh/a]		1 157
Aufbereitungsmenge	[kg/a]	10 773	145 558
Energiemenge je kg	[kWh/kg]	0,250	0,008
CO ₂ Menge gesamt	[kg CO ₂ /a]	832	723
CO₂ Menge spezifisch	[kg CO₂/L Vol]	6,29E-04	1,44E-04

Tabelle 44: Durchschnittsverbrauchberechnung für Logistikmodell Riegel 2008

Berechnung Durchschnittsverbrauch		Mehrweg	Einweg
relative Spritsumme anteilig	[L Sprit/(Pal*100 km)]	1,685	2,223
bereinigt auf gleiches Palettenvolumen	[L Sprit/(Pal*100 km)]	1,685	1,905
inklusive Rückfahrt	[L Sprit/(Pal*100 km)]	3,370	1,905
CO ₂ -Anteil pro Pal (MWVol)	[kg CO ₂ /(Pal*100 km)]	9,673	5,468
CO ₂ -Anteil pro Liter Vol/ 100km	[kg CO ₂ /(L Vol*100 km)]	0,025	0,014
CO ₂ -Anteil pro Liter Vol/ 100km	[g CO ₂ /(L Vol*100km)]	25,190	14,238
CO ₂ -Anteil pro Liter Vol/ km	[kg CO ₂ /(L Vol*km)]	2,52E-04	1,42E-04
CO ₂ -Anteil pro Liter Vol/ km	[kg CO ₂ /(VerpVol*km)]	2,52E-04	1,07E-04
CO ₂ -Anteil pro Liter Vol/ 100km	[g CO ₂ /(VerpVol*100 km)]	25,190	10,679

Tabelle 45: Relationales Logistikmodell zur Berechnung des Durchschnittsverbrauchs

Logistik Berechnung	Relationales Modell	Mehrweg				Einweg	Faktoren
		Ausgang	Retoure	Leerkisten	Gesamt		
B Spedition Andres							
Anteilige Entfernung	[km]	26				26	
Palettenkilometer	[Pal*km]		37 752	22 802	10 452	71 006	32 214
Spriverbrauch	[L/(Pal*100 km)]	1,90					2,85
Anteil an Gesamttransportleistung							1
BI Regionalvertrieb Braisach Zielbereich PLZ 77, 79							
Anteilige Entfernung	[km]	132,00				132	
Palettenkilometer	[Pal*km]		3 300	1 012	1 921	6 233	2 816
Palettenverbrauch Binnenregionalverkehr	[L/(Pal*100 km)]	1,90					2,85
Anteil an Gesamttransportleistung							0,172
BII Binnenfernverkehr Südhub							
Anteilige Entfernung	[km]	496,00				496	
Palettenkilometer	[Pal*km]		504 342	345 753	102 551	952 646	430 355
Palettenverbrauch Fernverkehr	[L/(Pal*100 km)]	1,18					1,18
Anteil an Gesamttransportleistung							0,7
BIII Binnenfernverkehr Haupthub							
Anteilige Entfernung	[km]	746				746	
Palettenkilometer	[Pal*km]		260 996	112 809	119 185	492 990	222 708
Palettenverbrauch Fernverkehr	[L/(Pal*100 km)]	1,18					1,18
Anteil an Gesamttransportleistung							0,24
BF Feinvertrieb Stückgut							
Anteilige Entfernung	[km]	80				80	
Palettenkilometer	[Pal*km]		116 160	70 160	32 160	218 480	99 119
Palettenverbrauch Fernverkehr	[L/(Pal*100 km)]	1,94					2,58
Anteil an Gesamttransportleistung							1
A Fernvertrieb GH							
Anteilige Entfernung	[km]	434				434	
Palettenkilometer	[Pal*km]		863 660	647 094	119 500	1 630 254	736 961
Palettenverbrauch Fernverkehr	[L/(Pal*100 km)]	1,33					1,688
Anteil an Gesamttransportleistung							1
AF Feinvertrieb Grosshandel							
Anteilige Entfernung	[km]	206				206	
Palettenkilometer	[Pal*km]		409 940	312 914	51 500	774 354	349 802
Palettenverbrauch Fernverkehr	[L/(Pal*100 km)]	1,94					2,581
Anteil an Gesamttransportleistung							1
Summe Palettenkilometer		[Pal*km]	2 196 150	1 512 544	437 269	4 145 963	1 873 975

Tabelle 46: Kundenliste außerhalb des break- even-Vertriebsradius

KD_Nummer	Fa	Menge [L]	Entfernung
106548	Hofg	162	1.212
102358	Hofla	12	1.192
103680	Bio F	177	1.187
106138	Bioas	264	1.183
106290	Ober	168	1.183
105764	Land	4	1.183
1707	Kornl	936	1.182
100529	Natur	108.193	1.132
106777	Helve	240	1.115
106547	Erleb	12	1.112
104160	Preul	84	1.107
103339	Back	648	1.093
105697	Viv B	186	1.092
103592	Brix E	192	1.085
100673	Hähn	582	1.084
105132	MZ +	72	1.072
104462	Cord	108	1.070
104045	Vega	24	1.067
106382	Bahn	36	1.060
102572	Glob	258	1.060
104518	Vorw	222	1.052
102998	Grell	9.948	1.050
104119	Grünl	54	1.030
		122.582	

Tabelle 47: Umsatzzahlen Kunden mit Vertriebsradius zwischen 860 und 1025 km

KD_Nummer	Fa	Menge [L]	Entfernung
105982	Alnat	678	1.009
103939	logis	36	1.009
104917	Viv B	84	1.008
103737	Viv B	156	1.007
105387	LPG-	36	1.007
103740	Viv B	90	1.007
106407	Viv B	54	1.006
103739	viv Bi	66	1.006
105486	Teigv	306	1.006
106038	Lunik	486	1.006
10408	Viv B	108	1.005
106257	LPG-	18	1.005
103801	Bio D	84	1.004
103310	Biom	114	1.002
103159	LPG-	66	1.002
103523	bio1-	372	1.002
106514	Schn	36	1.001
103993	Ökot	120	1.001
105410	Food	84	1.001
104342	Truth	324	999
105549	Quer	42	999
105585	Quer	30	999
103626	Bio Ir	444	998
105397	Quer	36	998
105715	Vino	72	998
106245	Biolir	144	998
106060	Autov	36	998
104629	Joac	888	998
104721	Viv B	54	996
101892	eo K	72	996
105624	Alnat	804	996
105499	Elysa	91	996
101978	Hoffn	14.020	995
104929	LPG-	1.224	994
103799	eo K	12	993
106647	Alnat	294	990
101893	eo K	18	986
103900	Terra	10.926	984
106086	Meyr	144	983
581	Rebc	14.400	982
105081	Ratz	48	982
100243	Korm	10.165	981
104029	Lebe	444	970
105041	Rellir	1.110	969
105762	Wein	1.092	962
103742	Alnat	1.278	961
104989	Alnat	2.328	960
105305	WEIN	36	959
103186	Piccc	204	957
103313	Otter	3.162	956
106631	Alnat	402	956
202398	Reine	24	956
105693	COS	24	956
102729	Wein	1.278	952
103861	Saar	156	942
102710	Franz	2.346	940
105358	Sehe	3	939
102966	Kornl	14.934	939
105837	Burg	36	939
103161	Meye	144	930
201550	BioF	408	926
105931	Arkac	18	922
21100	Kornl	510	922
106469	Wiets	24	922
210730	Kornl	36	919
105967	Wein	625	916
103134	Eine-	873	916
103543	Natur	438	915
103132	Wein	1.068	911
105278	Owee	120	910
104774	Wolte	24	910
202756	Pohl	6	904
211038	Natur	60	903
103500	Wolle	750	899
211412	Ring	456	895
102644	Busc	108	892
201969	lgel -	12	890
105899	Alnat	936	889
104416	Natur	192	889
106405	Pauli	96	889
110005	Kiek	4.939	888
103273	Medc	1.747	888
103788	Rotk	1.092	888
103986	Holz	582	887
105634	Nienl	42	883
103053	Vollk	288	875
103350	Moos	24	866
104828	Einfa	390	866
		102.147	

Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung verwendet.

Gießen, 21. 12. 2009